ROYAL NICKEL CORPORATION





PROJET **DUMONT**

Étude d'impact sur l'environnement et le milieu social

Réponses aux questions et commentaires du ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs du Québec reçus le 11 mars 2013





Volume 2

Novembre 2013
Projet : 111-15275-01

GENIVAR

PROJET DUMONT– ÉTUDE D'IMPACT SUR
L'ENVIRONNEMENT ET LE MILIEU SOCIAL

RÉPONSES AUX QUESTIONS ET COMMENTAIRES
DU MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE,
DE L'ENVIRONNEMENT, DE LA FAUNE ET
DES PARCS DU QUÉBEC
REÇUS LE 11 MARS 2013

1ère série de questions et commentaires

VOLUME 2

Approuvé par :

Alger St-Jean, géol.
Vice-président Exploration
Royal Nickel Corporation

Pierre-Philippe Dupont, biol., M. Sc.
Directeur du développement durable
Royal Nickel Corporation

2013-11-08

Patrick Charbonneau, biol., M. Sc.
Directeur de projet
GENIVAR inc.

Association des biologistes du Québec
Patrick Charbonneau #2695

NOVEMBRE 2013
111-15275-01

ÉQUIPE DE RÉALISATION

Royal Nickel Corporation

Directeur du Développement durable, responsable de l'ÉIES	:	Pierre-Philippe Dupont, biol.
Vice Président Exploration	:	Alger St-Jean, géol.
Spécialiste en développement durable	:	Stanislas Ketelers, biol.
Ingénieure minier senior	:	Nathalie Gauthier
Coordonnatrice des relations avec le milieu	:	Mélanie Corriveau
Techniciens	:	Hugues Bordeleau
		Fredéric Dufresne

GENIVAR inc.

Directeur de projet	:	Patrick Charbonneau, biol., M. Sc.
Adjoint au directeur de projet	:	Yanick Plourde, biol., M. Sc.
Professionnels	:	Bernard Aubé-Maurice, biol
		François Groulx, ing.
		Gilles Vaillancourt, géogr. M. G. P.
		Mélanie Falardeau, géogr. B. Sc.
		Nathalie Arel, ing. M. Sc.
		Normand Grégoire, ing.
		Rupa Desai, ing.
		Simon Latulippe, ing.
		Pascal Rhéaume, ing., M. Sc. A.
		Johan Strohmeier, physicien, M. Sc.
		Philippe Lachance, physicien, M. Sc.
		Julien Poirier, physicien, M. Sc.
		Yvon Courchesne, biologiste
Technicien	:	Diane Gagné, techn.
		Gilles Wiseman, géom.
		Paul-André Biron, cartographe
Édition	:	Linette Poulin

Référence à citer :

GENIVAR. 2013*. Projet Dumont – Étude d'impact sur l'environnement et le milieu social. Réponses à la première série de questions et commentaires du ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs du Québec reçus le 11 mars 2013. Volume 2.* Rapport de GENIVAR inc. à Royal Nickel Corporation. 110 p. et annexes.

TABLE DES MATIÈRES

Page

Équipe de réalisation i
Table des matières iii
Liste des annexes v
Liste des acronymes vii
Note au lecteur ix

PRÉAMBULE 11
1. Erratum 11
2. Études complémentaires et suivis 11
2.1 Tortue mouchetée 11
2.2 Archéologie 11
2.3 Suivi de la qualité de l'eau de surface (état de référence) 12
2.4 Analyse de risque sur la santé 12
2.5 Paysage 12
2.6 Carbonatation et chrysotile 12
QUESTIONS ET COMMENTAIRES 13
RÉFÉRENCES 109

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE 1 Carte C-2 rééditée

ANNEXE 2 Rapport d'inventaire de la tortue mouchetée

ANNEXE 3 Rapport d'inventaire archéologique

ANNEXE 4 Protocole d'échantillonnage de la qualité de l'eau de surface

ANNEXE 5 Étude de risque sur la santé de l'INSPQ (2010) associée à la présence de fibres d'amiante dans la ville de Thetford Mines.

ANNEXE 6 Simulations visuelles révisées sur la base des plans concepts du projet Dumont en phase de faisabilité.

ANNEXE 7 Études sur le processus de carbonatation de la roche serpentinifère du gisement Dumont

ANNEXE 8 Quantification du chrysotile dans les roches du projet Dumont

ANNEXE 9 Version préliminaire du programme de suivi du bruit

ANNEXE 10 Lettre du MDDEFP du 11 septembre 2013 - Proposition de calcul des émissions diffuses de l'érosion éolienne des sites d'entreposage du projet Dumont.

ANNEXE 11 Résultats détaillés des mesures de bruit réalisées en avril 2013

LISTE DES ACRONYMES

ÉIES	Étude d'impact sur l'environnement et le milieu social
LQE	Loi sur la qualité de l'environnement
MDDEFP	Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs du Québec
MRN	Ministère des Ressources naturelles
RAA	Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère
RNC	Royal Nickel Corporation

NOTE AU LECTEUR

Le présent document constitue le Volume 2 des réponses aux questions et commentaires du ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP) transmises le 11 mars 2013 à la suite du dépôt de l'étude d'impact sur l'environnement et le milieu social (ÉIES) du Projet Dumont en novembre 2012 (GENIVAR, 2012). Le Volume 1 a, quant à lui, été déposé au MDDEFP en juillet 2013 (GENIVAR, 2013). Depuis le dépôt de l'ÉIES et du Volume 1 des réponses aux questions et commentaires du MDDEFP, les activités de consultation et d'information auprès de la population se sont poursuivies et Royal Nickel Corporation (RNC) a pris des engagements pour débuter certains suivis ou faire des inventaires complémentaires. Ces nouvelles études et les protocoles développés sont présentés dans le préambule ci-dessous.

Dans les sections qui suivent ce préambule, le document présente les questions et commentaires (QC) touchant la qualité de l'air et le bruit. Ces QC ont le même format et la même numérotation que celles fournies par le MDDEFP. La réponse suit immédiatement la question ou le commentaire.

PRÉAMBULE

1. Erratum

Une erreur d'édition concernant la carte C-2 de l'annexe 3 (Volume 2 – Partie 1; GENIVAR, 2012) a été relevée. L'erreur concerne un déphasage d'environ 1 km entre le fond de carte (image satellite) et les éléments du milieu humain représentés. Cette carte rééditée est fournie à l'annexe 1.

2. Études complémentaires et suivis

2.1 Tortue mouchetée

En réponse à la QC-46 (GENIVAR, 2013), Royal Nickel Corporation (RNC) s'était engagée à réaliser un inventaire de tortue mouchetée dans les étangs à castor touchés par le projet Dumont. Les résultats préliminaires faisaient état d'aucune capture de tortue mouchetée lors de l'inventaire du printemps 2013.

« RNC s'est engagée à réaliser des inventaires de tortue au printemps 2013 dans les étangs à castors du ruisseau sans nom 1 déjà couverts en 2011, et à englober les tourbières susceptibles d'abriter la tortue mouchetée. Le protocole d'inventaire a préalablement été soumis et validé par le ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP) et le ministère des Ressources naturelles (MRN). Lors de cet inventaire réalisé en juin 2013, aucune tortue n'a été capturée (GENIVAR, 2013). »

À cette époque, le rapport final n'était pas disponible pour publication. Maintenant disponible, ce dernier est présenté à l'annexe 2.

2.2 Archéologie

En réponse à la QC-80 (GENIVAR, 2013), RNC avait répondu ce qui suit :

« RNC s'engage à effectuer un inventaire archéologique dans la zone de potentiel moyen (B) avant le début des travaux de construction du projet Dumont, et à poursuivre ces inventaires dans la zone à faible potentiel (C) advenant une découverte d'intérêt archéologique significative. Les travaux d'inventaire ont débuté le 16 juillet 2013. »

L'étude est disponible à l'annexe 3.

2.3 Suivi de la qualité de l'eau de surface (état de référence)

En réponse à la QC-42 (GENIVAR, 2013), RNC s'engageait à réaliser un état de référence conforme aux exigences du MDDEFP :

« Le suivi de la qualité de l'eau sera instauré sur une base annuelle à partir de l'été 2013, et il sera ajusté à la lumière des recommandations formulées, notamment en ce qui concerne les limites de détection analytique. Des méthodes dites « traces » seront employées pour mesurer plus précisément les concentrations en métaux et en phosphore. Il sera ainsi possible de cumuler au moins une année de données additionnelles à l'état de référence avant le début de la construction du complexe minier. »

Ainsi, un protocole d'échantillonnage a été développé. Ce dernier a été approuvé par le MDDEFP en octobre 2013. Le protocole est disponible à l'annexe 4. Le premier échantillonnage a été réalisé dans la semaine du 4 novembre 2013.

2.4 Analyse de risque sur la santé

Récemment, RNC a mandaté la firme Sanexen pour réaliser une analyse de risque sur la santé humaine en raison de la présence de chrysotile dans la roche du gisement. L'analyse est présentement en cours et la méthodologie utilisée est celle de l'Institut national de santé publique du Québec (INSPQ, 2010; annexe 5) : *Présence de fibres d'amiante dans l'air intérieur et extérieur de la ville de Thetford Mines : estimation des risques de cancer du poumon et de mésothéliome*.

2.5 Paysage

Dans l'ensemble, la réorganisation de l'organisation des infrastructures minières ne modifie pas l'impact visuel du projet pour les observateurs (annexe 6). C'est principalement le parc à résidus qui sera situé à proximité de Launay qui engendrera sensiblement le même impact visuel et qui sera ressenti par les observateurs mobiles le long de la route 111 et les résidents à proximité. L'aménagement des écrans visuels avec des plantations en bordure de la route 111 (plantations en 2011-2012) viendra masquer cet infrastructure lorsque les ligneux auront atteint une grandeur pouvant masquer les installations.

La digue de dérivation est également une nouvelle infrastructure qui sera visible depuis la route du 6e au 10e rang et pour les résidents de Launay, au nord de la route 111, mais qui pourra rapidement être végétalisé, ceci permettant de réduire les impacts visuels depuis la route et pour les observateurs fixes, en venant créer mesure de mitigation supplémentaire.

2.6 Carbonatation et chrysotile

Trois nouvelles études portant sur le processus de carbonatation (annexe 7) et la présence du chrysotile dans le gisement (annexe 8) ont été réalisées en 2013. Les deux premières études ont été réalisées par l'Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue alors que la troisième a été réalisée par RNC. Cette dernière présente une méthodologie pour évaluer la teneur en chrysotile dans les roches du projet Dumont.

1. QUESTIONS ET COMMENTAIRES

QC – 22 **Section 5.5.6 Station de concassage pour les granulats**
Confirmer que la station de concassage pour les granulats sera munie d'un équipement d'épuration et que les émissions provenant de cette station de concassage ont été considérées dans la modélisation de la dispersion atmosphérique des particules dans l'air.

Réponse :

La station de concassage pour les granulats a été considérée dans la modélisation initiale de la dispersion atmosphérique (volume 3, annexe 22, GENIVAR, 2012) et a également été prise en compte dans la mise à jour de cette étude qui sera déposée au ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP) avant la fin de 2013 (GENIVAR, en préparation). Par contre, aucun équipement d'épuration n'est prévu pour cet équipement. En effet, la production maximale prévue de granulats est de l'ordre de 2 Mt, ce qui correspond à un taux d'émission de particules totales de l'ordre de 2E-01 g/s selon un taux d'alimentation d'environ 275 t/h. Or, bien que ce taux ne soit pas négligeable, la position ultime plutôt centrale de la station (près des concasseurs primaires) diminue grandement l'impact de cette source à la limite d'application du Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère (RAA; RRQ, c.Q-2, r.4.1).

QC – 53 **Section 7.5.1 Qualité de l'air - les poussières**
L'étude stipule que « l'impact des poussières générées par les camions à la sortie du site est marginal. L'impact sur la route 111 n'a pas été analysé étant donné que cette zone est à l'extérieur du site minier » (p. 7-7). Sur quoi est appuyée cette affirmation que l'impact des poussières par les camions à la sortie du site est marginal, compte tenu du fait que l'impact sur la route 111 n'a pas été analysé?
Par ailleurs, la Directive émise précise en page 8 que la zone d'étude des impacts « doit être suffisante pour couvrir l'ensemble des activités projetées incluant, si possible, les autres éléments nécessaires à la réalisation du projet (par exemple, les routes d'accès, les bancs d'emprunt, les zones de dépôt de déblais, la circulation et les développements induits, les installations portuaires, les chemins de fer, etc.) et pour circonscrire l'ensemble des effets directs et indirects du projet sur les milieux biophysique et humain ».
Enfin, quel est l'impact des poussières générées par le transport ferroviaire?

Réponse :

L'impact des émissions atmosphériques provenant de la circulation des camions sur la route 111 n'a pas été évalué dans le cadre de la modélisation de la dispersion atmosphérique (volume 3 – annexe 22, GENIVAR, 2012). En effet, seulement les sources situées à l'intérieur de la limite d'application du RAA ont été considérées. Par contre, les émissions sur le site de la mine provenant des camions utilisés pour l'expédition du concentré, ainsi que ceux pour l'approvisionnement, ont été ajoutées dans la mise à jour de la modélisation (GENIVAR, en préparation). De plus, les locomotives servant au transport du concentré ont également été ajoutées, et ce, selon le scénario qui considère que le concentré est exporté de l'usine par camion et par train, à parts égales. Les taux d'émissions ont été déterminés selon les hypothèses des nouvelles simulations de la circulation routière présentées à la réponse de QC-10 (Volume 1, GENIVAR, 2013) de la première série de questions du MDDEFP.

QC – 54 **Section 7.5.1 Qualité de l'air - le chrysotile**

L'étude mentionne que « RNC n'a pas fait d'analyse de risque à la santé associée à la présence de chrysotile dans les soulèvements de poussières. Par contre, des mesures d'atténuation sont prévues pour limiter le soulèvement de poussières de manière générale et des mesures particulières au chrysotile les complètent » (p.7-7). Préciser les raisons justifiant qu'une analyse de risque ne soit pas nécessaire.

Il est mentionné comme mesure d'atténuation « AIR8 : Autour des concasseurs primaires, installer des systèmes de dépoussiérage pour capter les poussières et les fibres, s'il y a lieu » (p. 7-7). Tandis qu'à la page 7-14, l'étude stipule que « pour certaines opérations plus à risque d'émettre des fibres de chrysotile dans l'air, comme le concassage primaire et le forage, des dispositifs de dépoussiérage seront installés sur les équipements ». Pourquoi cette mesure est-elle écrite de façon hypothétique comme mesure d'atténuation et qu'elle est détaillée comme une mesure qui sera réalisée à la page 7-14? Préciser si, oui ou non, des dépoussiéreurs seront installés autour des concasseurs primaires.

Par ailleurs comme il est mentionné que l'exploitation de la mine pourra entraîner l'émission de fibres de chrysotile dans l'air. L'impact de ces émissions sur la qualité de l'air doit faire l'objet d'une analyse détaillée et des mesures de mitigation doivent être considérées pour diminuer au maximum les concentrations de fibres de chrysotile dans l'air ambiant.

Réponse :

Une analyse de risque à la santé associée à la présence de chrysotile est présentement en cours de réalisation. Cette analyse est basée sur les résultats de la mise à jour de la modélisation de la dispersion atmosphérique (GENIVAR, en préparation).

Des dépoussiéreurs seront installés autour des concasseurs primaires. Ces dépoussiéreurs étaient déjà inclus dans la modélisation initiale (sources ponctuelles 1CONCAS et 2CONCAS). Or, le « s'il y a lieu » dans la mesure d'atténuation AIR8 s'applique plutôt aux émissions de fibres. Les récentes études réalisées par RNC (annexe 8) révèlent que le minerai affiche une concentration en chrysotile de l'ordre de 2 % (Royal Nickel Corp., 2013). Pour cette raison, des dépoussiéreurs seront mis en place pour tenir compte des poussières et du chrysotile.

Finalement, prendre note que l'analyse de risque à la santé permettra de déterminer si le taux de chrysotile dans le gisement pause un réel risque à la santé et si des mesures d'atténuation supplémentaires seront nécessaires.

QC – 55 **Section 7.5.1 Qualité de l'air - le dioxyde d'azote et le dioxyde de soufre**

Il est fait aussi mention que « RNC prévoit comme mesures d'atténuation […] AIR11 : Réaliser une étude de dispersion atmosphérique pour modéliser les concentrations de dioxyde d'azote (NO_2) dans l'air ambiant lors de sautages en conditions particulières. Cette étude, qui devra être complétée avant les premiers sautages, permettra d'évaluer les risques d'exposition des populations avoisinantes et d'orienter la conception des prochaines versions du plan de mesures d'urgences qui pourraient prévoir notamment des mesures préventives » (p. 7 7).

Cette modélisation du NO_2 doit faire partie intégrante de l'étude d'impact pour permettre de juger de l'acceptabilité du projet. De plus, une modélisation des émissions de dioxyde de soufre (SO_2) doit aussi être réalisée. Ces modélisations pour les NOx et les SO_2 devront prendre en compte l'ensemble des sources de la mine durant les phases de construction et d'exploitation, y compris les émissions provenant de la machinerie lourde.

Est-il prévu d'installer des détecteurs mobiles de dioxyde d'azote directement dans la fosse durant les sautages afin de valider les résultats de l'étude de dispersion et de s'ajuster, le cas échéant?

L'étude stipule que « les sautages dans la fosse représentent un risque de formation de dioxyde d'azote à des concentrations susceptibles d'affecter la santé » (p. 7-10). On peut y lire aussi à la

page 7 225 « qu'un seul impact est qualifié de forte importance, et d'important selon la Loi canadienne d'évaluation environnementale, soit le risque de formation de dioxyde d'azote à des concentrations susceptibles d'affecter la santé. Cet impact est jugé préoccupant en raison de la proximité de certains résidents de Launay et de Villemontel et de l'envergure des activités de sautages pour l'extraction du minerai de la fosse. »
En dépit du fait qu'un risque a été identifié, les mesures préventives qui seraient mises de l'avant en lien avec ce dernier sont décrites dans le plan de mesure d'urgence (annexe 20) et dans les mesures d'atténuation (AIR11) comme une potentialité. Préciser les raisons permettant de statuer que des mesures préventives ne sont pas nécessaires pour ce risque.

Réponse :

Les sources d'émission de dioxyde d'azotes (NO_2), monoxyde de carbone (CO) et de dioxyde de soufre (SO_2) sont prises en compte lors des mises à jour de la modélisation de la dispersion atmosphérique (GENIVAR, en préparation).

Concernant la présence de détecteurs mobiles de dioxyde d'azote, la mesure d'atténuation AIR10 décrite aux sections *7.5.1.1 Construction/préproduction et 7.5.1.2 Exploitation* (GENIVAR, 2012) mentionne clairement l'installation de détecteurs en périphérie de la fosse afin de mesurer en temps réel les concentrations d'oxyde d'azote lors des sautages.

Concernant les mesures pour prévenir les risques de concentration élevée de NO_2 pour la population avoisinante, il faut préciser que ce risque est toujours hypothétique, à ce stade-ci, puisque des modélisations d'émission lors de sautage déficient avec des scénarios réalistes seront réalisées avant le début des opérations afin de délimiter, s'il y a lieu, les secteurs à risques potentiels. Ces modélisations, qui ne peuvent pas pour le moment être effectuées avec précision puisque les détails techniques des sautages (fournisseur des explosifs, type de détonateur, etc.) ne sont pas encore définitifs, permettront de préciser les mesures de surveillance à mettre en place.

Finalement, il est important de mentionner que la mesure d'atténuation AIR11 a été revue pour y inclure l'élaboration et la mise en œuvre d'un plan de gestion des sautages, si les résultats de la modélisation lors de sautage déficient montrent une exposition potentiellement dangereuse pour la santé pour des résidents de Launay ou de Trécesson. Par conséquent, considérant la modification à cette mesure, l'impact lié au risque de formation de NO_2 à des concentrations susceptibles d'affecter la santé est maintenant jugé moyen.

QC – 56 Section 7.5.1.1 Construction/préproduction - Mesures d'atténuation

La mesure d'atténuation « AIR2 » indique « Pour minimiser le soulèvement de poussières durant les travaux de décapage ou de nivellement, arroser les sols asséchés, au besoin, afin de maintenir la surface humide » (p. 7-8). Doit-on comprendre qu'il est prévu d'attendre que les sols soient asséchés avant de les arroser?

Par ailleurs, lorsqu'il y aura utilisation de produits pour abattre la poussière le RNC doit s'engager à utiliser les produits certifiés conformes par le BNQ à la norme NQ 2410 300.

« Abat-poussières pour routes non asphaltées et autres surfaces similaires ». La mesure d'atténuation « AIR13 » prévoit: « Analyser périodiquement les concentrations en silts sur les routes pour renseigner sur les besoins d'entretien. L'entretien des surfaces de roulement sera très rigoureux pour maintenir de très faibles concentrations de particules de fin diamètre » (p. 7-9). Préciser la signification donnée à « périodiquement ».

Réponse :

L'assèchement des sols est propice au soulèvement de poussières durant les différentes opérations sur le site minier. Afin de limiter ce soulèvement, l'arrosage des sols à l'aide d'eau ou de traitements chimiques est proposé comme mesure d'atténuation puisque ceux-ci humidifient les surfaces problématiques et limitent ainsi les émissions de poussières. Cette mesure sera utilisée et mise en place aussitôt que les conditions météorologiques favorisent le soulèvement des poussières. Par exemple, en présence de pluie, il n'est pas nécessaire d'arroser les sols. À ce sujet, prendre note que RNC élabora un plan de gestion des poussières. Ce document résumera point par point toutes les actions qui seront mises en application pour la gestion de chaque opération sur le site minier. Les mesures prévues dans le plan de gestion seront étroitement associées aux concentrations des poussières mesurées en temps réel à différents endroits sur le site minier et en périphérie de celui-ci.

En ce qui a trait à la certification des abat-poussières, RNC s'engage à utiliser des produits certifiés conformes par le Bureau de normalisation du Québec (BNQ) à la norme NQ 2410-300.

Finalement, pour les fréquences d'analyse des concentrations en silt sur les routes de halage, la United States Environmental Protection Agency (US EPA) (Section 13.2.2, AP-42) propose une mesure réalisée trois à six mois après la construction ou l'entretien de la route pour avoir une mesure représentative de sa teneur en silt.

Or, comme l'ajout de granulats sur les routes est prévu deux fois par année (Ausenco, 2013), le programme de prévention devra donc tenir compte de cette fréquence. De plus, des mesures avant et après l'entretien devraient être comparées de manière à juger de l'efficacité de l'entretien. Dans ce contexte, l'analyse des concentrations en silt sera minimalement effectuée tous les six mois. Par contre, il est important de noter que cette fréquence de contrôle devra être modifiée en fonction de la variabilité des mesures obtenues.

QC – 57 Section 7.5.1.1 Construction/préproduction - Émissions de contaminants et de gaz à effet de serre

L'étude stipule que « les émissions gazeuses sont inhérentes à l'utilisation de combustibles fossiles. Ainsi, pendant la phase de construction/préproduction, le transport routier et l'utilisation de machinerie lourde entraîneront l'émission d'un certain nombre de contaminants atmosphériques, dont des oxydes d'azote (NOx), du dioxyde de soufre (SO_2), des hydrocarbures, du monoxyde de carbone (CO), des composés organiques volatils (COV) » (p. 7-9). Présenter une estimation quantitative de la génération de ces polluants pour les différents scénarios étudiés à l'Annexe 7 : Note technique sur la circulation routière du Volume 2 –partie 1 de l'étude d'impact.

Réponse :

Les sources d'émission de dioxyde d'azotes (NO_2), monoxyde de carbone (CO) et de dioxyde de soufre (SO_2) sont prises en compte lors des mises à jour de la modélisation de la dispersion atmosphérique (GENIVAR, en préparation).

La modélisation des COV émis par les gaz d'échappement de la machinerie sera réalisée par l'intermédiaire d'une modélisation des hydrocarbures totaux (THC : Total Hydrocarbons). En effet, les modèles fournis par l'US EPA (2010) permettent de calculer des taux d'émission pour les THC directement puis, à l'aide de facteurs de correction, en déduire les taux pour les COV. À noter que selon l'US EPA, certains hydrocarbures sont moins créateurs d'ozone que d'autres. L'US EPA les a officiellement exclus du groupe des COV. Cette définition des COV exclut le méthane, l'éthane, l'acétone ainsi que tous les composés qui ne sont pas fréquemment rencontrés dans les gaz d'échappement tels que les hydrocarbures chlorés.

QC – 58 Section 7.5.1.2 Exploitation – Mesures d'atténuation

La mesure d'atténuation « AIR3 » indique « Pour limiter la dispersion de poussières sur les routes non pavées, les arroser avec de l'eau et des abats-poussières » (p. 7-11). Préciser les conditions de réalisation de cet arrosage, par exemple, quand et comment?

Réponse :

L'arrosage des routes non pavées s'effectue à l'aide de camions spécialisés dans l'application d'eau ou d'abat-poussière. Ce type de machinerie possède des contrôleurs assurant un épandage au taux d'application prévu, et ce, sur une largeur prédéterminée. L'arrosage sera effectué lorsque les conditions météorologiques seront favorables au soulèvement des poussières (voir réponse à la question QC-56). Les quantités d'eau ainsi que les fréquences d'application dépendent du taux d'atténuation à atteindre. La réponse QC-59 présente un exemple d'évaluation des besoins en arrosage d'eau pour atteindre une atténuation de l'ordre de 95 % des émissions de poussière sur routes non pavées.

QC – 59 Section 7.5.1.2 Exploitation - Description détaillée de l'impact résiduel

Augmentation des poussières dans l'air

« Un facteur d'émission de 0,05 a été appliqué aux sources volumiques du routage afin de prendre en considération une réduction des poussières émises de l'ordre de 95 % » (p. 7-12) en raison de l'arrosage régulier des routes. La référence concernant ce taux de réduction doit être fournie ainsi que la fréquence d'arrosage requise pour obtenir un tel taux.

Réponse :

L'atténuation des émissions attribuable à l'arrosage dépend de plusieurs facteurs, comme la quantité d'eau appliquée sur la route par unité de surface, le temps entre les arrosages, l'intensité du trafic et les conditions météorologiques pendant cette période. Or, la performance de l'arrosage comme méthode d'atténuation des émissions peut être estimée par la règle empirique suivante (Cowherd et coll., 1988) :

$$C = 100 - \frac{0{,}8\ p\ d\ t}{i} \qquad (59\text{-}1)$$

Où

C = efficacité moyenne du contrôle (%)

p = taux d'évaporation moyen potentiel par heure de jour (mm/h)

d = trafic moyen par heure de jour (h-1)

t = temps entre les arrosages (h)

i = intensité de l'arrosage (L/m^2)

Le taux d'évaporation moyen potentiel par heure de jour peut être estimé à partir de l'équation suivante pour des conditions annuelles (Cowherd et coll., 1988) :

$$p = 1{,}93 \times 10^{-4} \times (\text{pan évaporation annuel moyen en mm})$$

Ainsi que pour des conditions estivales :

$$p = 2{,}56 \times 10^{-4} \times (\text{pan évaporation annuel moyen en mm})$$

La carte 17. Mean Annual Lake Evaporation de l'atlas hydrologique du Canada indique un taux d'évaporation moyen des lacs d'environ 475 mm par an dans la région du projet Dumont. De plus, un rapport de 0,7 est normalement considéré pour relier l'évaporation moyenne des lacs et l'évaporation de pan (US UPA, 2007). On obtient donc, pour les conditions estivales :

$$p = 2{,}56 \times 10^{-4} \times (475 \text{ mm} / 0{,}7) = 0{,}174 \text{ mm/h}$$

De façon alternative, l'évaporation moyenne annuelle des lacs à Amos de 1968 à 1994 fournie par Environnement Canada est de 537,6mm. On obtient alors, pour les conditions estivales :

$$p = 2{,}56 \times 10^{-4} \times (537{,}6 \text{ mm} / 0{,}7) = 0{,}197 \text{ mm/h}$$

Un taux d'évaporation moyen potentiel par heure du jour de 0,2 mm/h a donc été utilisé. Ainsi, à l'aide de l'équation 59-1, l'optimisation du patron d'arrosage pour chaque segment de route permet d'obtenir une atténuation supérieure à 95 % sur l'ensemble du site minier. Pour le scénario de l'année 6, l'intensité des arrosages nécessaires est donnée au tableau 59-1.

Tableau 59-1 Exemple de patron d'arrosage pour un taux d'atténuation total de 95 % (scénario - An 6 de l'exploitation).

Segment	Nbr. de déplacements par jour	Longueur du segment (m)	Surface du segment arrosée (m^2)	Taux PMT (non atténué)	Intensité de l'arrosage (l/m^2h)	Efficacité du contrôle (%)	Taux PMT (atténué)
C	615	304	8 205	10,8	0,88	95,3	0,506
FS1	-	2 198	59 339	-	-	-	-
FN1	929	2 348	63 402	125,9	1,25	95,0	6,237
FN2	30	3 803	102 672	6,7	0,04	95,1	0,323
FN3	1 153	1 704	46 004	113,4	1,50	94,9	5,812
FN4	234	1 617	43 650	21,9	0,31	95,0	1,093
LG1	217	922	24 899	11,6	0,31	95,4	0,537
LG1a	217	679	18 342	8,5	0,31	95,4	0,396
LG1b	109	468	12 637	2,9	0,15	95,2	0,142
LG1c	109	827	22 319	5,2	0,15	95,2	0,251
LG2	288	1 121	30 260	18,6	0,38	94,9	0,956
OBa	207	410	11 062	5,7	0,29	95,3	0,268
OBb	207	447	12 057	6,2	0,29	95,3	0,292
OBc	236	470	12 701	7,8	0,31	95,0	0,392
OBd	236	447	12 060	7,4	0,31	95,0	0,372
OBe	29	332	8 960	0,9	0,04	95,4	0,040
OB1a	413	634	17 121	17,6	0,50	94,5	0,968
OB1b	413	619	16 705	17,1	0,50	94,5	0,944
OB1	826	1 432	38 672	79,4	1,25	95,6	3,498
OB2	87	710	19 171	5,6	0,13	95,4	0,258
Obwr	141	114	3 078	0,8	0,21	95,5	0,037
OP0	9	1 299	35 072	0,6	0,01	95,4	0,029
OP1	1 116	168	4 546	10,8	1,50	95,0	0,538
OP2	597	1 024	27 648	35,3	0,75	94,7	1,871
OP3	379	812	21 914	17,8	0,50	94,9	0,899
OP4	469	133	3 597	3,6	0,63	95,0	0,180
OP5	223	513	13 852	6,6	0,33	95,5	0,293
OP6	223	867	23 397	11,1	0,33	95,5	0,495
OP7	-	657	17 734	-	-	-	-
OP8	-	843	22 774	-	-	-	-
OP9	149	834	22 513	6,5	0,21	95,2	0,309
OP10	259	464	12 523	6,6	0,33	94,8	0,339
OP11	230	422	11 404	5,4	0,33	95,4	0,247
OP12	167	283	7 641	2,6	0,25	95,5	0,115
OP13	345	528	14 263	8,2	0,50	95,4	0,377
OP14	523	619	16 704	13,3	0,75	95,4	0,620
OP15	729	456	12 305	13,2	1,00	95,1	0,642
T1	253	965	26 047	14,1	0,33	94,9	0,712
T1a	126	2 684	72 475	19,6	0,17	94,9	0,991
T1b	126	2 480	66 954	18,1	0,17	94,9	0,915
WR1	1 226	675	18 212	47,7	1,50	94,6	2,599
WR1a	1 226	705	19 036	49,9	1,50	94,6	2,717
WR1b	613	1 264	34 116	44,7	0,88	95,3	2,087
WR1c	613	768	20 727	27,1	0,88	95,3	1,268
WR1d	613	591	15 944	20,9	0,88	95,3	0,975
WR2a	62	989	26 715	3,6	0,08	95,0	0,178
WR2b	54	1 044	28 200	3,2	0,08	95,7	0,140
RDS	-	1 672	45 155	-	-	-	-

QC – 62 Section 7.5.2 Ambiance sonore
Pourquoi les simulations sur le bruit considèrent seulement l'évaluation du bruit ambiant et ne considèrent pas l'évaluation des élévations de bruit ponctuelles « peaks »? Conformément à la Directive (p. 21) documenter et discuter l'impact de la bretelle et du transport ferroviaire sur le climat sonore.

Réponse :

La page 21 de la Directive, ou de la note d'instructions 98-01, élabore des stratégies de prise de mesures en fonction du type de bruit à mesurer. Ces stratégies font la mention de l'indice acoustique $L_{Ar,T}$ utilisé à l'intérieur de la note. Cet indice utilise, parmi d'autres proposés, une pondération sur la moyenne sonore horaire pour 'pénaliser' les bruits ponctuels ou bruit d'impacts (K_I).

Cette pondération peut être évaluée à partir des mesures sonores maximales en mode rapide ($L_{AF\ Max}$). La moyenne des niveaux sonores $L_{AF\ Max}$ pour chaque 5 secondes de mesure est comparée à la moyenne de bruit horaire de l'heure de référence. Si la différence entre les deux valeurs est plus importante que 2, une pénalité est applicable.

Cette méthode de calcul fonctionne cependant uniquement s'il y a absence de bruits ponctuels avant l'implantation de la source de bruit fixe ou qu'il y a moyen de discriminer chaque bruit ponctuel ne provenant pas de la mine en présence d'une autre source de bruit ponctuel. Or, dans le cas du projet Dumont, il y a déjà présence de sources de bruits ponctuels à chacune des résidences : la route 111 ainsi que la faune. La route 111 est la source prédominante de bruit ponctuel en raison de nombreux passages de véhicules. En fait, le critère de bruit d'impact (K_I), tel que décrit à l'intérieur de la note, est déjà excédé avant même l'implantation du projet à plusieurs résidences. Le même problème survient avec le bruit de la faune (oiseaux) en début de journée. Pour cette raison, l'indice de pondération n'est pas applicable, d'un point de vue pratique, pour le projet Dumont.

Cela dit, il est possible d'estimer quelles seront les sources de bruit d'impact du projet Dumont et de tenter de prévenir les bruits ponctuels en provenance de ceux-ci. Plusieurs équipements mécaniques susceptibles de générer des bruits d'impacts seront utilisés:

- marteaux piqueurs;
- foreuses;
- camions avec bennes;
- explosifs.

Selon la définition d'un bruit d'impact, une source de bruit qui produit plus d'un impact par seconde n'est pas catégorisée comme une source de bruit d'impact. Donc, si l'on choisit un modèle de marteau piqueur ou de foreuse qui produit des impacts à une fréquence de plus de 1 Hz, ces sources sonores sont considérées comme une source de bruit fluctuante. La sélection des équipements utilisés pour le projet Dumont respecte cette condition (équipement à haute fréquence d'impact).

De plus, les simulations de propagation sonore indiquent que les niveaux sonores de certaines foreuses (topographiques) nécessitent une insonorisation de leur marteau pour assurer le respect des normes. Il en est de même pour le marteau piqueur du concasseur primaire qui devrait être composé d'un corps d'acier usiné et non de plaques soudées. Ces recommandations réduiront la contribution sonore des opérations de forage et de concassage tout en réduisant la fluctuation sonore de ces sources.

Pour les camions, plusieurs recommandations devront être appliquées :

- programme de sensibilisation des opérateurs de machinerie afin d'éviter les claquements de bennes, la chute d'objets d'une hauteur élevée et l'optimisation des méthodes de travail;
- utilisation d'alarmes de recul à bruit blanc pour réduire l'audibilité du recul des équipements mobiles à l'extérieur du site minier;
- installation de benne en caoutchouc pour l'ensemble des camions hors route afin de réduire les bruits de chute de roc à l'intérieur des camions.

Pour les explosifs, plusieurs facteurs prévus au programme d'exploitation du projet Dumont atténuent leur impact sur les niveaux sonores :

- utilisation d'une séquence de tir qui permet de réduire de manière importante les bruits d'impact du dynamitage. Le bruit ponctuel généré par une série de détonations de plusieurs trous de forage sera beaucoup moins important que l'explosion simultanée des trous de forage;
- chaque trou de forage sera muni d'un collet de concassé qui confinera l'énergie de détonation à l'intérieur des trous de forage pour réduire les surpressions d'air relié au dynamitage;
- Les explosifs industriels produisent une énergie de détonation se trouvant majoritairement entre 2 Hz et 200 Hz. Ces fréquences sont à la limite de la plage d'audibilité de l'oreille ou sous celle-ci (le seuil d'audibilité fréquentiel de l'oreille humaine se trouve à environ 20 Hz).

L'application de l'ensemble de ces recommandations fait en sorte que, tel que constater pour plusieurs autres projets miniers, les bruits d'impacts ne seront pas suffisamment importants pour se voir attribuer une pondération supplémentaire, tel qu'exprimé à l'intérieur de la note d'instructions 98-01.

Au sujet de l'impact sonore de la bretelle et du transport ferroviaire, le chemin de fer traverse les municipalités de Launay et de Villemontel, en plus de longer partiellement la route 111. L'ensemble des résidences qui pourraient donc être affectées par le projet Dumont est déjà influencé par les activités ferroviaires du CN, pour une fréquence de trois services par semaine. Ces trains ne passent que les jours de semaine et utilisent un sifflet pour avertir de leur arrivée aux passages à niveau.

Les activités du CN comprennent de trois à six services par semaine sur la voie ferrée passant au sud du projet Dumont. Ces trains circulent de semaine uniquement. Les activités de RNC ajouteraient deux passages de train au bilan actuel, trois fois par semaine lorsque le nombre de services requis sera de six. Dans le cas où le projet Dumont pourrait être desservi par trois services par semaine, ce qui est probable pendant les premières années d'exploitation, le nombre de trains passant par Villemontel et Launay demeurerait le même qu'actuellement. Quotidiennement, une seule journée par semaine pourrait voir son nombre maximal de passages de train passer de 2 à 4, les autres journées de la semaine étant limitées à un service, soit un passage dans les deux directions.

Les modélisations ont inclus le bruit ferroviaire associé à un train circulant quotidiennement sur la bretelle pénétrant sur le site minier. Les deux courbes du chemin de fer génèreront 10 dBA de plus que les sections droites du chemin de fer existant en raison du grincement des roues des wagons.

Sur une base horaire (note d'instructions 98-01), l'impact serait considéré comme nul, car il est certain que les trains du projet Dumont n'emprunteront pas la voie ferrée durant la même heure que les convois utilisant actuellement l'infrastructure linéaire existante. Sur une base quotidienne (moyenne de 24 h), la contribution sonore des trains du projet Dumont est estimée à faiblement perceptible pour Villemontel (+3 dBA) lors de la journée de la semaine nécessitant deux passages de trains supplémentaires.

QC – 74 **Section 7.7 Évaluation des impacts sur le milieu humain**
L'étude identifie des impacts négatifs potentiels liés notamment au bruit, vibration, risque d'émission de NO2 et baisse du niveau d'eau de leur puits, pour des résidents à proximité dont quelques-uns sont situés à moins de 1 km. Par ailleurs, dans le schéma d'aménagement et de développement révisé (SADR), il est spécifié que les grandes orientations d'aménagement de la MRC doivent « minimiser les impacts des activités minières sur les secteurs environnants, et à cette fin, assurer des distances suffisantes entre les activités minières et les autres activités » (p. 6-127). Le document complémentaire prohibe des constructions, dont les habitations à moins de 1 km des parcs à résidus miniers en exploitation. Dans ce contexte, localiser sur une même carte les résidences potentiellement affectées, les distances séparatrices, et les aires de ces différents impacts afin de permettre une vue d'ensemble et de mieux planifier la cohabitation harmonieuse des différents usagers résidentiels et industriels.

Réponse :

La carte 74-1 présente le bilan des impacts négatifs potentiels liés au bruit (année 1 avec atténuation), à l'émission de NO_2 (année 10 avec atténuation) et à la baisse du niveau de la nappe phréatique.

L'année représentée pour l'impact du bruit, après atténuation, est la première année d'exploitation du projet Dumont.

En ce qui concerne les vibrations transitoires, les limites de vibration sont les suivantes :

- Imperceptibles : Moins de 1,5 mm/s.
- Perceptibles : Plus de 5 mm/s.
- Très perceptibles : Plus de 10 mm/s.
- Dérangeantes : Plus de 25 mm/s.

Les périmètres à considérer pour le confort vibratoire à l'extérieur d'un bâtiment pour une charge explosive de 1 000 kg :

- Imperceptible : 2 000 m.
- Perceptible : 950 m.
- Très perceptible : 600 m.
- Dérangeant : 350 m.

Donc, à Launay et Villemontel, qui se trouvent respectivement à 5 400 m et 3 700 m de la fosse, les vibrations lors d'un sautage avec 1 000 kg de charge explosive seront imperceptibles.

La courbe fournie pour l'émission de NO_2 représente l'isocontour de la norme du RAA pour le NO_2 sur une période d'une heure, soit une contribution du projet de 374 µg/m^3 avec une concentration initiale de 40 µg/m^3. Les valeurs présentées correspondent quant à elles aux concentrations maximales pour les cinq années météorologiques modélisées, et ce, pour le scénario de l'année 10 considérant des sautages effectués avec des explosifs 100 % émulsion. Il faut par contre mentionner que les résultats de modélisations proviennent d'une étude servant à déterminer l'impact des activités minières relativement aux normes de la qualité de l'air du RAA. Or, ces normes sont basées sur des périodes d'exposition d'au minimum une heure pour le NO_2, alors qu'une évaluation des taux d'expositions aiguës pour l'analyse des conséquences sur la santé devrait se faire sur des périodes plus courtes, de l'ordre de quelques minutes. À ce sujet, voir la réponse à la QC-55 concernant les modélisations d'émission lors d'un sautage déficient.

Le rabattement de la nappe phréatique illustré sur la carte correspond à une prédiction de rabattement de 1 m à la fin des activités d'extraction du minerai.

Il est à noter que l'interdiction de construction inscrite au document complémentaire du SADR concerne uniquement les nouvelles constructions (habitation, bâtiment institutionnel, parc ou plage publique, site récréotouristique et puits ou source servant à l'alimentation humaine de plus de 20 personnes par un réseau d'aqueduc) dans un rayon de 1km autour d'un parc à résidus en exploitation.

78°30'0"
78°25'0"
48°40'0"
Dépôts d'explosifs / Explosives Magazines
Usine d'émulsion / Emulsion Plant
Lac Doyon
Halde de roches stériles n° 1 / Waste Rock Stockpile n° 1
Halde de minerai de basse teneur n° 1 / Low Grade Ore Stockpile n° 1
Halde de minerai de basse teneurn° 2 / Low Grade Ore Stockpile n° 2
Parc à résidus Cellule 2 / Tailings Storage Facility Cell 2
Complexe industriel / Industrial Complex
ruisseau sans nom 1
Branche est du
Lac à la Savane
Ruisseau Boisvert
Halde de dépôts meubles n° 1 / Overburden Stockpile n° 1
Fosse / Pit
Halde de dépôts meubles n° 2 / Overburden Stockpile n° 2
Digue de sécurité / Diversion Dyke
Vers / To La Sarre
Parc à résidus Cellule 1 / Tailings Storage Facility Cell 1
Ruisseau Paré
Launay
Canadien National
Lac Gauthier
Usine de traitement des eaux / Wastewater Treatment Plant
Rivière Villemontel
Villemontel
111
50
100
150
200
250

Niveaux sonores dB(A) / Noise Levels dB(A)*

40	55
43	58
46	61
49	64
52	Récepteur sensible / Sensitive Receptor

** Début de l'année 1 d'exploitation avec mesures d'atténuation / Beginning of Year 1 of Operation with Mitigation Measures*

Rabattement / Drawdown

Extension du rabattement de 1 m de la nappe phréatique / Groundwater Drawdown of 1 m Extent

50 Courbe de rabattement (m) / Drawdown Contour (m)

Limites vibratoires / Vibration Boundaries

	Distance (m)
Imperceptible / Unnoticeable	2 000
Perceptibles / Noticeable	950
Très perceptible / Very Noticeable	600
Dérangeant / Bothersome	350

Dioxyde d'azote / Nitrogen Dioxide**

Norme RAA - NO_2 1-heure / CAR standard - NO_2 1-hour (374 µg/m^3)

*** Début de l'année 10 d'exploitation / Beginning of Year 10 of Operation*

Composantes du projet / Project Components

Infrastructure minière / Mining Infrastructure

Route / Road

Voie ferrée / Railway

Infrastructures / Infrastructure

111 Route principale / Main Road

Route secondaire / Secondary Road

Voie ferrée / Railway

Limites / Boundaries

Zone d'étude locale / Local Study Area

Ligne de partage des eaux / Watershed

Distance séparatrice de 1 km (SADR, document complémentaire) / 1-km buffer (SADR Complementary Document)

RNC PROJET DUMONT

Projet Dumont – Étude d'impact sur l'environnement et le milieu social Réponses aux questions et commentaires du MDDEFP vol. 2 / Dumont Project – Environmental and Social Impact Assessment Answers to Questions and Comments from the MDDEFP Vol. 2

Carte 74-1 / Map 74-1

Impacts négatifs potentiels liés au bruit, aux vibrations, à l'émission de NO_2 et à la baisse du niveau de la nappe phréatique / Potential Negative Impacts related to Noise, Vibrations, NO_2 Emissions and the Drop in the Water Table

0 440 880 m

UTM, fuseau 17 / Zone 17, NAD83

Sources :

BDTQ, 1 : 20 000, MRNF Québec, 2006
Infrastructure: 2280-0000-G-101 Rev E Final 13.06.14.dwg
CAD : DXF_Corr_Modif_2_Octobre_2013.zip
Rabattement / Drawdown: SRK, 2012
Fichier / File: 111_15275_RQ_c74_1_Lim_vibration_131108.mxd

Novembre / November 2013

111-15275-00

GENIVAR

QC – 95 **Section 9.3.4 Suivi de la qualité de l'air - Suivi des poussières**
De plus, l'étude mentionne qu'il y aura un suivi de la qualité de l'air (p. 9-14), sans toutefois mentionner si des échantillonnages à la source sont prévus pour les points d'émission. Des précisions sont à fournir.

Réponse :

Les points d'émissions ponctuels seront échantillonnés après la mise en exploitation du projet Dumont afin de valider les normes d'émission à la source. Ces points d'émission, ainsi que les détails du suivi (localisation, paramètres, fréquences, etc.), seront inclus dans le programme de suivi de la qualité de l'air et des poussières qui sera élaboré après l'obtention du décret gouvernemental puis soumis au MDDEFP pour approbation et commentaires selon le délai prescrit.

QC – 96 **Section 9.3.5 Suivi de l'exposition au chrysotile**
L'étude dénombre un total de 21 résidences à une distance inférieure à 2 km de la fosse, dont 10 à moins de 1 km. Le programme de suivi de l'exposition au chrysotile, comprenant l'échantillonnage de l'air ambiant, devrait également s'étendre aux résidences potentiellement affectées par les activités à la fosse (forage, dynamitage, chargement et transport). L'étude mentionne que les résultats du suivi concernant l'exposition au chrysotile seront inclus dans les rapports annuels de suivi et déposés au MDDEFP (p. 9-15). Considérant les risques associés à l'exposition de ce contaminant, les résultats doivent être transmis au MDDEFP selon une fréquence mensuelle.

Réponse :

Le suivi de l'exposition au chrysotile aux premières résidences sera ajusté selon les conclusions de l'étude de risque à la santé actuellement en cours. Par contre, s'il s'avère que les risques sont faibles, RNC réitérera son engagement d'effectuer le suivi sur une base annuelle et non sur une base mensuelle.

QC – 97 Section 9.3.6 Suivi du bruit

Pour un projet d'une telle ampleur, et considérant la fréquence des sautages, le volume de roches impliqué (1 Mt/sautage) et la présence de plusieurs résidences à moins de 1 km de la fosse, le fait de réaliser des relevés sonores 4 fois par année est inapproprié. Le programme de suivi doit être plus étoffé, aussi bien en période de construction que d'exploitation. Un suivi en continu des niveaux sonores aussi bien en période de construction que d'exploitation doit être mis en place.

Réponse :

Il importe d'abord de préciser que le volume de roche impliqué par sautage mentionné dans la question est un volume maximal qui se produira seulement à partir de l'an 6.

Une version préliminaire du programme de suivi du bruit lors de la mise en œuvre du projet Dumont est présentée à l'annexe 9. Ce suivi sera intégré dans le programme complet de suivi environnemental du projet Dumont et sera soumis à nouveau au MDDEFP pour approbation après l'émission du décret.

QC – 106 Section 10.4.5.3 Conséquences environnementales

L'étude stipule que « L'utilisation de nitrate d'ammonium dans les explosifs s'accompagne d'une émission de gaz, soit du dioxyde de carbone (CO_2), de l'azote (N2), de l'hydrogène (H2) et du monoxyde de carbone (CO). Aux conditions normales d'opération, aucun de ces gaz ne représente de risques pour la santé des travailleurs. Tel que mentionné à la section 10.4.5.2, une attention particulière sera toutefois portée à l'émission de vapeurs nitreuses (NOx) lors de la détonation d'explosifs mouillés ou de sautages défectueux afin de ne pas affecter la santé des travailleurs et de la population locale » (p.10-18).

Comme l'étude mentionne que l'utilisation de nitrate d'ammonium s'accompagne d'une émission de CO; pourquoi aucune attention particulière n'est portée au CO, qui lui aussi est un gaz très toxique?

Réponse :

Les sources d'émission de monoxyde de carbone (CO) sont prises en compte lors des mises à jour de la modélisation de la dispersion atmosphérique. Voir également les réponses aux questions QC-55 et QC-57 pour plus de détails.

QC – 125 Section 2.2.3 Classification du territoire et utilisation du sol

Le calcul des caractéristiques de surface (albédo, rapport de Bowen et longueur de rugosité) qui doivent être définies lors du traitement des données météorologiques avec AERMET est acceptable. Néanmoins, il est indiqué dans le texte que l'albédo doit être calculé à l'aide d'une moyenne géométrique non pondérée, alors qu'il doit s'agir d'une moyenne arithmétique non pondérée. Par contre, cette erreur ne semble pas causer trop de problèmes puisque les valeurs obtenues sont acceptables.

Réponse :

La correction du texte a été effectuée dans les mises à jour de la modélisation de la dispersion atmosphérique. En effet, les paramètres d'utilisation du sol ont été calculés adéquatement. La détermination du ratio de Bowen est bien fondée sur une moyenne géométrique non pondérée (indépendante de la direction ou de la distance) pour un domaine dont les dimensions sont de 10 km par 10 km, centré sur le site de mesures, alors qu'il s'agit d'une moyenne arithmétique pour l'albédo.

QC – 126 Section 2.6.1 Sources ponctuelles

L'étude indique que les taux d'émission de particules associés à chacune des sources de rejet ont été estimés à partir des facteurs proposés dans l'AP-42, de l'article 10 du RAA et des spécifications techniques fournies par les fabricants (pour les dépoussiéreurs) (p. 8). Dans le cas de l'utilisation de l'article 10 du RAA, RNC doit indiquer comment elle prévoit respecter le taux d'émission.

Réponse :

Selon l'attestation d'assainissement, une campagne d'échantillonnage à la source permettra de valider et de contrôler le respect de l'article 10 du RAA qui limite à 30 mg/m^3 la concentration de gaz sec émis dans l'atmosphère par une source de particules.

QC – 127 Section 2.6.2 Sources surfaciques

Pour les émissions associées à l'érosion éolienne, l'équation considérée a été utilisée pour établir des taux d'émission horaires, ce qui n'est pas acceptable. En effet, cette équation est basée sur un paramètre météorologique visant à estimer les

rafales de vent quotidiennes (fastest mile). Comme cette valeur est obtenue une fois par jour, il est donc impossible d'utiliser cette équation sur une période inférieure à 24 heures. De plus, le fait de considérer la vitesse moyenne du vent sur une base horaire ne reflète pas le fait que ce sont les rafales de vent qui sont à la base de cette équation. L'équation recommandée par le MDDEFP pour le calcul des taux d'émission engendrés par l'érosion éolienne des haldes provient d'Environnement Canada et elle est disponible à :
http://www.ec.gc.ca/inrp-npri/default.asp?lang=Fr&n=A9C1EE34-1.
Refaire le calcul avec l'équation recommandée et fournir tous les paramètres nécessaires aux calculs (jours de précipitations et pourcentage de vents forts). Un exemple de calcul devra également être fourni en annexe.

Réponse :

En premier lieu, il est important de spécifier qu'en suivant rigoureusement la méthode proposée par le guide pour les déclarations à l'Inventaire national des rejets de polluants (INRP), les émissions attribuables à l'érosion éolienne pour le projet Dumont seraient nulles. En effet, l'INRP prescrit l'utilisation de la vitesse moyenne mensuelle suivant les *normales et moyennes climatiques* (Government of Canada, 1981-2010), alors que celle-ci est inférieure à 19,3 km/h pour chacun des mois dans la région étudiée. Le facteur d'émission calculé serait alors nul.

Ceci dit, nonobstant ce détail technique qui n'est pas reproduit dans les autres références citant cette équation, d'un point de vue plus fondamental, l'équation de l'INRP dans sa formulation traditionnelle est inadéquate dans le cadre de la modélisation de la dispersion atmosphérique. À l'évidence, celle-ci est conçue pour estimer les émissions de particules lors de l'érosion éolienne sur une base annuelle. Par conséquent, les taux horaires calculés pour les modélisations sont constants tout au long de l'année. Plus précisément, suivant cette équation, les taux d'émission sont égaux que le vent soit fort ou nul, et l'essence même du principe d'érosion éolienne n'est pas représentée.

Ainsi, comme les taux calculés ne dépendent pas de la vitesse des vents, les émissions sont réparties également sur chacune des heures de l'année. À taux égaux, les concentrations maximales dans l'air sont ainsi prédites lors de vents faibles (alors que la dispersion est faible) et des concentrations minimums sont modélisées lors de vents forts. L'utilisation de l'équation de l'INRP dans sa formulation traditionnelle donne ainsi des résultats contraires à ce qui est observé en réalité. Le patron de dispersion obtenu est illogique et les concentrations

obtenues ne veulent rien dire. Aucune conclusion ne peut être tirée sur les résultats puisqu'ils ne représentent pas une situation réelle. L'équation recommandée par l'INRP, qui s'intéresse à des émissions moyennes sur une base annuelle, se montre tout à fait inadéquate dans le contexte de la modélisation de la dispersion atmosphérique.

Dans ce contexte, et puisque le MDDEFP impose l'utilisation de l'équation de l'INRP, celle-ci a été utilisée sur une base horaire afin de minimiser les incohérences mentionnées précédemment. Pour ce faire, la vitesse du vent à chaque heure est utilisée plutôt que le pourcentage moyen de temps au cours de l'année où la vitesse du vent a été supérieure à 19,3 km/h. De plus, comme l'équation est considérée sur une base horaire, le facteur d'atténuation dû aux précipitations n'est pas pris en compte. L'équation utilisée prend alors la forme suivante :

$$FE = \frac{0{,}112 \times J \times 1{,}7}{24 \times 3600} \times \left(\frac{s}{1{,}5}\right) \times \left(\frac{365}{235}\right) \times \left(\frac{I}{15}\right)$$

où

FE = Facteur d'émission (g/m^2.s)

J = Facteur aérodynamique des particules

s = Teneur moyenne en silt de la pile de stockage en pourcentage (%)

et où

$$I = \begin{cases} 100 \text{ si la vitesse du vent est} > 19{,}3 \text{ km/h} \\ 0 \text{ sinon} \end{cases}$$

La vitesse seuil (19,3 km/h ou 12 mph) est bien documentée dans l'article où le facteur de correction relativement à la fréquence des vents forts a été intégré, et ce, afin de développer l'équation sous la forme utilisée aujourd'hui par l'INRP (Bohn, 1978). Cet article mentionne également, respectivement pour les piles de stockage et les surfaces dénudées :

> « Fugitive dust emissions also result from the wind erosion of storage piles. The threshold erosion wind velocity for this phenomenon is believed to be 12 mph. »

« … bare ground areas are susceptible to dust reentrainment induced by the eroding action of the wind. Wind erosion is associated with wind speeds greater than the threshold erosion velocity of 12 mph. »

Par contre, il est important de noter que la vitesse seuil réelle varie en fonction de la granulométrie du matériel (comme recommandé dans la méthode par l'AP42 [US EPA, 1995]), bien que l'équation utilisée par l'INRP soit construite autour d'une vitesse seuil fixe. Cette constante représente donc une limitation inhérente de la méthode.

L'équation ne dépendant que de la vitesse seuil, il est important de souligner que les taux d'émissions calculés sont constants pour des vitesses de vents supérieures à 19,3 km/h et nuls dans le cas contraire. Les piles émettent donc à un taux fixe lors de forts vents. Le facteur d'émission est illustré en fonction de la vitesse du vent à la figure QC-127-1 pour l'équation de l'INRP traditionnelle (courbe verte) et la formulation horaire (courbe bleue). À ce sujet, il est bon de rappeler que l'essentiel de l'argument présenté ici est également noté dans la section 5.2.10 *Additional Storage Pile Refinements* du guide *Modeling Fugitive Dust Sources with AERMOD* préparé pour le National Stone, Sand & Gravel Association en 2007. Le premier raffinement présenté est en effet la version horaire de l'équation de l'INRP, tandis que le second est la méthode recommandée par l'AP42.

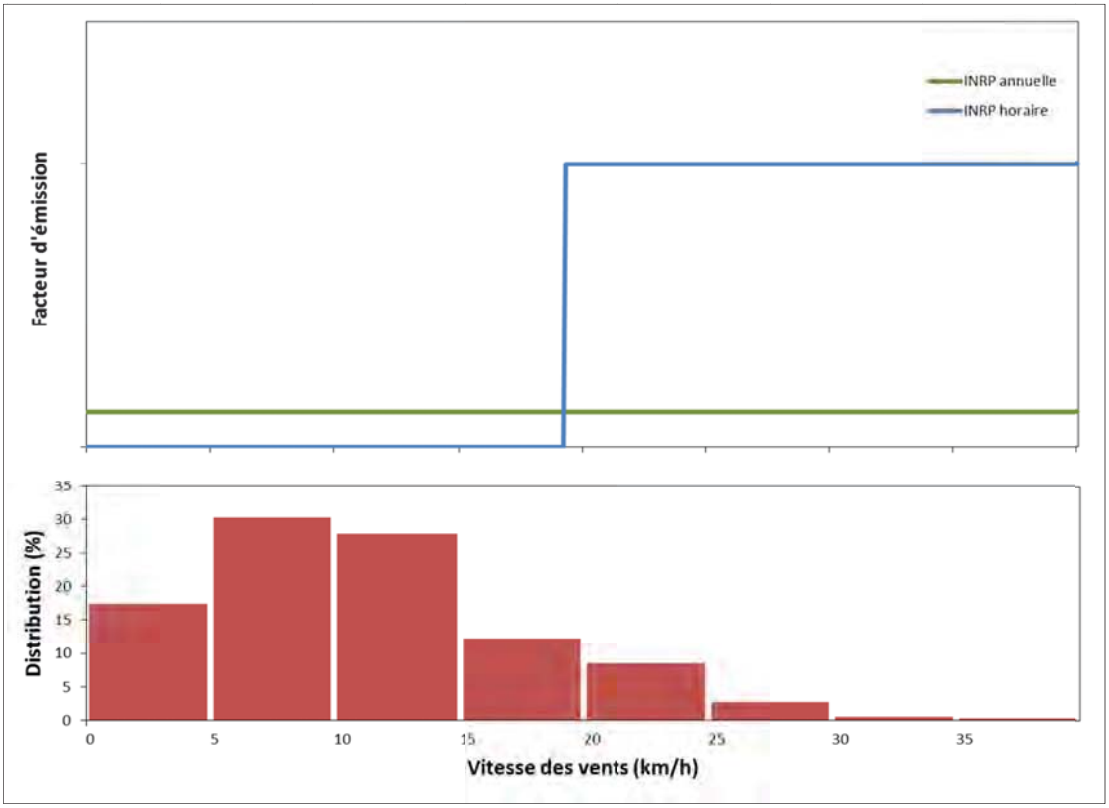


Figure QC-127-1 Comparaison entre les facteurs d'émission pour les versions annuelle et horaire de l'équation de l'INRP en fonction de la vitesse du vent (12,3 % des vents sont supérieurs à 19,3 km/h pour les 5 années météorologiques considérées[1]).

[1] La distribution des vitesses a été corrigée par rapport aux valeurs données dans la réponse préliminaire v2013-09-06 présentée en annexe.

Il est également important de mentionner que, outre l'omission du facteur d'atténuation lié aux précipitations, le total des émissions annuelles calculées suivant la formulation horaire est identique au total calculé suivant la formulation traditionnelle de l'équation de l'INRP. Seule la répartition des émissions est affectée.

Bref, considérant les limitations de la méthode traditionnelle, la version horaire offre une meilleure représentativité du phénomène d'érosion éolienne; les émissions lors de forts vents sont effectives, tandis que les émissions lors de vents faibles sont nulles.

En deuxième lieu, l'utilisation de l'équation de l'INRP présente une autre incohérence, cette fois reliée à la nature des aires d'entreposage de projets miniers. En effet, l'équation de l'INRP est construite pour des piles de stockage dites « actives », possédant un potentiel d'érosion éolienne illimité. Or, les haldes présentes dans les projets miniers sont très grandes et une petite fraction de la surface de ces dernières est véritablement « active » (là où les opérations de déchargement ont lieu). La majeure partie de la surface est complétée et non perturbée pendant de longues périodes. Par conséquent, une fois son potentiel d'érosion vidé par de forts vents, la section non dérangée d'une halde n'émettra plus. Par ailleurs, les précipitations et l'humidité contribuent au lavage des surfaces et à la cimentation des particules fines, tel que mentionné dans l'AP42 [US EPA, 1995] :

> « When freshly processed aggregate is loaded onto a storage pile, the potential for dust emissions is at a maximum. Fines are easily disaggregated and released to the atmosphere upon exposure to air currents, either from aggregate transfer itself or from high winds. As the aggregate pile weathers, however, potential for dust emissions is greatly reduced. Moisture causes aggregation and cementation of fines to the surfaces of larger particles. Any significant rainfall soaks the interior of the pile, and then the drying process is very slow. »

Par conséquent, il est irréaliste de considérer toute la surface des haldes comme active et émettant sans arrêt. De plus, outre l'éventuel épuisement du potentiel d'érosion qui est ignoré par la méthode, l'analyse des données de précipitations montre un minimum de 11,4 mm de précipitations par mois (voir figure QC-127-2), ce qui est jugé amplement suffisant pour laver les haldes de leurs particules fines et contribuer à une cimentation importante (Feng, 2013).

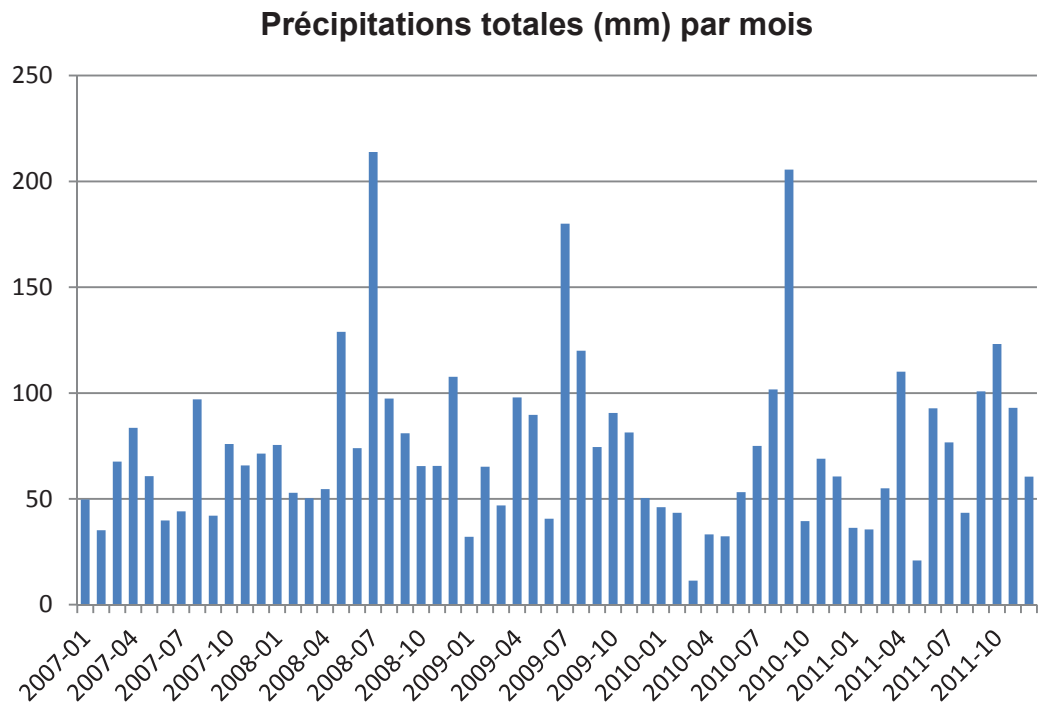


Figure QC-127-2 Précipitations totales (mm) par mois à la station météorologique de Rouyn-Noranda, de janvier 2007 à décembre 2011.

Finalement, pour pouvoir statuer clairement quant à la méthode à utiliser pour le calcul des émissions provenant de l'érosion éolienne des haldes, les résultats pour les quatre méthodes suivantes ont été comparés :

	Équation utilisée	Surface équivalente
Méthode n° 1	INRP traditionnelle	Empreinte complète
Méthode n° 2	INRP traditionnelle	1 mois
Méthode n° 3	INRP horaire	1 mois
Méthode n° 4[2]	AP42 dynamique	1 mois
	INRP horaire	24 heures

Méthodes n° 1 et n° 2

Comme première méthode, toute la surface des haldes a été considérée comme active, et ce, avec l'équation de l'INRP sous sa forme traditionnelle. De plus, les données de vents horaires (et non mensuelles) ont été analysées afin de déterminer le pourcentage de temps au cours de l'année où la vitesse du vent est supérieure à 19,3 km/h. Les courbes d'isoconcentrations 24-heures sont présentées à la carte QC-127-1, tandis que les concentrations horaires moyennes sont présentées au tableau QC-127-1 pour le récepteur ciblé, en fonction de la direction et de la vitesse des vents.

2 Méthode hybride présentée au MDDEFP le 2013-09-06 (voir annexe 10).

Pour la deuxième méthode, l'équation de l'INRP sous sa forme traditionnelle a été considérée, cette fois avec une surface active correspondant à la surface totale restaurée/perturbée par les opérations au cours d'un mois. Les courbes d'isoconcentrations 24-heures sont présentées à la carte QC-127-2, tandis que les concentrations horaires moyennes sont présentées au tableau QC-127-2, et ce, pour le même récepteur qu'à la première méthode.

Tel que décrit précédemment, dans les deux cas, les maximums sont clairement obtenus par vent faible et le patron de dispersion est plutôt symétrique. La méthode est donc incapable de représenter le phénomène d'érosion éolienne dans le contexte de la modélisation de la dispersion atmosphérique.

Méthode n° 3

Pour la troisième méthode, la surface totale restaurée/perturbée par les opérations au cours d'un mois a été utilisée comme surface active. Par contre, l'équation de l'INRP, version horaire, a été utilisée. Les résultats 24-heures sont présentés sur la carte QC-127-3 et les concentrations horaires moyennes sont présentées au tableau QC-127-3 pour le même récepteur qu'à la première méthode. Ainsi, par construction, il est normal que les concentrations modélisées soient nulles par vent faible (< 5,36 m/s). Ensuite, puisque les taux d'émissions sont constants à partir de 5,36 m/s et puisque la dispersion est moins bonne par vents plus faibles, les concentrations maximales sont obtenues inévitablement autour de cette vitesse seuil. Comme ces vents se produisent dans toutes les directions au cours des années météorologiques considérées, le patron de dispersion est encore une fois plutôt symétrique.

Méthode n° 4

Enfin, la quatrième méthode, présentée à l'annexe 10, est celle privilégiée par GENIVAR et par RNC, basée sur la méthode de l'AP42 (Heinerikson, 2007). La position officielle du MDDEFP à ce sujet est aussi présentée à l'annexe 10. Par souci de transparence, les résultats de cette méthode sont présentés à la carte QC-127-4, alors que les concentrations horaires moyennes obtenues sont présentées au tableau QC-127-4 pour le même récepteur que les méthodes précédentes. Or, selon les résultats de cette méthode, il est pertinent de constater que les maximums sont bel et bien obtenus lors des vents les plus forts. De plus, les courbes d'isoconcentrations montrent clairement une influence des vents dominants, contrairement aux résultats obtenus avec les méthodes basées sur l'équation de l'INRP.

En conclusion, la méthode privilégiée par GENIVAR et par RNC est la méthode hybride basée sur celle de l'AP42 (méthode n° 4). Cependant, dans les limites imposées par le MDDEFP, la méthode INRP version horaire (méthode n° 3), bien qu'imparfaite, est jugée plus représentative dans le contexte de la modélisation de la dispersion atmosphérique que l'application intégrale de l'équation de l'INRP sous sa forme traditionnelle (méthodes n° 1 et n° 2).

Mosaic GeoEye Image 2011
Orthophoto RNC 2010

Launay (CT)

Berry (M)
Trécesson (CT)

Lac Doyon

Lac à la Savane

Route du 6e-au-10e-Rang

Launay

Rivière

Villemontel

Villemontel

Chemin Desbois

Chemin Routier

111

78°32'0" 78°30'0" 78°28'0" 78°26'0" 78°24'0" 78°22'0"

48°42'0"

48°40'0"

46°38'0"

RNC PROJET DUMONT

Projet Dumont -
Modélisation de la dispersion atmosphérique /
Dumont Project -
Atmospheric dispersion modeling

Carte QC-127-1

Concentrations maximales (µg/m³) de particules totales modélisées sur une période de 24 heures

Contribution des piles uniquement (méthode #1) /

Maximum 24-hour Average Total Particulate Matter (µg/m³)

Stockpiles contribution only (method #1)

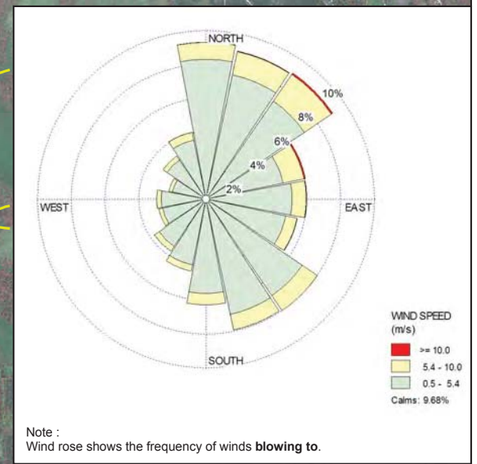
Données météorologiques 2007 à 2011 - Scénario année 8 /
Meteorological data 2007 à 2011 - Scenario year 8

0 450 900 m
UTM, fuseau / Zone 17, NAD83

Sources :
Orthophoto RNC 2010
Mosaic GeoEye Image 2011
Fichier: EndYear8_statusmap_Lines_23052013_NG.dxf

Novembre / November 2013
Fichier / File :
111-15275-01_QA_cQC127-1_PT_131104.mxd

GENIVAR



Note :
Wind rose shows the frequency of winds **blowing to**.

Courbe isoconcentration / Isoconcentration curve
Supérieure à la valeur limite / Above criteria
Inférieure à la valeur limite / Below criteria
(considérant la concentration initiale / including background)

Récepteur ciblé / Targeted receptor

Récepteur sensible (école) / Sensitive receptor (school)

Récepteur sensible (maison) / Sensitive receptor (house)

Limite d'application du RAA / CAR applicability limit
(Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère)

Limite municipale / Municipality limit

Voie ferrée / Railway

Norme de qualité de l'atmosphère /
Ambient Air Quality Standards
Valeur limite / Criteria : 120 µg/m³
Concentration initiale / Backgound : 40 µg/m³

Tableau QC-127-1 Concentrations horaires moyennes pour le récepteur ciblé en fonction de la direction et de la vitesse des vents (Méthode #1)

	Direction du vent (dixaine de degré)																																			
Vitesse du vent (m/s)	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**	**31**	**32**	**33**	**34**	**35**	**36**
0.00																																				
0.51																			166.8			165.8								427.2						
1.03	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	2.2	19.7	65.7	79.0	72.6	67.7	62.9	64.1	73.0	85.7	100.9	145.2	166.4	156.4	125.4	87.2	54.2	34.8	17.6	12.7	10.7
1.54	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	13.0	43.2	51.7	52.9	45.3	40.6	39.6	39.3	50.4	62.6	75.4	95.3	83.7	70.1	58.7	34.9	19.5	11.8	8.6	7.3
2.06	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	10.8	31.1	36.9	36.8	31.4	30.0	32.1	30.4	31.6	35.1	53.6	54.7	45.1	39.5	30.2	21.2	12.8	9.0	7.2	5.7
2.57	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	7.6	21.8	25.8	23.6	22.9	24.1	22.7	22.1	24.4	25.4	35.4	29.5	25.3	20.3	17.9	11.9	7.7	6.6	5.1	4.3
3.09	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	4.8	12.0	17.0	17.1	15.4	16.5	19.1	17.9	13.1	19.3	20.6	21.8	15.4	12.6	9.6	7.4	6.0	5.3	4.1	3.1
3.60	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	3.4	8.9	11.2	11.1	12.6	14.7	14.4	13.1	10.5	14.2	15.2	14.3	13.1	10.3	7.8	5.6	4.7	3.9	3.1	2.5
4.12	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	3.0	5.9	7.6	8.1	9.4	10.0	11.4	9.5	9.8	10.0	12.7	10.9	9.4	7.0	5.8	4.6	3.9	3.4	2.7	2.0
4.63	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	2.3	5.3	5.5	6.7	7.1	8.2	7.9	7.9	7.7	9.5	9.8	10.7	9.0	5.8	5.2	4.0	3.1	2.7	2.5	1.7
5.14	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	1.7	3.8	5.2	5.1	5.7	6.4	7.5	7.3	7.3	8.0	8.4	9.4	7.6	5.3	4.0	3.7	2.9	2.6	2.0	1.7
5.66	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	1.5	3.3	3.9	4.9	5.2	6.5	5.9	5.7	6.3	5.8	8.0	8.4	6.3	5.2	3.7	3.2	2.6	2.2	1.7	1.3
6.17	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	1.5	2.8	3.7	3.7	4.6	4.9	5.8	5.4	5.4	6.2	6.6	6.9	7.0	4.7	3.6	3.0	2.4	2.2	1.3	1.2
6.69	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	1.6	2.1	3.3	3.9	4.5	4.0	5.2	4.6	4.9	4.7	7.4	7.5	5.4	3.2	3.3	2.5	2.3	2.0	1.5	1.2
7.20	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	1.2	2.1	2.5	3.9	3.7	4.3	4.5	5.1	4.6	5.2	6.8	6.1	5.9	3.1	3.0	2.3	1.9	1.8	1.2	1.1
7.72	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.3	0.6	1.9	2.6	3.1	3.7	3.1	4.7	4.0	5.1	5.8	6.8	5.9	5.2	4.0	2.1	2.5	1.9	1.5	1.1	1.1
8.23	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0		0.0		0.0	0.0	0.0	0.3	1.1	2.1	2.2	2.5	3.5	3.7	4.0	4.3	4.1	4.3	5.9	5.5	5.5	2.5	2.7	1.9	1.6	1.5	1.3	0.9
8.75		0.0		0.0	0.0	0.0		0.0	0.0				0.0		0.0		0.8	1.2	2.3	2.1	2.6	3.0	3.4	3.4	3.5	4.8	5.2	5.2	3.9	2.5	2.7	2.1	1.4	1.3	1.1	0.8
9.26				0.0				0.0						0.0				0.7	1.5	1.6	2.4	2.8	3.7	3.8	4.4	3.8	4.3	5.1	6.7	4.3	1.9		1.9	1.1	1.0	0.9
9.77								0.0	0.0					0.0			0.1	1.4	1.6	1.9	2.5	3.1	3.1	3.2	3.2	3.6	4.3	4.2				1.4	1.1			1.1
10.29								0.0	0.0						0.0		0.1	0.0		2.4	2.2	2.8	2.6	4.0	3.7	2.4	3.4	4.7	2.8				1.7			
10.80																0.2				1.8	2.2	2.3	3.0		2.9	3.2	3.3	3.3								
11.32													0.0					0.0			2.5	2.2	3.6		3.0	3.9	4.6		3.6							
11.83																			2.1	1.5	3.8		2.1	3.8	3.3		3.6		3.4							
12.35					0.0													0.8			2.3			0.0	2.9				2.9						
12.86																									2.7					1.9						
13.38																						2.5			2.6		3.3									
13.89																								2.5												
14.40																				1.3						2.5		2.6							
14.92																							2.0		2.1											
17.49																							2.1													

Projet Dumont - Modélisation de la dispersion atmosphérique / Dumont Project - Atmospheric dispersion modeling

Carte QC-127-2

Concentrations maximales (µg/m³) de particules totales modélisées sur une période de 24 heures

Contribution des piles uniquement (méthode #2) /
Maximum 24-hour Average Total Particulate Matter (µg/m³)
Stockpiles contribution only (method #2)

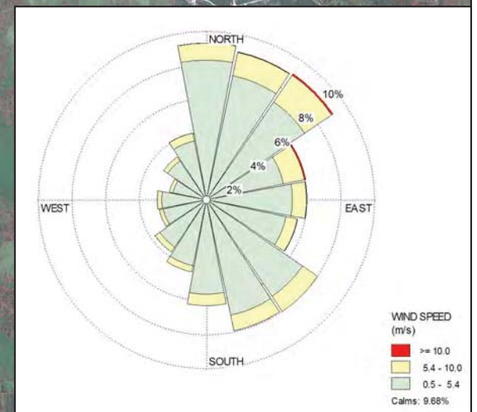
Données météorologiques 2007 à 2011 - Scénario année 8 / Meteorological data 2007 à 2011 - Scenario year 8

0 450 900 m
UTM, fuseau / Zone 17, NAD83

Sources :
Orthophoto RNC 2010
Mosaic GeoEye Image 2011
Fichier: EndYear8_statusmap_Lines_23052013_NG.dxf

Novembre / November 2013
Fichier / File :
111-15275-01_QA_cQC127-2_PT_131104.mxd

GENIVAR



Note :
Wind rose shows the frequency of winds **blowing to**.

Courbe isoconcentration / Isoconcentration curve
Supérieure à la valeur limite / Above criteria
Inférieure à la valeur limite / Below criteria
(considérant la concentration initiale / including background)

Récepteur ciblé / Targeted receptor

Récepteur sensible (école) / Sensitive receptor (school)

Récepteur sensible (maison) / Sensitive receptor (house)

Sources surfaciques considérées / Stockpile surfaces

Limite d'application du RAA / CAR applicability limit
(Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère)

Limite municipale / Municipality limit

Voie ferrée / Railway

Norme de qualité de l'atmosphère / Ambient Air Quality Standards
Valeur limite / Criteria : 120 µg/m³
Concentration initiale / Backgound : 40 µg/m³

Mosaic GeoEye Image 2011
Orthophoto RNC 2010
Launay (CT)
Berry (M)
Trécesson (CT)
Lac Doyon
Lac à la Savane
Route du 6e-au-10e-Rang
Launay
Rivière
Villemontel
Chemin Desboues
Chemin Routier
111
78°32'0"
78°30'0"
78°28'0"
78°26'0"
78°24'0"
78°22'0"
48°42'0"
48°40'0"
46°38'0"

Tableau QC-127-2 Concentrations horaires moyennes pour le récepteur ciblé en fonction de la direction et de la vitesse des vents (Méthode #2)

	Direction du vent (dixaine de degré)																																	
Vitesse du vent (m/s)	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**	**31**	**32**	**33**	**34**	**35**	**36**
0.00																																				
0.51																			50.5			128.1								24.8						
1.03	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	2.1	12.9	17.9	26.1	41.0	58.2	72.9	87.2	52.6	36.2	41.4	33.9	15.2	4.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.54	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	6.6	9.3	14.5	21.9	30.9	35.7	37.4	25.1	17.7	18.9	17.9	6.7	1.8	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2.06	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	3.9	5.4	7.7	13.1	18.0	25.0	26.2	11.4	7.0	10.1	8.6	3.3	0.8	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2.57	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	2.2	3.1	3.9	6.9	11.2	13.7	13.2	8.3	4.4	5.0	3.5	1.7	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3.09	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	1.0	1.7	2.5	3.8	5.4	7.2	8.3	3.3	2.6	2.5	2.2	0.9	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3.60	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.7	1.1	1.6	2.8	4.0	4.4	4.4	2.2	1.9	1.7	1.4	0.8	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4.12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.5	0.7	1.1	2.0	2.7	3.3	2.8	2.2	1.4	1.4	1.0	0.5	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4.63	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4	0.5	0.9	1.5	2.1	2.2	2.3	1.5	1.3	1.1	1.0	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5.14	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	0.5	0.7	1.1	1.6	2.1	2.1	1.5	1.1	0.9	0.8	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5.66	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	0.4	0.7	1.2	1.7	1.7	1.5	1.2	0.8	0.9	0.8	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6.17	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.4	0.6	1.0	1.2	1.6	1.4	1.1	0.8	0.7	0.6	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6.69	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.3	0.6	1.0	1.0	1.4	1.3	0.8	0.6	0.8	0.7	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7.20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.3	0.6	0.8	1.0	1.3	1.4	0.8	0.7	0.7	0.5	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7.72	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.3	0.5	0.9	0.8	1.3	1.1	1.0	0.8	0.7	0.5	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8.23	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0		0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.2	0.4	0.8	0.9	1.1	1.2	0.8	0.6	0.6	0.5	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8.75		0.0		0.0	0.0	0.0		0.0	0.0				0.0		0.0		0.1	0.1	0.2	0.3	0.5	0.8	0.9	0.9	0.7	0.6	0.6	0.4	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9.26				0.0				0.0						0.0				0.0	0.2	0.2	0.5	0.7	1.0	1.1	1.1	0.6	0.5	0.5	0.6	0.1	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0
9.77								0.0	0.0				0.0				0.0	0.1	0.2	0.3	0.5	0.8	0.8	0.8	0.6	0.5	0.5	0.4				0.0	0.0			0.0
10.29								0.0	0.0						0.0		0.0	0.0		0.3	0.4	0.7	0.7	1.1	0.7	0.3	0.3	0.4	0.2				0.0			
10.80																0.0				0.3	0.5	0.5	0.8		0.5	0.4	0.4	0.2								
11.32													0.0					0.0			0.6	0.6	0.9		0.5	0.5	0.5		0.2							
11.83																			0.2	0.2	0.9		0.5	1.0	0.7		0.4		0.3							
12.35					0.0													0.1			0.6			0.0	0.4				0.3							
12.86																									0.6					0.0						
13.38																						0.7			0.4		0.4									
13.89																								0.7												
14.40																				0.3						0.4		0.2							
14.92																							0.5		0.5											
17.49																							0.6													

Projet Dumont - Modélisation de la dispersion atmosphérique / Dumont Project - Atmospheric dispersion modeling

Carte QC-127-3

Concentrations maximales (µg/m³) de particules totales modélisées sur une période de 24 heures

Contribution des piles uniquement (méthode #3) /
Maximum 24-hour Average Total Particulate Matter (µg/m³)
Stockpiles contribution only (method #3)

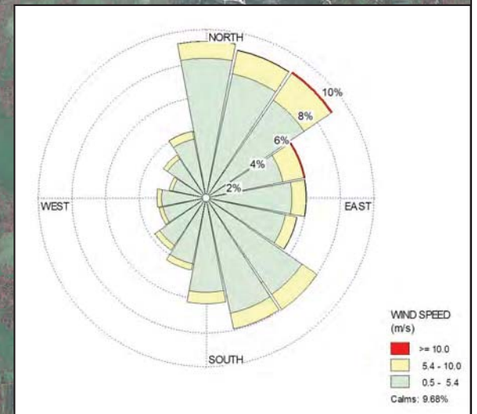
Données météorologiques 2007 à 2011 - Scénario année 8 / Meteorological data 2007 à 2011 - Scenario year 8

0 450 900 m
UTM, fuseau / Zone 17, NAD83

Sources :
Orthophoto RNC 2010
Mosaic GeoEye Image 2011
Fichier: EndYear8_statusmap_Lines_23052013_NG.dxf

Novembre / November 2013
Fichier / File :
111-15275-01_QA_cQC127-3_PT_131104.mxd

GENIVAR



Note :
Wind rose shows the frequency of winds **blowing to**.

Courbe isoconcentration / Isoconcentration curve
Supérieure à la valeur limite / Above criteria
Inférieure à la valeur limite / Below criteria
(considérant la concentration initiale / including background)

Récepteur ciblé / Targeted receptor

Récepteur sensible (école) / Sensitive receptor (school)

Récepteur sensible (maison) / Sensitive receptor (house)

Sources surfaciques considérées / Stockpile surfaces

Limite d'application du RAA / CAR applicability limit
(Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère)

Limite municipale / Municipality limit

Voie ferrée / Railway

Norme de qualité de l'atmosphère / Ambient Air Quality Standards
Valeur limite / Criteria : 120 µg/m³
Concentration initiale / Backgound : 40 µg/m³

Mosaic GeoEye Image 2011
Orthophoto RNC 2010
Launay (CT)
Berry (M)
Trécesson (CT)
Lac Doyon
Lac à la Savane
Route du 6e-au-10e-Rang
Launay
Rivière
Villemontel
Chemin Desboues
Chemin Routier
111
78°32'0"
78°30'0"
78°28'0"
78°26'0"
78°24'0"
78°22'0"
48°42'0"
48°40'0"
48°38'0"

Tableau QC-127-3 Concentrations horaires moyennes pour le récepteur ciblé en fonction de la direction et de la vitesse des vents (Méthode #3)

	Direction du vent (dixaine de degré)																																			
Vitesse du vent (m/s)	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**	**31**	**32**	**33**	**34**	**35**	**36**
0.00																																				
0.51																			0.0			0.0								0.0						
1.03	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.54	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2.06	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2.57	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3.09	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3.60	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4.12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4.63	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5.14	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5.66	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	2.3	6.7	9.6	18.9	31.4	43.6	44.6	40.8	30.8	22.0	22.7	20.8	8.7	3.2	0.6	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
6.17	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	2.5	5.9	9.6	15.1	27.3	32.6	43.4	38.2	28.7	22.4	19.3	15.9	11.4	3.4	0.8	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
6.69	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	2.8	4.3	8.8	15.5	25.5	26.5	37.2	33.8	21.4	17.1	21.2	18.0	9.0	1.8	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
7.20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	1.9	4.4	7.0	15.7	20.3	27.6	33.3	37.0	21.1	18.3	19.3	14.2	9.0	1.5	0.6	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
7.72	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.4	0.7	4.0	7.3	13.7	22.9	21.0	33.8	28.0	27.7	22.4	19.3	14.4	7.7	2.3	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
8.23	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0		0.0		0.0	0.0	0.0	0.4	2.0	4.7	5.6	9.4	21.1	24.0	29.1	30.8	21.7	16.0	16.5	12.6	9.2	0.9	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
8.75		0.0		0.0	0.0	0.0		0.0	0.0				0.0		0.0		1.5	2.5	5.8	8.7	12.7	20.3	24.3	23.7	18.0	16.0	16.0	11.5	6.6	1.2	0.8	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0
9.26				0.0				0.0						0.0				1.2	4.1	5.8	13.4	18.3	26.9	29.0	27.9	15.0	12.3	12.8	14.6	3.9	0.1		0.0	0.0	0.0	0.0
9.77								0.0	0.0					0.0			0.0	2.9	4.5	8.0	12.0	20.5	22.4	21.6	15.9	13.0	12.5	9.5			0.0	0.0			0.0
10.29								0.0	0.0						0.1		0.1	0.0		8.8	11.1	19.1	17.4	28.0	18.8	7.9	9.2	9.5	4.4				0.0			
10.80																0.2				8.9	13.9	14.3	21.5		14.2	11.5	9.7	6.3								
11.32													0.0					0.0			15.4	15.0	24.0		13.7	13.9	13.0		6.5							
11.83																			5.2	4.9	24.1		14.3	26.6	19.7		10.7		7.4							
12.35					0.0													1.6			15.7			0.0	11.6				6.9							
12.86																									17.0					0.8						
13.38																						17.3			9.5		9.8									
13.89																								18.6												
14.40																				7.2						10.0		4.7								
14.92																							13.3		12.4											
17.49																							16.0													

Projet Dumont -
Modélisation de la dispersion atmosphérique /
Dumont Project -
Atmospheric dispersion modeling

Carte QC-127-4

Concentrations maximales (µg/m³) de particules totales modélisées sur une période de 24 heures

Contribution des piles uniquement (méthode #4) /

Maximum 24-hour Average Total Particulate Matter (µg/m³)

Stockpiles contribution only (method #4)

Données météorologiques 2007 à 2011 - Scénario année 8 /
Meteorological data 2007 à 2011 - Scenario year 8

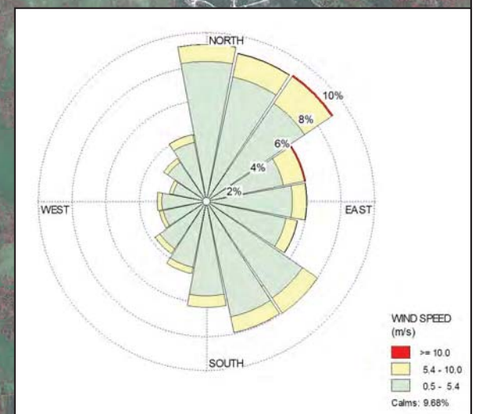
0 450 900 m
UTM, fuseau / Zone 17, NAD83

Sources :
Orthophoto RNC 2010
Mosaic GeoEye Image 2011
Fichier: EndYear8_statusmap_Lines_23052013_NG.dxf

Novembre / November 2013

Fichier / File :
111-15275-01_QA_cQC127-4_PT_131104.mxd

GENIVAR



Note :
Wind rose shows the frequency of winds **blowing to**.

Courbe isoconcentration / Isoconcentration curve
Supérieure à la valeur limite / Above criteria
Inférieure à la valeur limite / Below criteria
(considérant la concentration initiale / including background)

Récepteur ciblé / Targeted receptor

Récepteur sensible (école) / Sensitive receptor (school)

Récepteur sensible (maison) / Sensitive receptor (house)

Sources surfaciques considérées / Stockpile surfaces

Limite d'application du RAA / CAR applicability limit
(Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère)

Limite municipale / Municipality limit

Voie ferrée / Railway

Norme de qualité de l'atmosphère /
Ambient Air Quality Standards
Valeur limite / Criteria : 120 µg/m³
Concentration initiale / Backgound : 40 µg/m³

Tableau QC-127-4 Concentrations horaires moyennes pour le récepteur ciblé en fonction de la direction et de la vitesse des vents (Méthode #4)

	Direction du vent (dixaine de degré)																																			
Vitesse du vent (m/s)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
0.00																																				
0.51																			0.0			0.0								0.0						
1.03	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.54	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2.06	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2.57	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3.09	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3.60	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4.12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4.63	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5.14	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5.66	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	0.7	0.8	1.0	0.6	1.0	1.3	1.0	0.5	0.4	0.8	0.7	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6.17	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.6	0.7	0.7	0.6	0.7	1.4	1.0	0.4	0.5	0.7	0.5	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6.69	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.4	0.7	0.7	0.6	0.6	1.1	0.9	0.3	0.4	0.7	0.6	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7.20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.5	0.5	0.8	0.6	0.6	1.0	1.0	0.3	0.4	0.7	0.5	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7.72	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.4	0.5	0.6	0.5	0.5	1.0	0.6	0.4	0.5	0.7	0.5	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8.23	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0		0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.4	0.5	0.5	0.4	0.7	0.8	0.7	0.3	0.4	0.6	0.4	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8.75		0.0		0.0	0.0	0.0		0.0	0.0				0.0		0.0		0.2	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7	0.6	0.3	0.4	0.5	0.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9.26				0.0				0.0						0.0				0.2	0.3	0.5	1.4	1.4	2.2	2.9	1.0	0.7	0.6	0.8	0.5	0.1	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0
9.77								0.0	0.0					0.0			0.0	1.2	1.8	0.8	1.0	2.5	6.0	2.8	4.1	1.2	0.5	1.0				0.0	0.0			0.0
10.29								0.0	0.0						0.1		0.1	0.0		2.2	3.6	13.0	4.9	18.4	4.4	0.2	1.0	3.2	4.7				0.0			
10.80																0.1				0.4	14.2	15.0	12.0		10.0	9.8	22.2	0.2								
11.32													0.0					0.0			12.5	21.1	48.2		26.5	5.2	34.2		3.4							
11.83																			9.7	0.6	27.8		16.7	38.2	6.6		0.5		0.3							
12.35					0.0													5.6			8.2			0.0	0.3				0.4						
12.86																									33.4					0.0						
13.38																						97.2			64.3		61.3									
13.89																								81.1												
14.40																				40.8						58.7		75.4							
14.92																							236.3		0.5										
17.49																							652.2													

QC – 128 Section 2.6.3.2 Routage

Les caractéristiques des sources associées au routage ne sont pas conformes aux dernières recommandations de l'EPA (Haul Road Workgroup Final Report, EPA, 2012). Ainsi, les routes devront être modélisées comme des sources linéaires volumiques adjacentes et les dimensions initiales du panache devront être ajustées conformément à ces recommandations.

Par ailleurs, puisque les émissions totales devraient en théorie être distribuées également sur chaque source, pourquoi les taux d'émission de particules sont différents d'une source à l'autre pour un même segment de route?

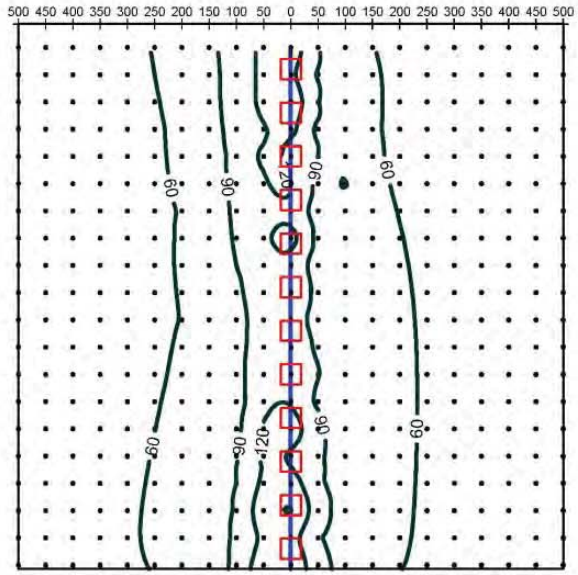
Réponse :

Le US EPA (2012) recommande effectivement l'utilisation de sources volumiques adjacentes pour la modélisation des routes. Or, avant de reprendre tous les calculs, une modélisation (1 km par 1 km avec des récepteurs à tous les 50 m) a été réalisée pour comparer les résultats de la dispersion des particules sur 24 heures de l'approche par volumes adjacents versus en alternance; tous les autres paramètres étant identiques (voir figure QC-128-1).

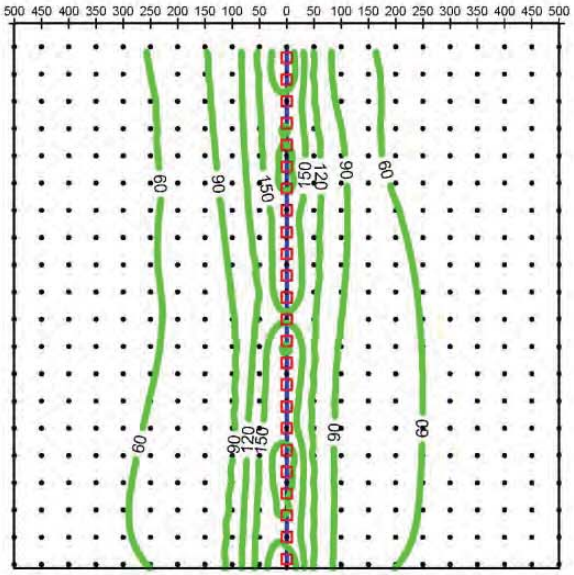
En examinant les résultats obtenus, il s'avère que les différences marquées apparaissent seulement dans les premiers 150 m de part et d'autre de la route. Or, le MDDEFP demande de respecter les normes du règlement sur la qualité de l'atmosphère à 300 m des installations, donc à 300 m de toutes les routes. Il est plausible de penser que l'effort additionnel requis pour doubler les centaines de sources en alternance déjà modélisées ne modifierait pas les résultats de façon significative. Il est donc valable de considérer que les sources volumiques en alternance utilisées dans le cadre de ce projet permettent de représenter adéquatement les émissions provenant du routage

En ce qui concerne la variation des taux d'émission sur un même segment de route, il faut tout d'abord rappeler qu'effectivement les émissions totales d'un segment sont distribuées également sur chaque source volumique de ce segment. Chaque source volumique possède alors le même taux d'émission. Or, les variations de taux considérées dans la présente étude proviennent d'un facteur d'ajustement correspondant au phénomène de rétention de la fosse (*pit retention*). Ce phénomène de rétention est observable lorsque des matières particulaires sont émises à l'intérieur d'une fosse par les activités liées au routage, aux diverses opérations (forages et chargements) et aux sautages. Or, seule une fraction de ce qui est émis s'échappe par l'ouverture de la fosse, le reste demeurant piégé à l'intérieur. Ce phénomène agit comme un moyen d'atténuation naturel et limite donc la dispersion des poussières provenant de la fosse dans l'atmosphère.

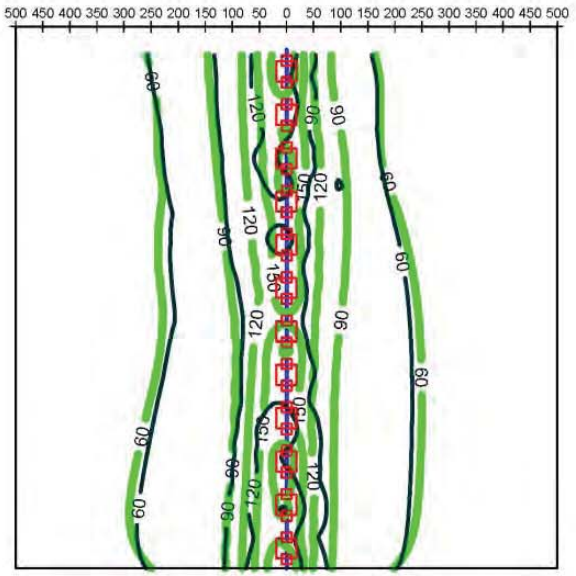
Volumes sources en alternance



Volumes sources adjacents



Comparaison volumes sources adjacents / en alternance



- Volume source
- Point de calcul
- Route

Paramètres d'émission utilisés pour la comparaison - Données météorologiques 2010

Type de volume source	Longueur du segment (m)	Nombre de sources	Élévation (m)	Hauteur de relâche (m)	Largeur de la route (m)	Largeur de la route ajustée (m)	Sigma Y	Sigma Z	Taux d'émission de chaque source (g/s)	Émission totale du segment (g/s)
Adjacent	1000	25	0.0	6.88	34	40	18.6	6.4	0.04000000	1.0
Alternance	1000	13	0.0	6.88	34	40	37.2	6.4	0.07692308	1.0

RNC PROJET DUMONT

Projet Dumont - Modélisation de la dispersion atmosphérique / Dumont Project - Atmospheric dispersion modeling

Comparaison des concentrations maximales de particules sur 24 heures entre des volumes sources adjacents et en alternance (tous les autres paramètres d'émission étant égaux)

Figure Qc-128-1

Novembre 2013

GENIVAR

Une série de modélisations a permis d'établir une relation entre la profondeur de la source émettrice et le pourcentage d'atténuation dû au phénomène de rétention de la fosse. Par conséquent, la variation des taux pour un même segment provient de la variation du pourcentage d'atténuation du phénomène de rétention en fonction de la profondeur de la source dans la fosse. Le tableau QC-128-1 présente un exemple d'application du pourcentage d'atténuation par rétention de la fosse sur le segment FN1 pour les particules totales.

Tableau 128-1 Atténuation des taux d'émissions des sources volumiques de routage par phénomène de rétention de la fosse (pit retention).

# Source	Description	Coord. Géographique (UTM17 NAD83)		Élévation	Taux d'émission	% atténuation par phénomène de rétention de la fosse	Taux d'émission avec phénomène de rétention de la fosse
		X (m)	Y (m)	(m)	PM_{tot} (g/s)		PM_{tot} (g/s)
FN1_1	Fosse	687661,6	5392411,2	150,0	2,17E-01	29	1,53E-01
FN1_2	Fosse	687613,4	5392475,9	155,9	2,17E-01	29	1,55E-01
FN1_3	Fosse	687532,7	5392487,2	161,8	2,17E-01	28	1,57E-01
FN1_4	Fosse	687461,5	5392458,2	167,7	2,17E-01	27	1,59E-01
FN1_5	Fosse	687488,8	5392384,4	173,6	2,17E-01	26	1,62E-01
FN1_6	Fosse	687538,7	5392319,3	179,5	2,17E-01	24	1,64E-01
FN1_7	Fosse	687599,8	5392266,0	185,4	2,17E-01	23	1,66E-01
FN1_8	Fosse	687667,2	5392219,3	191,3	2,17E-01	22	1,69E-01
FN1_9	Fosse	687700,1	5392164,7	197,1	2,17E-01	21	1,71E-01
FN1_10	Fosse	687634,8	5392190,0	203,0	2,17E-01	20	1,73E-01
FN1_11	Fosse	687565,6	5392234,0	208,9	2,17E-01	19	1,76E-01
FN1_12	Fosse	687499,5	5392281,9	214,8	2,17E-01	18	1,78E-01
FN1_13	Fosse	687440,2	5392338,5	220,7	2,17E-01	17	1,81E-01
FN1_14	Fosse	687381,9	5392396,2	226,6	2,17E-01	15	1,84E-01
FN1_15	Fosse	687324,6	5392454,9	232,5	2,17E-01	14	1,86E-01
FN1_16	Fosse	687266,9	5392513,1	238,4	2,17E-01	13	1,89E-01
FN1_17	Fosse	687208,9	5392571,1	244,3	2,17E-01	12	1,92E-01
FN1_18	Fosse	687153,7	5392631,7	250,2	2,17E-01	10	1,95E-01
FN1_19	Fosse	687099,1	5392692,9	256,1	2,17E-01	9	1,97E-01
FN1_20	Fosse	687043,4	5392753,0	262,0	2,17E-01	8	2,00E-01
FN1_21	Fosse	686987,3	5392812,8	267,9	2,17E-01	6	2,03E-01
FN1_22	Fosse	686930,0	5392871,5	273,8	2,17E-01	5	2,06E-01
FN1_23	Fosse	686866,5	5392921,6	279,6	2,17E-01	4	2,09E-01
FN1_24	Fosse	686793,1	5392958,3	285,5	2,17E-01	2	2,12E-01
FN1_25	Fosse	686719,3	5392993,9	291,4	2,17E-01	1	2,15E-01
FN1_26	Fosse	686644,2	5393026,9	297,3	2,17E-01	0	2,17E-01
FN1_27	Fosse	686567,5	5393041,2	303,2	2,17E-01	0	2,17E-01
FN1_28	Fosse	686490,0	5393015,5	309,1	2,17E-01	0	2,17E-01
FN1_29	Fosse	686427,9	5392965,2	315,0	2,17E-01	0	2,17E-01

QC – 129 Section 2.6.3.2.3 Scénario 3 - année 20

L'étude stipule « qu'un facteur d'émissions de 0,05 a été appliqué aux sources volumiques du routage afin de prendre en compte une réduction des poussières émises de l'ordre de 95 %, découlant principalement de l'arrosage régulier des routes (eau et abat-poussières) » (p.13). Il y est ajouté au chapitre 7 du rapport principal (volume 1) que « la vitesse maximale des camions, qui sera modulée lors des journées propices au soulèvement et à la propagation des poussières, est également prise en compte pour atteindre ce taux d'émission » (p.7-13). Donner plus d'information sur la façon dont ce facteur d'émission a été calculé. Car, selon ces calculs, ce facteur pourrait être respecté dans la mesure où les mesures de mitigation seraient systématiquement appliquées. Néanmoins, il serait souhaitable en guise de comparaison que des scénarios prenant en considération des taux d'émission plus élevés soient aussi inclus dans l'exercice.

Réponse :

La réponse à la question QC-59 présente une évaluation du patron d'arrosage permettant d'obtenir une atténuation de 95 % sur l'ensemble du site minier, et ce, uniquement par arrosage des routes non pavées avec de l'eau. Toutes mesures supplémentaires, comme l'utilisation d'abat-poussière spécialisé sur une base régulière ou la limitation de la vitesse maximale des camions, permettraient l'augmentation de ce taux d'atténuation.

RNC s'engage à appliquer les moyens nécessaires pour atteindre ce taux d'atténuation de 95 % selon les calculs présentés à la réponse de la QC-59 ou toutes autres méthodes jugées équivalentes. À cet effet, le plan de gestion des poussières prévoira des mesures pour assurer le respect des concentrations maximales de poussières autorisées en vertu du RAA. Par exemple, lors de journées problématiques, RNC réduira ou déplacera certaines activités minières sur son site pour assurer le respect des normes de la qualité de l'atmosphère.

QC – 130 Section 2.6.4 Autres sources

L'étude mentionne que les émissions provenant des ventilateurs, des évents et des trappes de l'usine de traitement sont faibles. Peut-on mieux quantifier ces émissions? Quelles sont les émissions possibles des circuits de déschlammage et de flottation?

Est-ce que les émissions provenant de l'entreposage des produits pétroliers ont été considérées pour l'étude?

En référence à la « Figure 5-8 schéma de procédé » (volume 1 Rapport principal, p. 5 27), fournir un plan présentant les différentes sources de rejet à l'atmosphère du procédé de traitement ainsi que le bilan de masse.
L'étude stipule que « les émissions provenant du parc à résidus ont également été considérées comme négligeables lors des modélisations. En effet, le mode de déversement à partir d'une conduite périphérique auquel se connectent des points de décharge multiples permettra de créer une plage périodiquement renouvelée. Cette plage sera ainsi maintenue humide, ce qui diminuera l'érosion éolienne des résidus. De plus, une réaction de carbonatation spécifique à la nature des résidus formera naturellement une croûte semi-rigide à la surface de ces derniers, ce qui préviendra également l'érosion éolienne » (p.14).
Ce processus de carbonatation est repris au chapitre 12 du rapport principal (volume 1), où on peut y lire que « des études préliminaires menées par l'UQAT montrent un réel potentiel de séquestration de carbone par les résidus miniers et par la roche stérile par le biais d'un processus de carbonatation spontanée » (p.12-2).
Afin d'apporter plus de précisions sur la réaction de carbonatation, ajouter en annexe les études préliminaires menées par l'UQAT ou tout autre document utile.

Réponse :

Le minerai est amené par camion à l'usine de traitement, où il y est déchargé aux concasseurs primaires. Par la suite, le minerai concassé est transféré à l'aide de convoyeurs fermés aux entrepôts fermés. Des convoyeurs fermés situés sous les entrepôts acheminent ensuite le minerai vers le broyeur semi-autogène. Des dépoussiéreurs seront installés aux concasseurs et aux entrepôts et ceux-ci sont considérés dans la modélisation. À l'étape du broyage, de l'eau est ajoutée au procédé afin de maintenir un milieu humide. Pour la suite du traitement, soit les circuits de déschlammage, de flottation et de préparation des concentrés, le procédé est maintenu humide et le minerai y est transporté à l'aide de pompe, ce qui rend les émissions de poussière négligeable. Des réactifs typiques aux procédés de flottation de métaux, tel que le Xanthate amylique de potassium (PAX) et le Méthyl-isobutyl carbinol (MIBC), sont incorporés dans le circuit en très faible quantité; il est donc attendu que leur émission soit négligeable à l'extérieur, comme à l'intérieur de l'usine de traitement.

Pour fournir au complexe minier une réserve de carburant adéquate pour les opérations, un parc de stockage sera construit près des installations. Ce parc sera muni de collecteurs, de vannes ainsi que d'un système de contrôle des vapeurs afin

d'atténuer les émissions. L'entreposage du diesel et de l'essence se fera dans des réservoirs à hydrocarbures à double parois et à toit fixe. Les émissions sporadiques de vapeurs d'hydrocarbures provenant de l'évaporation lors de l'entreposage (« breathing losses » ou « standing storage losses ») et lors des opérations de vidange et de remplissage (« working losses ») ne seront pas significatives due à la faible pression de vapeur du diesel. Pour l'essence, dont la pression de vapeur est plus élevée que celle du diesel, les émissions seront aussi non significatives en raison du faible volume entreposé. Par conséquent, les émissions provenant des réservoirs d'hydrocarbures sont considérées négligeables dans le cadre des modélisations de la dispersion atmosphérique.

Le schéma du procédé de traitement est présenté à l'annexe 10 (Volume 2; GENIVAR, 2013) des réponses aux questions et commentaires du MDDEFP, alors que les réponses aux questions QC-17 et QC-61 ainsi que l'annexe 18 (GENIVAR, 2013) donnent plus de précisions concernant la réaction de carbonatation.

Finalement, puisque les rejets atmosphériques sont négligeables dans le contexte du procédé de traitement, le bilan de masse ne prend pas en considération ces rejets.

QC – 131 Section 5. Conclusion

L'étude mentionne que « pour ce projet, le MDDEFP a révisé à la baisse les concentrations initiales des particules. Pourtant, aucun ajustement n'a été effectué pour les concentrations initiales des métaux ». À ce sujet, il est important de rappeler que, selon l'article 202 du RAA, des résultats d'échantillonnage doivent être utilisés pour estimer les concentrations initiales des contaminants. De plus, si aucune donnée d'échantillonnage n'est disponible, les concentrations initiales contenues à l'annexe K du RAA doivent être utilisées. La responsabilité d'établir des concentrations initiales représentatives du milieu récepteur revient donc au promoteur et non au MDDEFP. Par ailleurs, le MDDEFP peut, sur demande, fournir les concentrations initiales de certains contaminants pour des cas spécifiques ou assister le promoteur dans sa démarche. Dans le cas de projets miniers situés dans des milieux ruraux très faiblement influencés, le MDDEFP a déjà fourni des concentrations initiales pour certains contaminants. À l'époque, très peu de données étaient disponibles sur les concentrations de métaux dans ce type de milieu, de sorte qu'aucune recommandation particulière n'a été

faite. Cela ne signifie pas pour autant que les valeurs de l'annexe K du RAA doivent être utilisées. Le promoteur a toujours le choix d'établir des concentrations initiales représentatives du milieu récepteur de son projet. Ceci étant dit, le MDDEFP recueille actuellement des données de métaux dans des milieux jugés comparables à celui du projet minier Dumont, de sorte que des ajustements aux concentrations initiales pourraient être faits pour les métaux. Cependant, il est important de noter que les données disponibles actuellement sont partielles et préliminaires. Elles pourraient donc être utilisées par le MDDEFP pour juger de l'acceptabilité de l'étude sans pour autant être transmises au consultant.

Réponse :

RNC prend bonne note de ces commentaires.

QC – 132 **Tableau 5 : Caractéristiques physiques et taux d'émissions des sources fugitives pour chacun des scénarios modélisés**
Les dimensions initiales du panache (σy et σz) lors du forage, de même que la hauteur d'émission, semblent très grandes. Fournir les justifications nécessaires ou revoir ces valeurs qui devraient refléter les dimensions de la foreuse, à l'exception du mât de forage qui est généralement trop étroit pour produire un effet de sillage considérable.
La dimension initiale verticale (σz) du panache pour les sources de déchargement est très élevée et devrait être revue à la baisse. C'est probablement la hauteur totale du camion lorsque la benne est à sa hauteur maximale qui a été considérée, ce qui n'est pas approprié. Une hauteur équivalente à la hauteur du camion lorsque la benne est en position basse doit être considérée.

Réponse :

Les valeurs de dimensions initiales du panache (σy et σz) lors du forage sont ajustées dans la mise à jour de la modélisation de la dispersion atmosphérique (GENIVAR, en préparation). Ces valeurs ont été revues à la baisse pour prendre en considération la hauteur de la foreuse plutôt que la tour de forage.

La dimension initiale verticale du panache pour les sources de déchargement a effectivement été calculée en considérant la benne du camion en position haute puisque c'est dans cette configuration que le camion se trouve lors d'un

déchargement de matière sur le site minier. La dimension initiale verticale est donc plus élevée avec une benne en position haute plutôt qu'en position basse. Cette méthodologie est décrite dans le document « National Stone, Sand and Gravel Association, Modeling Fugitive Dust Sources » (2007).

QC – 133 Modélisation des particules

La modélisation des particules ne tient pas compte des émissions des moteurs des différents engins de la mine (camions, foreuses, chargeuses, etc.). Or, étant donné la quantité élevée de machinerie lourde nécessaire à l'exploitation de la mine, ces émissions sont significatives et pourraient avoir un impact important sur la qualité de l'air. Ainsi, ces sources devront être ajoutées à la modélisation.

Réponse :

Les sources d'émission associées aux gaz d'échappement des différents équipements du complexe minier sont prises en compte avec les mises à jour de la modélisation de la dispersion atmosphérique (GENIVAR, en préparation). En plus des particules totales et fines, les émissions de dioxyde d'azotes (NO_2), de monoxyde de carbone (CO) et de dioxyde de soufre (SO_2) sont aussi modélisées.

QC – 134 Tableau 8 : Caractérisation de la teneur en métaux et métalloïdes des lithologies des principaux émetteurs.

Pourquoi au tableau 8 (p.79), plusieurs valeurs en métaux pour la roche volcanique-1, le gabbro et la dunite n'ont pas été calculées?

De plus, pourquoi la silice cristalline ne figure pas parmi les paramètres analysés dans la modélisation de la dispersion atmosphérique des composés particulaires dans l'air?

Réponse :

Les valeurs présentées dans le tableau 8 ont été extraites du tableau B-3 du document « Phase 2 du programme de caractérisation géochimique – Projet Dumont » (Golder, août 2012). À ce sujet, prendre note que les résultats à jour des études géochimiques sur les résidus miniers et sur la roche stérile (Golder, juin 2013) concordent exactement avec les valeurs du tableau B-3 du rapport préliminaire de 2012.

Ces valeurs rapportées du tableau B-3 constituent des moyennes des résultats obtenus des différents échantillons analysés. Pour certains types de roche et pour certains métaux, cette valeur moyenne n'a pas été calculée. Pour l'étude de la dispersion atmosphérique des contaminants, les teneurs en métaux et métalloïdes utilisées ont donc été calculées en prenant les teneurs maximales des différentes moyennes de tous les types de roches analysés, ne prenant ainsi pas en compte les données manquantes ou non calculées. De plus, pour mieux représenter les émissions des différentes lithologies, un calcul prenant en compte la forte contribution des sources de routage aux poussières totales a été considéré. En effet, les teneurs en métaux ont été pondérées afin que 90 % des émissions proviennent des lithologies utilisées pour la construction des routes, soit le gabbro et la roche volcanique.

Finalement, en ce qui a trait à la silice cristalline, cette dernière est prise en compte dans la mise à jour de la modélisation de la dispersion atmosphérique (GENIVAR, en préparation).

QC – 135 **Annexe A : Calculs des taux d'émissions**
Les fichiers électroniques permettant de voir le détail des résultats de calculs présentés dans les tableaux doivent être fournis.

Réponse :

Le rapport des mises à jour de la modélisation de la dispersion atmosphérique qui sera déposé avant la fin de 2013 (GENIVAR, en préparation) présentera une annexe avec des exemples de calculs détaillés pour chaque type de source. Cette annexe comprendra donc toutes les informations et les méthodes nécessaires permettant de recalculer et de valider les taux utilisés dans le modèle.

QC – 136 **Annexe A -Tableau A2**
Un facteur multiplicatif de 2 a été utilisé pour obtenir les émissions de $PM_{2.5}$, est-ce en raison de la cote du facteur d'émission (E)?

Réponse :

Le facteur multiplicatif du Tableau A2 a été retranché du calcul de la proportion de particules fines relativement aux particules totales dans la mise à jour de la modélisation actuellement en cours. Voir la réponse à la QC-138 concernant les facteurs de sécurité pour plus de détails.

QC – 137 Annexe A -Tableau A3

Prendre les mesures nécessaires afin que les émissions de particules lors du forage soient inférieures à 30 mg/m^{3}R de gaz sec (article 10 du RAA). Dans certains cas, un dépoussiéreur pourrait être requis.

Réponse :

Dans la mise à jour de la modélisation de la dispersion atmosphérique (GENIVAR, en préparation), les émissions de poussières attribuables aux activités de forage sont atténuées de 99 %[3] par la présence de système d'aspiration sur les foreuses.

QC – 138 Annexe A – Tableau A4

La cote de ce facteur d'émission est de « C_DD ». Est-ce qu'il n'y aurait pas lieu de mettre un facteur supplémentaire?

Réponse :

Les facteurs proposés dans l'AP-42 ont effectivement été calculés à partir d'une série de tests spécifiques ne pouvant pas toujours être représentatifs des conditions dans lesquelles ils sont appliqués. Or, les différentes évaluations des incertitudes associées aux facteurs de l'AP-42 sont mentionnées à titre indicatif et les facteurs qui s'y rattachent sont directement utilisés dans le cadre de la présente étude, et ce, puisqu'aucune alternative n'est présentement disponible. En effet, aucune méthode n'est abordée pour déterminer un facteur de sécurité relativement aux incertitudes associées aux facteurs d'émission de l'AP-42.

QC – 139 Caractérisation du climat sonore initial des zones sensibles

Fournir un rapport de caractérisation documenté (sur quelques périodes de 24 heures au cours d'une année) du climat sonore initial des zones sensibles situées à la périphérie du site d'exploitation de la mine : notamment les niveaux sonores initiaux des cours arrière (au droit des habitations) aux points P3, P5 et P6 ainsi que des zones de villégiature habitées (chalets) les plus rapprochées situées à la périphérie des lieux d'activités minières. Joindre les données météorologiques, les graphiques des mesures sonores ainsi que les niveaux de bruit résiduel nocturne et diurne retenus pour les points d'évaluation considérés;

Selon les résultats des nouveaux relevés sonores requis, joindre, si nécessaire, la révision des tableaux II et III de l'étude sonore.

3 Table 4, Emission estimation technique manual for mining, National Pollutant Inventory (NPI), Australian Government, 2012).

Réponse :

À la demande du MDDEFP, une deuxième série de relevés du bruit ambiant a été effectuée. La première série de relevés sonores d'une durée de 24 heures avait été réalisée entre 16 h le 11 octobre 2011 et 16 h le 12 octobre 2011. La nouvelle série de relevés sonores a été réalisée entre 19 h le 1er avril 2013 et 19 h le 3 avril 2013. Ces mesures ont été prises alors qu'aucune activité minière n'était réalisée sur le site minier de RNC.

Pour évaluer le bruit ambiant à l'état de référence, des mesures sonores ont été réalisées à plusieurs endroits aux alentours de la mine projetée, soit aux points suivants (voir les cartes de la réponse à la QC-140 pour la localisation des points de mesure) :

- P1 : 105, chemin Kruger;
- P2 : 841, rue des pionniers;
- P3 : 1183, route 111;
- P4 : 1423, route 111;
- P5 : 46, route 111;
- P6 : 188, route 111.

Les résultats détaillés des mesures sous forme graphique sont présentés à l'annexe 11.

Les relevés sonores P5 et P6 sont situés dans la municipalité de canton de Trécesson. Le site P5 se trouve sur le terrain d'une résidence en zone agroforestière et se classe donc dans la zone I (voir la section portant sur la législation sur le bruit à la fin de la présente réponse) au sens de la Directive 019 sur l'industrie minière du MDDEFP (45 dBA le jour et 40 dBA la nuit). Le site P6, en zone résidentielle et commerciale dans l'agglomération de Villemontel, se classe dans la zone III (55 dBA le jour et 50 dBA la nuit).

À Launay, le secteur où se trouvent les sites P3 et P4 est zoné agroforestier, mais puisqu'il y a des habitations, il se classe également dans la zone I au sens de la Directive 019 du MDDEFP. Le site P2 est situé dans l'agglomération de Launay, en zones résidentielle et commerciale et se classe dans la zone III. Quant au site P1, il s'insère dans une zone forestière. Selon la grille d'usage de la municipalité de Launay, l'usage de ce secteur peut être de l'exploitation contrôlée des ressources, des activités récréatives ou encore des usages publics et communautaires. Ce point de mesure se classe donc dans la zone III.

Ainsi, les emplacements des relevés sonores P3, P4 et P5, se classent dans la zone I de la Directive 019, la norme applicable correspondant au niveau de bruit résiduel sans les activités du site minier, si ce niveau excède les limites sonores établies en zone I. Cette limite sonore s'applique à l'intérieur du terrain normalement occupé par les résidents (espace de divertissement habituellement gazonné) et exclut les champs, terres agricoles et autres espaces pouvant appartenir aux résidants. Les points de relevés P1, P2 et P6 se classent quant à eux dans la zone III de la Directive 019.

Les conditions météorologiques propices aux relevés sonores sont les suivantes :

- Température supérieure à –10 ºC;
- Vitesse du vent inférieure à 20 km/h;
- Taux d'humidité relative inférieur à 90 %;
- Absence de précipitation;
- Chaussée sèche.

Pour la première série de mesures, les instruments suivants ont été utilisés :

- 2 sonomètres Larson Davis, modèle 820, type 1;
- 4 sonomètres Larson Davis, modèle 824, type 1;
- Source sonore étalon Larson Davis, modèle CA 200;
- Écran anti-vent sur chaque microphone;
- Olympus enregistreuse digitale vocale, modèle WS-321M;
- Olympus enregistreuse digitale vocale, modèle WS-400S;
- 2 Olympus enregistreuses digitales vocales, modèle VN-8100PC;
- Olympus enregistreuse digitale vocale, modèle WS-510M;
- Zoom H1 Handy Recorder.

Ces stations de mesures étaient composées d'un sonomètre avec écran anti-vent sur le microphone, installé sur un trépied et muni d'une enregistreuse vocale.

Les conditions météorologiques étaient propices aux relevés sonores. Les détails des conditions climatiques de la station de Val-d'Or d'Environnement Canada sont présentés sur une base horaire à l'annexe 11.

Pour la deuxième série de mesures, les instruments suivants ont été utilisés :

- 2 sonomètres Larson Davis, modèle 720, type 2, NS 0523 et 0525;
- 3 sonomètres Larson Davis, modèle Lxt, type 1, NS 0001613, 0003027 et 0003201;
- 1 sonomètre Larson Davis, modèle 831, type 1, NS 0001156;
- Source sonore étalon Larson Davis, modèle CA 200;
- Écran anti-vent sur chaque microphone;
- Enregistreuses vocales.

Comme les conditions météorologiques de certaines périodes horaires n'étaient pas propices aux relevés sonores, elles ont été exclues pour l'évaluation du bruit résiduel. Les détails des conditions climatiques de la station de Rouyn-Noranda d'Environnement Canada sont présentés sur une base horaire à l'annexe 11.

Les appareils ont été étalonnés sur place à l'aide d'une source sonore étalon avant et après chaque séance de mesures et aucun écart supérieur à 0,5 dBA n'a été mesuré. De plus, les instruments subissent une vérification par un laboratoire indépendant certifié sur une base annuelle.

Le tableau 139-1 présente le niveau de bruit horaire minimum en périodes de jour et de nuit ainsi que le niveau de bruit moyen en période de jour sur une durée de 12 heures pour les 6 stations de mesures du 11 et 12 octobre 2011.

Tableau 139-1 Niveaux sonores mesurés du 11 au 12 octobre 2011

Point récepteur	Diurne	Nocturne	Diurne
	Niveau horaire minimum $L_{Aeq\ 1h}$ (dBA)[a]	Niveau horaire minimum $L_{Aeq\ 1h}$ (dBA)[a]	Niveau sonore $L_{Aeq\ 12\ h}$ (dBA)[a]
P1	42	31	48
P2	53	42	55
P3	56	46	58
P4	53	42	54
P5	62	51	64
P6	60	50	63

[a] Niveau sonore arrondi à 1 dBA, réf. : $2x10^{-5}$ Pa.

Le tableau 139-2 présente le niveau de bruit horaire minimum en périodes de jour et de nuit ainsi que le niveau de bruit moyen en période de jour sur une durée de 12 heures pour les 6 stations de mesures du 1er au 3 avril 2013.

Tableau 139-2 Niveaux sonores mesurés du 1er au 3 avril 2013

Point récepteur	Diurne	Nocturne	Diurne
	Niveau horaire minimum $L_{Aeq\ 1h}$ (dBA)[a]	Niveau horaire minimum $L_{Aeq\ 1h}$ (dBA)[a]	Niveau sonore $L_{Aeq\ 12\ h}$ (dBA)[a]
P1	47	36	48
P2	50	43	56
P3	54	48	55
P4	53	45	54
P5	63	55	63
P6	60	51	61

[a] Niveau sonore arrondi à 1 dBA, réf. : 2x10-5 Pa.

Les heures minimales sélectionnées respectent tous les critères météorologiques mentionnés précédemment.

Durant les périodes de mesures, la principale source de bruit a été la circulation routière sur la route 111. En l'absence de passages de véhicules, les sources de bruit étaient la faune (oiseaux) et les travaux dans les champs. Lors de la première série de mesures, le mouvement des feuilles dans les arbres comptait aussi parmi les sources de bruit.

Les niveaux sonores à respecter varient selon l'emplacement des résidences par rapport à la route. La route étant la principale source de bruit, le niveau sonore à respecter sera plus élevé si la résidence est proche de la route 111 et le sera moins si elle en est plus éloignée. À partir des mesures sonores effectuées et connaissant la distance des points de mesures à la route 111, le niveau sonore à respecter a été calculé aux résidences le long de la route 111 entre les municipalités de Launay et de Trécesson.

Le tableau 139-3 présente les critères de bruit selon la directive 019 du MDDEFP de jour et de nuit.

Pour les points P1 et P2, les moyennes horaires (jour et nuit) de bruit étant inférieures aux niveaux maximaux de la zone III de la Directive 019 et de la politique sectorielle du MDDEFP, le niveau sonore à respecter est de 55 dBA le jour, tandis que la nuit, il est de 45 dBA en phase de construction/préproduction et de 50 dBA en phase d'exploitation. Les moyennes horaires des bruits résiduels aux points P3, P5 et P6 étant supérieures (excepté pour le point P3 qui est égal au niveau sonore maximal permis en fonction du zonage, et ce, en période de construction/préproduction pour le jour) aux niveaux sonores maximaux permis en

Tableau139-3 Niveaux sonores à respecter aux points récepteurs

Position de mesures	Zone (Directive 019 du MDDEFP)	Niveaux sonores (dBA)[a]			
		Construction[b]		Exploitation $L_{Aeq\ 1h}$	
		Diurne $L_{Aeq\ 12h}$ (7 h à 19 h)	Nocturne $L_{Aeq\ 1h}$ (19 h à 7 h)	Diurne (7 h à 19 h)	Nocturne (19 h à 7 h)
105, route du 6e au 10e Rang (P1)	III	55	45	55	50
841, rue des Pionniers (P2)	III	55	45	55	50
1183, route 111 (P3)	I	55	46	54	46
1423, route 111 (P4)	I	55	45	53	42
46, route 111 (P5)	I	63	51	62	51
188, route 111 (P6)	III	61	50	60	50

[a] Niveaux arrondis à 1 dBA et référencés à $20x10^{-6}$ Pa;
[b] Niveau sonore à respecter pour l'an -2 et -1.

fonction du zonage, ces moyennes deviennent donc la norme (tableau III), et ce, pour les deux phases du projet (construction/préproduction et exploitation). Les moyennes horaires du point P4 sont inférieures à la politique sectorielle concernant les chantiers de construction. Les niveaux à respecter pour la période de construction/préproduction sont de 45 dBA la nuit et de 55 dBA le jour. Cependant, les moyennes horaires sont supérieures au critère de la Directive 019 et la moyenne de 42 dBA devient la norme pour la nuit, alors que le niveau à respecter pour le jour est de 53 dBA.

QC – 140 Inventaire des équipements

L'inventaire des équipements, c'est-à-dire les manufacturiers, les modèles d'équipements et le nombre d'unités, fourni au tableau IV de l'étude de sonore, sont présenté à titre indicatif (stade de la préfaisabilité). Joindre, à ce stade-ci du projet, l'inventaire des équipements insonorisés à acquérir ainsi que les simulations du climat sonore concordantes avec cet inventaire pour les différentes années d'étude. Préciser le taux d'utilisation horaire des équipements.

Réponse :

Les optimisations apportées au projet Dumont en phase de faisabilité ont entraîné des modifications à la flotte d'équipement initialement prévue. La nouvelle liste d'équipement est présentée à la réponse à la question QC-141. Dans le cas où il y aurait encore des récepteurs sensibles où des dépassements de la norme de bruit sont anticipés, les équipements insonorisés à acquérir se résument comme suit :

- les foreuses Sandvik DX800 et DI550 devront recevoir une enceinte acoustique pour leur marteau ou être remplacées par des foreuses de modèle Smart Rig d'Atlas Copco (puissance acoustique maximale de 113 dBA);
- tous les camions Caterpillar de modèle 773 et 793 devront être de modèle XQ (puissance acoustique maximale de 113 dBA même dans les routes de sortie de fosse). Ceux-ci devront également être munis d'une benne de caoutchouc. De plus, les alarmes de recul classique de ces véhicules devront être remplacées par une alarme de recul à bruit blanc;
- les pelles hydrauliques Caterpillar modèle 6015 et 6060 devront être modifiées au niveau de leurs silencieux d'échappement des gaz et de leurs radiateurs pour produire une puissance acoustique maximale de 115 dBA et 118 dBA respectivement ;
- les niveleuses Caterpillar 16M et 14M devront être acquises avec le système d'atténuation sonore (108 dBA);
- tous les camions d'approvisionnement d'essence, de lubrifiant et les camions d'arrosage (Caterpillar 777) devront être munis d'un silencieux plus performant afin d'avoir une puissance sonore maximale de 110 dBA;
- les marteaux piqueurs des concasseurs primaires devront être de type « monobloc » tel que proposé par la compagnie Atlas Copco ;
- L'installation de rampes électriques à partir de l'an 5 pour les sorties au nord de la fosse, une fois leurs faisabilités technique et économique démontrées.

Les pourcentages d'utilisation de chaque type d'équipement considéré lors des simulations sont les suivants :

- foreuses : 50 % en opération de forage;
- camions hors route : 80 % en fonction, 20 % maintenance;
- pelles hydrauliques et mécaniques :
  - CAT 6015 : 81 %;
  - CAT 6060 : 87 %;
  - CAT 7495 : 87 %;
- concasseurs primaires : 100 %;
- marteaux piqueurs des concasseurs primaires : 30 %.

Avec la révision du plan d'exploitation minière en phase de faisabilité, les modélisations sonores ont été mises à jour. Les résultats sont présentés pour les années suivantes :

- les années de préproduction -2 et -1, puisqu'il se produira à ce moment des activités de décapage du gisement et de mise en valeur du minerai, ainsi que plusieurs activités de construction du complexe minier et autres infrastructures linéaires;
- l'an 1, car une importante quantité de matériel est apportée à la halde de dépôt meuble au sud-est du site minier (OVB2), qui se trouve près des résidences;
- l'an 4, moment où la digue de protection au nord-est de Launay sera mise en place ;
- l'an 8 moment où un maximum de distance est à parcourir par les équipements mobiles et où un maximum d'activités sera réalisé dans la partie sud du complexe minier (la plus près des résidences);
- l'an 10 où un maximum d'équipements est présent sur le site minier et où un maximum de matériel rocheux est extrait de la fosse.

Les résultats des modélisations sonores sont présentés avec et sans correctifs pour atténuer le bruit à l'intérieur de tableaux pour chaque résidence établie le long de la route 111 en fonction des limites sonores à respecter selon la directive NI 98-01. Puisque l'acquisition des résidences au nord de la route 111 est nécessaire pour démarrer le projet, elles ont été distinguées de celles au sud de cette même route dans les tableaux de résultats. Les résultats sont aussi présentés sur des cartes où sont représentées les courbes isophopones du projet Dumont pour l'année modélisée.

ANNÉE - 2 :

La première année de préproduction est principalement dédiée à l'exploitation d'une carrière pour la construction des routes, des cellules de dépôt meuble, des digues et des haldes. Une partie du roc extrait de la carrière contient toutefois du minerai. Ce minerai est mis dans une pile de réserve à proximité de l'emplacement du concasseur primaire, pour être éventuellement traité en phase d'exploitation (année 1 et suivante).

Le plan minier en phase de préfaisabilité prévoyait des activités constantes sur la halde de dépôts meubles 2 (OVB2) tout au long du projet. Ce plan d'exploitation générait des dépassements significatifs aux résidences 4 à 17. Pour réduire la contribution sonore des activités de mise en forme de la halde de dépôts meubles 2, les opérations nocturnes ont été déplacées au nord de la halde. Les opérations au sud devront être réalisées de manière à toujours travailler derrière un monticule déjà mis en forme. De plus, la section sud de la cellule de dépôt meuble devrait être réalisée le plus rapidement possible en période diurne seulement afin de s'éloigner

rapidement des zones résidentielles et d'utiliser la pile comme écran acoustique aux futures opérations de mise en forme. De plus un bouteur D9 a été positionné sur cette pile. Le bouteur D10 n'est pas recommandé sur cette pile, et ce, pour l'ensemble des opérations de mise en forme. Cette recommandation s'ajoute à celles mentionnées précédemment.

Avec la mise en place des mesures correctives pour atténuer le bruit, les limites sonores sont respectées à l'emplacement de chacune des résidences établies au sud de la route 111, ainsi qu'aux autres récepteurs sensibles dont les noyaux urbains de Launay et de Villemontel (tableau 140-1 et cartes 140-1 [sans atténuation] et 140-2 [avec atténuation]).

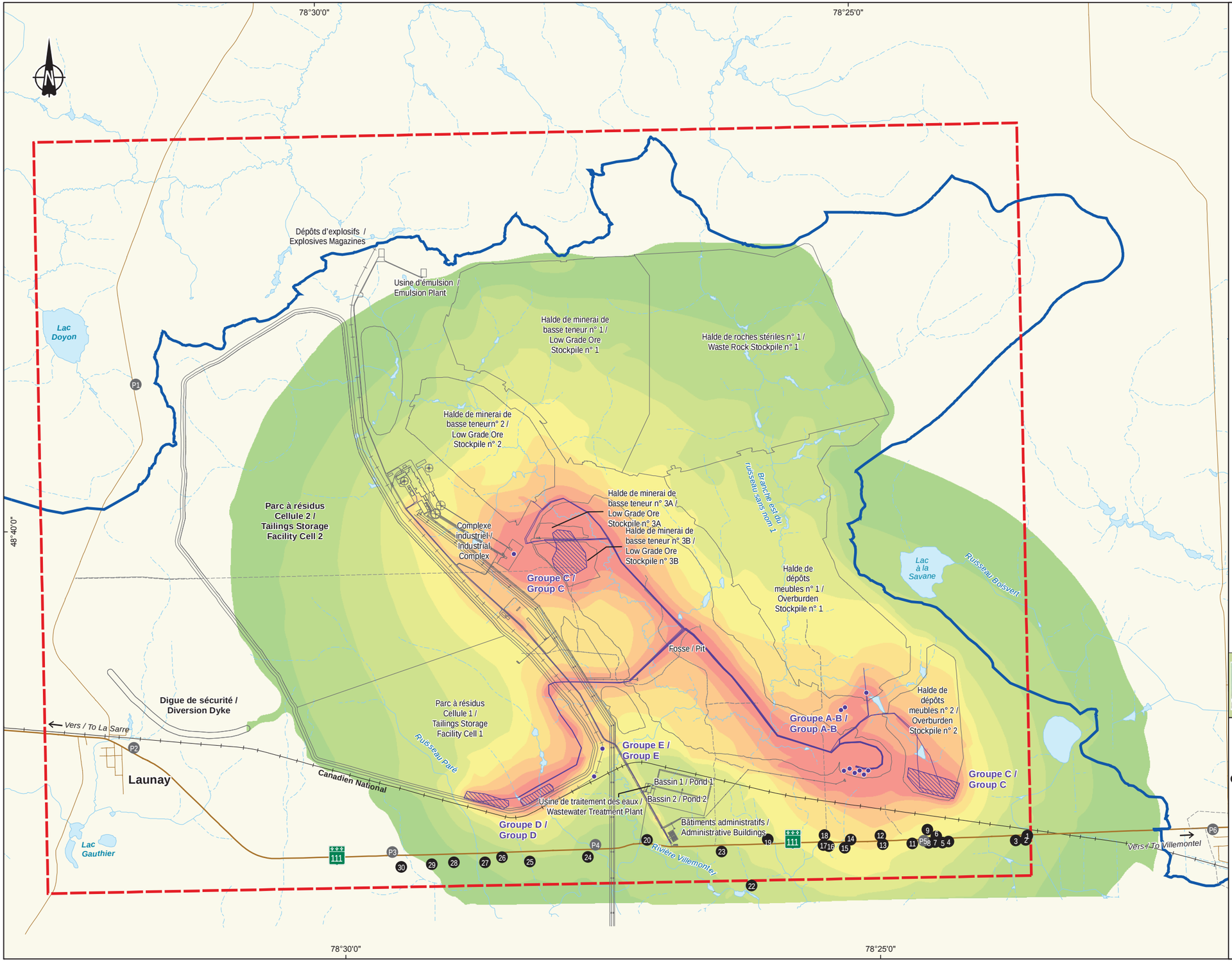
AN -1 :

Lors de l'an -1 de la phase de construction/préproduction, les digues initiales de la première cellule de résidus miniers sont finalisées, le décapage de la section centrale du gisement se poursuit et la construction des autres infrastructures extérieures, tel que le premier concasseur primaire, se termine. De plus, la portion sud du gisement est minée pour permettre d'accumuler du minerai pour le début de l'exploitation et pour rendre disponible du matériel granulaire de qualité pour les routes et pour les digues.

Comme pour l'an -2, en plus d'utiliser des équipements insonorisés, il est nécessaire de travailler sur la portion sud de la halde de dépôts meubles 2 uniquement de jour, en plus d'optimiser les méthodes de mise en forme pour travailler à l'arrière d'un merlon de dépôt. L'objectif recherché est de s'éloigner graduellement des résidences 4 à 12.

Tableau 140-1 Résultats des modélisations sonores à l'an -2 de la phase de construction/préproduction.

Année -2 Récepteur	Limite	Sans atténuation LrD/dB(A)	Avec atténuation LrD/dB(A)
P6 - Villemontel	50	37	30
1- Sud route 111	44	46	37
2 - Sud route 111	49	45	35
3 - Sud route 111	49	46	38
4 - Sud route 111	49	51	41
5 - Sud route 111	49	51	41
6 - Nord de la route 111	42	52	41
7 - Sud route 111	49	52	41
8 - Sud route 111	49	52	42
9 - Nord route 111	40	53	**41**
10 - P5 - Sud route 111	51	52	42
11 - Sud route 111	49	53	43
12 - Nord route 111	41	57	**45**
13 - Sud route 111	47	55	44
14 - Nord route 111	44	56	**46**
15 - Sud route 111	45	55	45
16 - Sud route 111	46	54	44
17 - Sud route 111	49	53	44
18 - Nord route 111	40	55	**46**
19 - Nord route 111	42	51	**43**
20 - Nord route 111	42	46	42
22 - Sud route 111	40	47	39
23 - Sud route 111	45	48	41
24 - Sud route 111	49	45	42
24' - P4 - Nord route 111	42	45	41
25 - Sud route 111	48	44	42
26 - Sud route 111	49	44	42
27 - Sud route 111	45	43	41
28 - Sud route 111	49	42	39
29 - Sud route 111	49	40	37
30 - Sud route 111	48	39	35
31 - P3 - Nord Route 111	46	39	35
P2 - Launay	42	33	27
P1 - Ch. Kruger (Lac Doyon)	40	32	31



Niveaux sonores dB(A) / Noise Levels dB(A)

40	55
43	58
46	61
49	64
52	

- Récepteur sensible / Sensitive Receptor
- Point de mesure du bruit / Noise Measuring Point
- Point source de bruit / Noise Source Point
- Ligne source de bruit / Noise Source Line
- Source surfacique de bruit / Surface Noise Source

Composantes du projet / Project Components

- Infrastructure minière / Mining Infrastructure
- Route / Road
- Voie ferrée / Railway

Infrastructures / Infrastructure

- Route principale / Main Road
- Route secondaire / Secondary Road
- Voie ferrée / Railway

Limites / Boundaries

- Zone d'étude locale / Local Study Area
- Ligne de partage des eaux / Watershed

Note :
Point source :
Groupe A / Group A
3 foreuses / 3 Drills
Groupe B / Groupe B
1 excavatrice Cat 390D / 1 Cat 390D Excavator
1 excavatrice Cat 6015 / 1 Cat 6015 Excavator
1 excavatrice Cat 6060 / 1 Cat 6060 Excavator
Groupe C / Group C
1 excavatrice Cat D9T / 1 Cat D9T Excavator
1 excavatrice Cat D10T / 1 Cat D10T Excavator
1 excavatrice Cat 994H / 1 Cat 994H Excavator
Groupe D / Groupe D
1 excavatrice Cat D8T / 1 Cat D8T Excavator
1 excavatrice Cat 390D / 1 Cat 390D Excavator
Groupe E / Groupe E
Train

RNC PROJET DUMONT

Projet Dumont – Étude d'impact sur l'environnement et le milieu social Réponses aux questions et commentaires du MDDEFP vol. 2 / Dumont Project – Environmental and Social Impact Assessment Answers to Questions and Comments from the MDDEFP Vol. 2

Carte 140-1 / Map 140-1

Courbes isophones sans mesures d'atténuation au début de l'année -2 de la phase de construction / préproduction / Isophones Curves at the Beginning of Year -2 of the Construction / Preproduction Phase - No Mitigation Measures

0 440 880 m

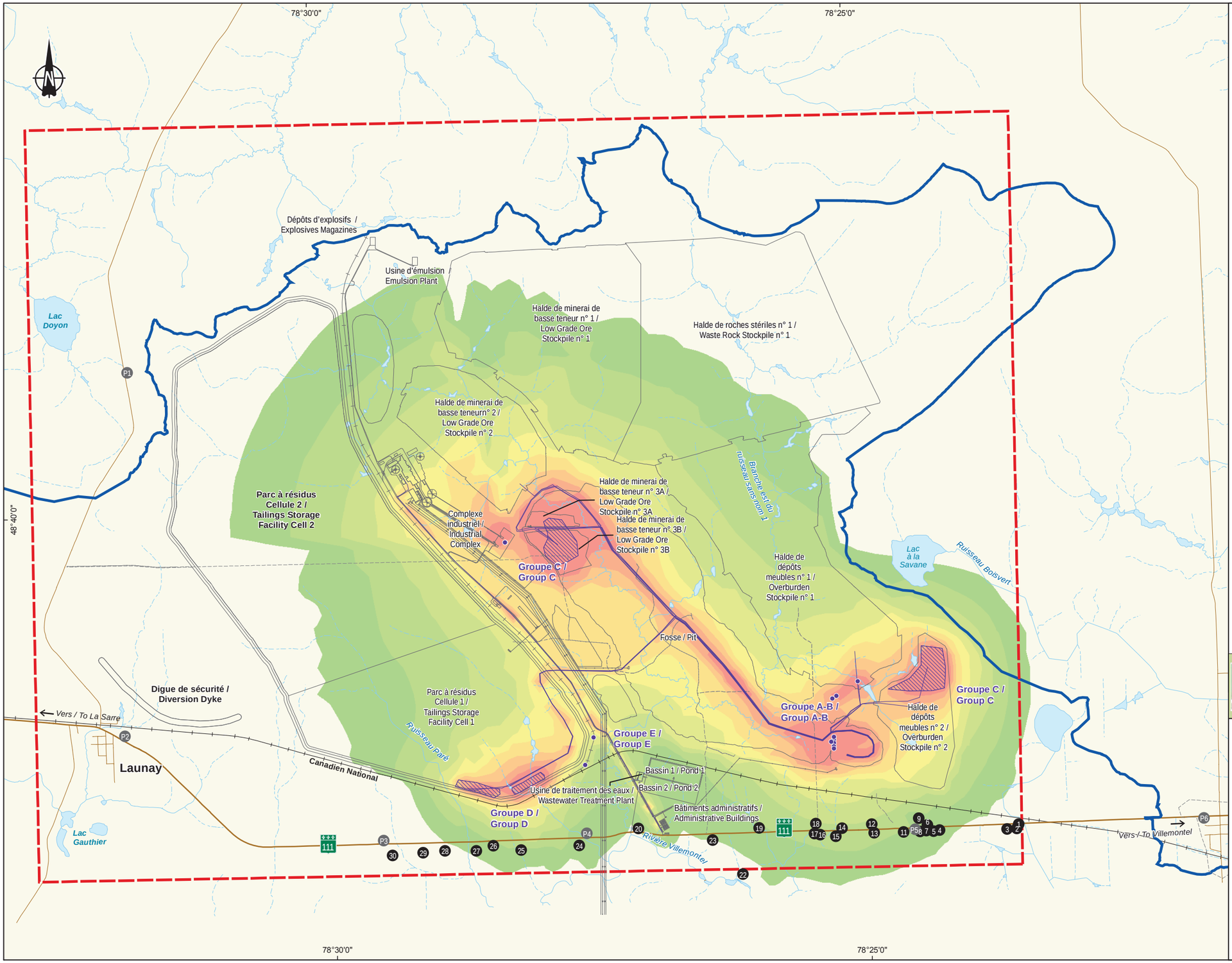
UTM, fuseau 17 / Zone 17, NAD83

Sources :
BDTQ, 1 : 20 000, MRNF Québec, 2006
Infrastructure: 2280-0000-G-101 Rev E Final 13.06.14.dwg
CAD : DXF_Corr_Modif_2_Octobre_2013.zip
Fichier / File: 111_15275_RQ_c140_1_-2_sans_attenuation_131105.mxd

Novembre / November 2013

111-15275-00

GENIVAR



Niveaux sonores dB(A) / Noise Levels dB(A)

40	55
43	58
46	61
49	64
52	

- Récepteur sensible / Sensitive Receptor
- Point de mesure du bruit / Noise Measuring Point
- Point source de bruit / Noise Source Point
- Ligne source de bruit / Noise Source Line
- Source surfacique de bruit / Surface Noise Source

Composantes du projet / Project Components

- Infrastructure minière / Mining Infrastructure
- Route / Road
- Voie ferrée / Railway

Infrastructures / Infrastructure

- Route principale / Main Road
- Route secondaire / Secondary Road
- Voie ferrée / Railway

Limites / Boundaries

- Zone d'étude locale / Local Study Area
- Ligne de partage des eaux / Watershed

Note :
Point source :
Groupe A / Group A
3 foreuses / 3 Drills
Groupe B / Groupe B
1 excavatrice Cat 390D / 1 Cat 390D Excavator
1 excavatrice Cat 6015 / 1 Cat 6015 Excavator
1 excavatrice Cat 6060 / 1 Cat 6060 Excavator
Groupe C / Group C
1 excavatrice Cat D9T / 1 Cat D9T Excavator
1 excavatrice Cat D10T / 1 Cat D10T Excavator
1 excavatrice Cat 994H / 1 Cat 994H Excavator
Groupe D / Groupe D
1 excavatrice Cat D8T / 1 Cat D8T Excavator
1 excavatrice Cat 390D / 1 Cat 390D Excavator
Groupe E / Groupe E
Train

RNC PROJET DUMONT

Projet Dumont –
Étude d'impact sur l'environnement et le milieu social
Réponses aux questions et commentaires du MDDEFP vol. 2 / Dumont Project –
Environmental and Social Impact Assessment
Answers to Questions and Comments from the MDDEFP Vol. 2

Carte 140-2 / Map 140-2

Courbes isophones avec mesures d'atténuation au début de l'année -2 de la phase de construction / préproduction / Isophones Curves with Mitigation at the Beginning of Year -2 of the Construction / Preproduction Phase

0 440 880 m

UTM, fuseau 17 / Zone 17, NAD83

Sources :
BDTQ, 1 : 20 000, MRNF Québec, 2006
Infrastructure: 2280-0000-G-101 Rev E Final 13.06.14.dwg
CAD : DXF_Corr_Modif_2_Octobre_2013.zip
Fichier / File: 111_15275_RQ_c140_2_-2_attenuation_131105.mxd

Novembre / November 2013

111-15275-00

GENIVAR

Les simulations présentent une contribution sonore conforme aux critères de la NI 98-01 pour l'ensemble des résidences au sud de la route 111, à l'exception de la résidence 22 (tableau 140-2 et cartes 140-3 [sans atténuation] et 140-4 [avec atténuation]). Cette résidence est plus éloignée de la route 111, créant ainsi un dépassement potentiel de 2 dBA. Ce dépassement n'est applicable que pour la période nocturne et est principalement causé par la pelle hydraulique 6060. L'opération de cette pelle a été simulée sans effet d'écran. En d'autres termes, la pelle mécanique a été simulée en opération d'excavation du sud vers le nord. La contribution sonore de celle-ci sera probablement inférieure aux résultats de simulations lorsqu'elle travaillera à l'arrière d'un banc de roc plutôt qu'à l'avant.

AN 1 :

L'an 1 présente les niveaux sonores anticipés du début des opérations de concentration du minerai (tableau 140-3 et cartes 140-5 [sans atténuation] et 140-6 [avec atténuation]). Une grande partie des camions hors route qui allaient à la pile de minerai de basse teneur vont à présent au concasseur primaire. Pendant cette année, un total de 35 camions hors route (773 et 793) est utilisé sur le site. De plus, les opérations de forage sont réalisées simultanément dans les parties centrales et sud-est de la fosse.

Entre les années 1 à 5, les digues de la cellule 1 du parc à résidus seront rehaussées d'environ 6 m par année.

Tout comme l'an -1, le seul point récepteur au sud de la route 111 où des dépassements sonores sont possibles est la résidence 22 en période nocturne. Les pelles 6060 sont encore une fois les principales sources de bruit à cette résidence.

AN 4

L'an 4 a été simulé uniquement pour vérifier la contribution sonore associée à la construction de la digue de protection et le respect des normes de bruit à Launay. Cette modélisation prend en considération 7000 voyages annuels faits par les camions de halage et la mise en forme de la digue avec une pelle mécanique. En considérant aussi les autres équipements miniers en arrière-plan, le niveau d'intensité sonore à Launay s'établit à 40 dBA pile, soit en dessous de la norme en vigueur.

AN 8 :

Les zones d'excavation (position des foreuses et pelles excavatrices) sont approximativement les mêmes à l'an 8 qu'à l'an 1. Toutefois, en raison de la mise en marche d'un deuxième concasseur primaire, la flotte d'équipement est augmentée à 10 foreuses et 63 camions hors route.

Tableau 140-2 Résultats des modélisations sonores à l'an -1 de la phase de construction/préproduction.

Année -1 Récepteur	Limite	Sans atténuation LrD/dB(A)	Avec atténuation LrD/dB(A)
P6 - Villemontel	50	37	30
1- Sud route 111	44	43	37
2 - Sud route 111	49	43	37
3 - Sud route 111	49	44	37
4 - Sud route 111	49	48	40
5 - Sud route 111	49	48	41
6 - Nord de la route 111	42	49	41
7 - Sud route 111	49	49	41
8 - Sud route 111	49	49	42
9 - Nord route 111	40	51	**43**
10 - P5 - Sud route 111	51	49	42
11 - Sud route 111	49	49	42
12 - Nord route 111	41	51	**45**
13 - Sud route 111	47	50	44
14 - Nord route 111	44	51	**45**
15 - Sud route 111	45	51	45
16 - Sud route 111	46	51	45
17 - Sud route 111	49	52	45
18 - Nord route 111	40	52	**46**
19 - Nord route 111	42	53	**46**
20 - Nord route 111	42	50	**44**
22 - Sud route 111	**40**	**49**	**42**
23 - Sud route 111	45	51	45
24 - Sud route 111	49	49	42
24' - P4 - Nord route 111	42	50	42
25 - Sud route 111	48	48	41
26 - Sud route 111	49	49	42
27 - Sud route 111	45	48	42
28 - Sud route 111	49	47	41
29 - Sud route 111	49	46	41
30 - Sud route 111	48	47	42
31 - P3 - Nord Route 111	46	48	43
P2 - Launay	42	36	32
P1 - Ch. Kruger (Lac Doyon)	40	34	32

78°30'0"
78°25'0"
48°40'0"

Dépôts d'explosifs / Explosives Magazines
Usine d'émulsion / Emulsion Plant
Halde de minerai de basse teneur n° 1 / Low Grade Ore Stockpile n° 1
Halde de roches stériles n° 1 / Waste Rock Stockpile n° 1
Halde de minerai de basse teneurn° 2 / Low Grade Ore Stockpile n° 2
Halde de minerai de basse teneur n° 3A / Low Grade Ore Stockpile n° 3A
Halde de minerai de basse teneur n° 3B / Low Grade Ore Stockpile n° 3B
Halde de dépôts meubles n° 1 / Overburden Stockpile n° 1
Halde de dépôts meubles n° 2 / Overburden Stockpile n° 2
Parc à résidus Cellule 2 / Tailings Storage Facility Cell 2
Parc à résidus Cellule 1 / Tailings Storage Facility Cell 1
Complexe industriel / Industrial Complex
Fosse / Pit
Digue de sécurité / Diversion Dyke
Usine de traitement des eaux / Wastewater Treatment Plant
Bâtiments administratifs / Administrative Buildings
Bassin 1 / Pond 1
Bassin 2 / Pond 2
Groupe A / Group A
Groupe B / Group B
Groupe C / Group C
Groupe D / Group D
Groupe E / Group E
Lac Doyon
Lac Gauthier
Lac à la Savane
Ruisseau Paré
Ruisseau Boisvert
Branche est du ruisseau sans nom 1
Rivière Villemontel
Canadien National
Launay
← Vers / To La Sarre
Vers / To Villemontel →
P1
P2
P3
P4
P5
P6
111

Niveaux sonores dB(A) / Noise Levels dB(A)

40	55
43	58
46	61
49	64
52	

- Récepteur sensible / Sensitive Receptor
- Point de mesure du bruit / Noise Measuring Point
- Point source de bruit / Noise Source Point
- Ligne source de bruit / Noise Source Line
- Source surfacique de bruit / Surface Noise Source

Composantes du projet / Project Components

- Infrastructure minière / Mining Infrastructure
- Route / Road
- Voie ferrée / Railway

Infrastructures / Infrastructure

- Route principale / Main Road
- Route secondaire / Secondary Road
- Voie ferrée / Railway

Limites / Boundaries

- Zone d'étude locale / Local Study Area
- Ligne de partage des eaux / Watershed

Note :
Point source :
Groupe A / Group A
3 foreuses / 3 Drills
Groupe B / Groupe B
2 excavatrices Cat 390D / 21 Cat 390D Excavators
4 excavatrices Cat 6015 / 4 Cat 6015 Excavators
1 excavatrice Cat 6060 / 1 Cat 6060 Excavator
Groupe C / Group C
2 excavatrices Cat D9T / 2 Cat D9T Excavators
1 excavatrice Cat D10T / 1 Cat D10T Excavator
1 excavatrice Cat 994H / 1 Cat 994H Excavator
Groupe D / Groupe D
1 excavatrice Cat D8T / 1 Cat D8T Excavator
1 excavatrice Cat 390D / 1 Cat 390D Excavator
Groupe E / Groupe E
Train

RNC PROJET DUMONT

Projet Dumont – Étude d'impact sur l'environnement et le milieu social Réponses aux questions et commentaires du MDDEFP vol. 2 / Dumont Project – Environmental and Social Impact Assessment Answers to Questions and Comments from the MDDEFP Vol. 2

Carte 140-3 / Map 140-3

Courbes isophones sans mesures d'atténuation au début de l'année -1 de la phase de construction / préproduction / Isophones Curves at the Beginning of Year -1 of the Construction / Preproduction Phase - No Mitigation Measures

0 440 880 m

UTM, fuseau 17 / Zone 17, NAD83

Sources :
BDTQ, 1 : 20 000, MRNF Québec, 2006
Infrastructure: 2280-0000-G-101 Rev E Final 13.06.14.dwg
CAD : DXF_Initial_Modif_31_Octobre_2013.zipx
Fichier / File: 111_15275_RQ_c140_3_-1_sans_attenuation_131105.mxd

Novembre / November 2013

111-15275-00

GENIVAR

78°30'0"
78°25'0"
48°40'0"

Dépôts d'explosifs / Explosives Magazines
Usine d'émulsion / Emulsion Plant
Halde de minerai de basse teneur n° 1 / Low Grade Ore Stockpile n° 1
Halde de roches stériles n° 1 / Waste Rock Stockpile n° 1
Halde de minerai de basse teneurn° 2 / Low Grade Ore Stockpile n° 2
Halde de minerai de basse teneur n° 3A / Low Grade Ore Stockpile n° 3A
Halde de minerai de basse teneur n° 3B / Low Grade Ore Stockpile n° 3B
Halde de dépôts meubles n° 1 / Overburden Stockpile n° 1
Halde de dépôts meubles n° 2 / Overburden Stockpile n° 2
Parc à résidus Cellule 2 / Tailings Storage Facility Cell 2
Parc à résidus Cellule 1 / Tailings Storage Facility Cell 1
Complexe industriel / Industrial Complex
Digue de sécurité / Diversion Dyke
Fosse / Pit
Groupe A / Group A
Groupe B / Group B
Groupe C / Group C
Groupe D / Group D
Groupe E / Group E
Usine de traitement des eaux / Wastewater Treatment Plant
Bassin 1 / Pond 1
Bassin 2 / Pond 2
Bâtiments administratifs / Administrative Buildings
Lac Doyon
Lac à la Savane
Lac Gauthier
Launay
Canadien National
Ruisseau Paré
Ruisseau Boisvert
Branche est du ruisseau sans nom
Rivière Villemontel
Vers / To La Sarre
Vers / To Villemontel

Niveaux sonores dB(A) / Noise Levels dB(A)

40	55
43	58
46	61
49	64
52	

- Récepteur sensible / Sensitive Receptor
- Point de mesure du bruit / Noise Measuring Point
- Point source de bruit / Noise Source Point
- Ligne source de bruit / Noise Source Line
- Source surfacique de bruit / Surface Noise Source

Composantes du projet / Project Components

- Infrastructure minière / Mining Infrastructure
- Route / Road
- Voie ferrée / Railway

Infrastructures / Infrastructure

- Route principale / Main Road
- Route secondaire / Secondary Road
- Voie ferrée / Railway

Limites / Boundaries

- Zone d'étude locale / Local Study Area
- Ligne de partage des eaux / Watershed

Note :
Point source :
Groupe A / Group A
3 foreuses / 3 Drills
Groupe B / Groupe B
2 excavatrices Cat 390D / 21 Cat 390D Excavators
4 excavatrices Cat 6015 / 4 Cat 6015 Excavators
1 excavatrice Cat 6060 / 1 Cat 6060 Excavator
Groupe C / Group C
2 excavatrices Cat D9T / 2 Cat D9T Excavators
1 excavatrice Cat D10T / 1 Cat D10T Excavator
1 excavatrice Cat 994H / 1 Cat 994H Excavator
Groupe D / Groupe D
1 excavatrice Cat D8T / 1 Cat D8T Excavator
1 excavatrice Cat 390D / 1 Cat 390D Excavator
Groupe E / Groupe E
Train

RNC PROJET DUMONT

Projet Dumont – Étude d'impact sur l'environnement et le milieu social Réponses aux questions et commentaires du MDDEFP vol. 2 / Dumont Project – Environmental and Social Impact Assessment Answers to Questions and Comments from the MDDEFP Vol. 2

Carte 140-4 / Map 140-4

Courbes isophones avec mesures d'atténuation au début de l'année -1 de la phase de construction / préproduction / Isophones Curves with Mitigation at the Beginning of Year -1 of the Construction / Preproduction Phase

0 440 880 m

UTM, fuseau 17 / Zone 17, NAD83

Sources :
BDTQ, 1 : 20 000, MRNF Québec, 2006
Infrastructure: 2280-0000-G-101 Rev E Final 13.06.14.dwg
CAD : DXF_Corr_Modif_2_Octobre_2013.zip
Fichier / File: 111_15275_RQ_c140_4_-1_attenuation_131105.mxd

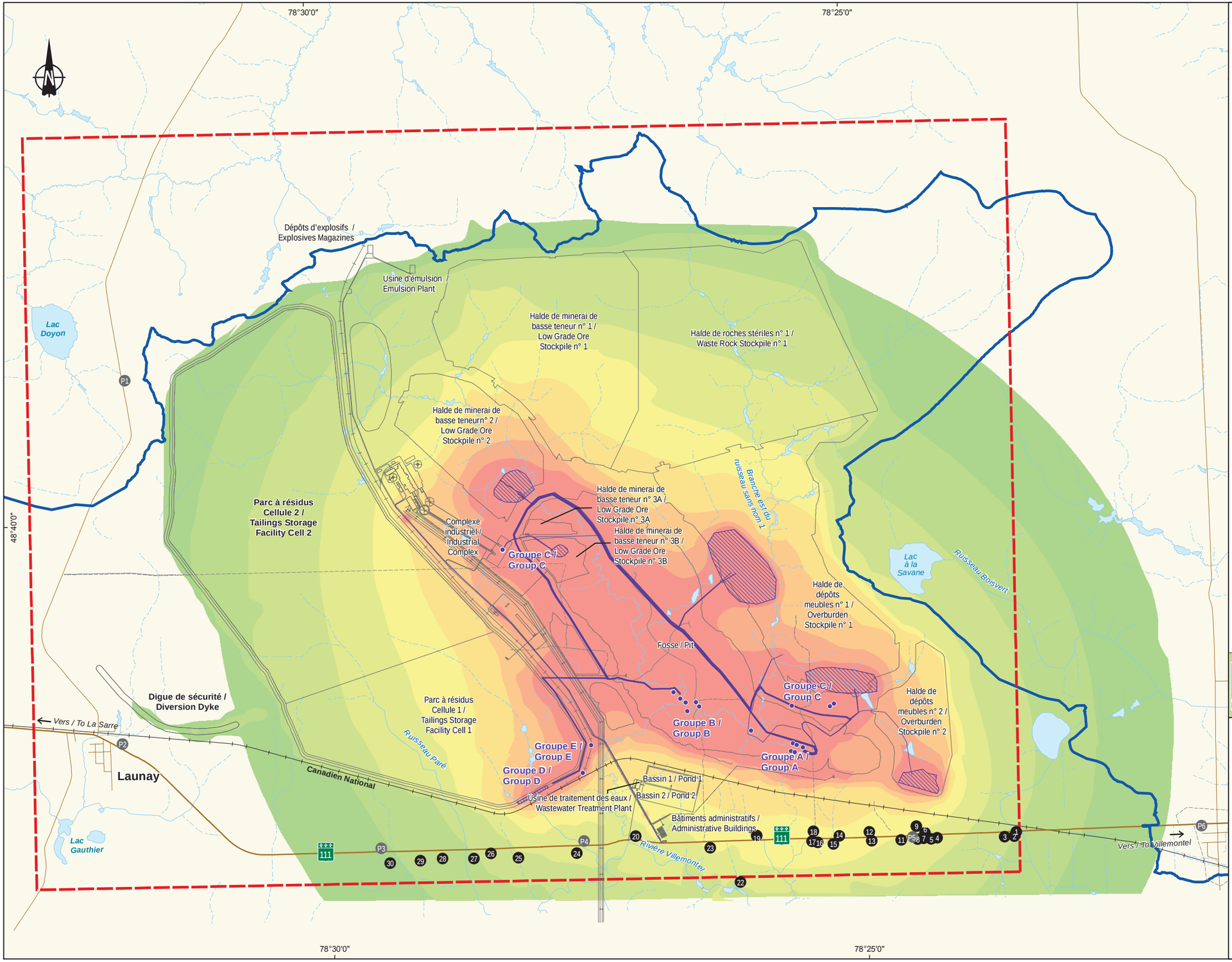
Novembre / November 2013

111-15275-00

GENIVAR

Tableau 140-3 Résultats des modélisations sonores à l'an 1 de la phase d'exploitation.

Année 1 Récepteur	Limite	Sans atténuation LrD/dB(A)	Avec atténuation LrD/dB(A)
P6 - Villemontel	50	39	31
1- Sud route 111	44	46	38
2 - Sud route 111	49	45	37
3 - Sud route 111	49	47	38
4 - Sud route 111	49	51	41
5 - Sud route 111	49	51	41
6 - Nord de la route 111	42	52	42
7 - Sud route 111	49	52	42
8 - Sud route 111	49	52	43
9 - Nord route 111	40	53	**43**
10 - P5 - Sud route 111	51	52	43
11 - Sud route 111	49	52	43
12 - Nord route 111	41	54	**45**
13 - Sud route 111	47	53	44
14 - Nord route 111	44	54	**46**
15 - Sud route 111	45	54	45
16 - Sud route 111	46	53	45
17 - Sud route 111	49	54	45
18 - Nord route 111	40	54	**46**
19 - Nord route 111	42	54	**45**
20 - Nord route 111	42	51	**44**
22 - Sud route 111	**40**	**51**	**42**
23 - Sud route 111	45	52	44
24 - Sud route 111	49	50	45
24' - P4 - Nord route 111	42	50	**46**
25 - Sud route 111	48	48	43
26 - Sud route 111	49	47	42
27 - Sud route 111	45	46	40
28 - Sud route 111	49	45	39
29 - Sud route 111	49	44	38
30 - Sud route 111	48	43	36
31 - P3 - Nord route 111	46	43	36
P2 - Launay	42	37	30
P1 - Ch. Kruger (Lac Doyon)	40	36	32



Niveaux sonores dB(A) / Noise Levels dB(A)

40	55
43	58
46	61
49	64
52	

- Récepteur sensible / Sensitive Receptor
- Point de mesure du bruit / Noise Measuring Point
- Point source de bruit / Noise Source Point
- Ligne source de bruit / Noise Source Line
- Source surfacique de bruit / Surface Noise Source

Composantes du projet / Project Components

- Infrastructure minière / Mining Infrastructure
- Route / Road
- Voie ferrée / Railway

Infrastructures / Infrastructure

- Route principale / Main Road
- Route secondaire / Secondary Road
- Voie ferrée / Railway

Limites / Boundaries

- Zone d'étude locale / Local Study Area
- Ligne de partage des eaux / Watershed

Note :
Point source :
Groupe A / Group A
4 foreuses / 4 Drills
Groupe B / Groupe B
2 excavatrices Cat 390D / 21 Cat 390D Excavators
5 excavatrices Cat 6015 / 5 Cat 6015 Excavators
2 excavatrices Cat 6060 / 2 Cat 6060 Excavators
Groupe C / Group C
3 excavatrices Cat D9T / 3 Cat D9T Excavators
1 excavatrice Cat D10T / 1 Cat D10T Excavator
1 excavatrice Cat 994H / 1 Cat 994H Excavator
Groupe D / Groupe D
1 excavatrice Cat D8T / 1 Cat D8T Excavator
1 excavatrice Cat 390D / 1 Cat 390D Excavator
Groupe E / Groupe E
Train

RNC PROJET DUMONT

Projet Dumont –
Étude d'impact sur l'environnement et le milieu social
Réponses aux questions et commentaires du MDDEFP vol. 2 /
Dumont Project –
Environmental and Social Impact Assessment
Answers to Questions and Comments from the MDDEFP Vol. 2

Carte 140-5 / Map 140-5

Courbes isophones sans mesures d'atténuation au début de l'année 1 d'exploitation / Isophones Curves at the Beginning of Year 1 of Operation - No Mitigation Measures

0 440 880 m

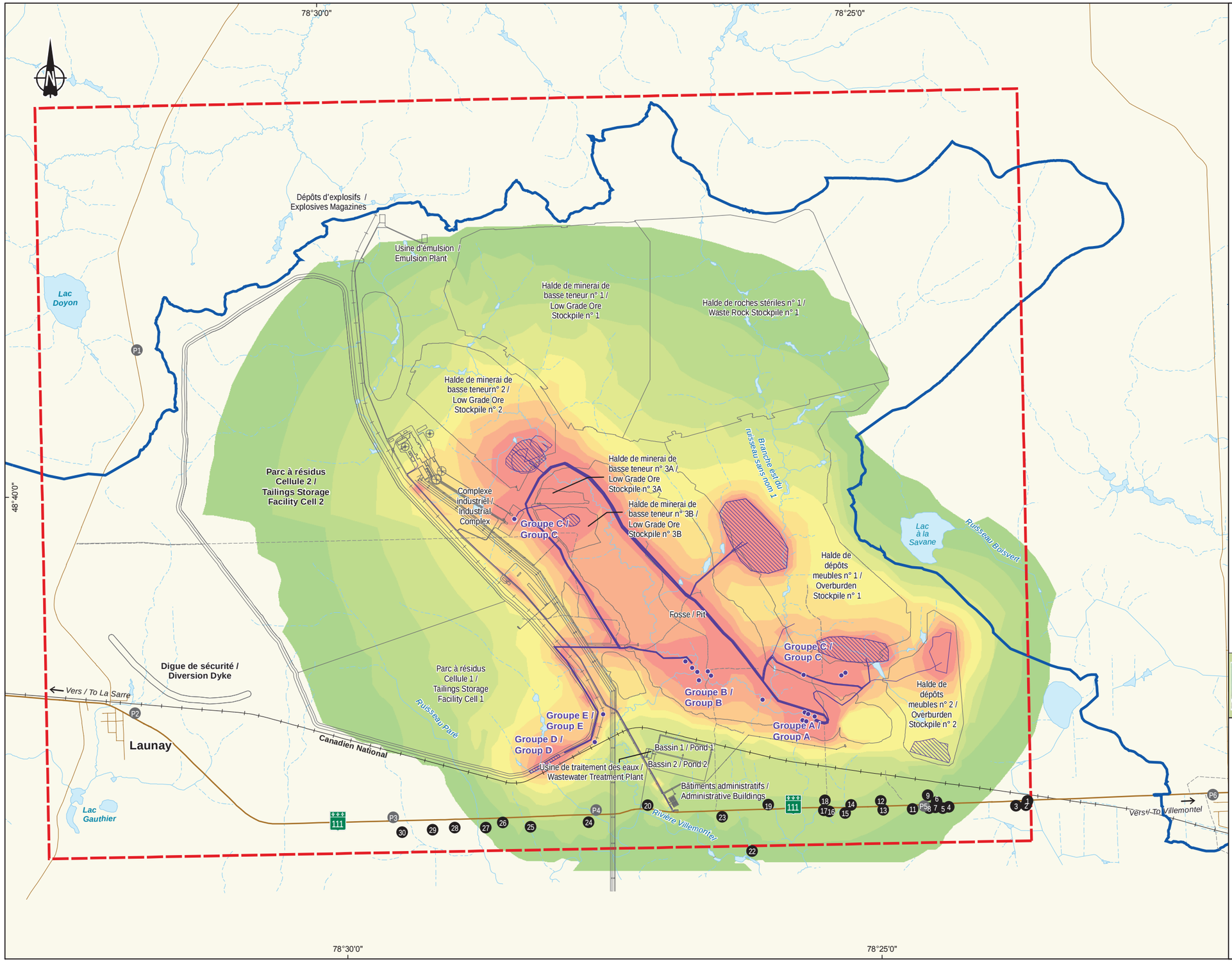
UTM, fuseau 17 / Zone 17, NAD83

Sources :
BDTQ, 1 : 20 000, MRNF Québec, 2006
Infrastructure: 2280-0000-G-101 Rev E Final 13.06.14.dwg
CAD : DXF_Corr_Modif_2_Octobre_2013.zip
Fichier / File: 111_15275_RQ_c140_5_1_sans_attenuation_131105.mxd

Novembre / November 2013

111-15275-00

GENIVAR



Niveaux sonores dB(A) / Noise Levels dB(A)

40	55
43	58
46	61
49	64
52	

- Récepteur sensible / Sensitive Receptor
- Point de mesure du bruit / Noise Measuring Point
- Point source de bruit / Noise Source Point
- Ligne source de bruit / Noise Source Line
- Source surfacique de bruit / Surface Noise Source

Composantes du projet / Project Components

- Infrastructure minière / Mining Infrastructure
- Route / Road
- Voie ferrée / Railway

Infrastructures / Infrastructure

- Route principale / Main Road
- Route secondaire / Secondary Road
- Voie ferrée / Railway

Limites / Boundaries

- Zone d'étude locale / Local Study Area
- Ligne de partage des eaux / Watershed

Note :
Point source :
Groupe A / Group A
4 foreuses / 4 Drills
Groupe B / Groupe B
2 excavatrices Cat 390D / 21 Cat 390D Excavators
5 excavatrices Cat 6015 / 5 Cat 6015 Excavators
2 excavatrices Cat 6060 / 2 Cat 6060 Excavators
Groupe C / Group C
3 excavatrices Cat D9T / 3 Cat D9T Excavators
1 excavatrice Cat D10T / 1 Cat D10T Excavator
1 excavatrice Cat 994H / 1 Cat 994H Excavator
Groupe D / Groupe D
1 excavatrice Cat D8T / 1 Cat D8T Excavator
1 excavatrice Cat 390D / 1 Cat 390D Excavator
Groupe E / Groupe E
Train

RNC PROJET DUMONT

Projet Dumont –
Étude d'impact sur l'environnement et le milieu social
Réponses aux questions et commentaires du MDDEFP vol. 2 / Dumont Project –
Environmental and Social Impact Assessment
Answers to Questions and Comments from the MDDEFP Vol. 2

Carte 140-6 / Map 140-6

Courbes isophones avec mesures d'atténuation au début de l'année 1 d'exploitation / Isophones Curves with Mitigation at the Beginning of Year 1 of Operation

0 440 880 m

UTM, fuseau 17 / Zone 17, NAD83

Sources :
BDTQ, 1 : 20 000, MRNF Québec, 2006
Infrastructure: 2280-0000-G-101 Rev E Final 13.06.14.dwg
CAD : DXF_Corr_Modif_2_Octobre_2013.zip
Fichier / File: 111_15275_RQ_c140_6_1_attenuation_131105.mxd

Novembre / November 2013

111-15275-00

GENIVAR

L'an 8 a été modélisé puisque c'est à ce moment que les équipements mobiles parcourent les plus longs trajets sur le site minier près de récepteurs sensibles. La contribution sonore des équipements mobiles serait donc plus importante pour cette année.

Comme le montre le résultat des simulations de propagation sonore (tableau 140-4 et carte 140-7 [sans atténuation] et 140-8 [avec atténuation]), malgré l'augmentation de la flotte d'équipement mobile, les activités d'exploitation respectent les limites de bruit après la mise en place de correctifs sonores pour l'ensemble des résidences au sud de la route 117. En effet, les pelles mécaniques et les foreuses sont à ce moment plusieurs mètres sous le niveau du sol initial. L'effet d'écran réduit donc suffisamment la contribution sonore de ces équipements pour que la principale source de bruit aux résidences soit à présent les camions hors route plutôt que les pelles excavatrices ou les foreuses.

Pour le point récepteur P1, tout comme il est recommandé pour les résidences à proximité de la halde de dépôts meubles 2 pour les ans -2, -1 et suivantes, il est nécessaire d'éviter de réaliser les opérations de mise en forme des digues en période de nuit près de ce point récepteur. La section nord-ouest de la cellule n° 2 de résidus miniers devra être travaillée uniquement en période de jour. Cette recommandation est valable pour l'ensemble des années où des travaux y seront réalisés.

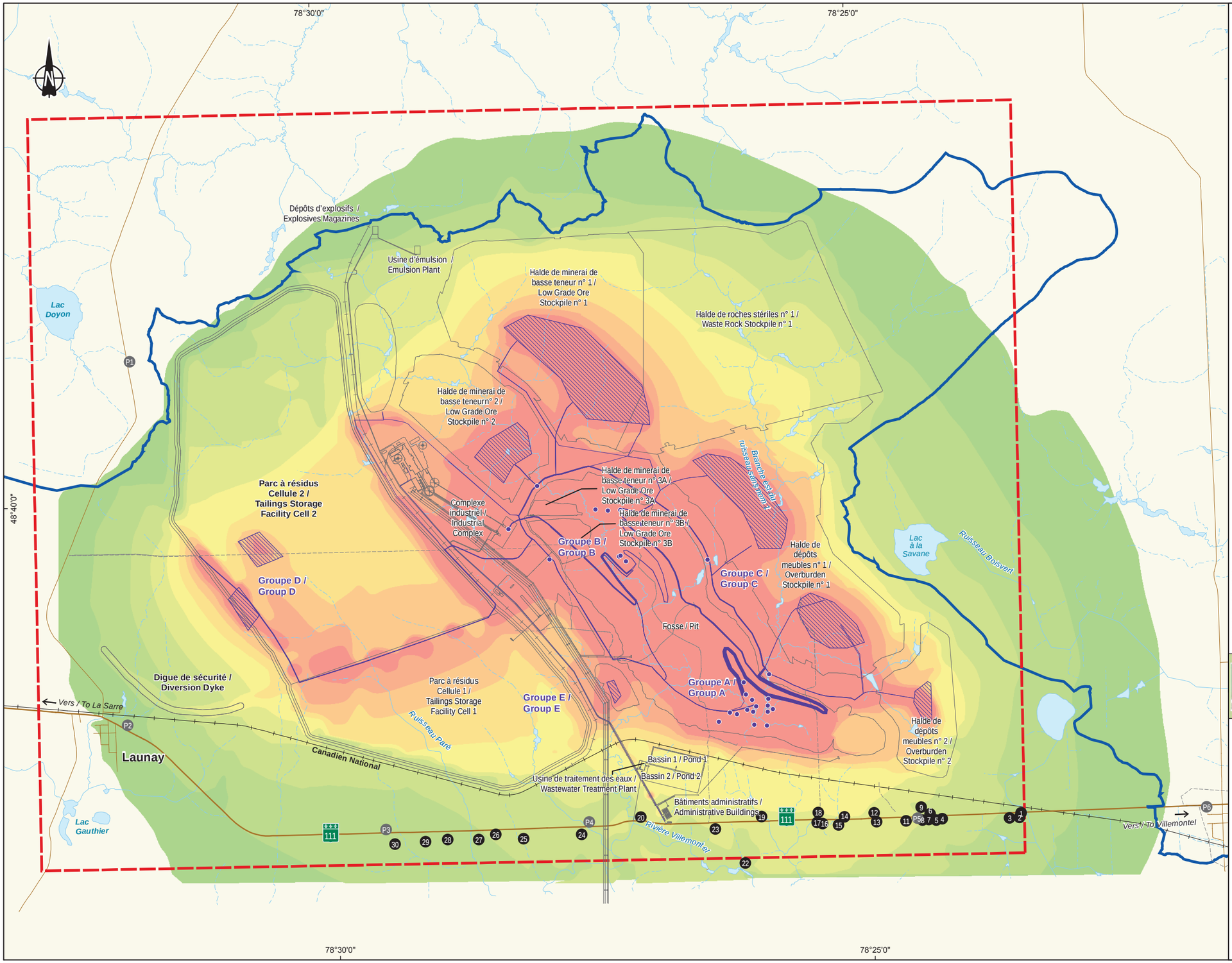
AN 10 :

L'an 10 a été modélisé en raison du nombre élevé d'équipements sur le site minier. Au total, 10 foreuses et 68 camions hors route fonctionneront simultanément sur la mine. L'an 16 du plan de minage prévoit plus d'équipements, mais la fosse sera à ce moment beaucoup plus profonde et la contribution sonore des foreuses serait beaucoup moins importante.

Comme le montre les simulations, malgré le grand nombre d'équipements en opération, les contributions sonores sont beaucoup moins importantes qu'à l'an 8 (tableau 140-5 et carte 140-9 [sans atténuation] et 140-10 [avec atténuation]). Ceci s'explique par le fait que la majorité des activités d'excavation et de transport sont réalisées au nord de la fosse. La distance supplémentaire des activités minières combinée aux trajets écourtés des camions hors route réduit considérablement la contribution sonore du projet le long de route 111.

Tableau 140-4 Résultats des modélisations sonores à l'an 8 de la phase d'exploitation.

Année 8 Récepteur	Limite	Sans atténuation LrD/dB(A)	Avec atténuation LrD/dB(A)
P6 - Villemontel	50	39	32
1- Sud route 111	44	45	38
2 - Sud route 111	49	44	37
3 - Sud route 111	49	46	39
4 - Sud route 111	49	48	41
5 - Sud route 111	49	48	41
6 - Nord de la route 111	42	48	41
7 - Sud route 111	49	48	41
8 - Sud route 111	49	49	42
9 - Nord route 111	40	49	**42**
10 - P5 - Sud route 111	51	49	42
11 - Sud route 111	49	50	42
12 - Nord route 111	41	52	**44**
13 - Sud route 111	47	51	43
14 - Nord route 111	44	52	44
15 - Sud route 111	45	52	44
16 - Sud route 111	46	51	43
17 - Sud route 111	49	52	43
18 - Nord route 111	40	52	**44**
19 - Nord route 111	42	52	**44**
20 - Nord route 111	42	50	**44**
22 - Sud route 111	40	48	40
23 - Sud route 111	45	51	43
24 - Sud route 111	49	48	41
24' - P4 - Nord route 111	42	49	42
25 - Sud route 111	48	46	38
26 - Sud route 111	49	46	39
27 - Sud route 111	45	46	38
28 - Sud route 111	49	45	37
29 - Sud route 111	49	45	37
30 - Sud route 111	48	44	36
31 - P3 - Nord route 111	46	45	37
P2 - Launay	42	43	36
P1 - Ch. Kruger (Lac Doyon)	40	40	35



Niveaux sonores dB(A) / Noise Levels dB(A)

40	55
43	58
46	61
49	64
52	

- Récepteur sensible / Sensitive Receptor
- Point de mesure du bruit / Noise Measuring Point
- Point source de bruit / Noise Source Point
- Ligne source de bruit / Noise Source Line
- Source surfacique de bruit / Surface Noise Source

Composantes du projet / Project Components

- Infrastructure minière / Mining Infrastructure
- Route / Road
- Voie ferrée / Railway

Infrastructures / Infrastructure

- Route principale / Main Road
- Route secondaire / Secondary Road
- Voie ferrée / Railway

Limites / Boundaries

- Zone d'étude locale / Local Study Area
- Ligne de partage des eaux / Watershed

Note :
Point source :
Groupe A / Group A
13 foreuses / 13 Drills
Groupe B / Groupe B
2 excavatrices Cat 390D / 21 Cat 390D Excavators
3 excavatrices Cat 6015 / 3 Cat 6015 Excavators
2 excavatrices Cat 6060 / 2 Cat 6060 Excavators
Groupe C / Group C
2 excavatrices Cat D9T / 2 Cat D9T Excavators
3 excavatrices Cat D10T / 3 Cat D10T Excavators
1 excavatrice Cat 994H / 1 Cat 994H Excavator
Groupe D / Groupe D
1 excavatrice Cat D8T / 1 Cat D8T Excavator
1 excavatrice Cat 390D / 1 Cat 390D Excavator
Groupe E / Groupe E
Train

Projet Dumont –
Étude d'impact sur l'environnement et le milieu social
Réponses aux questions et commentaires du MDDEFP vol. 2 / Dumont Project –
Environmental and Social Impact Assessment
Answers to Questions and Comments from the MDDEFP Vol. 2

Carte 140-7 / Map 140-7

Courbes isophones sans mesures d'atténuation au début de l'année 8 d'exploitation / Isophones Curves at the Beginning of Year 8 of Operation - No Mitigation Measures

0 440 880 m

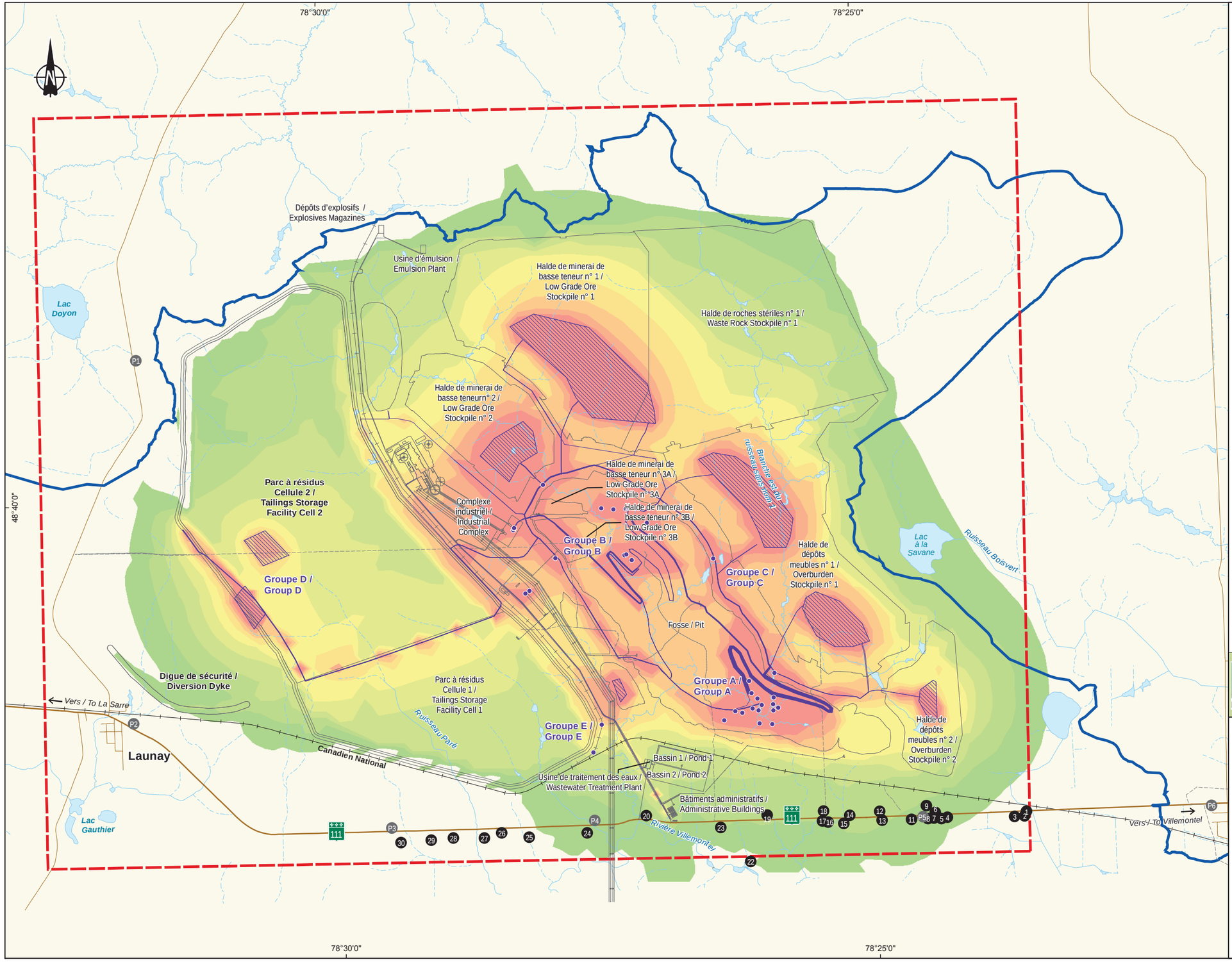
UTM, fuseau 17 / Zone 17, NAD83

Sources :
BDTQ, 1 : 20 000, MRNF Québec, 2006
Infrastructure: 2280-0000-G-101 Rev E Final 13.06.14.dwg
CAD : DXF_Initial_Modif_31_Octobre_2013
Fichier / File: 111_15275_RQ_c140_7_8_sansattenuation_131105.mxd

Novembre / November 2013

111-15275-00

GENIVAR



Niveaux sonores dB(A) / Noise Levels dB(A)

40	55
43	58
46	61
49	64
52	

- 6 — Récepteur sensible / Sensitive Receptor
- P1 — Point de mesure du bruit / Noise Measuring Point
- Point source de bruit / Noise Source Point
- Ligne source de bruit / Noise Source Line
- Source surfacique de bruit / Surface Noise Source

Composantes du projet / Project Components

- Infrastructure minière / Mining Infrastructure
- Route / Road
- Voie ferrée / Railway

Infrastructures / Infrastructure

- 111 — Route principale / Main Road
- Route secondaire / Secondary Road
- Voie ferrée / Railway

Limites / Boundaries

- Zone d'étude locale / Local Study Area
- Ligne de partage des eaux / Watershed

Note :
Point source :
Groupe A / Group A
13 foreuses / 13 Drills
Groupe B / Groupe B
2 excavatrices Cat 390D / 21 Cat 390D Excavators
3 excavatrices Cat 6015 / 3 Cat 6015 Excavators
2 excavatrices Cat 6060 / 2 Cat 6060 Excavators
Groupe C / Group C
2 excavatrices Cat D9T / 2 Cat D9T Excavators
3 excavatrices Cat D10T / 3 Cat D10T Excavators
1 excavatrice Cat 994H / 1 Cat 994H Excavator
Groupe D / Groupe D
1 excavatrice Cat D8T / 1 Cat D8T Excavator
1 excavatrice Cat 390D / 1 Cat 390D Excavator
Groupe E / Groupe E
Train

RNC PROJET DUMONT

Projet Dumont – Étude d'impact sur l'environnement et le milieu social Réponses aux questions et commentaires du MDDEFP vol. 2 / Dumont Project – Environmental and Social Impact Assessment Answers to Questions and Comments from the MDDEFP Vol. 2

Carte 140-8 / Map 140-8

Courbes isophones avec mesures d'atténuation au début de l'année 8 d'exploitation / Isophones Curves with Mitigation at the Beginning of Year 8 of Operation

0 440 880 m

UTM, fuseau 17 / Zone 17, NAD83

Sources :
BDTQ, 1 : 20 000, MRNF Québec, 2006
Infrastructure: 2280-0000-G-101 Rev E Final 13.06.14.dwg
CAD : DXF_Corr_Modif_2_Octobre_2013.zip
Fichier / File: 111_15275_RQ_c140_8_8_attenuation_131105.mxd

Novembre / November 2013

111-15275-00

GENIVAR

Tableau 140-5 Résultats des modélisations sonores à l'an 10 de la phase d'exploitation

Année 10 Récepteur		Sans atténuation LrD/dB(A)	Avec atténuation LrD/dB(A)
P6 - Villemontel	50	34	28
1- Sud route 111	44	38	31
2 - Sud route 111	49	38	31
3 - Sud route 111	49	39	31
4 - Sud route 111	49	40	33
5 - Sud route 111	49	40	33
6 - Nord de la route 111	42	41	33
7 - Sud route 111	49	41	33
8 - Sud route 111	49	41	35
9 - Nord route 111	40	41	34
10 - P5 - Sud route 111	51	41	35
11 - Sud route 111	49	42	35
12 - Nord route 111	41	43	36
13 - Sud route 111	47	42	36
14 - Nord route 111	44	43	36
15 - Sud route 111	45	43	36
16 - Sud route 111	46	43	36
17 - Sud route 111	49	43	36
18 - Nord route 111	40	44	37
19 - Nord route 111	42	45	38
20 - Nord route 111	42	46	42
22 - Sud route 111	40	43	36
23 - Sud route 111	45	44	38
24 - Sud route 111	49	45	40
24' - P4 - Nord route 111	42	45	40
25 - Sud route 111	48	44	40
26 - Sud route 111	49	45	40
27 - Sud route 111	45	44	39
28 - Sud route 111	49	43	38
29 - Sud route 111	49	43	36
30 - Sud route 111	48	42	36
31 - P3 - Nord route 111	46	43	36
P2 - Launay	42	39	35
P1 - Ch. Kruger (Lac Doyon)	40	39	35

78°30'0"
78°25'0"
48°40'0"

Dépôts d'explosifs / Explosives Magazines
Usine d'émulsion / Emulsion Plant
Halde de minerai de basse teneur n° 1 / Low Grade Ore Stockpile n° 1
Halde de roches stériles n° 1 / Waste Rock Stockpile n° 1
Groupe C / Group C
Halde de minerai de basse teneurn° 2 / Low Grade Ore Stockpile n° 2
Halde de minerai de basse teneur n° 3A / Low Grade Ore Stockpile n° 3A
Halde de minerai de basse teneur n° 3B / Low Grade Ore Stockpile n° 3B
Ruisseau sans nom 1
Complexe industriel / Industrial Complex
Parc à résidus Cellule 2 / Tailings Storage Facility Cell 2
Groupe D / Group D
Groupe A-B / Group A-B
Halde de dépôts meubles n° 1 / Overburden Stockpile n° 1
Lac à la Savane
Ruisseau Bolvert
Fosse / Pit
Digue de sécurité / Diversion Dyke
Parc à résidus Cellule 1 / Tailings Storage Facility Cell 1
Halde de dépôts meubles n° 2 / Overburden Stockpile n° 2
Ruisseau Paré
Groupe E / Group E
Vers / To La Sarre
Launay
Canadien National
Bassin 1 / Pond 1
Bassin 2 / Pond 2
Usine de traitement des eaux / Wastewater Treatment Plant
Bâtiments administratifs / Administrative Buildings
Rivière Villemontel
Vers / To Villemontel
Lac Doyon
Lac Gauthier
P1
P2
P3
P4
P5
P6
111

Niveaux sonores dB(A) / Noise Levels dB(A)

40	55
43	58
46	61
49	64
52	

- Récepteur sensible / Sensitive Receptor
- Point de mesure du bruit / Noise Measuring Point
- Point source de bruit / Noise Source Point
- Ligne source de bruit / Noise Source Line
- Source surfacique de bruit / Surface Noise Source

Composantes du projet / Project Components

- Infrastructure minière / Mining Infrastructure
- Route / Road
- Voie ferrée / Railway

Infrastructures / Infrastructure

- Route principale / Main Road
- Route secondaire / Secondary Road
- Voie ferrée / Railway

Limites / Boundaries

- Zone d'étude locale / Local Study Area
- Ligne de partage des eaux / Watershed

Note :
Point source :
Groupe A / Group A
14 foreuses / 14 Drills
Groupe B / Groupe B
2 excavatrices Cat 390D / 21 Cat 390D Excavators
2 excavatrices Cat 6015 / 2 Cat 6015 Excavators
1 excavatrice Cat 6060 / 1 Cat 6060 Excavator
Groupe C / Group C
2 excavatrices Cat D9T / 2 Cat D9T Excavators
3 excavatrices Cat D10T / 3 Cat D10T Excavators
1 excavatrice Cat 994H / 1 Cat 994H Excavator
Groupe D / Groupe D
1 excavatrice Cat D8T / 1 Cat D8T Excavator
1 excavatrice Cat 390D / 1 Cat 390D Excavator
Groupe E / Groupe E
Train

RNC PROJET DUMONT

Projet Dumont – Étude d'impact sur l'environnement et le milieu social Réponses aux questions et commentaires du MDDEFP vol. 2 / Dumont Project – Environmental and Social Impact Assessment Answers to Questions and Comments from the MDDEFP Vol. 2

Carte 140-9 / Map 140-9

Courbes isophones sans mesures d'atténuation au début de l'année 10 d'exploitation / Isophones Curves at the Beginning of Year 10 of Operation - No Mitigation Measures

0 440 880 m

UTM, fuseau 17 / Zone 17, NAD83

Sources :
BDTQ, 1 : 20 000, MRNF Québec, 2006
Infrastructure: 2280-0000-G-101 Rev E Final 13.06.14.dwg
CAD : DXF_Initial_Modif_31_Octobre_2013
Fichier / File: 111_15275_RQ_c140_9_10_sansattenuation_131105.mxd

Novembre / November 2013

111-15275-00

GENIVAR

78°30'0"
78°25'0"
48°40'0"

Dépôts d'explosifs / Explosives Magazines
Usine d'émulsion / Emulsion Plant
Halde de minerai de basse teneur n° 1 / Low Grade Ore Stockpile n° 1
Halde de roches stériles n° 1 / Waste Rock Stockpile n° 1
Groupe C / Group C
Halde de minerai de basse teneurn° 2 / Low Grade Ore Stockpile n° 2
Halde de minerai de basse teneur n° 3A / Low Grade Ore Stockpile n° 3A
Halde de minerai de basse teneur n° 3B / Low Grade Ore Stockpile n° 3B
Parc à résidus Cellule 2 / Tailings Storage Facility Cell 2
Complexe industriel / Industrial Complex
Groupe D / Group D
Groupe A-B / Group A-B
Fosse / Pit
Halde de dépôts meubles n° 1 / Overburden Stockpile n° 1
Halde de dépôts meubles n° 2 / Overburden Stockpile n° 2
Digue de sécurité / Diversion Dyke
Parc à résidus Cellule 1 / Tailings Storage Facility Cell 1
Groupe E / Group E
Usine de traitement des eaux / Wastewater Treatment Plant
Bassin 1 / Pond 1
Bassin 2 / Pond 2
Bâtiments administratifs / Administrative Buildings
Vers / To La Sarre
Vers / To Villemontel
Launay
Canadien National
Lac Doyon
Lac Gauthier
Lac à la Savane
Ruisseau Boisvert
Ruisseau Paré
Ruisseau sans nom / Unnamed Stream
Rivière Villemontel
P1 P2 P3 P4 P5 P6
111

Niveaux sonores dB(A) / Noise Levels dB(A)

40	55
43	58
46	61
49	64
52	

- Récepteur sensible / Sensitive Receptor
- Point de mesure du bruit / Noise Measuring Point
- Point source de bruit / Noise Source Point
- Ligne source de bruit / Noise Source Line
- Source surfacique de bruit / Surface Noise Source

Composantes du projet / Project Components

- Infrastructure minière / Mining Infrastructure
- Route / Road
- Voie ferrée / Railway

Infrastructures / Infrastructure

- Route principale / Main Road
- Route secondaire / Secondary Road
- Voie ferrée / Railway

Limites / Boundaries

- Zone d'étude locale / Local Study Area
- Ligne de partage des eaux / Watershed

Note :
Point source :
Groupe A / Group A
14 foreuses / 14 Drills
Groupe B / Groupe B
2 excavatrices Cat 390D / 21 Cat 390D Excavators
2 excavatrices Cat 6015 / 2 Cat 6015 Excavators
1 excavatrice Cat 6060 / 1 Cat 6060 Excavator
Groupe C / Group C
2 excavatrices Cat D9T / 2 Cat D9T Excavators
3 excavatrices Cat D10T / 3 Cat D10T Excavators
1 excavatrice Cat 994H / 1 Cat 994H Excavator
Groupe D / Groupe D
1 excavatrice Cat D8T / 1 Cat D8T Excavator
1 excavatrice Cat 390D / 1 Cat 390D Excavator
Groupe E / Groupe E
Train

RNC PROJET DUMONT

Projet Dumont –
Étude d'impact sur l'environnement et le milieu social
Réponses aux questions et commentaires du MDDEFP vol. 2 /
Dumont Project –
Environmental and Social Impact Assessment
Answers to Questions and Comments from the MDDEFP Vol. 2

Carte 140-10 / Map 140-10

Courbes isophones avec mesures d'atténuation au début de l'année 10 d'exploitation / Isophones Curves with Mitigation at the Beginning of Year 10 of Operation

0 440 880 m

UTM, fuseau 17 / Zone 17, NAD83

Sources :
BDTQ, 1 : 20 000, MRNF Québec, 2006
Infrastructure: 2280-0000-G-101 Rev E Final 13.06.14.dwg
CAD : DXF_Corr_Modif_2_Octobre_2013.zip
Fichier / File: 111_15275_RQ_c140_10_10_attenuation_131105.mxd

Novembre / November 2013

111-15275-00

GENIVAR

L'analyse des résultats mène aux conclusions suivantes :

- la portion sud de la halde de dépôts meubles devra être travaillée en période diurne uniquement;
- la portion nord-ouest de la deuxième cellule de résidus miniers devra être travaillée en période diurne uniquement;
- la résidence 22 au sud de la route 111 devra faire l'objet d'une attention particulière lors des premières années d'exploitation;
- pour les premières années d'exploitation, les pelles excavatrices sont les principales sources de bruit. Il sera important de s'assurer que celles-ci travailleront avec un banc de roc faisant écran à la propagation sonore vers les résidences plus au sud;
- à partir de l'an 5, les activités de camionnage deviennent une source de bruit significative. Néanmoins, l'insonorisation adéquate de ces équipements devrait permettre de conserver le niveau sonore aux résidences au sud de la route 11 sous les niveaux permis par la NI 98-01.

QC – 141 **Modélisation sonore des activités minières**

Indiquer le tonnage journalier considéré aux simulations pour les différentes années d'étude. Les activités minières, notamment de mise en valeur et d'extraction, sont visées par les critères d'acceptabilité du climat sonore de la Note d'instructions 98-01 sur le bruit révisée le 9 juin 2006 (NI). Dans les circonstances, considérer que les activités minières des années -1 et -2 (préproduction) sont également assujetties aux critères de la NI et revoir par conséquent les simulations. Les activités de construction des différentes infrastructures minières et connexes du projet Dumont, à moins qu'il ne s'agisse de l'aménagement d'écrans sonores ou de travaux réalisés au cours de la période nocturne, c'est-à-dire de 22 heures à 7 heures, ne nécessitent pas la préparation de simulations sonores;

Réaliser et fournir des simulations sonores des activités minières selon les localisations les plus défavorables des équipements prévus aux différentes étapes de développement de la fosse illustrées aux figures 5-1 à 5-4 du rapport principal. Prendre en compte, également, les travaux relatifs à la réalisation de la fosse de démarrage et des différentes cellules du parc à résidus à aménager. Fournir un tableau des puissances acoustiques détaillées et de la localisation des équipements pour les différents scénarios de modélisation considérés. Pour les camions, prendre en compte le profil des voies de circulation (plat, ascendant ou descendant). Fournir un tableau des contributions sonores détaillées des équipements pour les

différents scénarios de modélisation considérés. Pour les camions, prendre en compte le profil des voies de circulation (plat, ascendant ou descendant);
Réviser les tableaux relatifs au climat sonore simulé et au niveau sonore à respecter de l'étude pour les différentes années d'étude en concordance avec les informations requises aux points précédents. Joindre les courbes isophones révisées illustrant également la localisation et la contribution sonore des activités minières, notamment aux sites de villégiature (chalets) situés à la périphérie de la mine.

Réponse :

À la réponse précédente, les simulations de propagation sonores des années -2, -1, 1, 8 et 10 ont été révisées en fonction du plan minier révisé du projet Dumont et en considérant les nouveaux relevés sonores réalisés à l'état de référence (réponse à la QC-139). Les simulations sonores selon les localisations les plus défavorables des équipements prévus aux différentes étapes de développement de la mine correspondent aux années suivantes :

- l'an -2 et -1 pour le début de la mise en forme de la halde à dépôt meuble 2 à proximité des résidences le long de la route 111;
- l'an 1 pour la hauteur des équipements mécaniques (début de la fosse);
- l'an 8 pour la plus grande distance totale parcourue par les équipements mobiles sur le site (camions hors route);
- l'an 10 pour le nombre d'équipements total sur le site minier.

Les simulations considèrent le minage de la fosse et la construction du parc à résidus.

Tel que demandé, les éléments suivants seront présentés successivement:

- un tableau de la puissance acoustique détaillée des équipements ;
- un graphique de la position des sources de bruit pour chacun des scénarios ;
- un tableau de la contribution sonore des sources de bruit du projet à certains points sensibles en fonction de chacun des scénarios de projection sonore.

<u>Puissance acoustique des sources</u>

Le tableau suivant présente la puissance acoustique corrigée de chacun des modèles d'équipement par bande d'octaves de fréquences.

Description	Lw (dBA)	Bandes d'octaves de fréquences (Hz)								
		31	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
CAT 16M	108	60	76	87	95	101	103	101	100	94
CAT 390D	109	72	94	99	96	101	102	104	100	97
CAT 773 - À plat ou Rampe électrique	109	62	86	103	96	100	104	102	95	86
CAT 773 - Pente 10 %	111	64	88	105	98	102	106	104	97	88
CAT 777 - À plat	116	69	93	#	103	107	111	108	101	93
CAT 793 - À plat ou Rampe électrique	111	67	94	93	96	103	106	106	101	96
CAT 793 - Pente 10 %	113	69	96	95	98	105	108	108	103	98
CAT 834H	113	73	83	#	104	106	107	107	99	93
CAT 994H	119	67	83	102	107	113	115	112	103	96
CAT 6015	115	62	82	107	110	#	106	105	100	82
CAT 6060	118	65	85	110	113	112	109	108	103	85
CAT 7495	112	71	88	96	103	107	107	105	100	87
CAT D8T	117	70	83	98	101	111	111	112	104	98
CAT D9T	119	72	85	100	103	113	113	114	106	100
CAT D10T	124	77	90	105	108	118	118	119	111	105
Camions artisans	108	63	83	92	101	102	103	99	92	83
Concasseur conique	112	30	62	80	90	103	107	108	104	93
Marteau piqueur	126	106	111	119	118	121	120	113	102	92
Concasseur primaire (sous charge)	112	48	69	74	89	100	100	104	110	77
Concasseur à mâchoire	112	32	66	80	94	103	107	108	105	95
Sandvik D90	123	77	91	100	102	111	118	119	116	108
Sandvik D1190	120	74	88	97	99	108	115	116	113	105
Sandvik DI550	127	83	110	109	112	119	122	122	117	112
Sandvik DX800	125	81	108	107	110	117	120	120	115	110
Atlas Copco - Smart Rig	113	69	96	95	98	105	108	108	103	98
Train (courbe 10°) /m	82	30	42	50	61	66	64	78	76	76

Il est à noter que les camions hors route présentent deux puissances acoustiques. En effet, ils génèrent des niveaux sonores variables en fonction de la pente de la route sur laquelle ils circulent. Selon les informations fournies par le fabricant, environ 2 dBA d'augmentation sont prévisibles pour les camions 777 et 793 lorsque ceux-ci sont dans une pente de 8 % à 10 %.

Localisation des équipements

Cette section présente la disposition générale des équipements sur le site en fonction des années simulées. Pour chaque année, une figure présente la position des sources fixes (foreuses et pelles hydrauliques) ainsi que les sources de surface (bouteurs et autres équipements ayant à travailler dans une zone particulière).

Considérant le nombre important de sources de bruit ainsi que la grande dimension du site minier, ces sources seront assemblées en groupes (groupe A, B, etc.) qui seront indiqués sur les figures. Les sources mobiles, telles que les camions hors route, seront détaillées également après chacune des figures. En raison de la complexité des parcours et du niveau élevé de détail de chacun des parcours, ils seront décrits uniquement par leur origine, leur destination et le nombre de voyages prévus pour l'année sur ce parcours (ces parcours sont divisés uniformément dans l'année pour estimer le nombre de voyages par heure).

Les tableaux de contribution sonore permettent de constater que sans correctifs sonores les pelles hydrauliques 6060 sont une source de bruit significative vers les résidences de la route 111. Pour les années 8 et 10, les camions hors route sont les principales sources de bruit.

QC – 142 **Travaux de construction**

Indiquer l'horaire (de jour et de nuit) et le calendrier de réalisation des infrastructures minières et connexes. S'engager à mettre en place les mesures d'atténuation suivantes lorsque les travaux de construction sont exécutés à proximité de zones sensibles :

- **Les impacts des panneaux arrière des camions à benne seront évités;**
- **Les équipements moteurs seront dotés de silencieux perforant et en bon état;**
- **Le transport des matériaux s'effectuera en s'éloignant des zones résidentielles, lorsque possibles;**
- **L'utilisation de freins moteurs sera limitée au maximum;**
- **Les marteaux hydrauliques et pneumatiques seront munis de dispositif antibruit;**
- **Les équipements électriques et mécaniques seront éteints lorsque non utilisés;**
- **Les moteurs de camions en attente seront éteints;**
- **Les alarmes de recul seront à intensité variable;**
- **Des écrans temporaires seront mis en place, si nécessaire.**

Réponse :

L'horaire de travail des travailleurs affectés aux activités de construction varie selon le type d'activité :

- Travaux de construction des infrastructures :
  - une équipe travaillant 10 heures par jour;
  - horaire de travail de 5 jours par semaine;

- l'horaire typique serait 7 h – 17 h;
- travail occasionnel possible la fin de semaine lorsque des travaux urgents ou stratégiques pour le respect du calendrier sont nécessaires;
- les travaux s'étendent sur une période de 22 mois;
- le nombre initial de travailleurs est de 29, et passe par un maximum de l'ordre de 863 au douzième mois de construction, pour ensuite décliner vers un nombre final de 20 au dernier mois (22).

- Travaux de préparation minière par un entrepreneur minier :
  - deux équipes travaillant chacune 12 heures par jour;
  - horaire de travail de 7 jours par semaine;
  - les travaux de ces travailleurs débutent dès le début des activités de construction, et se terminent au début de la quatrième année d'exploitation;
  - le nombre moyen de travailleurs au cours de la première année de construction sera de l'ordre de 57, pour augmenter à un maximum prévu de 186 au cours de la première année d'exploitation. Il diminuera ensuite pour s'établir à environ 31 lors de l'année 4 d'exploitation.
- Travaux de préparation minière par des employés de RNC. RNC affectera des travailleurs de l'entreprise aux travaux de préparation minière (décapage, extraction et mise en halde des premières tonnes de minerai); ces travailleurs comprendront des opérateurs d'équipements lourds et des travailleurs affectés à l'entretien de ces équipements :
  - deux équipes travaillant chacune 12 heures par jour pour les opérateurs d'équipement; les travailleurs d'entretien de ces équipements travailleront probablement sur une base de 5 jours par semaine, sur le quart de jour;
  - horaire de travail de 7 jours par semaine;
  - les activités de ces travailleurs débutent dès le début de la période de construction;
  - un total d'environ 188 employés de RNC est prévu être affecté à ces opérations de préparation minière lors de la première année de construction/préproduction, et 251 travailleurs lors de la seconde année; ces travailleurs sont ensuite intégrés aux équipes de RNC qui seront affectées aux opérations d'extraction pendant la phase d'exploitation.

Enfin, RNC s'engage à mettre de l'avant les mesures d'atténuation édictées dans la question QC-142 s'ils sont nécessaires pour respecter les normes aux récepteurs sensibles. Cependant, lors des périodes chaude et froide, plusieurs des moteurs de camions en attente ne pourront être éteints.

QC – 143 Suivi acoustique

Présenter le calendrier et la description des activités et des paramètres de suivi du climat sonore au cours des phases de construction et d'exploitation du projet minier Dumont

Réponse :

Le programme de suivi préliminaire du bruit du projet Dumont est présenté à la réponse à la question QC-97 et à l'annexe 9. Il couvre à la fois les phases de construction/préproduction et d'exploitation du projet Dumont.

RÉFÉRENCES

AUSENCO. 2013. Technical Report on the Dumont Ni Project, Launay and Trécesson Townships, Quebec, Canada. Rapport no. 2280.

R. BOHN, ET AL. 1978. Midwest Research Institute, Kansas City, Missouri. *Fugitive Emissions from Integrated Iron and Steel Plants*..

COWHERD C., G. E. MULESKI ET J. KINSEY. 1988. Control of Open Fugitive Dust Sources, Kansas City.

FENG G., SHARRATT B., VADDELLA V., 2013. *Windblown soil crust formation under light rainfall in a semiarid region*, Soil & Tillage Research 128 91–96.

GENIVAR. 2012. Projet Dumont – Étude d'impact sur l'environnement et le milieu social. Volume 1. Rapport principal. Rapport de GENIVAR inc. à Royal Nickel Corporation. Pagination multiple.

GENIVAR, 2012. Modélisation de la dispersion atmosphérique des composés particulaires dans l'air ambiant- Projet Dumont – Rapport sectoriel, volume 3, annexe 22 – Étude d'impact sur l'environnement et le milieu social. Rapport de GENIVAR inc. pour Royal Nickel Corp. 127 pages et annexe.

GENIVAR, en préparation. Modélisation de la dispersion atmosphérique, Projet Dumont. Étude d'impact sur l'environnement et le milieu social. Rapport sectoriel soumis en réponse à la 1ère série de questions et commentaires du MDDEFP. Rapport de GENIVAR inc. pour Royal Nickel Corp.

GENIVAR. 2013. Projet Dumont – Étude d'impact sur l'environnement et le milieu social. Réponses aux questions et commentaires du ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs du Québec reçus le 11 mars 2013. Volume 1. Rapport de GENIVAR inc. à Royal Nickel Corporation. 192 p. et annexes.

GOLDER ASSOCIÉS. Août 2012. *Phase 2 du Programme de Caractérisation Géochimique – Projet Dumont – Confidentiel – Préliminaire*, 004-10-1227-0028-RF-RevA,

GOLDER ASSOCIÉS. Juin 2013. *Programme de Caractérisation Géochimique des Stériles et Résidus Miniers – Projet Dumont*, 006-10-1227-0028-RF-Rev0.

GOVERNMENT OF CANADA, *1981-2010 Climate Normals & Averages, station Val d'Or A.* Online: http://climate.weather.gc.ca/climate_normals/index_e.html

HAUL ROAD WORKGROUP. March 2012. Final Report, US-EPA, http://www.epa.gov/scram001/reports/Haul_Road_Workgroup-Final_Report_Package-20120302.pdf

HEINERIKSON, A. J., GOODMAN, A. C., HARRISON, D., PHAM, M. 2007. *Modeling Fugitive Dust Sources With AERMOD,* National Stone, Sand & Gravel Association.

INSTITUT NATIONAL DE SANTÉ PUBLIQUE DU QUÉBEC (INSPQ). 2010. *Présence de fibres d'amiante dans l'air intérieur et extérieur de la ville de Thetford Mines : estimation des risques de cancer du poumon et de mésothéliome*. Mise à jour septembre 2010. Direction de la santé environnementale et de la toxicologie, Direction des risques biologiques et de la santé au travail, Québec. 50 p et annexes.

NATIONAL STONE, SAND & GRAVEL ASSOCIATION. 2007. *Modeling Fugitive Dust Sources with AERMOD*, Trinity Consultants.

ROYAL NICKEL CORPORATION. 2013. Rapport de quantification du chrysotile. Projet Dumont. 17 septembre 2013. 42 pages et annexes.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (US EPA). 2007. United States Meteorological Data: Daily and Hourly Files to Support Predictive Exposure Modeling.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (US EPA). 2010. Conversion factors for hydrocarbon emission Components. NR-002d, EPA-420-R-10-015. 4 p.

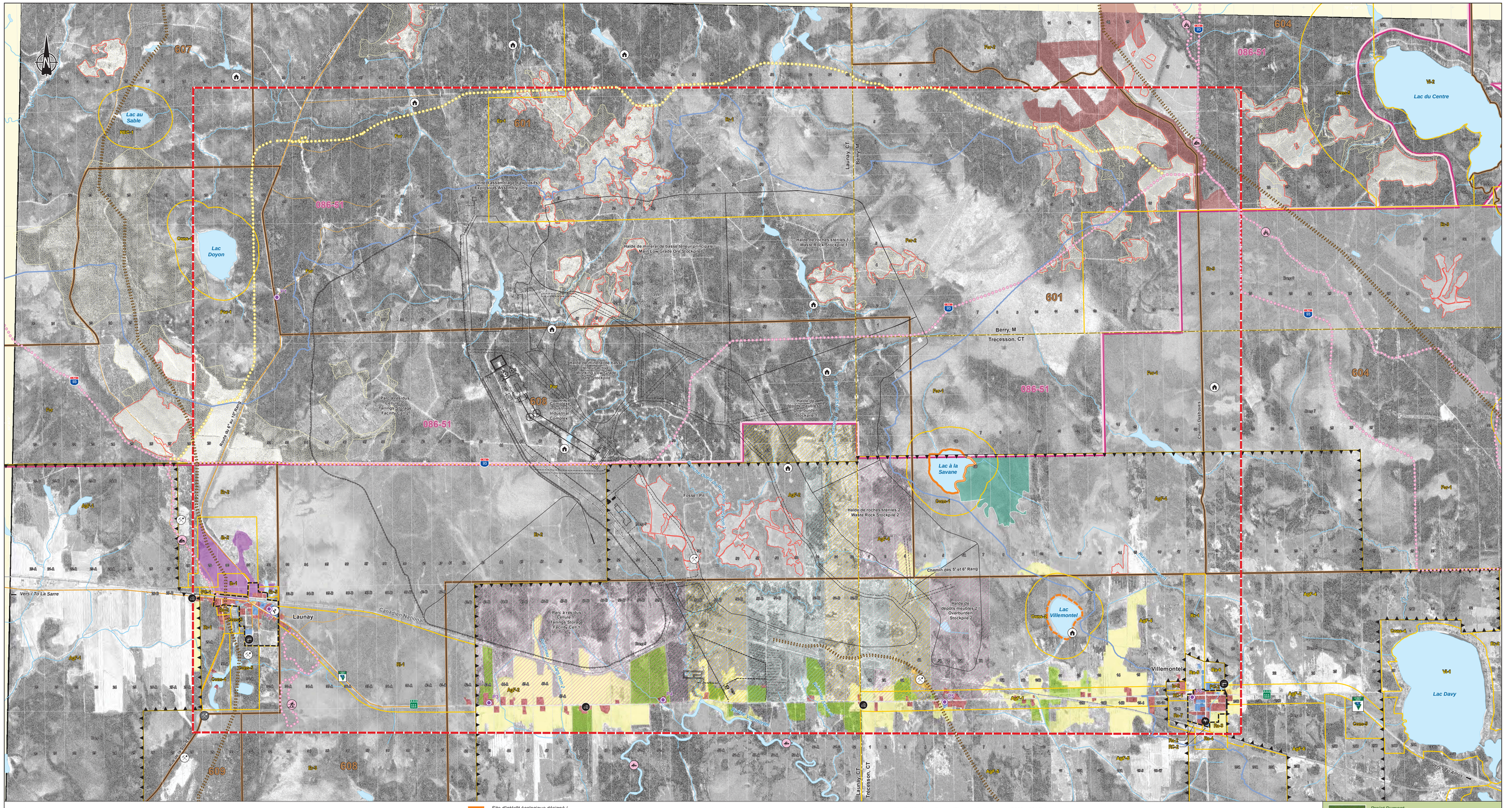
U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (US EPA). 1995. *Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Volume 1: Stationary Point and Area Sources, Section 13.2.5 Industrial Wind Erosion*.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (US EPA). 1995. *Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Volume 1: Stationary Point and Area Sources, Section 13.2.4 Aggregate Handling and Storage Piles*.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (US EPA). *Compilation of Air Pollutant Emission Factors: AP-42, Fifth Edition, Volume I: Stationary Point and Area Sources*. En ligne : http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/index.html.

ANNEXE 1

Carte C-2 rééditée



Utilisation du sol / Land Use

- Résidentielle / Residential
- Industrielle / Industrial
- Commerciale / Commercial
- Services public, récréatif et institutionnel / Public Services, Recreational and Institutional
- Culture, pâturage ou friche herbacée / Cultivation, Pasture or Herbaceous Wildland
- Producteur bovin / Cattle Producer

Zonage / Zoning

- Périmètre urbain / Urban Area
- Agroforestier / Agroforestry
- Conservation / Preservation
- Exploitation contrôlée des ressources / Controlled Resources Exploitation
- Forestier et minier / Forestry and Mining
- Industriel et para-industriel / Industrial and Semi-Industrial
- Industriel lourd / Heavy Industry
- Public et communautaire / Public and Community
- Résidentiel de faible densité / Low Density Residential
- Récréotouristique / Recreotouristic
- Résidentiel et commercial / Residential and Commercial
- Résidentiel et industriel / Residential and Industrial
- Résidentiel rural / Rural Residential
- Villégiature et résidentiel de faible densité / Resort and Low Density Residential

Sites d'intérêt / Places of Interest

- Site d'intérêt historique (ancien bureau de poste) / Historic Interest Site (Former Post Office)
- Site d'intérêt écologique désigné / Designated Site of Ecological Interest
- Site d'intérêt écologique en attente d'une désignation / Site of Ecological Interest Awaiting Designation
- Esker

Loisirs et récréotourisme / Leisure and Recreotourism

- Sentier de ski de fond / Cross-Country Ski Trail
- Route verte / Bike Trail
- Sentier de motoneige Trans-Québec / Trans-Québec Snowmobile Trail
- Sentier de motoneige local / Local Snowmobile Trail
- Sentier de motoneige relocalisé (2012) / Relocated Snowmobile Trail (2012)
- Sentier de quad / ATV Trail
- Parcours canotable / Canoe Route
- Belvédère / Belvedere
- Abri sommaire / Rough Shelter

Propriétés foncières / Land Ownership

- Propriété privée pour laquelle Royal Nickel Corporation souhaite obtenir une option d'achat / Private Property for which Royal Nickel Corporation is Seeking a Purchase Option
- Propriété privée avec option d'achat par Royal Nickel Corporation / Private Property with a Purchase Option by Royal Nickel Corporation
- Propriété de Royal Nickel Corporation / Royal Nickel Corporation Property

Forêt / Forest

- Convention d'aménagement forestier / Forest Management Agreement (CvAF)
- 086-51 Unité d'aménagement forestier / Forest Management Unit (UAF)
- Zone de coupe forestière / Logging Area
- Refuge biologique projeté / Proposed Biological Refuge
- Plantation

Activités forestières (Plans quinquennaux 2008 - 2013) / Forestry Activities (2008 - 2013 5 year plan)

- Coupe de régénération / Regeneration Cutting Area
- Éclaircie commerciale / Commercial Thinning Area

Infrastructures / Infrastructure

- Décharge fermée / Closed Landfill
- Station d'épuration des eaux usées / Wastewater Treatment Plant
- Tour de télécommunications / Telecommunication Tower
- Gravière ou sablière / Gravel or Sand Pit
- Gravière fermée / Closed Gravel Pit
- Voie ferrée / Railway

Piégeage / Trapping

- 604 Numéro de terrain de piégeage enregistré / Registered Trapline Number
- Limite de terrain de piégeage enregistré / Registered Trapline Boundary

Composantes du projet / Project Components

- Infrastructure minière / Mining Infrastructure
- Route / Road
- Voie ferrée / Railway

Bruit / Noise

- P4 Relevé sonore / Noise Survey

Limites / Boundaries

- Zone d'étude locale élargie / Extended Local Study Area
- Municipalité / Municipality
- Zone agricole permanente / Permanent Agricultural Zone
- Lot et numéro / Lot and Number
- Ligne de partage des eaux / Watershed

RNC PROJET DUMONT

Projet Dumont – Étude d'impact sur l'environnement et le milieu social / Dumont Project – Environmental and Social Impact Assessment

Carte C-2 / Map C-2

Inventaire du milieu humain - Zone d'étude locale élargie / Inventory of Human Environment - Extended Local Study Area

0 240 480 m

MTM, fuseau / Zone 10, NAD83

Sources :

Ortho: GeoEye, 2011, Résolution 0,5 m
BNDT, 1 : 50 000
Refuge biologique / Biological Refuge, MRNF, 2012
SDA, 2010, CPTAQ, 2011, FCMQ, 1 : 20 000, 2009, FCCQ, 2010, SIGMA, 2012
Compilation cadastrale / Cadastral Compilation, 2012
Bail de villégiature / Resort Lease, Sept. 2010
Matériaux Blanchet, 2011, MRC d'Abitibi
Municipalité de Launay, Trécesson et Berry / Municipality of Launay, Trécession and Berry
Infrastructures: ESIA SUBMISSION SITE LAYOUT 2 WITH TEXT 12.08.16.dwg
Fichier / File: 111_15275_EIE_cC2_MHumain_121107.mxd

Novembre / November 2012

111-15275-01

GENIVAR

ANNEXE 2

Rapport d’inventaire de la tortue mouchetée

ROYAL NICKEL CORPORATION





PROJET **DUMONT**

Étude d'impact sur l'environnement et le milieu social

Inventaire de la tortue mouchetée *(Emydoidea blandingii)*

JUIN 2013





Septembre 2013
Projet : 111-15275-01

GENIVAR

PROJET DUMONT

INVENTAIRE DE LA TORTUE MOUCHETÉE
(*Emydoidea blandingii*)
JUIN 2013

Présenté à

Royal Nickel Corporation

Par

GENIVAR inc.

Approuvé par : 2013-09-17

Patrick Charbonneau, biol.
M. Sc. eau & M. Sc. écotoxicologie
Directeur de projet

SEPTEMBRE 2013
111-15275-01-983

ÉQUIPE DE RÉALISATION

Royal Nickel Corporation

Directeur du Développement durable	:	Pierre-Philippe Dupont, biol., M. Sc.
Spécialiste en développement durable	:	Stanislas Ketelers, M. ATDR
Technicien	:	Frédéric Dufresne, tech. exploration

GENIVAR inc.

Directeur de projet	:	Patrick Charbonneau, biol., M. Sc.
Adjoint au directeur de projet	:	Yanick Plourde, biol., M. Sc.
Chargé de projet	:	Marc Gauthier, biol., Ph. D.
Professionnels	:	Richard Brunet, biol., Ph. D.
		Sarah Thibaudeau-Gosselin, biol.
Technicien	:	Steven Mignault, tech. de la faune
Édition	:	Linette Poulin

Référence à citer :

GENIVAR. 2013*. Projet Dumont. Inventaire de la tortue mouchetée (Emydoidea blandingii) - Juin 2013.* Rapport de GENIVAR à Royal Nickel Corporation. 14 p. et annexes.

TABLE DES MATIÈRES

Page

Équipe de réalisation i
Table des matières iii
Liste des tableaux v
Liste des figures v
Liste des annexes v

1. INTRODUCTION 1
2. MÉTHODOLOGIE 3
   - 2.1 Zone d'étude 3
   - 2.2 Répartition des stations 3
   - 2.3 Stratégie d'inventaire 3
   - 2.4 Données récoltées 7
3. RÉSULTATS ET DISCUSSION 11
4 RÉFÉRENCES 13

LISTE DES TABLEAUX

Page

Tableau 1 Localisation et description des stations d'inventaire de la tortue mouchetée (juin 2013)..... 4

Tableau 2 Effort d'inventaire réalisé à chacune des stations (juin 2013). 8

LISTE DES FIGURES

Page

Figure 1 Installation typique d'un verveux à tortue utilisé pour l'inventaire des tortues mouchetées. 7

Figure 2 Chiffres correspondants à chaque écaille pour le marquage des tortues. Les chiffres des écailles antérieures sont normalement utilisés pour identifier la zone d'étude et ceux des écailles postérieures pour numéroter la tortue. 9

LISTE DES CARTES

Page

Carte 1 Site d'inventaire de la tortue mouchetée (juin 2013) 5

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 Dossier photographique

1. INTRODUCTION

Royal Nickel Corporation (RNC) projette d'exploiter un gisement nickélifère, le projet Dumont, à environ 25 km à l'ouest de la ville d'Amos, à proximité des agglomérations de Launay et de Villemontel. RNC a décidé de concevoir, de développer, d'évaluer et de mettre en œuvre son projet dans une perspective de développement durable, ce qui touche à toutes les étapes du projet, de sa conception à sa fermeture, notamment dans le contexte de l'étude d'impact sur l'environnement et le milieu social (EIES) du gouvernement provincial et de l'étude approfondie du gouvernement fédéral. Cette initiative vise à favoriser l'acceptabilité sociale du projet, tout en assurant un apport continu de RNC dans la région, incluant des actions ayant des effets stables sur l'économie et la qualité de vie régionale à toutes les étapes de développement du projet Dumont.

Selon l'évaluation récente des ressources minérales, le gisement Dumont renferme 1 62 070 000 t de ressources nickélifères mesurées et indiquées, et 513 080 000 t de ressources présumées. La concentration moyenne en nickel des ressources mesurées et indiquées s'établit à 0,27 %. Il s'agit d'un projet majeur dont les infrastructures sont d'une ampleur considérable. Par exemple, la fosse à elle seule a environ 4,9 km de long, 1,4 km de large et près de 600 m de profondeur. Lors de l'étude de préfaisabilité et des inventaires préliminaires sur les milieux naturel et humain, plusieurs enjeux environnementaux et sociaux ont été identifiés. Afin de répondre adéquatement à ces problématiques, RNC a demandé des études complémentaires sur plusieurs sujets d'importance pour le développement durable du projet, soit l'hydrologie, l'hydrogéologie, l'ambiance sonore, l'émission de poussières et de gaz, la circulation routière et le paysage.

Le projet Dumont est assujetti à la procédure d'évaluation et d'examen des impacts sur l'environnement en vertu de la Loi sur la qualité de l'environnement (LQE) (L.R.Q., c. Q 2) et de son Règlement sur l'évaluation et l'examen des impacts sur l'environnement (R.R.Q., c. Q-2, r. 23; art. 2, alinéa p). De plus, le projet est également assujetti à la procédure d'étude approfondie de l'ancienne Loi canadienne d'évaluation environnementale (L.R.C., 1992, ch. 37; LCÉE) puisque l'avis de projet du projet Dumont a été déposé le 6 décembre 2011 sous l'égide de l'ancienne loi, avant sa modification entrée en vigueur le 6 juillet 2012 sous l'appellation de LCÉE 2012 (L.R.C., 2012, ch. 19, art. 52). L'EIES a été déposée au ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs du Québec (MDDEFP) et à l'Agence canadienne d'évaluation environnementale (ACÉE) le 12 novembre 2012. Les études complémentaires s'inscrivent dans le contexte de l'EIES du projet Dumont.

Le présent rapport sectoriel concerne spécifiquement la tortue mouchetée *(Emydoidea blandingii)*, dont le ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs du Québec (MDDEFP) a demandé de vérifier la présence dans la zone d'étude locale du projet Dumont. Cette demande fait suite aux observations de spécimens de cette espèce au nord de Senneterre en 2000 et au lac Duparquet en 2012. Comme la tortue mouchetée est une espèce menacée au Québec (MDDEFP, 2009) et au Canada (Gouvernement du Canada, 2012) et que son habitat est bien représenté dans la zone d'étude (GENIVAR, 2012), un inventaire ciblé a été planifié afin d'en vérifier la présence.

2. MÉTHODOLOGIE

La méthodologie qui suit a été soumise au MDDEFP pour qu'elle soit validée. Les commentaires du Ministère, reçus le 26 avril 2013, ont été intégrés avant le début de la campagne sur le terrain.

2.1 Zone d'étude

Le projet Dumont est localisé entre les cantons de Trécesson et de Launay, au nord de la route 111, à environ 25 km de la ville d'Amos, à 60 km au nord-est de la ville de Rouyn-Noranda, et à 70 km au nord-ouest de la ville de Val-d'Or (carte 1). La zone d'étude englobe l'emprise des infrastructures du projet Dumont.

Les coordonnées géographiques du projet Dumont, au centre du gisement sont :

- X : -78,4485° de longitude ouest.
- Y : 48,6549° de latitude nord.

2.2 Répartition des stations

La tortue mouchetée se retrouve habituellement dans les étangs, marais, marécages et baies de lacs ou de rivières où la végétation aquatique est abondante. Elle fréquente également les étangs de castor, les fossés peu profonds et les tourbières (Desroches et Rodrigue, 2004). Étant donné que la zone d'étude comprend de nombreux habitats potentiellement propices à la tortue mouchetée, 16 d'entre eux ont été inventoriés afin d'y vérifier la présence de l'espèce. Les 16 stations ont été préalablement sélectionnées à partir de cartes et de photographies aériennes, en portant une attention particulière aux complexes de milieux humides prisés par l'espèce, tels que les successions d'étangs de castors sur le cours du ruisseau sans nom 1. La localisation définitive des stations a été établie sur place, en fonction de la configuration des lieux, de leur accessibilité, des niveaux d'eau et de leur potentiel réel comme habitat à tortues (carte 1 et tableau 1). Des photos des stations sont présentées à l'annexe 1. Les stations étaient pour la plupart situées dans les secteurs qui seront touchés par la mine (fosses, haldes, parcs à résidus, etc.) (carte 1).

2.3 Stratégie d'inventaire

L'inventaire de la tortue mouchetée a reposé sur l'utilisation de verveux à tortue et sur la recherche active aux sites sélectionnés (Dubois et coll., 2011 et 2012). À cette fin, des verveux de 75 et 80 cm de diamètre par 2,8 m de longueur ont été utilisés (figure 1), à raison d'un verveux par station, à l'exception de la station TM-6 où deux engins ont été installés.

Tableau 1 Localisation et description des stations d'inventaire de la tortue mouchetée (juin 2013).

Station	Coordonnée X	Coordonnée Y	Habitat
TM-01	78,42540333300	48,64915500400	En bordure d'une hutte de castors, dans un corridor de passage de castors.
TM-02	78,41400333300	48,64685167100	Marais inondé (étang de castors), herbier aquatique abondant.
TM-03	78,42324666700	48,66794833800	Étang de castors, en bordure d'une aulnaie. Eau profonde.
TM-04	78,42414000000	48,67315833800	Étang de castors, près de la route. Fond argileux, peu de végétation.
TM-05	78,42821666700	48,67989167100	Canal dans un étang de castors, beaucoup de plantes émergentes.
TM-06	A : 78,43605500000	48,68606333800	Canal dans un étang de castors. Aulnaie avec un herbier aquatique abondant.
	B : 78,43383833300	48,68567000400	Aulnaie dans un étang de castors.
TM-07	78,44202166700	48,65690500400	En bordure d'une hutte de castor. Large étang, marais et aulnaie.
TM-08	78,44214500000	48,64527667100	Petit tributaire du ruisseau principal, avec de hautes graminées et des souches émergentes.
TM-09	78,45095500000	48,64959333800	Aulnaie dans un méandre plus calme, en périphérie d'un ruisseau à courant fort.
TM-10	78,46973500000	48,64437833800	Tourbière ouverte avec de nombreux canaux de castors.
TM-11	78,47693000000	48,66265667100	Aulnaie et vaste marais, verveux installé dans un canal menant vers le lac.
TM-12	78,47537833300	48,68311667100	Canaux en amont d'un étang de castors.
TM-13	78,49518166700	48,68250500400	Près d'un barrage de castors, dans un herbier aquatique abondant à la sortie d'une aulnaie.
TM-14	78,49216666700	48,67022167100	Canal dans un étang de castors.
TM-15	78,50672833300	48,67827167100	Fossé de drainage connecté à un étang en aval.
TM-16	78,45461833300	48,63293167100	Aulnaie au bord de la rivière Villemontel. Traces de castors et plusieurs souches, eau calme.

Les verveux ont été déployés dans des endroits peu profonds, généralement avec une abondante végétation émergeante, tel que suggéré par Yohann Dubois du MDDEFP (comm. pers., avril 2013). Les verveux ont été installés entre le 1er et le 3 juin 2013 et sont demeurés en opération pour une période de 6 à 9 jours selon les stations (tableau 2). L'inventaire s'est terminé le 10 juin. Les visites d'inspection étaient espacées d'un maximum de 24 h et les verveux étaient ré-appâtés tous les jours avec des sardines. Afin de permettre aux tortues captives de respirer librement, les verveux n'étaient immergés qu'à moitié ou au deux tiers de leur hauteur (figure 1).

78°30'0"
78°27'0"
78°24'0"
48°42'0"
48°39'0"

Dépôts d'explosifs / Explosives Magazines
Usine d'émulsion / Emulsion Plant
Voie ferrée de l'usine / Plant Railway
Halde de dépôts meubles pour restauration n° 3 / Reclaim Pile n° 3
Halde de minerai de basse teneur active n° 1 / Working Low Grade Ore Stockpile n° 1
Halde de roches stériles n° 1 / Waste Rock Stockpile n° 1
Halde de minerai de basse teneur active n° 2 / Working Low Grade Ore Stockpile n° 2
Halde de minerai de basse teneur active n° 3A / Working Low Grade Ore Stockpile n° 3A
Halde de minerai de basse teneur active n° 3B / Working Low Grade Ore Stockpile n° 3B
Halde de dépôts meubles n° 1 / Overburden Stockpile n° 1
Halde de dépôts meubles n° 2 / Overburden Stockpile n° 2
Halde de dépôts meubles pour restauration n° 2 / Reclaim Pile n° 2
Halde de dépôts meubles pour restauration n° 1 / Reclaim Pile n° 1
Parc à résidus Cellule 1 / Tailings Storage Facility Cell 1
Parc à résidus Cellule 2 / Tailings Storage Facility Cell 2
Complexe industriel / Industrial Complex
Garage et réservoirs de carburant / Truck Shop and Fuel Storage
Berme de sécurité / Diversion Dyke
Fosse / Pit
Voie ferrée de l'usine / Plant Railway
Usine de traitement des eaux / Wastewater Treatment Plant
Bassin 1 / Pond 1
Bassin 2 / Pond 2
Bâtiments administratifs / Administrative Buildings
Point de rejet / Final Effluent Discharge

TM-06
TM-06A
TM-12
TM-13
TM-15
TM-05
TM-04
TM-03
TM-14
TM-11
TM-07
TM-09
TM-01
TM-02
TM-08
TM-10
TM-16

Branche est du ruisseau sans nom 1
Branche ouest du ruisseau sans nom 1
Ruisseau sans nom 2
Ruisseau Boisvert
Ruisseau Paré
Ruisseau Brochu
Ruisseau Sénécal
Rivière Villemontel

Lac à la Savane
Lac Villemontel

Launay
Vers / To La Sarre
Vers / To Amos

Inventaire / Inventory

- Emplacement des verveux / Hoop-net Location
- Zone de recherche active / Area of active search

Composantes du projet / Project Components

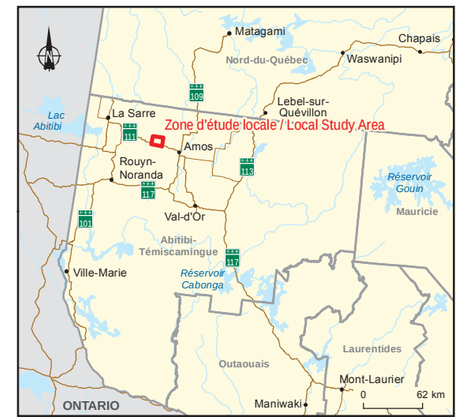
- Infrastructure minière / Mining Infrastructure
- Voie ferrée / Railway

Infrastructures / Infrastructure

- Route principale / Main Road
- Route secondaire / Secondary Road
- Chemin / Path
- Voie ferrée / Railway

Autre / Other

- Zone d'étude locale / Local Study Area



RNC PROJET DUMONT

Projet Dumont – Inventaire de la tortue mouchetée / Dumont Project – Blanding's Turtle Inventory

Carte 1 / Map 1

Sites d'inventaire de la tortue mouchetée (juin 2013) / Blanding's Turtle Inventory Sites (June 2013)

0 380 760 1 140m
MTM, fuseau / Zone 10, NAD83

Sources:

BDTQ, 1 : 20 000, MRNF Québec, 2006
Infrastructure: 2280-0000-G-101 Rev E Final 13.06.14.dwg

Fichier / File: 111_15275_RS_TO_c1_invtortue_130801.mxd

Août / August 2013

111-15275-01

GENIVAR



Figure 1 Installation typique d'un verveux à tortue utilisé pour l'inventaire des tortues mouchetées.

Parallèlement aux relevés quotidiens des verveux à tortue, une recherche active a été réalisée au pourtour des milieux humides échantillonnés. Les participants, munis de jumelles et en équipe de deux, devaient noter les observations de tortues, indépendamment de l'espèce, en plus de noter les coordonnées géographiques de ces dernières (Dubois et coll., 2011 et 2012). Selon la complexité des sites inventoriés, ces recherches actives se sont étendues sur 50 à 135 minutes-homme par station (tableau 2). Afin d'optimiser les probabilités de détection des tortues, ces recherches ont été limitées aux journées ensoleillées, plus favorables à l'observation des tortues qui s'exposent au soleil pour réguler leur température (Bouthillier, 2012).

2.4 Données récoltées

Pour chaque tortue mouchetée capturée, les données suivantes devaient être notées : coordonnées géographique, date et heure, masse, longueur de la carapace et du plastron, âge (adulte, juvénile, immature), sexe (mâle, femelle, indéterminé), ainsi que les blessures et malformations apparentes. Notons que chez le mâle, le

Tableau 2 Effort d'inventaire réalisé à chacune des stations (juin 2013).

	Verveux			Recherche active		
Station	Date d'installation	Date de retrait	Durée (jours)	Effort (temps-homme)	Date	Distance linéaire (m)
TM-01	1er juin	10 juin	9	60 minutes	4 juin	827
TM-02	1er juin	9 juin	8	70 minutes	7 juin	1047
TM-03	1er juin	10 juin	9	50 minutes	7 juin	862
TM-04	1er juin	10 juin	9	80 minutes	7 juin	1543
TM-05	1er juin	9 juin	8	60 minutes	7 juin	526
TM-06	A : 1er juin	9 juin	8	90 minutes	4 juin	420
	B : 1er juin	9 juin	8			
TM-07	2 juin	10 juin	8	60 minutes	9 juin	1116
TM-08	1er juin	9 juin	8	90 minutes	6 juin	651
TM-09	1er juin	10 juin	9	90 minutes	6 juin	1032
TM-10	2 juin	10 juin	8	50 minutes	9 juin	473
TM-11	2 juin	10 juin	8	60 minutes	5 juin	443
TM-12	2 juin	9 juin	7	60 minutes	7 juin	548
TM-13	2 juin	9 juin	7	100 minutes	6 juin	237
TM-14	3 juin	9 juin	6	60 minutes	6 juin	844
TM-15	2 juin	9 juin	7	60 minutes	6 juin	466
TM-16	1er juin	10 juin	9	135 minutes	6 juin	664

plastron est légèrement concave et que le cloaque est derrière la marge de la carapace, tandis que chez la femelle, le plastron est plat, la queue est plus étroite que chez le mâle et le cloaque est antérieur à la marge de la carapace (Comité sur la situation des espèces en péril au Canada [COSEPAC], 2005). L'âge des tortues mouchetées juvéniles peut être estimé par le décompte des anneaux de croissance des écailles du plastron (Congdon et coll., 1991, 1993, 2001). Par contre, l'âge des individus ayant atteint la maturité sexuelle est difficile à déterminer avec précision et ne peut être déduit à partir de la différence de taille. Il est estimé que les individus ont acquis la maturité sexuelle lorsque la longueur de la carapace, mesurée en ligne droite, atteint au moins 152 mm (Harding, 1997), ce qui correspond à au moins 25 ans dans la partie septentrionale de l'aire de répartition de l'espèce (Congdon et coll., 2001; Bury et Germano, 2002; The Blanding's Turtle Recovery Team, 2002).

Le cas échéant, un numéro unique devait être attribué à chaque spécimen, au moyen d'encoches limées dans la bordure arrière de la dossière. Chaque écaille correspond à un chiffre (figure 2) dont la somme correspond au numéro de l'individu (Dubois et coll., 2011, 2012).

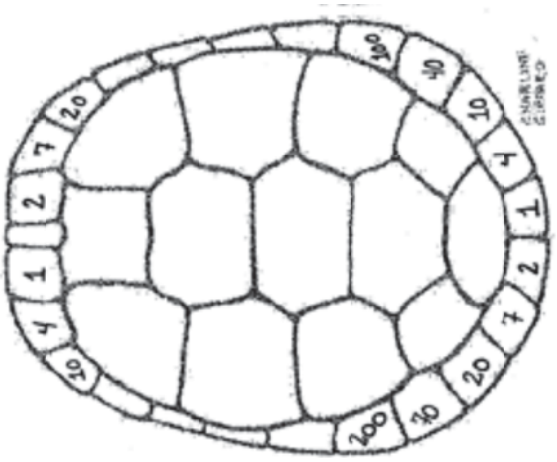


Figure 2 Chiffres correspondants à chaque écaille pour le marquage des tortues. Les chiffres des écailles antérieures sont normalement utilisés pour identifier la zone d'étude et ceux des écailles postérieures pour numéroter la tortue.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

La tortue mouchetée est désignée menacée depuis 2010 au Québec (MDDEFP, 2009) et est aussi désignée menacée au Canada (Gouvernement du Canada, 2012). Bien que les populations connues soient essentiellement situées en Outaouais, plusieurs individus isolés ont été observés ailleurs dans la province, dont quelques-uns en Abitibi. Deux observations ont ainsi été faites au lac Duparquet en 2012, ainsi qu'une autre en 2000 au nord de Senneterre (Yohann Dubois, MDDEFP, comm. pers., avril 2013).

Malgré un effort d'inventaire de 136 jours-engin, réparti sur 16 stations, et une recherche active cumulant 20 heures-homme, aucune tortue n'a été capturée ou détectée.

Sans être en mesure de confirmer définitivement l'absence de tortues mouchetées dans la zone d'étude, il est possible d'affirmer que la tortue mouchetée y est vraisemblablement très rare, compte tenu de l'effort considérable consacré à sa recherche. Aucune tortue n'avait d'ailleurs été observée dans les tronçons de cours d'eau inspectés en mai 2011 (GENIVAR, 2012).

Rappelons que cette tortue se retrouve habituellement dans les habitats suivants : étangs, marais, marécages, baies de lacs ou de rivières où la végétation aquatique est abondante, étangs de castor, fossés peu profonds et tourbières (Desroches et Rodrigue, 2004). Il s'agit d'habitats relativement abondants dans la zone d'étude locale du projet Dumont, puisque les étangs, marais et autres milieux humides y couvrent environ 57 % de la superficie (GENIVAR, 2012). Tel que suggéré par la répartition géographique des tortues, dont la plus grande diversité et les plus fortes densités se concentrent essentiellement dans le sud-ouest du Québec (Atlas des amphibiens et reptiles du Québec [AARQ], 2013), l'absence ou la rareté des tortues dans la zone d'étude semble refléter la rigueur des conditions climatiques régionales plutôt qu'un manque d'habitats propices.

4 RÉFÉRENCES

ATLAS DES AMPHIBIENS ET REPTILES DU QUÉBEC (AARQ). 2013. *Banque de données active depuis 1988 alimentée par des bénévoles et professionnels de la faune*. Société d'histoire naturelle de la vallée du Saint-Laurent et ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec. Site Internet consulté le 22 juillet 2013. Disponible [en ligne] : www.atlasamphibiensreptiles.qc.ca/

BOUTHILLIER, L. 2012. *Méthode d'inventaire pour détecter la présence de la tortue des bois sur un tronçon de rivière.* Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec. 5 p.

BURY, R.B. et D.J. GERMANO. 2002. Differences in habitat use by Blanding's Turtles, *Emydoidea blandingii*, and Painted Turtles, *Chysemys picta*, in the Nebraska sandhills*. American Midland Naturalist* **149**: 241-244.

COMITÉ SUR LA SITUATION DES ESPÈCES EN PÉRIL AU CANADA (COSEPAC). 2005. *Évaluation et Rapport de situation du COSEPAC sur la tortue mouchetée (*Emydoidea blandingii*) au Canada – Mise à jour.* Comité sur la situation des espèces en péril au Canada. Ottawa. 47 p.

CONGDON, J.D. et R.C. VAN LOBEN SELS. 1991. Growth and body size in Blanding's turtles (*Emydoidea blandingii*): relationships to reproduction. *Canadian Journal of Zoology* **69**: 239-245.

CONGDON, J.D., A.E. DUNHAM et R.C. VAN LOBEN SELS. 1993. Delayed sexual maturity and demographics of Blanding's Turtles (*Emydoidea blandingii*): Implications for conservation and management of long-lived organisms. *Conservation Biology* **7**: 826-833.

CONGDON, J.D., R.D. NAGEL, O.M. KINNEY et R.C. VAN LOBEN SELS. 2001. Hypotheses of aging in a long-lived vertebrate, Blanding's Turtle (*Emydoidea blandingii*). *Experimental Gerontology* **36**: 813-827.

DESROCHES, J.-F. et D. RODRIGUE. 2004. *Amphibiens et reptiles du Québec et des Maritimes*. Éditions Michel Quintin, Waterloo. 288 p.

DUBOIS, Y., O. ORJIKH et S. PELLETIER. 2011. *Cartographie des habitats essentiels et identification des menaces au maintien des populations de tortues mouchetées dans le parc de la Gatineau et les aires prioritaires de conservation de l'espèce en périphérie du Parc – phase II, 2e rapport d'étape - Résultats préliminaires suite à la seconde année des travaux de terrain*. Conservation de la nature Canada, pour la Commission de la Capitale nationale. 31 p. et annexes.

DUBOIS, Y., G. FORTIN et S. PELLETIER. 2012. *Cartographie des habitats essentiels et identification des menaces au maintien des populations de tortues mouchetées dans le parc de la Gatineau et les aires prioritaires de conservation de l'espèce en périphérie du Parc – Rapport final - Résultats finaux suite aux trois années de travaux de terrain (2009-2011)*. Conservation de la nature Canada, pour la Commission de la Capitale nationale. 71 p. et annexes.

GOUVERNEMENT DU CANADA. 2012. *Registre public des espèces en péril*. Site Internet consulté le 10 juillet 2013. Disponible [en ligne]: www.registrelep.gc.ca/

GENIVAR. 2012. *Projet Dumont – Étude d'impact sur l'environnement et le milieu social*. Rapport réalisé pour Royal Nickel Corporation (RNC). 6 volumes. Pagination par section et annexes.

HARDING, J.H. 1997. *Amphibians and reptiles of the Great Lakes Region*. The University of Michigan Press, Ann Arbor. 378 p.

MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT, DE LA FAUNE ET DES PARCS DU QUÉBEC (MDDEFP). 2009. *Liste des espèces désignées menacées ou vulnérables au Québec*. Site Internet consulté le 10 juillet 2013. Disponible [en ligne]: http://www.mddefp.gouv.qc.ca/faune/especes/menacees/liste.asp

THE BLANDING'S TURTLE RECOVERY TEAM. 2002. National Recovery Plan for the Blanding's Turtle (*Emydoidea blandingii*) Nova Scotia Population. Nova Scotia. 63 p.

ANNEXE 1

Dossier photographique



Photo 1. Station TM-01



Photo 2. Station TM-02



Photo 3. Station TM-03



Photo 4. Station TM-04



Photo 5. Station TM-05



Photo 6. Station TM-06



Photo 7. Station TM-07



Photo 8. Station TM-08



Photo 9. Station TM-09



Photo 10. Station TM-10



Photo 11. Station TM-11



Photo 12. Station TM-12



Photo 13. Station TM-13



Photo 14. Station TM-14



Photo 15. Station TM-15



Photo 16. Station TM-16



Photo 17. Installation d'un verveux

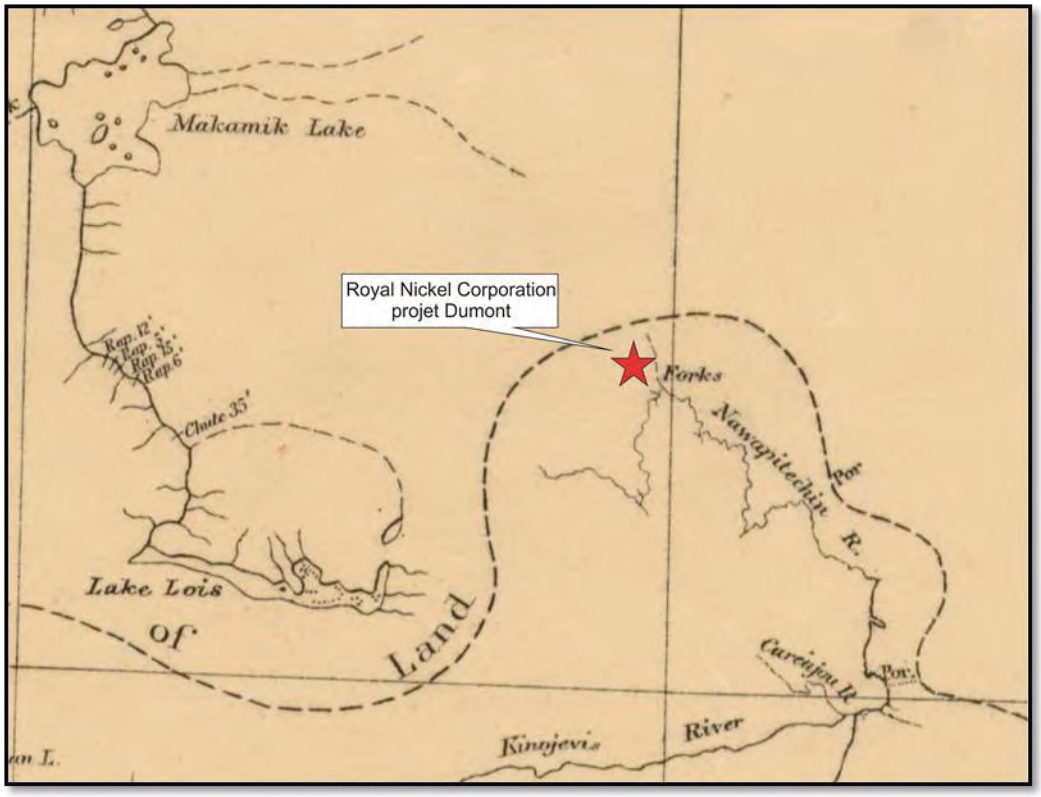
ANNEXE 3

Rapport d’inventaire archéologique

ROYAL NICKEL CORPORATION

Inventaire archéologique

Projet Dumont : lots 53, 54, 55 et 56



ARCHÉO 08

Novembre 2013

Photo de la page couverture :

Extrait de la carte «Geological map of the Basin of the Nottaway river, northwestern Quebec», Geological Survey of Canada, 1903.

Inventaire archéologique

Projet Dumont : lots 53, 54, 55 et 56

Étude réalisée par Archéo-08 pour Royal Nickel Corporation

Permis de recherche archéologique du ministère de la culture et des communications :
13-CORA-02

200, rue Leblanc, C.P.330
Rouyn-Noranda, Qc, J0Z 1Y0
Téléphone : 819-768-2112
Courriel : info@archeo08.qc.ca

Novembre 2013

Résumé

Référence pour fin de citation:

Archéo-08

2013 : «INVENTAIRE ARCHEOLOGIQUE: projet Dumont lots 53, 54, 55, et 56», Rapport déposé à Royal Nickel Corporation, Toronto, 52 pages.

Royal Nickel Corporation entend entreprendre l'exploitation d'un projet minier (projet Dumont) à Launay et Trécesson en Abitibi-Témiscamingue. Dans le cadre d'une évaluation environnementale réalisée en 2008 par Genivar inc. pour le projet Dumont de Royal Nickel Corporation (RNC), Archéo-08 a été mandaté par Genivar pour réaliser une étude du potentiel archéologique (Archéo-08, 2008) qui a révélé la présence de zones de potentiel archéologique. Une d'entre elle, s'étalait de part et d'autre d'un petit cours d'eau alimentant la rivière Villemontel à la limite sud du projet. Au printemps 2013, RNC a mandaté Archéo-08 pour qu'il réalise un inventaire archéologique de cette zone qui sera affectée par l'exploitation de la mine. Ce rapport fait état de travaux réalisés en 2013 sur les lots 53, 54, 55 et 56, du rang V du Canton de Launay, inclus dans le projet Dumont.

Du 16 au 18 juillet 2013, les quatre lots ont été systématiquement inspectés et, lorsque requis, des sondages manuels ont été réalisés afin de vérifier la présence possible de vestiges archéologiques. Toutes les zones se sont avérées dépourvues de traces d'anciennes occupation humaines. Ainsi, aucune intervention archéologique supplémentaire n'est recommandée. Royal Nickel Corporation peut donc procéder à ces endroits à la réalisation des travaux prévus sans contraintes du point de vue archéologique.

Mots clefs: Archéologie, Inventaire archéologique, projet minier, projet Dumont, Abitibi-Témiscamingue, Archéo-08.

Classement: Été 2013, Royal Nickel Corporation, projet Dumont, Inventaire archéologique, final.docx

Collaborateurs

Les personnes suivantes ont contribué à la réalisation de l'inventaire archéologique.

Pierre-Philippe Dupont	Directeur du développement durable
Stanislas Kételers	Spécialiste en développement durable

Marc Côté	Archéologue et directeur général
David Laroche	Archéologue
Denis Cadieux	Technicien senior
Gaétan Gauvin	Technicien junior
Vincent Pelletier	Technicien junior

Table des matières

RÉSUMÉ III

COLLABORATEURS V

TABLE DES MATIÈRES VII

TABLE DES FIGURES IX

TABLE DES PHOTOS IX

INTRODUCTION 1

CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL RÉGIONAL 3

LE MILIEU PHYSIQUE 3
- GLACIATION 5
- MORPHOLOGIE 5
- HYDROGRAPHIE 5
- VÉGÉTATION 6
- FAUNE 7

MILIEU HUMAIN LOCAL 8

LES ALGONQUINS 8
UN SURVOL DES CONNAISSANCES ARCHÉOLOGIQUES 10

INVENTAIRE ARCHÉOLOGIQUE 13

MÉTHODOLOGIE 13
DÉROULEMENT DES TRAVAUX 13

RÉSULTATS 15

ZONE 1A 19
- SECTEUR 1 19
- SECTEUR 2 21
- SECTEUR 3 23

ZONE 1B **25**
SECTEUR 4 25
SECTEUR 5 27
ZONE 1C **29**
SECTEUR 6 29
SECTEUR 7 31
ZONE 1D **33**

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS **35**

CATALOGUE PHOTOGRAPHIQUE **37**

BIBLIOGRAPHIE **39**

Table des figures

Figure 1 Cartographie des éléments physiques de l'Abitibi-Témiscamingue _____ 4

Figure 2 Localisation du projet minier Dumont de RNC _____ 16

Figure 3 Localisation des zones d'inventaire archéologique _____ 17

Figure 4 Localisation de la zone 1 du projet de construction de la ligne d'alimentation 120 kV pour le projet Dumont de RNC _____ 18

Table des photos

Photo 1 Zone 1A (rive ouest), secteur 1, vue d'ensemble du secteur sondé (plantation), vers le nord _____ 20

Photo 2 Zone 1A (rive ouest), secteur 1, stratigraphie type, paroi est _____ 20

Photo 3 Zone 1A (rive ouest), secteur 2, stratigraphie type, paroi sud _____ 22

Photo 4 Zone 1A (rive ouest), secteur 2, vue générale de la terrasse sondée, vers le sud-est __ 22

Photo 5 Zone 1A (rive ouest) secteur 3, stratigraphie type, paroi est _____ 24

Photo 6 Zone 1A (rive ouest) secteur 3, vue d'ensemble du secteur sondé, vers l'est _____ 24

Photo 7 Zone 1B (rive est), secteur 4, vue générale du secteur sondé, vers le nord-ouest ____ 26

Photo 8 Zone 1B (rive est), secteur 4, stratigraphie type, paroi est _____ 26

Photo 9 Zone 1B (rive est), secteur 5, vue d'ensemble du plateau sondé, vers le nord _____ 28

Photo 10 Zone 1B, (rive est), secteur 5, stratigraphie type, paroi est _____ 28

Photo 11 Zone 1C et 1D, (rive est et rive ouest, au nord du pont ferroviaire), vue générale du ruisseau à partir d'un pont reliant les deux rives et menant à un chalet sur la rive ouest, vers l'est _____ 30

Photo 12 Zone 1C (rive est, au nord du pont ferroviaire), secteur 6, stratigraphie type, paroi ouest _____ 30

Photo 13 Zone 1C (rive est, au nord du pont ferroviaire), secteur 7, vue générale de la terrasse sondée, en direction sud-ouest _____ 32

Photo 14 Zone 1C (rive est, au nord du pont ferroviaire) secteur 7, stratigraphie type, paroi ouest _____ 32

Photo 15 Zone 1A (rive ouest), entre le secteur 1 et 2, butte de terre au haut du talus menant au ruisseau, vers l'est _____ 33

Introduction

Royal Nickel Corporation (RNC) entend démarrer un projet minier dans les cantons de Launay et de Trécesson en Abitibi-Témiscamingue. Dans le cadre d'une évaluation environnementale réalisée en 2008 par Genivar inc. pour le projet Dumont de RNC, Archéo-08 a été mandaté par Genivar pour réaliser une étude du potentiel archéologique (Archéo-08, 2008) qui a révélé la présence de zones de potentiel archéologique. Une d'entre elle, s'étalait de part et d'autre d'un petit cours d'eau alimentant la rivière Villemontel à la limite sud du projet. Au printemps 2013, RNC a mandaté Archéo-08 pour réaliser un inventaire archéologique de cette zone qui sera affectée par l'exploitation de la mine.

Ce rapport fait état de travaux réalisés en 2013 sur les lots 53, 54, 55 et 56, du rang V du Canton de Launay, inclus dans le projet Dumont. Il présente d'abord la méthode de travail employée ainsi que les différentes tâches effectuées (sections 1 & 2). La section 3 fait le sommaire des résultats obtenus en présentant chacune des zones qui ont été investiguées. Cet exercice était préalable à la poursuite des travaux de construction du projet minier. On retrouvera dans la section 4 nos conclusions et recommandations.

Contexte environnemental régional

Le milieu physique

Les roches qui forment les assises géologiques de la région appartiennent au Bouclier canadien. On y retrouve surtout des roches volcaniques et sédimentaires dont la formation remonte à l'une des plus vieilles formations géologiques de la planète, l'Archéen, avoisinant 2,6 milliards d'années. Sous l'effet de la chaleur et de la pression interne de la terre, ces roches se sont métamorphisées puis stabilisées avant de subir l'usure du temps jusqu'à façonner un paysage de pénéplaine.

L'Abitibi-Témiscamingue jouxte deux provinces géologiques, soit celle du Supérieur et celle de Grenville. La zone d'étude se situe dans la province du Supérieur, dans la sous-province d'Abitibi (figure 2 a). Ces provinces géologiques se partagent de part et d'autre de la faille de Cadillac laquelle est à l'origine des nombreuses activités minières régionales. Si les roches de type granitoïde et le gneiss y sont dominants, nos recherches archéologiques ont dévoilé que ce sont des roches plutoniques, des rhyolithes qui à, la période préhistorique, ont abondamment et majoritairement servi de matière première à la fabrication de l'outillage lithique. De nombreuses formations de rhyolithe de qualité variable affleurent en région. Plusieurs carrières préhistoriques ont également été localisées et investiguées.

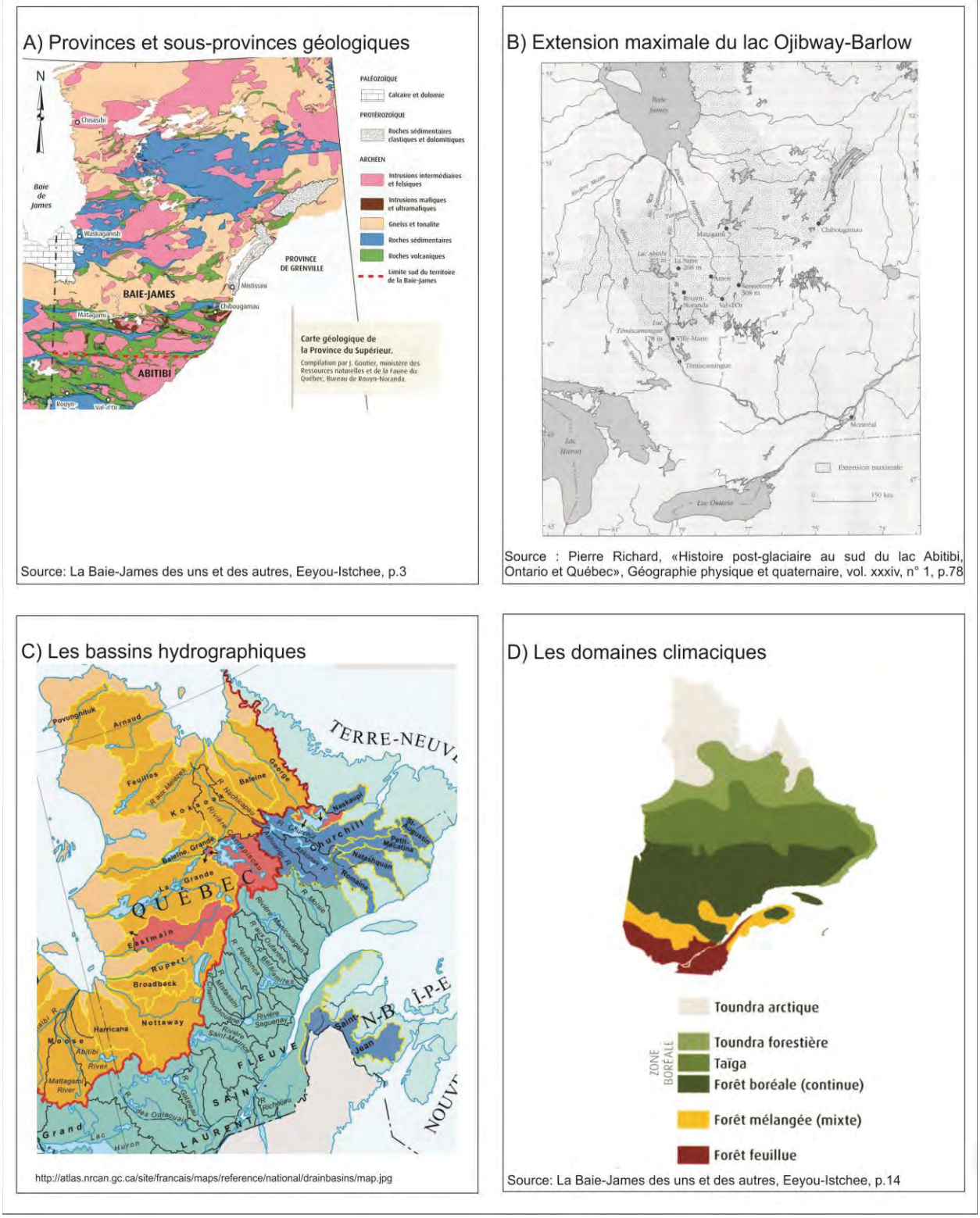


Figure 1 Cartographie des éléments physiques de l'Abitibi-Témiscamingue

Glaciation

Au cours des deux derniers millions d'années, l'Amérique du Nord se modifie sous le poids de quatre épisodes glaciaires. La dernière, la glaciation wisconsinienne, a débuté il y a environ 100 000 ans. À son apogée, vers 20 000 avant-aujourd'hui, tout le territoire de l'Abitibi-Témiscamingue supporte un glacier qui se retirera graduellement sous l'effet d'un réchauffement climatique.

Le territoire du Témiscamingue commence à se libérer de sa calotte de glace vers 10 000 A.A. Vers 9 500 A.A., l'espace au nord du village de Roulier est encore recouvert de glace alors que le lac postglaciaire Barlow, occupe l'espace libéré suite au retrait du glacier (Arkéos 1986). En raison de la fonte du glacier et d'un relèvement isostatique différent entre l'Abitibi et le Témiscamingue, le lac se scinde en deux. La partie Nord, connue sous le nom de lac postglaciaire Ojibway (figure b), se vidange rapidement en direction du nord vers la cuvette de la Baie James vers 8 700 A.A.

Au cours du retrait glaciaire, les eaux de fonte, canalisées par des rivières torrentielles, transportent des millions de tonnes de sédiments qui finissent par se déposer, laissant sur l'ensemble du territoire une couche importante de dépôts meubles. Les archéologues privilégient l'étude de ces strates sur ou dans lesquelles les artefacts et les structures laissées en place par les premiers occupants sont généralement découverts.

Morphologie

De façon générale, la région présente l'aspect d'un vaste plateau légèrement incliné du sud-est vers le nord-ouest. Le paysage, sans reliefs importants, affiche différents façonnages géomorphologiques, des massifs rocheux et de grandes plaines argileuses, de nombreux plans d'eau et des collines dont le plus haut sommet, le mont Chiminis, atteint 527 mètres. Il est aussi constitué d'immenses eskers et moraines que sont ces dépôts de sable et de gravier qui s'étirent sur plusieurs dizaines voire centaines de kilomètres et qui se sont formés dans le lit et à la sortie des rivières sous-glaciaires.

Hydrographie

Une fois les lacs postglaciaires évacués, le réseau hydrographique actuel a pris son cours alors que s'installent les colonisations végétales et animales indispensables à l'occupation humaine (Arkéos Inc., 1985: 14).

Héritage glaciaire tout à fait unique, la région présente maintenant des régimes de drainage particuliers, dus à une topographie variable et à une différence de perméabilité des sols en place caractéristiques de la hauteur des terres et des plaines argileuses. Les lacs parfois vastes mais toujours peu profonds et les rivières peu dénivelées étalent paresseusement leurs berges et leurs méandres. C'est un immense plateau qui renferme autant d'eau que de terres rendant disponibles à qui l'habite des réserves diversifiées de ressources terrestres et aquatiques.

Nous avons déjà souligné l'importance du réseau hydrographique comme critère de sélection d'un site d'occupation humaine. La zone d'étude est située près de la tête du bassin hydrographique de la Baie-James, au sudde la ligne de partage des eaux (figure c). À cet endroit, les rivières Abitibi, Harricana et Bell-Nottaway aux longs parcours de type arborescent facilitent l'orientation et l'accessibilité à un vaste territoire et guident les déplacements vers le nord.

Non loin de la zone d'étude, (± 35 kilomètres) au sud de la ligne sinueuse de partage des eaux, les principaux plans d'eau s'articulent autour de la rivière Kinojévis qui converge vers la rivière des Outaouais, voie navigable majeure pour atteindre l'axe laurentien. Sur ce territoire, le voyageur aguerri reconnaîtra en maints lieux l'avantage du raccourci qu'offrent les portages parfois pénibles, sur le long détour imposé par l'utilisation de la pagaie. Enfin, notons dans ce bassin versant, la présence des réservoirs Decelles, Dozois et Cabonga qui ont récemment modifié les tracés hydrographiques naturels.

À la hauteur des terres, l'articulation entre ces deux bassins peut être perçue comme un territoire de vie, une frontière ou encore une zone de passage présentant des défis à la mesure des portages qu'elle impose.

Végétation

Suite au retrait du glacier laurentien et à l'écoulement des lacs postglaciaires, le territoire étudié a été rapidement colonisé par la végétation. Un diagramme pollinique obtenu dans la région du lac Témiscamingue (Arkéos 1986) confirme la présence d'une forêt de conifères il y a 9000 ans. Au même endroit, vers 7900 A.A., une forêt s'apparentant au domaine de la sapinière actuelle est déjà en place. Ces données sont corroborées par Pierre Richard qui mentionne:

> *« L'interprétation des diagrammes polliniques révèle que la rive sud du lac Ojibway était occupée, vers 8 900 BP, par une forêt ouverte dominée par l'épinette noire (Picea mariana), dans laquelle le tremble (Populus tremuloides) et le pin gris (Pinus divaricata) jouaient un rôle important. Ce type de paysage s'est maintenu durant environ 1000 ans dans les collines alors insulaires entourant le lac Yelle, pendant que le niveau du lac Ojibway passait de 355 à 280 m. Lors de la vidange du lac Ojibway, la colonisation végétale des basses terres s'est effectuée rapidement de 7 900 à 7 200 ans BP... »* (Richard 1980: 77)

L'Abitibi-Témiscamingue offre une diversité de peuplements forestiers caractéristiques d'un climat de type continental tempéré de marge froide. Deux grandes formations végétales se partagent le territoire. La forêt boréale couvre tout l'Abitibi, elle-même partagée en trois sous-formations étagées du nord au sud soit la pessière, la sapinière à bouleau blanc (incluant la zone d'étude) et la sapinière à bouleau jaune. La forêt décidue occupe la partie la plus méridionale du Témiscamingue (figure 2d).

Au-delà du fait que cette description esquisse le décor en place lors des premières occupations humaines, il convient surtout de considérer la végétation comme une source très importante et variée de matières premières aux multiples usages. En effet, sans végétation, la vie et même la survie deviennent difficiles, voire impossibles.

En milieu archéologique, les végétaux se conservent souvent mal. Sous la truelle, seuls quelques fugaces vestiges décomposés par le temps et les éléments reverront le jour. Une valeur ajoutée découle alors de leur relative rareté; étudiés, analysés, extrapolés et remis en contexte, ils deviennent non seulement de bons échantillons datables par la méthode du carbone 14, mais endossent surtout leur important rôle de témoins singuliers porteurs d'informations à valeur anthropologique.

Faune

Le territoire de l'Abitibi-Témiscamingue supporte une faune indispensable aux premiers occupants qui pouvaient l'exploiter non seulement pour se nourrir, mais aussi pour recouvrir leurs habitations, se vêtir, s'outiller, se transporter, se soigner, se laver, s'amuser, se parer, commercer, etc.

Parmi les espèces de mammifères les plus couramment utilisées se trouvent les grands cervidés tels l'orignal, le caribou et le cerf de Virginie. Signalons qu'au sud de Malartic, on peut observer la zone de vêlage d'un petit troupeau de caribous des bois, vestige des hardes qui occupaient la région jusqu'au milieu du XXe siècle.

Mentionnons également les animaux à fourrure comme le vison, le rat musqué, la martre, la loutre, l'ours noir, le loup, le renard roux, le lièvre d'Amérique et le lynx. Les nombreux barrages de castor indiqués sur les cartes topographiques témoignent de la grande disponibilité de cette ressource dans les environs immédiats de la zone d'étude. Cette espèce était probablement le mammifère le plus consommé à certaines périodes de l'année.

La faune ichtyologique constitue une autre ressource de base notamment lors de la saison sans neige. Parmi les espèces prisées notons : le doré jaune, le doré noir, le grand brochet, le brochet du Nord, l'esturgeon jaune, le corégone (poisson blanc), la truite grise et l'omble de fontaine.

D'après les cartes de répartition du guide d'identification des oiseaux d'Amérique du Nord (National Géographique), environ 135 espèces d'oiseaux nichent en Abitibi-Témiscamingue offrant ainsi un imposant potentiel d'exploitation. Les canards (±15 espèces) et les gélinottes (3 espèces) figurent en tête de liste des gibiers ailés les plus recherchés. Les autres espèces, qu'elles soient rapaces, passereaux ou autres présentent aussi des sources d'approvisionnement complémentaires en matières premières puisque plumes, duvet, viande, tendons, ossements et œufs peuvent être adaptés à des usages multiples de la vie quotidienne.

Finalement mentionnons la tortue serpentine, le seul reptile dont des vestiges osseux ont été identifiés dans les sites archéologiques de la région.

Milieu humain local

La région de Launay, où est localisé la zone inventoriée en juillet 2013 pour le projet Dumont de Royal Nickel Corporation, est située en Abitibi-Témiscamingue. Le territoire de ce village fait partie de la municipalité régionale de comté d'Abitibi. Launay compte environ 230 habitants et couvre une superficie de 258 km^2. Le territoire de la municipalité jouxte à l'est, les villages de Berry et de Trécesson. Au nord, Launay s'adosse au T.N.O de Chicobi et au sud à la municipalité de Sainte-Gertrude de Manneville. Sa limite à l'ouest forme une partie de la frontière avec la municipalité de Tachereau dans la MRC d'Abitibi-Ouest. La seule ville d'importance de la MRC, la ville d'Amos, est située à 33 km au sud-est.

Le village de Launay est localisé au sud de la ligne de partage des eaux qui sépare les bassins hydrographiques de la Baie-James et de la vallée du Saint-Laurent. Cette ligne de partage des eaux d'où le fleuve tire sa source peut facilement être franchie, notamment par des portages documentés (McKenzie, 1981). Nos informateurs de la communauté algonquine de Pikogan nous ont signalé la présence d'un axe de circulation composé de cours d'eau navigables et de zones de portages permettant de traverser la ligne de partage des eaux entre le lac Chicobi au nord et la rivière Villemontel au sud. Le lac Chicobi permet d'atteindre la rivière Harricana via la rivière Octave et donner ainsi accès aux territoires nordiques de la Baie-James. Pour sa part, la rivière Villemontel est un affluent de la rivière Kinojévis qui se déverse dans la rivière des Outaouais ouvrant la route vers la vallée du Saint-Laurent et le lac Huron.

Les Algonquins

L'ethnonyme « *Algonquin* » définit une nation autochtone qui regroupe aujourd'hui environ 11 000 individus. Les Algonquins habitent aujourd'hui neuf réserves et établissements de l'Outaouais et de l'Abitibi-Témiscamingue au Québec. Il existe également deux réserves algonquines en Ontario. Bien que ce soit la dénomination officielle de leur nation, la plupart des Algonquins utilisent aussi le terme d'autodésignation « Anicinabe[1] ». La graphie de ce mot peut varier d'une communauté à l'autre. Pikogan, en banlieue d'Amos, regroupe plus de 600 individus, environ 200 membres additionnels issus de la communauté vivent également dans le secteur, mais hors réserve (MEQ 1993 : 7).

[1] « Anicinabe » (plur. Anicinabek) est le terme générique pour « amérindien ». Pour sa part le terme « Mami8inni(k) » fait référence aux Algonquins. Le terme « Abitibiwinni(k) » désigne spécifiquement la bande qui gravitait historiquement autour du lac Abitibi et qui vit aujourd'hui à Pikogan près d'Amos et Wasgoshig en Ontario. (Couture, 1983 : 17)

Le terme « Algonquin » est recensé pour la première fois dans le rapport de voyage de 1603 de Samuel de Champlain. Lors d'un arrêt à Tadoussac, ce dernier note le regroupement de trois « nations » affairées à souligner leur récente victoire lors d'un raid contre les Iroquois. « […] *Ils estoient trois nations quand ils furent à la guerre, les Estchemins, Algoumequins & Montagnez au nombre de mille* […] » (Giguère, 1973 : 72). On ne connaît pas de façon certaine l'origine et l'étymologie du terme « Algonquin ». Cependant quelques auteurs accréditent l'hypothèse voulant que le terme soit d'origine malécite (*Elakomkwik*) et qu'il signifierait : « *ils sont nos amis ou alliés* » (Viau, 1995 :111). En 1613, Champlain rencontre plusieurs groupes dans l'Outaouais qu'il définit comme « algonquins ». Au cours des siècles qui suivent, cet ethnonyme a été attribué aux bandes qui occupaient l'Outaouais actuel, tant ontarien que québécois. Il est toutefois communément admis que cette perception cachait une réalité géographique et ethnologique nettement plus complexe (Chamberland *et al*, 2004 : 7).

Traditionnellement, les Algonquins avaient un mode de vie de chasseurs-cueilleurs-pêcheurs et comblaient l'essentiel de leurs besoins en exploitant les ressources disponibles sur leur territoire incluant la nourriture, et les matières premières nécessaires à la fabrication des outils, des habitations et des vêtements. Le nombre d'individus exploitant un territoire donné est forcément conditionné par les ressources disponibles. Les estimations pour les territoires occupés par les Algonquins varient entre un individu aux 27 km² jusqu'à un individu aux 100 km² (Chamberland *et al*, op.cit : 208). Cette variation des estimations s'explique par le fait que les espaces occupés par les Algonquins étaient vastes et que la diversité et l'abondance des ressources diminuent du sud vers le nord.

L'utilisation des ressources de la chasse, de la pêche et de la cueillette implique une distribution des groupes familiaux répartis sur un immense territoire et un nomadisme adapté à la disponibilité des ressources selon les saisons. L'hiver, les Algonquins avaient l'habitude de vivre dispersés, en petits groupes de deux ou trois familles nucléaires. Ils établissaient alors un campement qui allait servir pendant plusieurs semaines autour duquel les hommes de la famille trappaient et chassaient tous les jours. Les trajets que parcouraient les hommes autour du camp pouvaient être plus ou moins longs[2]. Pendant ce temps, les femmes s'occupaient des enfants et de la vie domestique, faisaient un peu de pêche sous la glace, chassaient le petit gibier et ramassaient le bois de chauffage (Côté et Inksetter op.cit :31).

Chaque été, les familles dispersées retrouvaient d'autres membres de la bande, sur les rives d'un lac où on se nourrissait principalement des fruits de la pêche et de la cueillette. Le groupe pouvait alors réunir plusieurs dizaines, voire une centaine d'individus. Il est plausible qu'à la fin de la préhistoire certains Algonquins aient cultivé un peu le maïs, surtout chez les bandes les plus méridionales. Cette culture se faisait l'été, lorsque la bande était réunie. Elle doit cependant être considérée comme un jardinage d'appoint (Côté et Inksetter op.cit :34).

[2] Certains anthropologues observent que les trappeurs cris peuvent parcourir 40 km en raquette pendant la journée (Feit 2004).

Le déplacement entre les résidences familiales d'hiver et les lieux de rassemblements estivaux se faisait en fonction des voies navigables, au printemps et à l'automne. On s'arrêtait alors fréquemment en chemin, dans des camps temporaires pour chasser et pêcher. On exploitait alors divers mammifères, dont le castor, ainsi que les poissons particulièrement vulnérables lors des fraies printanières ou automnales (Côté et Inksetter op.cit :30).

L'archéologie confirme l'existence de ces différents modes d'établissement. Les sites les plus importants, témoins de l'occupation multiple au fil des étés par un grand nombre de personnes, sont généralement localisés sur les rives des grands lacs. À l'opposé, l'abord des rivières livre surtout une quantité importante de plus petits sites, témoins de passages plus ou moins fugaces. Les sites d'hiver, difficiles à cerner, échappent encore aux archéologues qui doivent se rabattre sur les données ethnohistoriques pour expliquer ces modalités d'établissement. Les camps d'hiver seraient probablement installés dans des endroits abrités, près de petits lacs, de ruisseaux ou de marécages gelés (Côté 1995 :89).

Un survol des connaissances archéologiques

À ce jour, plus de 500 sites archéologiques ont été repérés en Abitibi-Témiscamingue et investigués à divers degrés. Suite à une interrogation de l'Inventaire des sites archéologiques du Québec (ISAQ), aucun site archéologique n'est situé dans une zone d'étude élargie de 5 km de rayon autour du projet Dumont de RNC.

En matière d'occupation humaine régionale antérieure au XXe siècle, un certain nombre de déductions et de constats découlant de 25 années de recherches réalisées par Archéo-08 ainsi que par les autres archéologues ayant œuvré dans la région, peuvent être évoqués. Ceux-ci représentent les faits communément acceptés et forment le cadre chronologique général.

L'occupation de l'Abitibi-Témiscamingue, surtout dans sa portion sud, serait relativement ancienne. En effet, la colonisation végétale pouvant supporter une faune exploitable par l'homme date au moins du Xe millénaire avant aujourd'hui (Côté 1993, 1995 : 72). Aucune barrière physique n'empêchait donc d'éventuels premiers occupants de se manifester dans le sud, sur les berges des lacs glaciaires ou des lacs ancêtres qui ont suivi leur vidange (Côté, 1998 : 134).

Dans les faits, la plus ancienne occupation de l'Abitibi a été localisée dans la région de Taschereau à l'ouest d'Amos, sur les rives escarpées du lac Robertson. Le site Ramsay (DdGq-1), un camp de chasseurs, aurait été occupé dans l'intervalle temporel compris entre 8 000 et 7 000 ans avant aujourd'hui (AA.) (Côté 1998 : 135). Un échantillon de charbon de bois provenant du site Bérubé (DdGt-5), fouillé par Roger Marois dans les années soixante-dix, a rendu une date de 6 225 ± 160 AA. Cette date étaye la découverte d'objets de l'Archaïque moyen observés dans plusieurs collections privées au lac Abitibi (Côté 1993 et 1996).

Mentionnons, la présence de gouges polies et bouchardées[3], de pointes en ardoise polies, de couteaux semi-circulaires de type ulu, de différents types de pointes taillées semblables à celles de l'Archaïque laurentien, lamokoïdes post-laurentiens et terminal (phase de Duparquet) de type «Small Point» (Côté 2010: 47). La structure 3 du site DaGt-1 (lac Opasatica) fouillée en 1988 par Archéo-08, a fourni une date de 4230 ±70 A.A (Côté 1989). Cette structure était associée à quelques pointes de type Brewerton ce qui en fait la seconde plus ancienne date obtenue pour l'Abitibi-Témiscamingue associée à une occupation humaine.

Signalons aussi la découverte d'un site de l'Archaïque post-laurentien sur les rives de la rivière Kinojévis dans le Parc national d'Aiguebelle (DcGp-1), daté à 3 840 AA ± 20 (Archéo-08 2009; 2010 et 2011). Lors de travaux de réfection d'une ligne électrique pour Hydro-Québec à l'été 2011, le site DbGr-3, a rendu une date, pour la structure 1, un peu plus récente, à 3 650 AA. ± 40 (Archéo-08 2011). Lors des travaux de fouille réalisés par Ethnoscop pour Hydro-Québec en 1994 au site DdGm-1 près d'Amos, au moins une pointe de projectile en pierre taillée présentait une forme compatible avec une présence de l'Archaïque terminal. Au moins deux sites de l'Abitibi- Témiscamingue (site Réal : 2760 ± 50 A.A. et 3030 ± 60 et Site Léo-Guay 2609 ± 60 A.A.) ont rendu des dates accompagnant des témoins typologiques qui étayent la diffusion de la phase Duparquet (tradition Small Point) à l'ensemble de la région (Côté 2010 :46).

Il semble donc acquis que le territoire a été occupé depuis l'Archaïque supérieur jusqu'à nos jours. Il convient de spécifier certaines particularités qui ressortent de l'étude des sites ayant fait les frais d'une fouille archéologique et de l'examen des grandes collections privées.

Nombre d'objets découverts lors des fouilles, ainsi que de nombreux témoins observés dans des collections privées, soulignent la possibilité d'une affiliation de certains des occupants de l'Abitibi-Témiscamingue avec l'épisode culturel « Meadowood »[4]. Cette assertion est appuyée par la présence soutenue de pointes de projectile connues sous l'appellation de pointe Meadowood « Box base ». Assez fréquemment, des objets ou des fragments d'objets taillés en chert Onondaga provenant de la région des Grands-Lacs sont observés. Ce matériau était particulièrement prisé par les participants à ce réseau culturel (Clermont 1990).

Alors que dans la plaine laurentienne on observe des participations à des traditions d'abord identifiées au sud de la frontière américaine, on note, en Abitibi-Témiscamingue lors du Sylvicole, de nets partages d'influences occidentales. Ces derniers sont particulièrement marqués durant la période du Sylvicole moyen[5] et du Sylvicole supérieur[6]. La poterie devient un médium courant et est généralement fabriquée sur place. Cette dernière est comparable à celle que fabriquaient les populations vivant au nord du lac Supérieur et quelquefois plus à l'ouest. Toutefois, le Sylvicole

---

[3] Signalons qu'une gouge de ce type a été récemment découverte près d'Amos et soulignons que la présence humaine remonte minimalement à 5 000 AA. (photo 2)

[4] 1000 à 400 avant J-C.

[5] 400 avant Jésus-Christ à 900 après Jésus-Christ.

[6] 1000 à 1650 après Jésus-Christ.

moyen laurellien présente des influences originales, peut-être inspirées par la fréquentation de populations péninsulaires plus méridionales (Côté 1993 et 1995; Inksetter 2000 : 145).

Pour sa part, le Sylvicole supérieur débute par une participation à la tradition blacduckienne, originalement localisée au nord-ouest du lac Supérieur (Côté et Inksetter 2001 et 2010: 116 et 2009 : 292 fig.18). Vers 1300 de notre ère, on constate l'apparition de céramiques iroquoiennes de l'Ontario (épisode Mami8innik) sur les sites de l'Abitibi-Témiscamingue en même temps que les ancêtres des Hurons–Wendat mettent en place le réseau économico-politique que constateront les premiers visiteurs européens au XVIIe siècle (Coté 1993 et 1995 op.cit.; Guindon 2005 : 97).

Chronologiquement, le réseau d'influence "pro-Wendats" est en place dès le milieu du XIIIe siècle ("phase Middleport")[7]. En fait, plusieurs indices laissent même percevoir qu'il était probablement opérationnel deux ou trois siècles auparavant (Côté 1993) et que l'Abitibi-Témiscamingue était régulièrement en contact avec les réseaux culturels «Princess Point» et «Pickering»[8]. Cette influence est perceptible dans la région d'Amos. Le site DdGm-1 a rendu de la poterie d'origine huronne et quelques artéfacts associés à une occupation Sylvicole supérieur terminal (Archéo-08 1993 et Ethnoscop 1995).

Aux XVIIIe et XIXe siècles, la présence algonquine autour de la ligne de partage des eaux est vraisemblablement associée aux populations anicinabek gravitant autour de divers postes de traite notamment ceux du lac Abitibi et du Grand Lac Victoria (Chamberland et al. 2004 : 4). Ces bandes exploitaient encore intensivement, au début du XXe siècle, une zone répartie de part et d'autre de l'Harricana jusqu'au lac Demontigny près de Val-d'Or (Mathias, 1998; Chamberland et al. Op.cit :115-116). Bien que repoussés un peu plus au nord, les territoires de trappe actuellement utilisés par la communauté de Pikogan s'étalent des rives occidentales du lac Matagami à l'est, jusqu'à l'extrémité ouest du lac Abitibi en Ontario et dans l'axe nord-sud, d'Amos jusqu'au-delà du 51e degré de latitude nord.

[7] 1250 à 1450 après Jésus-Christ.

[8] 800 à 1250 après Jésus-Christ

Inventaire archéologique

Méthodologie

La méthodologie utilisée pour ce type d'intervention implique l'excavation de sondages d'une superficie minimum de 2000 mm^2 à tous les 100 $mètres^2$. Le nombre de sondages peut varier selon la condition objective des espaces et à ce titre, l'expérience du responsable de chantier entre en ligne de compte. Les sondages ont été effectués à la pelle et leur contenu fut examiné à la truelle jusqu'au niveau stérile. Tous les sols déplacés ont été tamisés sur un grillage de 8 millimètres. Lors des découvertes, la localisation des sondages a été resserrée à 25 mètres carrés. Ils ont alors été réalisés à la truelle et tamisés de manière à comprendre la collecte des vestiges et à prélever l'ensemble des artefacts et écofacts. Les témoins archéologiques découverts ont été localisés par rapport à la couche de sol de référence et ont été positionnés horizontalement et verticalement par rapport à un point de référence. Toutes les mesures nécessaires à la compréhension des sites (mesures, plans, relevés stratigraphiques et photographies) ont été notées. Un dossier photographique a été constitué et des croquis des profils de sol ont aussi été enregistrés lorsque pertinents.

Déroulement des travaux

Les activités de terrain ont été réalisées en trois jours du 16 au 18 juillet 2013. Trois personnes ont été affectées à ce travail. Au total 88 heures/personne ont été nécessaires pour les activités de terrain : 12 heures/personne ont aussi été consacrées à la préparation du terrain, incluant le repérage des accès, le traitement des collections et les tâches administratives.

Résultats

Comme convenu dans l'offre de service, toutes les zones à potentiel archéologique ont été visitées, inspectées et sondées par l'équipe archéologique. Les sondages ont été réalisés à tous les endroits qui ont paru propices à l'occupation humaine. Aucun site archéologique tant préhistorique qu'historique n'a été découvert dans les zones où nous devions intervenir au sein de l'emprise des travaux projetés.

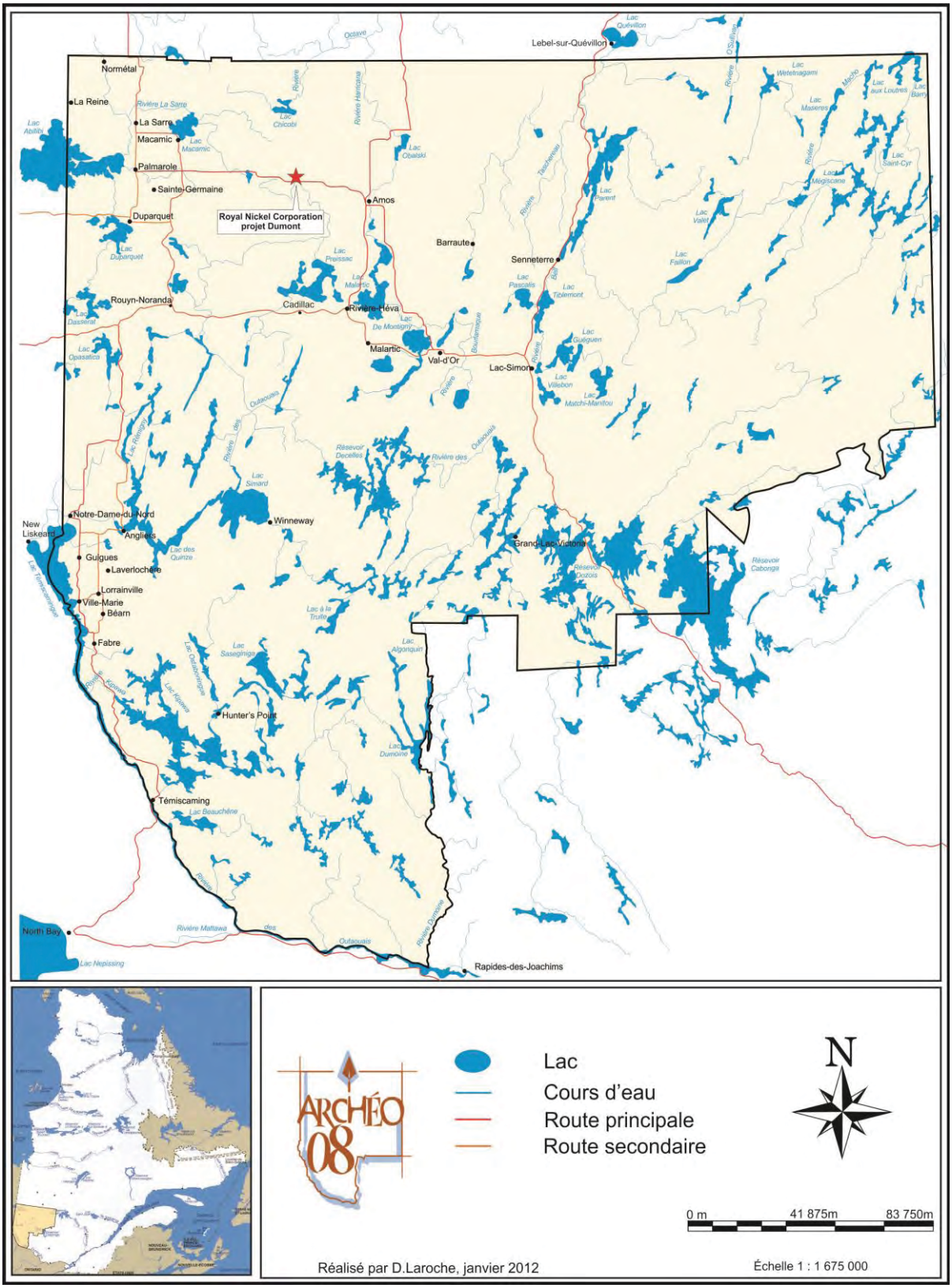


Figure 2 **Localisation du projet minier Dumont de RNC**

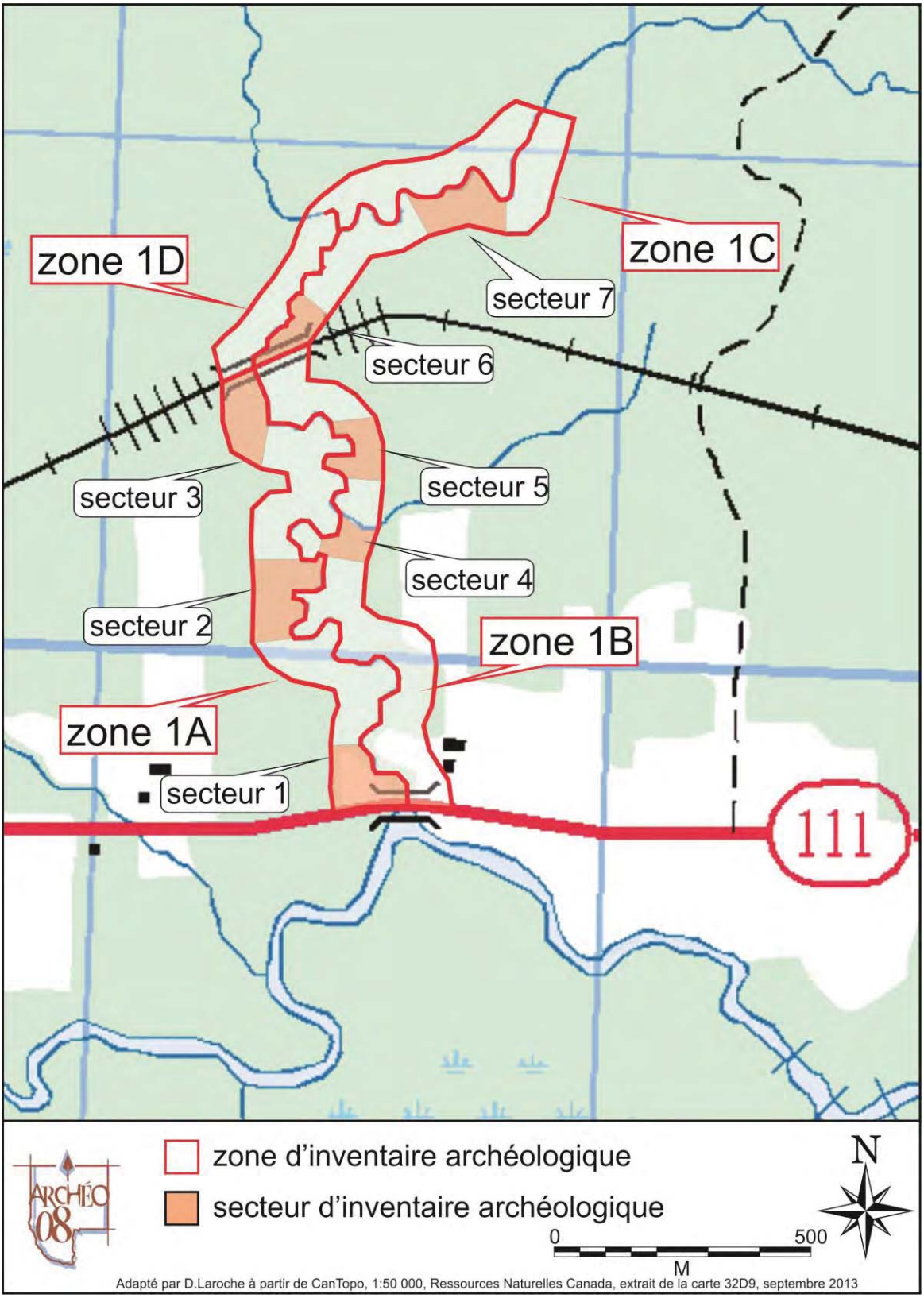


Figure 3 **Localisation des zones d'inventaire archéologique**



Figure 4 **Localisation de la zone 1 du projet de construction de la ligne d'alimentation 120 kV pour le projet Dumont de RNC**

Zone 1A

La zone 1A est formée par la rive ouest du ruisseau sans toponyme, entre le pont de la route 111 (côté nord) jusqu'au pont ferroviaire du Canadien national (côté sud). Dans cette zone, trois secteurs ont été sondés (secteur 1 à 3) pour un total de 16 sondages. Ces secteurs sont tous assez éloignés de la berge et ont une élévation d'au moins 5 mètres par rapport au niveau estival du ruisseau. Deux d'entre eux correspondent à une plantation d'épinettes noires (secteur 1 et 3) alors qu'un chalet occupe le centre du troisième. Plusieurs barrages de castor, sont présents ce qui explique le faible débit du ruisseau.

Secteur 1

Le secteur 1A est situé sur la rive ouest du ruisseau entre le pont de la route 111 (au sud) et le pont ferroviaire (au nord). Il s'agit d'un plateau ayant une élévation de 7 à 8 mètres par rapport au cours d'eau. Sa dimension est évaluée à environ 25 m par 35 m. Son relief est relativement plat. Le secteur a été planté d'épinettes noires et semble avoir été préalablement nivelé comme l'illustre une butte de terre de quelques mètres de long et d'un peu plus d'un mètre de hauteur qui vient s'adosser au talus, juste à l'extérieur de la limite nord du secteur. Nous estimons l'âge du peuplement à 25 ans. Le peuplier faux-tremble est aussi présent à titre d'espèce secondaire. Au sol quelques éricacées, herbacées ainsi qu'un peu de mousse complètent l'environnement végétal. Au bas du talus, près du ruisseau, la végétation comprend surtout de l'aulne, des éricacées et des herbacées. Un total de sept sondages a été excavé en quinconce. Aucun artéfact ne fut découvert.

La stratigraphie observée est constituée d'une litière de 2 centimètres suivie d'un mélange charbon de bois et d'un peu d'humus (1,5 centimètre). Ces couches recouvrent une argile meuble mêlée d'un peu de sable sur une profondeur de 14 centimètres en moyenne. Finalement, on observe une argile grise très compacte qui représente la couche minérale.



Photo 1 **Zone 1A (rive ouest), secteur 1, vue d'ensemble du secteur sondé (plantation), vers le nord**



Photo 2 **Zone 1A (rive ouest), secteur 1, stratigraphie type, paroi est**

Secteur 2

Le secteur 2 est situé au nord du secteur 1 et occupe une terrasse d'environ de 5 à 6 mètres d'élévation sur laquelle un chalet est érigé. Les dimensions du secteur sont d'environ 8 m par 12 m. Le secteur s'étale en pente douce vers le ruisseau qui est situé à une dizaine de mètres au sud-est du chalet devant lequel on note des plantes herbacées ainsi que quelques épinettes noires. Par contre, près du ruisseau, l'aulne domine, entremêlé de hautes herbes. Trois sondages ont été réalisés autour de la construction. Aucun artéfact ne fut découvert.

La stratigraphie observée est composée d'une litière de 3 centimètres déposée sur 5 centimètres de sable humique. Sous cette dernière, on note une couche de sable jaunâtre mélangé de sable brun-rouille sur une épaisseur de 7 centimètres. Ces horizons reposent sur une argile grise compacte (4 centimètres) formant la couche minérale.



Photo 4 **Zone 1A (rive ouest), secteur 2, vue générale de la terrasse sondée, vers le sud-est**



Photo 3 **Zone 1A (rive ouest), secteur 2, stratigraphie type, paroi sud**

Secteur 3

Situé au nord du secteur 2, le secteur 3 occupe un plateau dont l'élévation est de 7 à 8 mètres et qui se trouve éloigné du ruisseau d'une vingtaine de mètres. Il s'agit à nouveau d'une plantation d'épinettes noires qui semble un peu moins bien entretenue que celle observée dans le secteur 1. Six sondages ont été excavés sur le plateau dont la dimension est d'environ 18 m X 25 m. L'essence principale est l'épinette noire (plantation) mais on y trouve également quelques peupliers faux-trembles ainsi que du bouleau. Le sol est couvert de diverses plantes herbacées caractéristiques des sous-bois.

La stratigraphie nous indique un sol en partie remanié. Sous une litière de 6 centimètres, on observe un mélange argile/sable sur une épaisseur de 15 centimètres reposant sur une argile compacte grise (4 cm).



Photo 6 **Zone 1A (rive ouest) secteur 3, vue d'ensemble du secteur sondé, vers l'est**



Photo 5 **Zone 1A (rive ouest) secteur 3, stratigraphie type, paroi est**

Zone 1B

La zone 1B est localisée sur la rive est du ruisseau sans toponyme entre le pont de la route 111 (côté nord) et le pont ferroviaire (côté sud). Dans cette zone, deux secteurs ont été distingués et 6 sondages ont été excavés (secteur 4 et 5). Le secteur 4 semble être une ancienne parcelle cultivée aujourd'hui en friche tandis que le secteur 5 consiste en une petite terrasse en retrait de la rive, à une dizaine de mètres en élévation par rapport au cours du ruisseau.

Secteur 4

Il s'agit d'un espace situé sur la rive est présentant une superficie d'environ 10 m par 12 m à une élévation d'environ 3,5 mètres par rapport au niveau estival de l'eau. Cette portion de terrain n'est recouverte que de plantes herbacées de plus de 30 centimètres de hauteur. Le relief est relativement plat avec une légère pente descendante vers le ruisseau en contrebas. Trois sondages ont été réalisés dans le secteur. Aucun artéfact ne fut découvert. En bordure du ruisseau une végétation composée d'arbustes aquaphiles, dont l'aulne crispés domine.

La stratigraphie est fort simple. Sous une litière de 3 centimètres d'épaisseur, on retrouve une couche d'argile compacte de profondeur indéterminée.



Photo 8 **Zone 1B (rive est), secteur 4, vue générale du secteur sondé, vers le nord-ouest**



Photo 7 **Zone 1B (rive est), secteur 4, stratigraphie type, paroi est**

Secteur 5

Ce secteur est situé au nord du secteur 4, sur une terrasse de faible superficie. Cette dernière s'étend à une distance d'environ 15 mètres du ruisseau et à une altitude d'au moins 10 mètres par rapport à ce dernier. Le relief relativement assez plat. Seulement trois sondages ont été nécessaires afin d'inventorier cet espace. Aucun artéfact ne fut découvert. La végétation caractérisant ce secteur est composée d'épinettes noires matures, de trembles et d'aulnes en plus de quelques plantes annuelles près du sol.

La stratigraphie observée est composée d'une litière de 3 centimètres couvrant un horizon d'humus forestier de 4 centimètres d'épaisseur. Cette couche repose sur un mélange d'argile et de sable (6 centimètres). Finalement, la couche minérale est composée d'une argile compacte de couleur grise.



Photo 10 **Zone 1B (rive est), secteur 5, vue d'ensemble du plateau sondé, vers le nord**



Photo 9 **Zone 1B, (rive est), secteur 5, stratigraphie type, paroi est**

Zone 1C

La zone 1C est située sur la rive est du ruisseau, entre le nord du pont ferroviaire jusqu'à la fin de la zone de potentiel C (au nord-est). Elle présente en deux terrasses basses, de faibles dimensions localisées sur les berges du ruisseau (secteur 6 et 7). Le secteur 7 se retrouve dans un environnement très différent du reste des zones d'intervention. En effet, au nord de ce secteur le ruisseau se retrouve encaissé de part et d'autre par des talus s'élevant de plus de 10 mètres. Il a un débit beaucoup plus régulier et l'eau est moins boueuse. L'aspect de la végétation est également différent dans le secteur 7, on se croirait presque à la Baie-James avec sa pessière noire à mousse et son sol de nature podzolique.

Secteur 6

Le secteur 6 est localisé sur la rive est du ruisseau sans toponyme au nord entre le pont ferroviaire (zone 1C). Le secteur consiste en une terrasse de faible superficie (3,5 m par 10 m) ayant une élévation de 1,5 mètre. La faible élévation de ce secteur le rend très vulnérable aux crues printanières. Ceci explique l'absence de couches superficielles organiques (litière et humus) et le peu de végétation au sol, si ce n'est quelques herbacées et jeunes plantes. La végétation est composée de quelques épinettes noires, d'herbacées et, de jeunes pousses de plantes décidues. Trois sondages ont été excavés. Aucun artéfact ne fut découvert.

Il n'y a pas vraiment de stratigraphie. Une seule couche de sol brunâtre a été excavée sur 25 centimètres (compatible avec la thèse des inondations répétitives et le dépôt de limon organique).



Photo 12 **Zone 1C et 1D, (rive est et rive ouest, au nord du pont ferroviaire), vue générale du ruisseau à partir d'un pont reliant les deux rives et menant à un chalet sur la rive ouest, vers l'est**



Photo 11 **Zone 1C (rive est, au nord du pont ferroviaire), secteur 6, stratigraphie type, paroi ouest**

Secteur 7

Le secteur 7 comprend une terrasse s'élevant de 1,50 m à 1,75 m au-dessus du cours du ruisseau. Celle-ci est située au nord-est d'un haut talus légèrement bosselé longeant le cours d'eau. La végétation observée est une pessière noire à mousse avec plusieurs jeunes plantes au ras du sol. Trois sondages ont été excavés dans l'espace disponible. Aucun artéfact ne fut découvert.

La stratigraphie observée est de type podzolique. La litière se compose principalement de mousse de sphaigne (12 cm) suivie de 3 centimètres d'humus forestier. On observe ensuite une couche de 3 centimètres de sable éluvié gris reposant sur un de sable rouille formant la couche minérale. On remarque la présence de cailloux et de galets dans le sable rouille.



Photo 14 **Zone 1C (rive est, au nord du pont ferroviaire), secteur 7, vue générale de la terrasse sondée, en direction sud-ouest**



Photo 13 **Zone 1C (rive est, au nord du pont ferroviaire) secteur 7, stratigraphie type, paroi ouest**

Zone 1D

La zone 1D s'étale sur la rive ouest du ruisseau, entre le nord du pont ferroviaire jusqu'à la fin de la zone au nord-est. À cela, il faut ajouter une partie de la zone de potentiel C localisée au nord-ouest. Aucun sondage n'était possible dans cette zone. La rive est basse, le ruisseau se transforme à plusieurs endroits en étang sous l'influence des nombreux barrages de castors comme c'est le cas à la jonction des zones de potentiel 1B et 1C. Il y a bien un chalet situé au haut d'un talus d'une dizaine de mètres mais une inspection visuelle des environs n'a pas convaincu l'équipe de la nécessité de réaliser des sondages.



Photo 15 **Zone 1A (rive ouest), entre le secteur 1 et 2, butte de terre au haut du talus menant au ruisseau, vers l'est**

Conclusion et recommandations

L'inventaire archéologique a été réalisé dans l'emprise du projet minier Dumont de RNC dans la municipalité de Launay en Abitibi-Témiscamingue. Il a consisté à effectuer des inspections visuelles de chaque zone de potentiel archéologique et à excaver un total de 28 sondages archéologiques. Il n'a pas permis de découvrir aucun nouveau vestige ou site archéologique.

Compte tenu de cette conclusion générale, Royal Nickel Corporation peut procéder à la réalisation des travaux prévus sans contraintes du point de vue de l'archéologie dans les zones ayant fait l'objet de cet inventaire en 2013.

Catalogue photographique

N°photo	Description
0001	Zone 1A (rive ouest) et 1B (rive est) début des travaux, vue générale de la zone au nord du pont de la route 111, vers le nord-est
0002	Zone 1A (rive ouest), secteur 1, stratigraphie type, paroi est
0003	Zone 1A (rive ouest), secteur 1, vue d'ensemble du secteur sondé, vers le nord-est
0004	Zone 1A (rive ouest), secteur 1, vue d'ensemble du secteur sondé, vers le sud
0005	Zone 1A (rive ouest), secteur 1, vue d'ensemble du secteur sondé (plantation), vers le nord
0006	Zone 1A (rive ouest), vue générale du ruisseau au bas de la terrasse sondée (secteur 1), vers l'est
0007	Zone 1C et 1D (rive est et rive ouest) vue d'ensemble du ruisseau au nord du pont ferroviaire, vers le nord
0008	Zone 1C et 1D (rive est et rive ouest) vue d'ensemble du ruisseau au nord du pont ferroviaire, vers le nord
0009	Zone 1C et 1D (rive est et rive ouest) vue d'ensemble du ruisseau au sud du pont ferroviaire, vers le sud-est
0010	Zone 1C et 1D (rive est et rive ouest) vue d'ensemble du ruisseau au sud du pont ferroviaire, vers le sud-est
0011	Zone 1A (rive ouest) secteur 3, stratigraphie type, paroi est
0012	Zone 1A (rive ouest) secteur 3, vue d'ensemble du secteur sondé, vers l'est
0013	Zone 1A (rive ouest) secteur 3, vue d'ensemble du secteur sondé, vers l'est
0017	Zone 1A (rive ouest), secteur 2, stratigraphie type, paroi sud
0018	Zone 1A (rive ouest), secteur 2, vue générale de la terrasse sondée, vers le sud-est
0019	Zone 1A et 1B (rive ouest et rive est), vue générale de la végétation luxuriante et de la quasi-absence de berges le long du ruisseau, vers l'est
0020	Zone 1A et 1B (rive ouest et rive est), vue d'ensemble du ruisseau au nord du pont de la route 111, vers l'ouest
0021	Zone 1B (rive est), barrage de castor reliant les deux rives, vers le nord
0022	Zone 1B (rive est), barrage de castor reliant les deux rives, vers le nord
0023	Zone 1B (rive est), secteur 4, stratigraphie type, paroi est
0024	Zone 1B (rive est), secteur 4, vue générale du secteur sondé, vers le sud
0025	Zone 1B (rive est), vue d'ensemble de la végétation très dense entourant le ruisseau, vers le nord
0026	Zone 1B (rive est), aperçu du ruisseau à travers la végétation dense, vers le nord
0028	Zone 1B (rive est), secteur 5, vue d'ensemble du plateau sondé, vers le nord
0029	Zone 1B, (rive est), secteur 5, stratigraphie type, paroi est
0030	Zone 1B, (rive est), fin de la zone au pied du pont ferroviaire, vers le nord-ouest
0031	Pancarte projet RNC-Dumont à la jonction de la route 111 et du chemin Dumont
0032	Zone 1C (rive est, au nord du pont ferroviaire), secteur 6, crâne de castor en surface
0033	Zone 1C (rive est, au nord du pont ferroviaire), secteur 6, crâne de castor en surface

N°photo	Description
0034	Zone 1C (rive est, au nord du pont ferroviaire), secteur 6, vue générale de la terrasse sondée, vers l'ouest
0035	Zone 1C (rive est, au nord du pont ferroviaire), secteur 6, stratigraphie type, paroi ouest
0036	Zone 1C et 1D, (rive est et rive ouest, au nord du pont ferroviaire), vue générale du ruisseau (à partir d'un pont reliant les deux rives et menant à un chalet sur la rive ouest, vers l'ouest
0037	Zone 1C et 1D, (rive est et rive ouest, au nord du pont ferroviaire), vue générale du ruisseau à partir d'un pont reliant les deux rives et menant à un chalet sur la rive ouest, vers l'est
0038	Zone 1C, (rive est, au nord du pont ferroviaire), vue générale du ruisseau à partir d'une ligne d'arpentage située au haut d'un talus sur la rive est, vers le nord-nord-ouest
0039	Zone 1C (rive est, au nord du pont ferroviaire), secteur 7, vue générale de la terrasse sondée, en direction sud-ouest
0040	Zone 1C (rive est, au nord du pont ferroviaire) secteur 7, stratigraphie type, paroi ouest
0041	Zone 1D (rive ouest au nord du pont ferroviaire), vue générale du ruisseau, près de la fin de la zone de potentiel B, vers le nord-est
0042	Zone 1D (rive ouest au nord du pont ferroviaire), vue générale zone de potentiel C (au nord-ouest de la zone), vers le nord-ouest
0043	Zone 1D (rive ouest au nord du pont ferroviaire) vue générale de la végétation dense autour du ruisseau, vers le nord-est
0044	Zone 1A (rive ouest), entre le secteur 1 et 2, butte de terre au haut du talus menant au ruisseau, vers l'est
0045	Zone 1B (rive est), secteur 4, vue générale du secteur sondé, vers le sud-sud-ouest
0046	Zone 1B (rive est), secteur 4, vue générale du secteur sondé, vers le nord-ouest

Bibliographie

ARCHÉO-08

1991 «Etude de potentiel archéologique: La ligne biterne 120 kiloVolts Figuery-Palmarolle». Rapport présenté à Aménatech inc. et Hydro-Québec région Maisonneuve Montréal

2009 Intervention archéologique en 2008 au site (DcGp-1) du Parc national d'Aiguebelle, Rapport déposé au ministère de la Culture, des Communications et de la Condition féminine du Québec.

2010 Intervention archéologique en 2009 au site (DcGp-1) du Parc national d'Aiguebelle, Rapport déposé au ministère de la Culture, des Communications et de la Condition féminine du Québec.

2011 Intervention archéologique 2010 au site Kapitcin (DcGp-1) du Parc national d'Aiguebelle, Rapport déposé au ministère de la Culture, des Communications et de la Condition féminine du Québec.

ARKÉOS INC.

1985 Étude de potentiel archéologique du Témiscamingue, région sud du lac Simard. Manuscrit déposé au ministère de la Culture et des Communications, Québec.

1986 Étude de potentiel archéologique du Témiscamingue, région nord du lac Simard. Manuscrit déposé au ministère de la Culture et des Communications, Québec.

CHAMBERLAND, ROLAND, JACQUES LEROUX, STEVE AUDET, SERGE BOUILLÉ et MARIANO LOPEZ

2004 Terra incognita des Kotakoutouemis. L'Algonquinie orientale au XVIIe siècle. Presses de l'Université Laval et le Musée canadien des civilisations, Saint-Nicolas (Québec).

CLERMONT NORMAN

1990 «Le Sylvicole inférieur au Québec», Recherches amérindiennes au Québec, Vol XX, nº 1, p. 5-18

CÔTÉ MARC

1989 «Intervention archéologique 1988: la fouille du site DaGt-1». Rapport présenté au ministère des Affaires culturelles du Québec. Québec.

1993 «Préhistoire de l'Abitibi-Témiscamingue», Recherches amérindiennes au Québec, Vol XXIII, nº 2-3, p. 51-64

1995 «L'Abitibi-Témiscamingue lors de la préhistoire» in Odette Vincent (éd.), Histoire de l'Abitibi-Témiscamingue, coll. Les régions du Québec n° 7, Institut québécois de recherche sur la Culture, Québec, pp.68-95.

1996 «Prehistory of Abitibi-Témiscamingue » in The Algonquins., Coll. Mercure, nº 130, Musée de la civilisation, Hull p. 5-40.

1998 «Le site Ramsay: Témoignage furtif des tous premiers habitants de l'Abitibi-Témiscamingue», in Roland Tremblay (éd.) L'éveilleur et l'ambassadeur. Essais archéologiques et ethnohistoriques en hommage à Charles A. Martinj. Coll. Paléo-Québec, n° 27, Recherches amérindiennes au Québec, Montréal, pp. 127-139.

2010 «L'Archaïque terminal en Abitibi-Témiscamingue : Le cas du site Réal», Archéologiques, n° 23. pp. 35-52

CÔTÉ ET INKSETTER

2001 «Ceramics and Chronology of the Late Prehistoric Period: the Abitibi-Témiscamingue Case», in J-L Pilon, M. Kirby et C. Thériault (éds.), A Collection of Papers Presented at the 33rd Annual Meeting of the Canadian Archaeological Association, The Ontario Archaeological Society Inc. pp. 111-127.

2009 «La présence blackdukienne dans le Nord-ouest du Québec, un mythe devenu réalité : la céramique des sites Bérubé (DdGt-5) et Réal (DdGt-9) » in David L. Keenlyside and Jean-Luc Pilon (éds.), Painting with a Broad Brush. Papers in Honour of James Valliere Wright, Collection Mercure, Archaeology Paper N° 170, pp 255-297.

2010 «Les Algonquiens vers 1500 de notre ère», in Marc André Éthier (éd), Didactique de l'histoire, de la géographie et de l'éducation à la citoyenneté au primaire (titre provisoire) Gaëtan Morin éditeur, Montréal.

ETHNOSCOP

1995 Ligne biterne à 120 kV Figuery/Jonction Palmarolle-Rouyn. Fouille archéologique du site DdGm-1 (rivière Harricana), rapport remis à Hydro-Québec.

GIGUÈRE GEORGES-ÉMILE

1973 «Œuvres de Champlain» Trois Volumes, Édition du Jour,. Montréal

GUINDON FRANÇOIS

2005 «La poterie iroquoienne au lac Abitibi : Un objet de commerce entre les Hurons, les Algonquiens et leurs ancêtres entre les années 1000 et 1650 de notre ère», mémoire de maîtrise, Département d'anthropologie, Faculté des arts et des sciences, Université de Montréal, Montréal.

INKSETTER LEILA

2000 «Le site Roger Marois. Regard sur la fin du Sylvicole moyen dans le nord-ouest québécois», mémoire de maîtrise, Département d'anthropologie, Faculté des arts et des sciences, Université de Montréal, Montréal.

MATHIAS JOSIE

1998 : «L'Homme de Neawigak...et autres histoires algonquines. Livre publié à compte d'auteur avec le Concours de la Société d'histoire du Témiscamingue. Traduit de l'anglais par Marie Déziel, Hull, Québec, 135 pages.»

MCKENZIE AGNÈS

1981 «Rapport toponymique: Pikogan 1981» Rapport déposé au Conseil de Bande Abitibi8inni et à la Commission de toponymie du Québec, 161 pages.

RICHARD PIERRE

1980 : «Histoire postglaciaire de la végétation au sud du lac Abitibi, Ontario et Québec», Géographie physique et quaternaire, vol. 34, nº 1, pp. 77-94.

VIAU ROLAND

1993 «Gens des terres, gens du Nord: l'occupation amérindienne, 1600-1680», in O. Vincent (éd.), Histoire de l'Abitibi-Témiscamingue, coll. Les régions du Québec, nº 7, Institut québécois de recherche sur la culture, pp. 97-121.

ANNEXE 4

Protocole d’échantillonnage de la qualité de l’eau de surface

1. QUALITÉ DE L'EAU DE SURFACE

1.1 Objectif

Le suivi de la qualité de l'eau de surface vise à fournir de l'information sur l'état de référence quant à la présence de paramètres physico-chimiques pouvant dépassés les normes provincial et fédéral dans certaines zones exposées aux activités de la mine Dumont. Les résultats obtenus contribueront à la compréhension de l'évolution de l'habitat aquatique touché par le projet. Ce suivi a également pour objectif de rassurer les populations concernées, soit Launay et Villemontel, et la communauté de Pikogan, dont certains membres utilisent le lac Chicobi, et de réagir rapidement si une situation d'urgence se présentait.

1.2 Zone d'étude

La zone d'étude est composée de 2 secteurs, soit le secteur Chicobi situé au nord du projet et le secteur Villemontel situé immédiatement au sud du projet Dumont. Les stations d'échantillonnage du secteur Villemontel sont localisées dans le ruisseau sans nom 1 (1 station) et la rivière Villemontel (2 stations; amont et aval de l'effluent final), alors que pour le secteur Chicobi, les stations se trouvent dans la rivière Chicobi (1 station) et le lac du même nom (1 station) (carte 1).

1.3 Méthode

Prélèvements

Le prélèvement des échantillons d'eau de surface sera réalisé en conformité avec les documents du Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec [MDDEP], 2008, 2009 et 2010; CEAEQ, 2012). Les échantillons d'eau seront prélevés à la surface, puis gardés au frais (4 °C) jusqu'au moment de l'analyse, tel que prescrit par le CEAEQ. Les échantillons d'eau de surface seront recueillis en suivant la procédure requise pour les différents paramètres, c.-à-d. avec ou sans ajout de préservatif, puis analysés selon les délais d'analyses prescrits pour chacun des paramètres (MDDEP, 2010). Pour les métaux traces, le prélèvement des échantillons d'eau de surface sera réalisé en conformité avec le protocole d'échantillonnage de l'eau de surface pour analyse des métaux traces du MDDEFP (2013, version préliminaire).

L'identification des échantillons prélevés réfèrera au site échantillonné, soit le projet Dumont (PrD), à l'année 2013 (13) et au numéro de la station de 1 à 5 (p. ex. PrD13-01). Pour les années subséquentes, seul le numéro en lien avec l'année changera (p. ex. : PrD14-01 pour 2014, PrD15-01 pour 2015 et ainsi de suite).

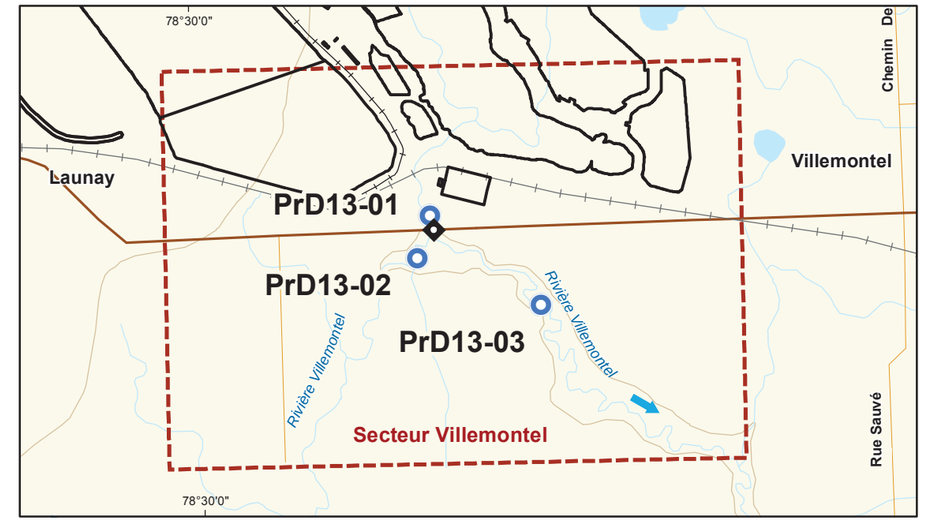
78°40'0"
78°30'0"
78°20'0"
78°10'0"
78°0'0"
48°50'0"
48°40'0"

Lac Chicobi
PrD13-05
Secteur Chicobi
PrD13-04
Rivière Chicobi
Rivière Chicobi

Projet Dumont

Launay
Villemontel
Chemin Desboues
Rue Sauvé
111
PrD13-01
PrD13-02
PrD13-03
Rivière Villemontel
Secteur Villemontel

Lac Beauchamp



- Effluent
- Station d'échantillonnage
- Zone d'étude
- Sens d'écoulement
- Route principale
- Route secondaire
- Sentier

RNC PROJET DUMONT

Projet Nickélifère Dumont
Étude d'impact sur l'environnement et le milieu social

Carte 1

Suivi de la qualité de l'eau de surface

0 1,5 3 4,5 km
MTM, fuseau 10, NAD83

Source :
BNDT, 1 : 250 000, feuillet 32D, RNCAN

Fichier GENIVAR : 111_15275_SV_c1_qualite_eau_131003.mxd

Octobre 2013
111-15275-00

GENIVAR

Les paramètres physico-chimiques ont été choisis afin de déterminer la concentration des principaux constituants de l'eau de surface dans la zone d'étude et d'évaluer la qualité de l'eau pour différents usages. Les usages identifiés sont la protection de la vie aquatique, la prévention de la contamination, les activités récréatives et les propriétés organoleptiques et esthétiques. Les critères utilisés pour évaluer la qualité de l'eau sont ceux du Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs du Québec (MDDEFP[1]) et du Conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME). Ces critères étant mis à jour périodiquement, l'évaluation sera actualisée pour toutes les années d'échantillonnage prévues au suivi, soit la durée de vie de la mine.

Les critères du MDDEFP (2002) utilisés pour les eaux de surface sont :

- prévention de la contamination (eau et organismes aquatiques);
- prévention de la contamination (organismes aquatiques seulement);
- protection des activités récréatives et de l'esthétique;
- protection de la vie aquatique (effet aigu);
- protection de la vie aquatique (effet chronique).

Les critères du CCME (2011) utilisés sont :

- protection de la vie aquatique (eau douce).

Les paramètres analysés incluent les propriétés physico-chimiques, les ions majeurs, les nutriments, les métaux et les métalloïdes (tableau 1).

L'état de référence qui sera réalisé en 2013, sera complété par certaines stations échantillonnées en 2007, 2008, 2009 et 2011 (RN-03, RN-06 et RN-09). Pour les stations retenues au cours de ces années, certains résultats de paramètres, comme ceux mentionnés précédemment et dont les limites de détection sont conforment aux critères actuels (tableau 1), ainsi que ceux des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et monocycliques (HAM), des biphényles polychlorés (BPC), des pesticides, des herbicides et des composés du phénol seront utilisés.

Analyses laboratoires

Les analyses seront effectuées par un laboratoire accrédité par le MDDEFP.

Pour les métaux traces et le phosphore, les limites de détection analytiques sont celles exigées par le MDDEFP tel que décrit dans le guide *Méthode d'analyse - MA.203 - Mét.Tra. 1.1* du CEAEQ (2013). Les limites de détection de ces métaux traces sont présentées au tableau 1.

[1] Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP) depuis septembre 2012.

Tableau 1. Paramètres analysés au cours du suivi de la qualité de l'eau – Projet Dumont.

Paramètres	Limites de détection
Conventionnel	
Alcalinité totale	3 mg/L
Carbone organique dissous	0,5 mg/L
Carbone organique total	0,5 mg/L
Conductivité	1 µmhos/cm ou 0,001 mS/cm
Chlorures	0,5 mg/L
Demande biologique en oxygène pendant 5 jours (DBO_5)	2 mg/L
Demande chimique en oxygène (DCO)	5 mg/L
Dureté	1 mg/L
Matière en suspension	1 mg/L
pH	N/A
Ions majeurs et nutriments	
Azote ammoniacal (estival)	0,02 mg/L
Azote total Kjeldahl	0,5 mg/L
Chlorures	0,5 mg/L
Cyanures totaux	0,01 mg/L
Fluorures	0,1 mg/L
Nitrates	0,02 mg/L
Nitrites	0,02 mg/L
pPhosphore total[2]	*0,002 mg/L*
Silice réactive	0,1 mg/L
Sulfates	0,5 mg/L
Hydrocarbures	
Hydrocarbures pétroliers (C_{10}-C_{50})	0,1 mg/L
Métaux totaux et métalloïdes	
Aluminium[2]	*0,000 4 mg/L*
Antimoine	*0,000 004 mg/L*
Argent	*0,000 002 mg/L*
Arsenic	*0,000 03 mg/L*
Baryum	*0,000 02 mg/L*
Bore	*0,000 3 mg/L*
Cadmium	*0,000 006 mg/L*
Calcium	0,02 mg/L
Chrome total	*0,000 04 mg/L*
Chrome hexavalent (Cr(VI))	0,01 mg/L
Cobalt	*0,000 007 mg/L*
Cuivre	*0,000 05 mg/L*
Cyanure	0,005 mg/L
Étain	*0,001 mg/L*

Tableau 1. Paramètres analysés au cours du suivi de la qualité de l'eau – Projet Dumont (suite)

Paramètre	Limite de détection
Métaux et métalloïdes (suite)	
Fer	*0,000 5 mg/L*
Magnésium	0,01 mg/L
Manganèse	*0,000 004 mg/L*
Mercure	0,000 01 mg/L
Molybdène	*0,000 003 mg/L*
Nickel	*0,000 05 mg/L*
Plomb	*0,000 03 mg/L*
Potassium	0,3 mg/L
Radium 226	0,002 Bq/L
Sélénium	*0,000 2 mg/L*
Sodium	0,3 mg/L
Thallium	*0,002 mg/L*
Titane	0,000 4 mg/L
Uranium	*0,000 001 mg/L*
Vanadium	*0,000 01 mg/L*
Zinc	*0,000 3 mg/L*
Paramètres microbiologiques	
Coliformes fécaux	1 UFC[1]/100 mL
Coliformes totaux	1 UFC/100 mL

1 : UFC = Unité de formation de colonies.

2 : *Métaux traces* – méthode d'analyses MA. 203 du CEAEQ (2013).

1.4 Calendrier

En vue d'établir l'état de référence avant le début de la construction et de l'exploitation du projet Dumont, le suivi débutera à l'automne 2013. Cet échantillonnage se continuera annuellement au cours de la construction des infrastructures du projet soit jusqu'au moment où l'effluent final sera en opération.

En phase d'exploitation, soit au moment où RNC sera soumis au Règlement sur les effluents de mines de métaux (REMM; DORS/2002-222), la fréquence de l'échantillonnage sera de 4 fois par année, chaque échantillonnage devant être espacé d'au moins un mois (Environnement Canada, 2012).

Ce suivi se déroulera pour toute la durée de vie de la mine.

1.5 Sources de l'engagement

Étude d'impact sur l'environnement et le milieu social

Le suivi de la qualité de l'eau est prévu à la réponse QC-42 du document de réponse aux questions et commentaires du MDDEFP reçus le 11 mars 2013 (GENIVAR, 2013).

1.6 Références

CENTRE D'EXPERTISE EN ANALYSE ENVIRONNEMENTALE DU QUÉBEC (CEAEQ). 2012. *Modes de conservation pour l'échantillonnage des eaux de surface*. DR-09-10. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, Québec. 7 p.

CENTRE D'EXPERTISE EN ANALYSE ENVIRONNEMENTALE DU QUÉBEC. 2013. *Détermination des métaux à l'état de trace en conditions propres dans l'eau : méthode par spectrométrie d'émission au plasma d'argon et détection par spectrométrie de masse, MA. 203 – Met.Tra. 1.1*. Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs du Québec. 16 p.

CONSEIL CANADIEN DES MINISTRES DE L'ENVIRONNEMENT (CCME). 2011. *Recommandations canadiennes pour la qualité des eaux : protection de la vie aquatique*. Site Internet consulté le 11 septembre 2013. Disponible [en ligne] : http://ceqg-rcqe.ccme.ca/?lang=fr.

ENVIRONNEMENT CANADA. 2012. *Guide technique pour l'étude de suivi des effets sur l'environnement des mines de métaux*. Gouvernement du Canada. Pagination multiple.

GENIVAR. 2013. *Projet Dumont – Étude d'impact sur l'environnement et le milieu social. Réponses aux questions et commentaires du ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs du Québec reçu le 11 mars 2013. Volume 1.* Rapport de GENIVAR inc. à Royal Nickel Corporation. 192 p. et annexes.

MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT, DE LA FAUNE ET DES PARCS DU QUÉBEC. (MDDEFP). 2002. *Critères de qualité de l'eau de surface au Québec*. Site Internet consulté le 11 septembre 2013. Disponible [en ligne] : http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/criteres_eau/index.asp.

MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DES PARCS DU QUÉBEC (MDDEP). 2008. *Guide d'échantillonnage à des fins environnementales : Cahier 1 – Généralités*. Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, Québec. 58 p. et annexes.

MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DES PARCS DU QUÉBEC. *2009. Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales : Cahier 2 – Échantillonnage des rejets liquides*, Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, Québec. 23 p.

MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DES PARCS DU QUÉBEC (MDDEP). 2010. *Modes de conservation pour l'échantillonnage des eaux de surface*. Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec. 10 p.

MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DES PARCS DU QUÉBEC (MDDEP). 2013. *Protocole d'échantillonnage de l'eau de surface pour l'analyse des métaux en traces*, Québec, Direction du suivi de l'état de l'environnement. Version préliminaire.

Dernière mise à jour : 25-10-2013

ANNEXE 5

Étude de risque sur la santé de l'INSPQ (2010) associée à la présence de fibres d'amiante dans la ville de Thetford Mines.



Présence de fibres d'amiante dans l'air intérieur et extérieur de la ville de Thetford Mines : estimation des risques de cancer du poumon et de mésothéliome

MISE À JOUR SEPTEMBRE 2010

INSTITUT NATIONAL
DE SANTÉ PUBLIQUE
DU QUÉBEC

Québec

Présence de fibres d'amiante dans l'air intérieur et extérieur de la ville de Thetford Mines : estimation des risques de cancer du poumon et de mésothéliome

MISE À JOUR SEPTEMBRE 2010

Direction de la santé environnementale
et de la toxicologie

Direction des risques biologiques
et de la santé au travail

Septembre 2010

Institut national
de santé publique
Québec

AUTEURS

Marie-Hélène Bourgault, M. Sc., biologiste
Direction de la santé environnementale et de la toxicologie

Denis Belleville, M.D., M. Sc., médecin conseil
Direction de la santé environnementale et de la toxicologie

AVEC LA COLLABORATION DE

Georges Adib, M. Sc., hygiéniste du travail
Direction des risques biologiques et de la santé au travail

Louise De Guire, M.D., M. Sc., médecin conseil
Direction des risques biologiques et de la santé au travail

France Labrèche, Ph. D., épidémiologiste
Direction des risques biologiques et de la santé au travail

MISE EN PAGES

Katia Raby, agente administrative
Direction de la santé environnementale et de la toxicologie

Ce document est disponible intégralement en format électronique (PDF) sur le site Web de l'Institut national de santé publique du Québec au : http://www.inspq.qc.ca.

Les reproductions à des fins d'étude privée ou de recherche sont autorisées en vertu de l'article 29 de la Loi sur le droit d'auteur. Toute autre utilisation doit faire l'objet d'une autorisation du gouvernement du Québec qui détient les droits exclusifs de propriété intellectuelle sur ce document. Cette autorisation peut être obtenue en formulant une demande au guichet central du Service de la gestion des droits d'auteur des Publications du Québec à l'aide d'un formulaire en ligne accessible à l'adresse suivante : http://www.droitauteur.gouv.qc.ca/autorisation.php, ou en écrivant un courriel à : droit.auteur@cspq.gouv.qc.ca.

Les données contenues dans le document peuvent être citées, à condition d'en mentionner la source.

DÉPÔT LÉGAL – 1er TRIMESTRE 2011
BIBLIOTHÈQUE ET ARCHIVES NATIONALES DU QUÉBEC
BIBLIOTHÈQUE ET ARCHIVES CANADA
ISBN : 978-2-550-61366-4 (PDF)

©Gouvernement du Québec (2011)

RÉSUMÉ

À l'automne 2007, l'Association des victimes de l'amiante du Québec (AVAQ) et le ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec (MDDEP) publiaient des études sur les concentrations d'amiante mesurées dans l'air intérieur et dans l'air extérieur de Thetford Mines. Ces résultats ont incité les directions de santé publique de Chaudière-Appalaches et de l'Estrie à solliciter l'aide de l'Institut national de santé publique du Québec (INSPQ) pour la réalisation d'une évaluation du risque de cancer du poumon et de mésothéliome de la plèvre dans cette population.

Il existe deux familles d'amiante : les amphiboles (crocidolite, amosite, trémolite, actinolite et anthophyllite) et les serpentines (chrysotile). Les trois principales maladies associées à une exposition à l'amiante sont l'amiantose, le cancer du poumon et le mésothéliome de la plèvre et du péritoine. Le risque de mésothéliome de la plèvre attribuable à l'exposition aux amphiboles serait plus élevé que celui attribuable au chrysotile. De plus, le mésothéliome pourrait être provoqué par des expositions faibles et sporadiques à l'amiante, et la survenue d'amiantose est peu probable chez les individus exposés de façon non professionnelle aux concentrations d'amiante généralement présentes dans l'environnement. C'est pourquoi seul le risque associé aux deux cancers a été considéré.

L'évaluation du risque cancérigène à Thetford Mines a été réalisée selon deux approches. La première est tirée de la méthodologie proposée dans les lignes directrices pour la réalisation des évaluations du risque toxicologique pour la santé humaine du ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec (MSSS). Cette méthode s'appuie sur l'hypothèse que le risque est le même que l'on soit exposé à des amphiboles ou au chrysotile. Quant à la deuxième approche, elle se fonde sur le récent modèle de Berman et de Crump. Selon ce modèle, le risque associé aux amphiboles diffère de celui associé au chrysotile. Les deux démarches tiennent compte de la dose d'exposition moyenne à vie (somme de la dose d'exposition moyenne par inhalation d'air intérieur et de la dose d'exposition moyenne par inhalation d'air extérieur) et de facteurs de risque cancérigène propres à l'amiante.

La dose d'exposition pour l'air intérieur a été calculée à partir des concentrations provenant de l'étude de l'AVAQ. En 2003 et 2004, les auteurs de cette étude ont évalué les concentrations d'amiante dans l'air intérieur de 26 résidences de la ville de Thetford Mines. La plupart des fibres d'amiante détectées étaient des fibres de chrysotile, mais on a aussi identifié de l'actinolite et de la trémolite. Comme le recommande le MSSS, c'est la limite supérieure (LS) de l'intervalle de confiance à 95 % (IC 95 %) de la moyenne arithmétique des concentrations mesurées, qui est utilisée pour estimer l'exposition. Elle est de 0,0031 fibre/ml (f/ml). En ce qui concerne l'air extérieur, les résultats de l'étude du MDDEP, effectuée en 2004 dans l'air ambiant de la ville de Thetford Mines, ont été retenus. Des fibres de chrysotile et d'amosite ont été détectées dans les échantillons. La LS de l'IC à 95 % est de 0,0035 f/ml. À partir de ces deux séries de données, la dose d'exposition moyenne à vie est de 0,0031 f/ml.

Avec cette dose, selon la méthodologie des lignes directrices, l'excès de mortalité vie durant par cancer du poumon et par mésothéliome se situe entre 72 et 125 pour 100 000 personnes de Thetford Mines exposées continuellement à de l'amiante durant toute leur vie. L'excès de mortalité vie durant pour ces mêmes cancers, estimé à partir du modèle de Berman et de Crump, s'élève à 8,2 pour 100 000 personnes exposées continuellement durant toute leur vie à des fibres de chrysotile.

À titre comparatif, les risques associés aux concentrations en fibres d'amiante généralement trouvées dans l'environnement ont été calculés. Ils s'étendent de 0,46 à 7,1 pour 100 000 personnes selon l'approche utilisée (modèle de Berman et de Crump ou lignes directrices du MSSS).

La concentration moyenne en fibres d'amiante mesurée dans l'air intérieur des résidences de la ville de Thetford Mines est 1,7 fois plus faible que celle relevée dans 17 écoles du Québec, 1,4 fois plus faible que celle mesurée dans deux résidences touchées par la poussière engendrée par l'effondrement des tours du World Trade Center (WTC) quelques jours après les événements du 11 septembre 2001. Toutefois, la concentration moyenne en structures d'amiante est 232 fois plus élevée que le bruit de fond mesuré dans des appartements de New York. Enfin, la concentration moyenne d'amiante (structures ou fibres) dans les maisons de Thetford Mines est de 4 à 46 fois plus élevée que les concentrations moyennes relevées aux États-Unis dans des résidences et des édifices publics comprenant des matériaux contenant de l'amiante (MCA).

La concentration moyenne en fibres d'amiante mesurée par le MDDEP dans l'air extérieur de la ville de Thetford Mines est restée stable depuis 1997. Elle est cependant 215 fois supérieure à celle mesurée à partir d'échantillons prélevés dans l'ensemble des États-Unis et 7 fois plus élevée que la limite de détection de la méthode analytique utilisée pour mesurer les concentrations d'amiante en milieu urbain au Québec et à proximité d'une halde inactive de Tring-Jonction en 2004.

Finalement, parmi les quatre critères de qualité de l'air intérieur répertoriés, seul celui du WTC a été retenu (0,0009 fibre PCMe d'amiante/ml), car il est le seul qui a été déterminé en tenant compte des effets sur la santé. Dix-neuf pour cent des échantillons d'air intérieur de l'étude de l'AVAQ dépassaient ce critère. Lorsque plus de 10 % des échantillons dépassent le critère sélectionné, on considère qu'un impact sur la santé a pu survenir ou pourrait survenir. Aucun des critères de qualité de l'air extérieur relevés n'a été retenu.

Les résultats des évaluations du risque doivent être interprétés avec prudence, puisqu'elles comportent des incertitudes reliées, entre autres 1) à la détermination des risques unitaires vie durant, qui sont élaborés à partir des modèles de relation dose-réponse provenant d'études épidémiologiques menées auprès de travailleurs; 2) aux modèles statistiques utilisés pour l'extrapolation des résultats obtenus à partir de cohortes de travailleurs à une population exposée à de faibles doses dans l'environnement et 3) aux concentrations employées pour déterminer la dose d'exposition moyenne à vie à partir des études de l'AVAQ et du MDDEP. Ces incertitudes ont pu mener à une surestimation ou à une sous-estimation des risques calculés qu'il est difficile de quantifier.

Nonobstant les incertitudes et les limites citées plus haut, les résultats de l'évaluation du risque ainsi que l'analyse comparative des concentrations en amiante mesurées à Thetford Mines suggèrent un risque pour la santé attribuable à la présence d'amiante dans l'air de cette région. Les niveaux de risque estimés dans cette étude ne peuvent être extrapolés à l'ensemble de la population de Thetford Mines que dans la mesure où les concentrations provenant de ces deux sources de données sont représentatives des concentrations auxquelles est exposé l'ensemble de la population de la ville. Il serait indiqué de confronter le risque estimé selon les deux approches aux données épidémiologiques récentes sur le cancer du poumon et sur le mésothéliome de la plèvre à Thetford Mines pour « cerner » s'il y a une surestimation ou une sous-estimation du risque, même si les données épidémiologiques des années 2000 découlent d'une exposition s'étant déroulée des années 1960 aux années 1980 environ.

En terminant, il convient de souligner que, selon l'OMS, il n'y a pas de preuve de seuil sécuritaire pour les effets cancérigènes de l'amiante et qu'un accroissement du risque de cancer a été observé dans des populations exposées à de très faibles concentrations d'amiante. Dans cette optique, il est souhaitable de réduire le plus possible l'exposition. Par conséquent, certaines mesures de contrôle doivent être envisagées telles que l'interdiction d'accès aux haldes ou encore l'arrêt de l'utilisation des résidus miniers aux fins de remblayage et comme abrasif ou autre. De plus, il serait indiqué de prendre de nouvelles mesures d'amiante dans l'air de Thetford Mines afin de surveiller l'exposition dans le temps, pour s'assurer qu'elle n'augmente pas.

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES ..... **VII**

INTRODUCTION **1**

1 MÉTHODES D'ANALYSE DES FIBRES D'AMIANTE **3**

2 EXPOSITION AUX FIBRES D'AMIANTE DANS LA VILLE DE THETFORD MINES : ÉVALUATION DU RISQUE **7**

2.1 Effets sur la santé, toxicocinétique et mécanismes d'action 7

2.2 Évaluation du risque selon les lignes directrices du MSSS 9

2.2.1 Risques unitaires vie durant retenus 10

2.2.2 Détermination de la dose d'exposition moyenne à vie 15

2.2.3 Détermination du risque vie durant 19

2.3 Évaluation du risque à partir du modèle de Berman et de Crump 20

3 ANALYSE COMPARATIVE DES CONCENTRATIONS EN AMIANTE MESURÉES DANS LA VILLE DE THETFORD MINES **25**

3.1 Air intérieur 25

3.1.1 Comparaison avec d'autres milieux 25

3.1.2 Comparaison avec des critères de qualité de l'air 28

3.2 Air extérieur 30

3.2.1 Comparaison avec d'autres milieux 31

3.2.2 Comparaison avec des critères de qualité de l'air 35

4 DISCUSSION **37**

4.1 Risques obtenus selon la méthodologie des lignes directrices du MSSS 37

4.2 Risque obtenu d'après le modèle de Berman et de Crump 38

4.3 Risques associés au bruit de fond 39

4.4 Valeur guide de gestion du risque 40

4.5 Analyse comparative des concentrations mesurées dans la ville de Thetford Mines 40

CONCLUSION **43**

RÉFÉRENCES **45**

ANNEXE 1 SYNTHÈSE DES DIFFÉRENTES ÉTUDES EN LIEN AVEC L'AMIANTE DANS L'ENVIRONNEMENT INTÉRIEUR ET EXTÉRIEUR DE THETFORD MINES **51**

ANNEXE 2 ESTIMATION DES RISQUES UNITAIRES VIE DURANT SELON L'INSERM **65**

LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES

Tableau 1 Critères de numération des fibres d'amiante par MOCP et par MET 4

Tableau 2 Comparaison des risques unitaires vie durant (RU) estimés pour 100 personnes exposées continuellement durant toute leur vie à 1 f/ml d'amiante dans l'environnement 13

Tableau 3 Valeurs des paramètres utilisés dans la détermination des risques unitaires vie durant 15

Tableau 4 Concentrations en fibres d'amiante mesurées dans l'air intérieur et dans l'air extérieur de la ville de Thetford Mines 19

Tableau 5 Risque de mortalité vie durant estimé à partir des risques unitaires pour 100 000 personnes de la ville de Thetford Mines exposées de façon continue durant toute leur vie à des fibres d'amiante 20

Tableau 6 Valeurs des paramètres employés dans la détermination du risque de mortalité vie durant pour la population de la ville de Thetford Mines d'après la méthodologie de Berman et de Crump 22

Tableau 7 Comparaison des concentrations en s/ml de l'AVAQ avec celles relevées lors de deux autres études 27

Tableau 8 Comparaison des concentrations en fibres PCMe/ml de l'AVAQ avec celles relevées lors de trois autres études 28

Tableau 9 Comparaison des concentrations en fibres d'amiante (f/ml) mesurées à Thetford Mines avec d'autres milieux 33

Tableau 10 Résultats des analyses statistiques effectuées sur les concentrations moyennes en fibres totales (f/ml) relevées par le MDDEP dans différentes villes du Québec 35

Figure 1 Concentrations moyennes de fibres totales (f/ml) dans l'air ambiant analysées par MOCP par le MDDEP 34

INTRODUCTION

L'amiante désigne un groupe de minéraux naturels fibreux, composé de silicates, qui sont ou ont été exploités commercialement. Ces minéraux se divisent en deux catégories minéralogiques, soit celle des amphiboles, qui comprend la crocidolite, l'amosite, la trémolite, l'actinolite et l'anthophyllite, et celle des serpentines, dont seul le chrysotile fait partie (Organisation mondiale de la Santé [OMS], 2006a).

Les fibres d'amiante sont flexibles et résistent notamment à la traction, à la chaleur et aux produits chimiques. En raison de leurs propriétés physicochimiques, elles sont incorporées à de nombreux produits tels que le ciment, l'asphalte, les plastiques, les textiles, les matériaux de construction, les plaquettes de freins de même qu'aux matériaux isolants et ignifuges pour les édifices (Lajoie *et al.,* 2003; Agency for Toxic Substances and Disease Registry [ATSDR], 2001).

En 2006, le Canada occupait le cinquième rang mondial des pays producteurs d'amiante chrysotile (Ressources naturelles Canada, 2006). Toutefois, le pays n'exploite pas d'amiante amphibole. La production canadienne est concentrée au Québec dans les villes de Thetford Mines, région de Chaudière-Appalaches, et d'Asbestos en Estrie. À Thetford Mines, seule la mine à ciel ouvert Lac d'amiante du Canada dans le secteur de Black Lake est toujours en exploitation. La mine souterraine Bell, active depuis 130 ans, a fermé définitivement ses portes le 28 mars 2008 (Bussières, 2008). Quant à la mine à ciel ouvert Jeffrey d'Asbestos, elle a temporairement mis à pied ses employés le 30 juin 2008 (Radio-Canada, 2008).

La population qui réside dans ces villes minières est potentiellement exposée aux fibres d'amiante, qui se dispersent dans l'environnement. Les sources d'exposition peuvent provenir des activités minières et des résidus miniers accumulés sous forme de haldes (Couture et Bisson, 2006; Lajoie *et al.*, 2003). Dans la région de Thetford Mines, certaines haldes sont dites actives, c'est-à-dire que les résidus miniers y sont encore empilés ou que ceux-ci sont utilisés régulièrement comme source de matériaux, tels des remblais de terrains. L'amiante contenu dans ces remblais peut également se disperser dans l'air ambiant. D'autres haldes sont dites inactives, mais la circulation de véhicules y est parfois tolérée (Couture et Bisson, 2006). Le chargement de résidus miniers des haldes dans des camions ainsi que leur transport dans la ville pourraient aussi contribuer à propager des fibres d'amiante dans l'air ambiant (Marier, Charney, Rousseau, Lanthier et Van Raalte, 2007).

La principale voie d'exposition à l'amiante est l'inhalation, et les effets associés touchent d'abord le système respiratoire (Lajoie *et al.*, 2003). Ces effets ont été démontrés principalement chez des travailleurs et chez des animaux de laboratoire (Sous-comité sur l'épidémiologie des maladies reliées à l'exposition à l'amiante, 2003). Ainsi, l'évaluation des concentrations d'amiante dans l'air permet aux intervenants de santé publique de se prononcer sur l'ampleur de l'exposition et, par conséquent, sur le risque encouru par la population. D'ailleurs, les directions de santé publique (DSP) de Chaudière-Appalaches et de l'Estrie ont récemment été interrogées par les médias à la suite de la publication d'études

menées à Thetford Mines et ses environs (Couture et Bisson, 2006; Marier *et al.*, 2007; ministère de l'Environnement du Québec [MEnvQ], 2001).

D'une part, en 2000 et 2005, le ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec (MDDEP) a mesuré les fibres d'amiante dans l'air au-dessus de terrains remblayés par des résidus miniers (Couture et Bisson, 2006; MENVQ, 2001). À partir des résultats obtenus, le MDDEP et l'Institut national de santé publique du Québec (INSPQ) ont recommandé que ces remblais soient recouverts par un matériel non contaminé (R. Gauthier et A. J. Nantel, communication personnelle, 8 décembre 2005). Le même ministère a aussi prélevé en 2004 des échantillons d'air ambiant sur les toits d'édifices de la ville de Thetford Mines (Bisson et Couture, 2007). Malgré la présence de fibres d'amiante, les auteurs du rapport ont conclu que les concentrations en fibres totales trouvées sont environ 10 fois inférieures au critère de qualité de l'air pour l'amiante en vigueur en Ontario (le MDDEP n'a pas de critère officiel de qualité de l'air pour l'amiante).

D'autre part, en 2003 et en 2004, l'Association des victimes de l'amiante du Québec (AVAQ) a mesuré les concentrations d'amiante dans l'air de quelques résidences de la ville de Thetford Mines (Marier *et al.*, 2007). Selon les auteurs, les résultats obtenus constituent une menace pour la santé publique.

Une description détaillée des études de l'AVAQ et du MDDEP est présentée à l'annexe 1 (c'est-à-dire la méthodologie, les résultats bruts et agglomérés, les conclusions, les recommandations ainsi que les forces et les faiblesses de ces études).

À la lumière de ces données, l'INSPQ a reçu le mandat d'évaluer les risques pour la santé humaine inhérents à la présence de fibres d'amiante dans l'air ambiant et dans l'air intérieur de résidences de la ville de Thetford Mines. Le but de cette démarche est de fournir de l'information scientifique en vue d'orienter les décisions ayant trait à la gestion des risques environnementaux associés à l'exposition à l'amiante dans les villes minières du Québec. Les démarches employées sont présentées au chapitre 2.

À cet objectif principal, s'ajoutent les objectifs secondaires suivants : 1) relever dans le temps les niveaux d'amiante mesurés dans la ville de Thetford Mines et 2) les comparer à ceux obtenus lors d'études effectuées dans d'autres milieux ainsi qu'à des critères pour l'amiante établis par des organismes. Ces différents aspects sont traités au chapitre 3.

Pour terminer, il faut préciser que la détermination des concentrations en fibres d'amiante est complexe et qu'elle peut s'effectuer par l'entremise de plusieurs méthodes d'analyse. Celles-ci sont expliquées au chapitre 1.

1 MÉTHODES D'ANALYSE DES FIBRES D'AMIANTE

Contrairement à la plupart des substances chimiques, ce n'est pas la masse d'amiante par volume d'air prélevé, qui est mesurée, mais plutôt le nombre de structures par volume d'air prélevé (Perry, 2004). Une structure peut se définir comme étant une simple fibre, un faisceau de fibres ou encore comme étant un agrégat ou une matrice de particules contenant des fibres[1]. La concentration en structures est déterminée par microscopie.

Les deux types de microscopie les plus utilisés au Québec pour analyser les concentrations d'amiante sont la microscopie optique à contraste de phase (MOCP) et la microscopie électronique à transmission (MET).

L'analyse par MOCP ne permet pas de différencier spécifiquement les fibres d'amiante. Tous les autres types de fibres (ex. : cellulose, fibres artificielles, etc.) sont alors comptés, ce qui peut entraîner une surestimation de la concentration réelle en fibres d'amiante. Par ailleurs, comme le grossissement obtenu par MOCP est faible (400 X), un certain nombre de fibres de petit diamètre ne sont pas visibles (HEI-AR, 1991). Cette analyse est toutefois recommandée pour mesurer la concentration d'amiante en milieu de travail puisqu'en général la nature des fibres prédominantes est connue au préalable.

Quant à l'analyse par MET, elle est privilégiée lorsqu'on veut mesurer les concentrations d'amiante dans l'environnement étant donné que la nature des fibres n'est pas toujours connue. Ce type d'analyse permet non seulement de distinguer spécifiquement les fibres d'amiante des autres fibres, mais aussi de différencier le type de fibres d'amiante (serpentines versus amphiboles) (Perry, 2004). De plus, comme le grossissement est meilleur qu'en MOCP (10 000 X), il est possible de visualiser des fibres d'amiante, qui sont très minces, parfois même des fibres allant jusqu'à 0,2 nanomètre (nm) de diamètre (HEI-AR, 1991).

Il existe deux méthodes de préparation des échantillons en MET, soit les méthodes directe et indirecte. Lors du recours à la méthode directe, l'échantillon est utilisé pratiquement tel quel, alors que lors du recours à la méthode indirecte, l'échantillon subit notamment un traitement aux ultrasons pouvant entraîner la fragmentation des fibres et augmenter ainsi leur nombre dans l'échantillon (Dion et Perrault, 2000).

Le protocole NIOSH 7400 décrit l'analyse des fibres par MOCP (The National Institute for Occupational Health and Safety [NIOSH], 1994a). Au Québec, l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST) a élaboré son propre protocole : IRSST 243-1 (IRSST, 1991). Selon ce dernier, les fibres ayant un diamètre ≥ 3 µm ne sont pas comptées, contrairement au protocole NIOSH 7400. Il faut préciser que le grossissement obtenu par ces deux protocoles n'est pas suffisant pour distinguer les fibres d'un diamètre < 0,25 µm.

[1] Selon le *Petit Larousse illustré 2008*, un faisceau représente une réunion d'objets minces et allongés reliés ensemble. Un agrégat est une substance, une masse formée d'éléments primitivement distincts, unis intimement et solidement entre eux.

Les critères de numération des fibres, utilisés selon les deux méthodes, sont présentés au tableau 1.

Le protocole NIOSH 7402 (méthode directe) décrit l'analyse des fibres en MET (NIOSH, 1994b). Les critères de numération sont presque équivalents à ceux du protocole NIOSH 7400, même si la MET permet d'observer des fibres plus minces (NIOSH, 1994b; Perry, 2004). On exprime alors la concentration en fibres d'amiante « équivalent optique » (*phase contrast microscopy equivalent* ou PCMe), c'est-à-dire les concentrations en fibres selon les critères de numération par MOCP.

Le protocole AHERA (*Asbestos Hazard Emergency Response Act*) est défini dans la loi américaine du même nom (U. S. Environmental Protection Agency [U. S. EPA], 1987). Selon ce protocole, chaque fibre simple d'amiante conforme aux critères de numération est comptée comme étant une structure de même que tout faisceau, tout agrégat ou toute matrice qui possèdent au moins une fibre d'amiante répondant aux critères. Cette règle diffère des autres protocoles selon lesquels non seulement chaque fibre ou faisceau est compté comme une fibre, mais également chaque fibre à l'intérieur d'une structure complexe (Perry, 2004).

Tableau 1 Critères de numération des fibres d'amiante par MOCP et par MET

	Longueur (L) micromètre (µm)	Diamètre (D) micromètre (µm)	L/D	Unité de concentration
MOCP				
NIOSH 7400	> 5	≥ 0,25[a]	≥ 3 : 1	fibres totales/ml d'air (f/ml)
IRSST-243-1	> 5	≥ 0,25[a] et < 3	> 3 : 1	fibres totales/ml d'air (f/ml)
MET				
NIOSH 7402	> 5	> 0,25	≥ 3 : 1	fibres d'amiante PCMe/ml d'air (fibres PCMe/ml)
AHERA	≥ 0,5	aucune restriction	≥ 5 : 1	structures/mm^2 de filtre ou structures/ml d'air (s/mm^2 ou s/ml)

[a] Il n'y a pas de diamètre minimal spécifié par ces deux protocoles, mais leur grossissement n'est pas suffisant pour distinguer les fibres d'un diamètre < 0,25 µm.

L/D : Ratio longueur sur diamètre.

PCMe : *phase contrast microscopy equivalent.*

Un autre protocole est parfois utilisé pour des analyses par MET, soit l'ISO 10312 (Perry, 2004). Il est toutefois plus coûteux et plus long à effectuer. Par contre, la concentration d'un même échantillon peut être exprimée en fonction d'une ou de plusieurs séries de critères de numération (ex. : fibres PCMe ou structures d'une longueur > 10 µm et d'un ratio longueur/diamètre (L/D) ≥ 5 : 1).

Certains auteurs emploient la MET en ayant recours à des variantes de ces protocoles ou à des protocoles qu'ils ont conçus (Lee et Van Orden, 2008; Marier *et al.*, 2007). Les critères de numération peuvent donc différer de ceux présentés au tableau 1. Par exemple, en 1986, Sébastien *et al.,* (cités dans Lajoie *et al.*, 2003), ont mesuré des concentrations en fibres > 5 µm et dont le ratio L/D est ≥ 3 : 1, sans restriction pour le diamètre.

Enfin, selon le système international d'unités (SI), l'unité de mesure de la concentration devrait être exprimée en f/cm^3 (tableau 1). Cependant, plusieurs auteurs choisissent d'exprimer la concentration en f/ml, ce qui équivaut à 1 f/cm^3.

2 EXPOSITION AUX FIBRES D'AMIANTE DANS LA VILLE DE THETFORD MINES : ÉVALUATION DU RISQUE

Ce chapitre est consacré à l'évaluation des risques environnementaux pour la santé humaine inhérents à la présence de fibres d'amiante dans l'air ambiant et dans l'air intérieur de résidences de la ville de Thetford Mines. Dans le contexte d'une exposition environnementale, les effets retenus pour l'évaluation du risque sont le cancer du poumon et le mésothéliome, soit les deux maladies les plus susceptibles de se développer au sein d'une population exposée à de l'amiante dans son environnement (Berman et Crump, 2003). Pour ce faire, deux approches sont utilisées.

La première est tirée de la méthodologie proposée dans les lignes directrices pour la réalisation des évaluations du risque toxicologique pour la santé humaine du ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec (MSSS, 2002). À partir de cette méthode, le risque de mortalité vie durant (ou l'excès de mortalité vie durant[2]) par cancer est calculé en multipliant une dose d'exposition moyenne à vie par une série de risques unitaires vie durant propres à l'amiante. La détermination de ces risques unitaires s'appuie sur l'hypothèse que le risque est le même pour une exposition à des amphiboles ou au chrysotile. Quant à la deuxième approche, elle se fonde sur le récent modèle de Berman et de Crump (2003). Selon ce modèle, le risque associé aux amphiboles diffère de celui associé au chrysotile.

Mais tout d'abord, les effets des fibres d'amiante sur la santé, leur toxicocinétique ainsi que leurs principaux mécanismes d'action sont revus.

2.1 EFFETS SUR LA SANTÉ, TOXICOCINÉTIQUE ET MÉCANISMES D'ACTION

Les trois types d'effets principalement associés à une exposition chronique à de l'amiante sont l'amiantose, le cancer du poumon et le mésothéliome de la plèvre et du péritoine. Tous les types d'amiante ont été associés aux trois maladies (Institut national de la santé et de la recherche médicale [Inserm], 1997).

L'amiantose se caractérise par un épaississement fibreux et progressif des parois alvéolaires des poumons. Le développement de cette maladie résulte habituellement d'une exposition importante à de l'amiante comme il a été possible de l'observer dans certains milieux de travail (Berman et Crump, 2003). D'après l'Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), des cas d'amiantose sont peu probables chez les individus exposés de façon non professionnelle aux concentrations généralement présentes dans l'environnement (ATSDR, 2001).

Le cancer du poumon touche les cellules épithéliales, et sa période de latence minimale est de 10 ans, avec une moyenne d'environ 20 ans. L'amiante n'est pas le seul facteur étiologique de cette maladie. Il n'est toutefois pas possible de distinguer de façon histologique les cancers causés par l'amiante de ceux causés par d'autres facteurs tels que le tabagisme ou l'exposition au radon. La fumée de cigarette et l'amiante interagissent

[2] C'est-à-dire projeté sur toute la vie.

toutefois en synergie dans le développement du cancer du poumon. Enfin, le potentiel toxique des amphiboles serait plus élevé que celui du chrysotile (Berman et Crump, 2003; Hodgson et Darnton, 2000). Cependant, des incertitudes persistent à ce sujet. Par exemple, les risques relatifs de cancer les plus élevés ont été observés auprès d'une cohorte de travailleurs du textile de la Caroline du Sud, exposée exclusivement à des fibres de chrysotile. Ces résultats divergent de ceux notés chez les travailleurs des mines et des moulins du Québec (Berman et Crump, 2008).

Contrairement au cancer du poumon, le mésothéliome de la plèvre ou du péritoine est associé à une exposition directe ou indirecte à l'amiante (Sous-comité sur l'épidémiologie des maladies reliées à l'exposition à l'amiante, 2003). Toutefois, cette association n'a été démontrée qu'à partir de 1960 (Gibbs et Berry, 2007). La période de latence de ce cancer varie de 20 à 40 ans et même au-delà. Il s'agit de tumeurs rares, et la plèvre est beaucoup plus souvent touchée que le péritoine. Plusieurs auteurs s'entendent sur le fait que le risque attribuable à l'exposition aux fibres amphiboles serait plus élevé que celui attribuable aux fibres de chrysotile, mais des divergences demeurent quant à l'ampleur de cette différence (Berman et Crump, 2003; Gibbs et Berry, 2007; HEI-AR, 1991; Hodgson et Darnton, 2000; Sous-comité sur l'épidémiologie des maladies reliées à l'exposition à l'amiante, 2003). Le mésothéliome pourrait également être provoqué par des expositions faibles et sporadiques à l'amiante (Dodson, Atkinson et Levin, 2003; Sous-comité sur l'épidémiologie des maladies reliées à l'exposition à l'amiante, 2003).

Le transport et le dépôt des fibres inhalées dans l'arbre respiratoire sont fortement influencés par le diamètre aérodynamique (DA) de ces fibres. Le DA correspond au diamètre d'une particule sphérique de 1 g/cm^3, qui a la même vitesse de dépôt que la particule étudiée (Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail [CCHST], 1997; Commission de la santé et de la sécurité du travail [CSST], 2000). Ce paramètre dépend surtout de la longueur et du diamètre de la fibre, mais il semble que le diamètre jouerait un plus grand rôle (Bernstein *et al.*, 2005). Par exemple, les fibres dont le diamètre est > 3 µm sont déposées dans les voies aériennes supérieures, tandis que les fibres minces et longues, comme celles qui ont un DA < 1 µm environ, sont transportées plus profondément dans les parties distales des voies aériennes et dans la région alvéolaire (CCHST, 1997; ATSDR, 2001).

Les fibres d'amiante inhalées sont éliminées des poumons à l'aide de plusieurs processus : dissolution dans les liquides biologiques, transport par les cellules mucociliées, phagocytose par les macrophages alvéolaires, encapsulation par des protéines et transfert dans l'interstitium pulmonaire vers des canaux lymphatiques ou vers la plèvre ou le péritoine (ATSDR, 2001, 2007; Bernstein *et al.*, 2005). Il faut rappeler que la plèvre et le péritoine sont les sites de développement des mésothéliomes associés à l'exposition à l'amiante.

L'efficacité de ces mécanismes est modulée par de nombreux facteurs comme la longueur des fibres, leur charge pulmonaire, leurs propriétés physicochimiques ou la présence d'autres agents (NIOSH, 2008). Par exemple, la fumée de cigarette affecte l'activité des cellules mucociliées. Aussi, les fibres qui ont une longueur au moins équivalente au diamètre des macrophages ne sont pas phagocytées complètement. La phagocytose est également

moins efficace pour des fibres plus courtes lors d'expositions élevées, probablement à cause d'un phénomène de saturation (Bernstein *et al.*, 2005).

Le taux et le site de dépôt des fibres dans l'arbre respiratoire ainsi que l'efficacité de leur élimination influent sur leur temps de résidence dans les poumons ou sur leur biopersistance (NIOSH, 2008). La biopersistance serait un indicateur important du potentiel toxique sans toutefois être le seul.

Les mécanismes de toxicité de l'amiante sont encore mal compris et impliquent probablement plusieurs processus qui se chevauchent. Essentiellement, ils se divisent en trois catégories, soit l'interaction avec des macromolécules, la formation « d'espèces réactives oxygénées » (*reactive oxygen species*) et la libération de médiateurs cellulaires (ATSDR, 2001, 2007).

Tout d'abord, l'adsorption de l'amiante à des macromolécules cellulaires comme les protéines, les membranes lipidiques ou encore l'ADN et l'ARN produit notamment la délétion de segments chromosomiques, la réduction de l'activité du cytochrome P-450, l'augmentation de la rigidité des membranes cellulaires et l'augmentation de la perméabilité de l'épithélium du poumon.

Ensuite, l'action des macrophages sur les fibres d'amiante génère du peroxyde d'hydrogène et de l'oxygène superoxyde (H_2O_2, O_2^-). Ces derniers, par la réaction d'Haber-Weiss, forment le radical hydroxyle (OH), un puissant oxydant. Les ions de fer présents à la surface des fibres catalyseraient cette réaction. Divers stress oxydatifs peuvent s'ensuivre : peroxydation lipidique des membranes cellulaires et augmentation de leur perméabilité, cytotoxicité, prolifération cellulaire, génotoxicité et apoptose.

Finalement, la présence d'amiante dans le système respiratoire induirait la libération de médiateurs cellulaires par les macrophages et par les cellules pulmonaires et pleurales. Ces médiateurs sont susceptibles de provoquer une série de réactions telles que la prolifération cellulaire, le recrutement de macrophages et la réaction inflammatoire. Bien qu'encore mal comprise, la réaction inflammatoire jouerait un rôle important dans la formation des maladies pulmonaires reliées à l'exposition à de l'amiante.

Pour terminer, tous les types de fibres d'amiante sont classés dans le groupe A (cancérogène humain) par la U. S. EPA (1993) et dans le groupe 1 (cancérogène pour l'homme) par le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC, 2008).

2.2 ÉVALUATION DU RISQUE SELON LES LIGNES DIRECTRICES DU MSSS

Le risque de mortalité vie durant (ou l'excès de mortalité vie durant) par cancer du poumon et par mésothéliome (R) est calculé à partir de la démarche décrite dans les lignes directrices pour la réalisation des évaluations du risque toxicologique pour la santé humaine du MSSS (2002).

Le risque de mortalité vie durant[3] est obtenu en multipliant la dose d'exposition moyenne à vie (D_{moy}) par le risque unitaire vie durant (RU) propre au contaminant (équation 1). Dans le cas de l'amiante, le RU représente le risque de mortalité vie durant par cancer du poumon ou par mésothéliome attribuable à une exposition continue pendant toute la vie à 1 fibre d'amiante/ml ((f/ml)$^{-1}$). La D_{moy} reflète l'exposition cumulative à l'amiante durant toute la vie (f/ml).

$$R = D_{moy} \times RU \qquad \textbf{Équation 1}$$

2.2.1 Risques unitaires vie durant retenus

Une revue de la littérature a permis d'identifier et de sélectionner quelques risques unitaires vie durant. Ces derniers sont dérivés de relations dose-réponse observées lors d'études épidémiologiques réalisées en milieu de travail.

En effet, la relation dose-réponse permet de prédire le risque de développer un effet, qui aura un impact sur la santé, à la suite d'une exposition à une concentration donnée d'une substance. Les relations dose-réponse établies pour l'amiante proviennent d'études où les travailleurs sont généralement exposés à des concentrations > 1 f/ml. Or, dans l'environnement non professionnel, les concentrations relevées sont inférieures à 1 f/ml, et les effets qui en découlent sont difficilement observables. Cela constitue une limite dans la détermination de la courbe dose-réponse.

Pour remédier à cette limite, plusieurs auteurs ont extrapolé, à partir d'études épidémiologiques menées auprès de travailleurs, les risques de mortalité par cancer du poumon et par mésothéliome attribuables à des expositions environnementales. Entre les années 1980 et 2000, une première série de travaux ont été publiés, dont ceux de Nicholson (1986), de la U. S. Environmental Protection Agency (U. S EPA, 1993), du National Research Council des États-Unis (NRC, 1984), de l'Ontario Royal Commission (ORC) (Mustard, Uffen, Dewees, Laskin et Kahn, 1984), de la Health and Safety Commission du Royaume-Uni (Doll et Peto, 1985), de la U .S. Consumer Product Safety Commission (1983), de la California Environmental Protection Agency (California Air Resources Board, 1986; California Environmental Protection Agency [CalEPA] et Office of Environmental Hazard Health Assessment [OEHHA], 2002), de Hugues et Weill (1986), du Health Effects Institute-Asbestos Research (HEI-AR, 1991), de l'Institut national de la santé et de la recherche médicale de France (Inserm, 1997) et de l'Organisation mondiale de la Santé (OMS-Europe, 2000). Les postulats de base sont les mêmes pour tous ces auteurs, et ils sont énumérés à la page suivante.

[3] Afin d'alléger le texte, l'expression *risque de mortalité vie durant* est employée. Elle correspond au risque de mortalité vie durant par cancer du poumon et par mésothéliome de la plèvre et du péritoine, consécutif à une exposition continue sur toute la durée de la vie.

- Les relations dérivées à partir des données d'exposition relevées en milieu de travail s'appliquent également aux faibles concentrations trouvées dans l'environnement.
- Les relations s'appliquent à des fibres d'amiante d'une longueur > 5 µm.
- Les relations sont linéaires en fonction de l'exposition cumulée, et elles sont sans seuil par rapport à l'exposition.
- Le risque ne diminue pas après la fin de l'exposition.
- Le gradient de risque est identique pour les amphiboles et le chrysotile, à l'exception de l'Inserm pour le mésothéliome.
- Même s'ils décrivent l'incidence du cancer du poumon et du mésothéliome, en pratique, c'est plutôt la mortalité relative à ces deux effets qui est retenue.
- Dans le cas du cancer du poumon, les effets combinés de l'exposition à l'amiante et du tabagisme sont multiplicatifs.

Aussi, les relations dose-réponse, pour chacun des cancers, s'expriment avec les mêmes algorithmes (équation 2 et 3). Il existe toutefois des variantes dans la valeur de certains paramètres.

Cancer du poumon

La relation dose-réponse pour le cancer du poumon est un modèle de risque relatif représenté par l'équation 2 :

$$I_{PE}(t) = I_{PnE}(t) \times (1 + K_P \times f \times d - t_0) \qquad \textbf{Équation 2}$$

Où :

$I_{PE}(t)$: Incidence (ou taux mortalité), à un âge *t*, du cancer du poumon dans une population exposée à l'amiante.

$I_{PnE}(t)$: Incidence (ou taux de mortalité) par cancer du poumon à l'âge *t* dans une population non exposée à l'amiante (population de référence) et dont les habitudes de tabagisme sont les mêmes que celles de la population exposée.

K_P : Facteur de risque, soit l'augmentation du cancer du poumon par unité d'exposition moyenne cumulée (f/ml*année)$^{-1}$. Il s'agit d'un indicateur du potentiel cancérigène de l'amiante. Cette variable est indépendante de l'âge, du sexe et des habitudes de tabagisme.

f : Concentration moyenne d'exposition (f/ml).

d : Durée d'exposition (années).

t_0 : Période minimale requise pour induire l'effet ou décalage temporel (années).

Mésothéliome

La relation dose-réponse dans le cas du mésothéliome est un modèle de risque absolu qui ne dépend pas de l'incidence du mésothéliome dans une population non exposée. De plus, l'accroissement du risque de développer un mésothéliome est proportionnel à une puissance du temps écoulé depuis le début de l'exposition (équation 3).

$$I_M(t) = K_M \times f \times \left[(T - t_0)^n - (T - t_0 - d)^n \right] \qquad \textbf{Équation 3}$$

Où :

$I_M(t)$: Incidence (ou taux de mortalité), à un âge *t*, du mésothéliome dans une population exposée à l'amiante.

K_M : Facteur de risque, soit l'augmentation du mésothéliome par unité d'exposition moyenne cumulée (f/ml*année)$^{-1}$.

f : Concentration moyenne d'exposition (f/ml).

T : Période écoulée depuis le début de l'exposition (années). Aussi, T = t - t_1 où t_1 est l'âge au début de l'exposition.

t_0 : Période minimale requise pour induire l'effet ou décalage temporel (années).

d : Durée d'exposition (années).

Les valeurs de K_P et de K_M représentent l'ensemble des facteurs de risque cancérigène obtenus pour chaque cohorte de travailleurs. Par exemple, le K_M de Nicholson (1986) provient de la moyenne géométrique pondérée de quatre moyennes géométriques pondérées calculées en fonction du type de procédé. Aussi, pour tenir compte du fait qu'une exposition environnementale a lieu de façon continue, des auteurs ont ajusté les valeurs de K_P et de K_M par un facteur F. Par exemple, 168 heures/semaine pour une exposition continue sur 40 heures/semaine, reliée à une exposition en milieu de travail, donnent un facteur F de 4,2 selon Nicholson.

Le risque unitaire vie durant (RU) est donc déterminé à partir des équations 2 et 3. Pour le cancer du poumon, le risque résulte de la différence entre le risque vie durant de décès par cancer du poumon dans la population exposée (équation 2) et le risque vie durant de décès par cancer du poumon estimé dans la population de référence (Inserm, 1997). Il varie selon l'âge en fonction du taux de mortalité par cancer du poumon et du taux de mortalité toutes causes confondues. En ce qui concerne le mésothéliome, le risque unitaire est obtenu à partir de l'équation 3, mais les taux de mortalité toutes causes confondues de la population de référence sont également pris en compte (Inserm, 1997). La détermination des RU est expliquée plus en détail à l'annexe 2.

À ce sujet, le travail de Nicholson, publié en 1986, semble le plus reconnu de la communauté scientifique, car il a été repris et adapté par d'autres auteurs. De plus, l'analyse des risques populationnels, contenue dans la base de données *Integrated Risk Information System* (IRIS) de la U. S. EPA, s'y réfère. C'est pourquoi les RU retenus pour l'évaluation du risque proviennent de Nicholson ainsi que d'organismes qui se sont appuyés sur sa démarche, c'est-à-dire la U. S. EPA et l'HEI-AR (tableau 2) (HEI-AR, 1991; Nicholson, 1986; U. S. EPA, 1993).

Les risques unitaires provenant du NRC, de l'ORC, de la HSC, d'Hugues et Weill, de l'Inserm et de l'OMS n'ont pas été sélectionnés, étant donné qu'ils sont antérieurs à ceux de Nicholson ou qu'ils ne s'appliquent pas à une durée d'exposition sur toute la vie (NRC, 1984; Doll et Peto, 1985; Hughes et Weill, 1986; Inserm, 1997; Mustard *et al.*, 1984; OMS-Europe, 2000).

La démarche de la CalEPA s'inspire de Nicholson (1986), mais également du NRC, de l'ORC et de la U. S. CPSC. Le RU retenu par cet organisme est le plus élevé parmi ceux estimés pour divers sous-groupes, soit celui pour le mésothéliome chez la femme non fumeuse. Il a été obtenu à partir du plus grand K_M relevé parmi les quatre études épidémiologiques sélectionnées. Le choix d'un risque unitaire aussi prudent pour la santé est justifié notamment par l'hypothèse que l'organisme formule : les effets cancérigènes seraient causés autant par les fibres courtes (< 5 µm) que par les fibres longues (> 5 µm) (California Air Resources Board, 1986). Cependant, ce risque unitaire reflète la relation dose-réponse observée pour une seule cohorte de travailleurs. Puisqu'il n'est pas représentatif de l'ensemble des données disponibles sur les travailleurs exposés à de l'amiante, il n'est pas retenu dans la présente analyse.

Tableau 2 Comparaison des risques unitaires vie durant (RU) estimés pour 100 personnes exposées continuellement durant toute leur vie à 1 f/ml d'amiante dans l'environnement

RU (f/ml)$^{-1}$	Nicholson (1986)	U. S. EPA, 1988 (U. S. EPA, 1993)	HEI-AR, 1990 (HEI-AR, 1991)
Cancer du poumon	17 H 5 F	nc	nc
Mésothéliome	19 H 28 F	nc	nc
Cancer du poumon et mésothéliome	35 HF[a] (0,35)	23 HF (0,23)	40 HF (0,40)

[a] Valeur estimée à partir des risques unitaires déterminés par Nicholson, voir le texte ci-dessous.

nc : Non calculé.

H : Hommes.

F : Femmes.

HF : Hommes et femmes combinés.

Nicholson, contrairement aux deux organismes, n'a pas déterminé de RU moyen pour les deux cancers ainsi que pour les hommes et les femmes combinés (tableau 2). Par contre, en combinant les risques unitaires pour le cancer du poumon, une valeur de 11/100 pour les hommes et les femmes, soit [(17+5)/2]/100, est obtenue. De la même manière, le risque unitaire combiné pour le mésothéliome est de 23,5/100. Le risque unitaire vie durant (RU) utilisé pour les deux cancers s'élève à 35/100 (11 + 23,5).

Les valeurs des paramètres utilisés pour dériver les risques unitaires vie durant du tableau 2 sont indiquées dans le tableau 3. La U. S. EPA a employé les mêmes paramètres que ceux de Nicholson à l'exception du facteur F. Le facteur de la U. S. EPA provient du ratio du volume d'air potentiellement inhalé de façon continue en une semaine sur le volume d'air potentiellement inhalé en une semaine de travail (140 m^3/50 m^3), tandis que celui de Nicholson correspond au nombre d'heures d'exposition continue pendant une semaine sur le nombre d'heures d'exposition d'une semaine de travail (168 h/40 h). Enfin, les paramètres dont l'HEI-AR tient compte sont aussi pratiquement les mêmes que ceux établis par Nicholson. Toutefois, la durée de la vie ainsi que la population de référence diffèrent.

Tableau 3 Valeurs des paramètres utilisés dans la détermination des risques unitaires vie durant

Paramètres	Unités	Variables	Nicholson (1986)	U. S. EPA, 1988 (1993)	HEI-AR, 1990 (1991)
Concentration d'exposition	f/ml	f	0,0001	0,0001	0,00001
Durée d'exposition (durée de la vie)	années	d	70[a]	70[a]	80
Âge t	ans	t	70	70	80
Facteur d'ajustement pour une exposition continue	-	F	4,2	2,8	ND
Relation dose-réponse – Cancer du poumon (équation 2)					
Facteur de risque	(f/ml*année)$^{-1}$	K_P X100	1	1	1
Population de référence retenue	-	-	États-Unis, 1977	États-Unis, 1977	États-Unis, 1986
Décalage temporel	années	t_0	ND	ND	ND
Relation dose-réponse – Mésothéliome (équation 3)					
Facteur de risque	(f/ml*année)$^{-1}$	K_m X 10^8	1,0	1,0	1,0
Durée depuis le début de l'exposition	années	T	70	70	80
Puissance n	-	n	3,0	3,0	3,0
Décalage temporel	années	t_0	10	10	10

[a] La durée de vie n'est pas précisée, mais habituellement la U. S. EPA considère que les risques vie durant s'étendent jusqu'à 70 ans.

ND : Information non disponible.

2.2.2 Détermination de la dose d'exposition moyenne à vie

Le calcul de la dose d'exposition moyenne à vie (D_{moy}) ne tient compte que de l'inhalation puisqu'il s'agit de la principale voie d'exposition de l'amiante et que les effets sont surtout observés sur le système respiratoire.

La durée de la vie est divisée en cinq tranches d'âge, soit < 6 mois, de 6 mois à 4 ans, de 4 à 11 ans, de 11 à 19 ans et de > 19 ans jusqu'à la fin de la vie (MSSS, 2002). La D_{moy} est obtenue en pondérant la dose d'exposition moyenne de chaque tranche d'âge en fonction de sa durée (équation 4) :

$$D_{moy} = \frac{\sum_{i=1}^{5} D_{moy_i} \times T_i}{\sum_{i=1}^{5} T_i}$$ **Équation 4**

Où :

D_{moy} = Dose d'exposition moyenne à vie (f/ml).

D_{moy_i} = Dose d'exposition moyenne de la tranche d'âge *i* (f/ml).

T_i = Durée de la tranche d'âge *i* (années).

Pour chaque tranche d'âge, la D_{moy_i} est la somme de la dose d'exposition moyenne par inhalation d'air intérieur et de la dose d'exposition moyenne par inhalation d'air extérieur (équation 5).

$$D_{moy\,i} = D_{\mathrm{int}\,i} + D_{ext\,i}$$ **Équation 5**

Où :

D_{moy_i} = Dose d'exposition moyenne de la tranche d'âge *i* (f/ml).

$D_{\mathrm{int}\,i}$ = Dose d'exposition moyenne de la tranche d'âge *i*, air intérieur (f/ml).

$D_{ext\,i}$ = Dose d'exposition moyenne de la tranche d'âge *i*, air extérieur (f/ml).

Les $D_{\mathrm{int}\,i}$ et $D_{ext\,i}$ sont fonction de la concentration d'amiante dans l'air intérieur et dans l'air extérieur ainsi que de la proportion du temps passé à l'intérieur et à l'extérieur en une journée (équation 6). Les proportions du temps passé à l'intérieur et à l'extérieur sont respectivement de 0,94 et 0,06 pour les plus de 19 ans et de 0,88 et 0,12 pour les 19 ans et moins (MSSS, 2002).

$$D_{\mathrm{int}\,i} = C_{\mathrm{int}} \times P_{\mathrm{int}_i} \text{ et } D_{ext\,i} = C_{ext} \times P_{ext\,i}$$ **Équation 6**

Où :

C_{int} = Concentration en fibres d'amiante dans l'air intérieur (f/ml).

C_{ext} = Concentration en fibres d'amiante dans l'air extérieur (f/ml).

P_{int_i} = Proportion du temps que la tranche d'âge *i* passe à l'intérieur.

P_{ext_i} = Proportion du temps que la tranche d'âge *i* passe à l'extérieur.

Air intérieur

Les concentrations dans l'air intérieur employées dans ce rapport proviennent de l'étude de l'AVAQ (Marier *et al.*, 2007). En 2003 et 2004, les auteurs de cette étude ont évalué les concentrations d'amiante dans l'air intérieur de 26 résidences de la ville de Thetford Mines. Des fibres d'amiante ont été décelées dans 15 des 26 maisons échantillonnées. La majorité des demeures (24/26) était située dans un rayon de 2 kilomètres ou moins de haldes, dont 20 sous les vents dominants et 4 à contresens. De plus, 58 % d'entre elles étaient situées dans un rayon de 1 kilomètre ou moins de haldes.

Les échantillonneurs étaient placés au milieu de la pièce la plus achalandée de la résidence, de 1 à 1,2 mètre du plancher. Chaque prélèvement durait 80 minutes. Aussi, la *méthode agressive modifiée* a été employée. Selon la U. S. EPA, cette méthode consiste à placer un ventilateur sur le plancher au milieu de la pièce afin d'y simuler le mouvement normal de l'air (U. S. EPA, 2005, 2007). Toujours d'après la U. S. EPA, cette technique permettrait de recréer à long terme la pratique d'activités routinières par les résidants (U. S. EPA, 2003a). D'ailleurs, l'agence a employé cette méthode lors de la campagne d'échantillonnage des résidences faisant partie du programme de nettoyage mis en place après les événements du 11 septembre 2001.

Les données recueillies par les auteurs de l'étude montrent que des matériaux contenant de l'amiante (MCA) étaient présents dans 3 des 26 résidences. Quant aux autres, elles n'en comprenaient pas ou n'en avaient jamais compris. Aussi, des matériaux de terrassement (couverts ou non) étaient épandus sur les terrains de 17 résidences. Un seul résidant était, au moment de l'étude, exposé sporadiquement à de l'amiante dans son milieu de travail. Enfin, un des résidants d'une dernière demeure avait déjà été exposé professionnellement à de l'amiante il y a quelques années, au moment où il habitait sa maison actuelle (Marier *et al.*, 2007).

Les prélèvements ont été analysés par MET selon le protocole NIOSH 7402 modifié (fibres d'une longueur > 5 µm, d'un diamètre compris entre 0,25 et 3 µm et dont le ratio L/D est > 3 : 1). Cependant, le volume total d'air recueilli dans chaque résidence, soit 1 220 L, est inférieur au minimum requis par le protocole. Les auteurs ont calculé l'intervalle de confiance à 95 % (IC à 95 %) de chaque concentration mesurée pour en montrer la variabilité.

La plupart des fibres d'amiante détectées étaient des fibres de chrysotile, mais on a identifié une fibre d'actinolite dans deux résidences ainsi qu'une fibre de trémolite dans trois résidences. Les concentrations mesurées s'étendent de < 0,000553 à 0,010 fibre PCMe/ml (n = 26). La moyenne arithmétique calculée à partir des données brutes de l'étude de l'AVAQ est de 0,0020 fibre PCMe/ml, avec une limite supérieure (LS) de l'IC à 95 % de 0,0031 (tableau 4). La LS de l'IC à 95 % de la concentration moyenne en fibres PCMe/ml est utilisée en tant que donnée d'exposition, comme le recommande le MSSS (2002). Une valeur égale à la limite de détection a été attribuée aux concentrations sous cette limite, car plus de 15 % des résultats sont inférieurs à la limite de détection (Groupe scientifique sur l'évaluation du risque toxicologique - Institut national de santé publique du Québec, 2008).

Une analyse selon le protocole AHERA a aussi été effectuée. Les concentrations mesurées à l'aide de ce protocole (n = 28) vont de < 0,004 à 0,311 structure/ml (s/ml).

Air extérieur

L'étude effectuée en 2004 dans l'air ambiant de la ville de Thetford Mines par le MDDEP (Bisson et Couture, 2007) est préférée à celle réalisée par le même ministère en 2000 et 2005 sur les terrains remblayés par des résidus miniers (Couture et Bisson, 2006; MENVQ, 2001), et ce, en raison du plus grand nombre d'échantillons prélevés (voir l'annexe 1). Aussi, lors de l'échantillonnage réalisé en 2004, les concentrations d'amiante provenant de l'ensemble des sources de contamination de l'air ambiant, dont celle provenant des terrains remblayés, devraient avoir été mesurées.

Pour réaliser cette étude, deux échantillonneurs ont été placés de janvier à août 2004 sur les toits d'édifices publics, soit à environ 9 mètres du sol. L'un d'entre eux était situé près de la mine et du moulin, tandis que l'autre était situé un peu plus loin en aval. Tous les deux étaient influencés par les vents dominants. Les échantillons obtenus (n = 125) ont été analysés par MOCP d'après le protocole IRSST-243-1, et les concentrations variaient entre < 0,0015 et 0,056 f/ml (fibres d'une longueur > 5 µm, d'un diamètre ≥ 0,25 µm et < 3 µm et dont le ratio L/D était > 3 : 1). Sept de ces échantillons ont également été analysés par MET selon le protocole NIOSH 7402 modifié (fibres d'une longueur > 5 µm, d'un diamètre < 3 µm et dont le ratio L/D était > 3 : 1). Il s'agissait de certains des échantillons pour lesquels les valeurs en MOCP étaient parmi les plus élevées. Étant donné que des fibres plus minces que 0,25 µm ont été mesurées au cours de cette étude, les concentrations ne peuvent être exprimées en fibres PCMe/ml, mais elles doivent l'être en f/ml (Y. Couture, communication personnelle, 19 juin 2008).

Les concentrations en MET s'étendaient de < 0,0006 à 0,0082 fibre/ml. Des fibres de chrysotile ont été détectées dans 2 échantillons, et 4 autres échantillons contenaient entre 4 et 14 fibres d'amosite. Aucune fibre n'a été relevée dans le dernier échantillon. L'analyse en MET a aussi permis de rapporter les résultats en fibres totales/ml.

Comme seulement sept échantillons ont été analysés en MET, la concentration maximale mesurée devrait donc être employée comme donnée d'exposition selon le MSSS, car la quantité de données disponibles ne permet pas d'obtenir une distribution représentative des valeurs. En effet, le logiciel de simulation de Monte-Carlo, *Cristal Ball*™, doit disposer d'un minimum de 15 valeurs pour définir une distribution continue de valeurs.

Par contre, les 125 échantillons analysés en MOCP reflètent mieux la variation des concentrations en fibres totales. Aussi, à partir des résultats obtenus en MOCP, des concentrations en fibres d'amiante ont pu être estimées d'après l'approche de Madl *et al.* (2008) fondée sur une directive du protocole NIOSH 7402 (NIOSH, 1994b). En premier lieu, un ratio entre la concentration en fibres d'amiante déterminée en MET et la concentration en fibres totales également déterminée en MET est établi. Un des sept échantillons dont la concentration en fibres d'amiante était sous la limite de détection a été exclu. Pour ce qui est des six autres échantillons, leur concentration moyenne en fibres d'amiante est de

0,00495 f/ml. Pour ces mêmes échantillons, la concentration moyenne en fibres totales est de 0,00988 f/ml. D'après ces données, environ 50 % (0,00495/0,00988) des fibres totales mesurées seraient des fibres d'amiante. L'hypothèse selon laquelle le ratio établi peut s'appliquer à l'ensemble des résultats en MOCP est retenue.

Le ratio a ensuite été appliqué aux concentrations en fibres totales obtenues par MOCP. Il est à noter qu'une valeur égale à la moitié de la limite de détection a été attribuée aux résultats sous cette limite. Les concentrations en fibres d'amiante estimées de cette façon s'étendent de 0,00038 à 0,028 f/ml. La moyenne est de 0,0029 f/ml, avec une LS de l'IC à 95 % de 0,0035 (tableau 4). Conformément aux directives du MSSS, cette dernière valeur est retenue comme donnée d'exposition de l'air extérieur dans la détermination de la dose d'exposition moyenne à vie.

Tableau 4 Concentrations en fibres d'amiante mesurées dans l'air intérieur et dans l'air extérieur de la ville de Thetford Mines

	Air extérieur MDDEP (Bisson et Couture, 2007) (f/ml)	**Air intérieur AVAQ (Marier et *al.*, 2007) (fibres PCMe/ml)**
Critère de numération	L > 5 µm, D < 3 µm et ratio L/D > 3 : 1	L > 5 µm, D ≥ 0,25 µm et < 3 µm et ratio L/D > 3 : 1
Moyenne	0,0029	0,0020
Minimal	0,00038	0,000553
Maximal	0,028	0,010
Limite supérieure de l'IC à 95 %	0,0035	0,0031

La dose d'exposition moyenne à vie (D_{moy}), obtenue à partir des concentrations mesurées dans l'air intérieur et extérieur ainsi que des équations 4 à 6, est de 0,0031 f/ml, peu importe que la durée de la vie soit fixée à 70 ans comme l'ont fait Nicholson et la U. S. EPA, ou à 80 ans comme l'a fait l'HEI-AR (voir le tableau 3). Il est à noter que l'exposition attribuable à l'inhalation d'air intérieur contribue à 91,7 % de cette dose, alors que l'inhalation d'air extérieur y contribue à 8,3 %.

2.2.3 Détermination du risque vie durant

L'estimation du risque de mortalité vie durant par cancer du poumon et par mésothéliome (R) varie entre 72 et 125 pour 100 000 personnes de la ville de Thetford Mines exposées continuellement à de l'amiante durant toute leur vie (tableau 5).

Tableau 5 Risque de mortalité vie durant estimé à partir des risques unitaires pour 100 000 personnes de la ville de Thetford Mines exposées de façon continue durant toute leur vie à des fibres d'amiante

	Nicholson (1986)	U. S. EPA, 1988 (1993)	HEI-AR, 1990 (1991)
Risque unitaire vie durant[a] RU $(f/ml)^{-1}$	0,35	0,23	0,40
Dose d'exposition moyenne à vie D_{moy} (f/ml)	0,0031	0,0031	0,0031
Risque de mortalité vie durant R	110	72	125

[a] Les risques unitaires sont présentés au tableau 2.

2.3 ÉVALUATION DU RISQUE À PARTIR DU MODÈLE DE BERMAN ET DE CRUMP

Depuis les années 2000, les travaux portant sur l'évaluation du risque relié à une exposition à l'amiante ont évolué. En plus de prendre en compte des données épidémiologiques mises à jour, ils tendent vers une différenciation des risques attribuables aux amphiboles de ceux attribuables au chrysotile. Parmi eux, deux retiennent particulièrement l'attention : le modèle d'Hodgson et de Darnton (2000) ainsi que celui de Berman et de Crump (2003).

Hodgson et Darnton (2000) ont calculé les coefficients de risque pour le cancer du poumon (R_L) en effectuant le ratio du nombre de cas de cancers en excès (le nombre de cancers mesuré moins le nombre de cancers attendu) multiplié par 100, sur le produit de l'exposition cumulée par le nombre de cancers attendu. Les auteurs concluent que le potentiel cancérigène associé au cancer du poumon serait de 10 à 50 fois plus élevé pour les amphiboles que pour le chrysotile.

Les coefficients de risque pour le mésothéliome (R_M) ont été obtenus en calculant le ratio du nombre de décès par mésothéliome multiplié par 100, sur le produit de l'exposition cumulée par le nombre de décès attendu toutes causes confondues, ajusté pour une exposition débutant à 30 ans. Les conclusions de l'analyse ont montré que le potentiel cancérigène associé au mésothéliome serait de 100 à 500 fois plus élevé pour les amphiboles que pour le chrysotile.

Les auteurs ont ensuite évalué séparément, en fonction du type de fibres, les risques de cancer du poumon et de mésothéliome pour une exposition de 5 ans, qui débute à l'âge de 30 ans.

De leur côté, Berman et Crump (2003) ont intégré, aux relations dose-réponse de la U. S. EPA définies par Nicholson, des données épidémiologiques plus récentes recueillies auprès de différents groupes de travailleurs. L'analyse de ces données a permis aux auteurs d'avancer que les relations dose-réponse élaborées par Nicholson prédisent bien la dépendance à la durée de l'exposition longtemps après la fin de l'exposition, mais prédisent moins bien la dépendance linéaire à la concentration d'exposition. En effet, plutôt qu'une

relation linéaire entre la dose et l'effet, les données épidémiologiques laissent supposer une relation supralinéaire pour le cancer du poumon et le mésothéliome. Toutefois, les auteurs estiment que les analyses statistiques sont suffisamment probantes pour justifier l'utilisation de modèles linéaires.

Par surcroît, une variable α a été ajoutée à la relation dose-réponse pour le cancer du poumon (équation 7). Elle représente le ratio entre le taux de cancer du poumon dans la population exposée et celui de la population de référence. Quant à la relation dose-réponse pour le mésothéliome, elle est identique à celle présentée à l'équation 3.

$$I_{PE}(t) = \alpha * I_{PnE}(t) * (1 + K_P * f * d - t_0) \qquad \textbf{Équation 7}$$

$$I_M(t) = K_M * f * \left[(T - t_0)^n - (T - t_0 - d)^n \right] \qquad \textbf{Équation 3}$$

Enfin, d'après les analyses statistiques de Berman et de Crump concernant le cancer du poumon, l'hypothèse selon laquelle le chrysotile ne possède pas de potentiel cancérigène peut être rejetée et celle suggérant que le chrysotile est aussi cancérigène que les amphiboles ne peut pas être rejetée. Pour ce qui est du mésothéliome, l'hypothèse laissant croire que le chrysotile est aussi cancérigène que les amphiboles peut être rejetée, tandis que celle avançant que le chrysotile ne possède pas de potentiel cancérigène ne peut pas être rejetée.

Pour cette deuxième partie de l'analyse, le risque de mortalité vie durant pour la population de la ville de Thetford Mines est estimé à partir du modèle de Berman et de Crump. Il est préféré à celui d'Hodgson et de Darnton, car ce dernier ne prend pas en compte une exposition qui dure toute la vie. De plus, selon l'approche de Berman et de Crump, il est possible de sélectionner la population de référence la plus représentative de la population exposée. Enfin, les auteurs ont déterminé des facteurs de risque cancérigène pour des concentrations en fibres PCMe/ml, plutôt que pour des concentrations déterminées en MOCP.

Le risque de mortalité vie durant a été obtenu d'après la méthodologie décrite à l'annexe E de leur rapport. Le tableau 6 présente les valeurs des paramètres utilisés.

Tableau 6 Valeurs des paramètres employés dans la détermination du risque de mortalité vie durant pour la population de la ville de Thetford Mines d'après la méthodologie de Berman et de Crump

Paramètre	Unité	Valeur
Durée de l'exposition d	années	80
Décalage temporel t_0	années	10[a]
Dose moyenne d'exposition à vie D_{moy}	f/ml	0,0031
Facteurs de risque[b]	(fibres PCMe de chrysotile/ml X année)$^{-1}$	
K_P X 100		0,23
K_M X 10^8		0,025
Facteur d'ajustement pour une exposition continue F	-	3,04
Population de référence	-	Chaudière-Appalaches, 2000 à 2003
Variable α	-	1

[a] Décalage temporel de 10 ans à la fois pour la relation dose-réponse du cancer du poumon et du mésothéliome.

[b] Tirés du tableau 7-17 du rapport de Berman et de Crump (2003) : fibres de chrysotile d'une longueur > 5 µm, d'un diamètre ≥ 0,2 µm et dont le ratio L/D est ≥ 3.

Les LS de l'IC à 95 % des concentrations moyennes dans l'air intérieur et dans l'air extérieur sont retenues comme données d'exposition (tableau 4). Selon le modèle, le risque à la fin de la vie correspond à la somme des risques à chaque tranche d'âge. En théorie, les doses d'exposition ne devraient pas être tout à fait les mêmes chez les 19 ans et moins et chez les plus de 19 ans, en raison de la proportion du temps passé à l'intérieur et à l'extérieur par chacun des groupes (voir les équations 5 et 6). Par contre, d'après les calculs effectués, la dose d'exposition de chaque tranche d'âge équivaut à la dose d'exposition moyenne à vie, c'est-à-dire 0,0031 f/ml. De plus, les valeurs K_P et K_M de Berman et de Crump pour des fibres PCMe de chrysotile « pur » sont retenues. Ces mêmes facteurs de risque ont également été utilisés récemment par un comité scientifique du HSC du Royaume-Uni dans une évaluation comparative des risques avec le modèle d'Hodgson et de Darnton (WATCH, 2007). Le postulat selon lequel cette population est exposée seulement au chrysotile est donc établi.

Berman et Crump recommandent d'employer les taux de mortalité de la population de référence pour les sous-groupes suivants : hommes fumeurs, hommes non fumeurs, femmes fumeuses et femmes non fumeuses. Ils suggèrent ensuite de combiner les risques estimés pour ces sous-groupes afin de les appliquer à la population générale. Cependant, de telles données n'ont pas été trouvées ni pour le Québec ni pour le Canada. Les taux (non corrigés pour le tabagisme) chez les hommes et chez les femmes de la région sociosanitaire de Chaudière-Appalaches ont donc été retenus. Les taux de mortalité moyens toutes causes confondues (2000 à 2003) ont été fournis par l'équipe Études et analyses de l'état de santé

de la population de l'INSPQ (L. Paquette, communication personnelle, 25 avril 2008). Les taux de mortalité moyens par cancer du poumon pour la même période sont tirés d'une requête paramétrable effectuée sur le site de l'Infocentre de santé publique de l'INSPQ (http://www.infocentre.inspq.rtss.qc.ca/portail/sante/public/infocentre/accueil/?lang=fr). L'ensemble de ces taux a été calculé à partir de données provenant du fichier de décès du MSSS (version d'octobre 2005) et du service du développement de l'information du même ministère (version de février 2005).

Enfin, le facteur α pour le cancer du poumon est fixé à 1, ce qui signifie que le taux de cancer du poumon dans la population de référence n'est pas différent de celui de la population exposée. Ainsi, les habitudes de tabagisme du secteur de Thetford Mines sont considérées comme semblables à celles de la région de Chaudière-Appalaches.

Le risque de mortalité vie durant par cancer du poumon et par mésothéliome calculé à l'aide des équations 7 et 3 ainsi que des paramètres indiqués dans le tableau 6 est de 11,5 pour 100 000 hommes et de 4,88 pour 100 000 femmes de la ville de Thetford Mines, exposés continuellement durant toute leur vie à des fibres de chrysotile. Le risque de mortalité vie durant pour les deux sexes, s'élève à 8,2 pour 100 000 personnes exposées. Cette valeur est de 9 à 15 fois plus faible que les valeurs calculées à partir des risques unitaires vie durant (voir le tableau 5).

3 ANALYSE COMPARATIVE DES CONCENTRATIONS EN AMIANTE MESURÉES DANS LA VILLE DE THETFORD MINES

Le présent chapitre a pour but de 1) relever dans le temps les niveaux d'amiante mesurés dans la ville de Thetford Mines et de 2) les comparer à ceux obtenus lors d'études effectuées dans d'autres milieux ainsi qu'à des critères pour l'amiante établis par différents organismes. Les comparaisons reposent sur la similitude des protocoles d'échantillonnage et des méthodes d'analyse employées par les études.

3.1 AIR INTÉRIEUR

La seule étude qui a permis de caractériser l'amiante dans l'air intérieur de la ville de Thetford Mines est celle de l'AVAQ. Le protocole d'échantillonnage, les méthodes d'analyse ainsi que les résultats ont déjà été présentés au point 2.2.2 et à l'annexe 1.

3.1.1 Comparaison avec d'autres milieux

Les résultats de l'AVAQ sont comparés à ceux de Dion et Perrault (2000), de Chatfield et Kominsky (2001), de la U. S. EPA (2003b) et de Lee et Van Orden (2008). Dans toutes ces études, les concentrations à l'intérieur des bâtiments ont été déterminées par MET. La méthode directe a été employée par l'AVAQ, Chatfield et Kominsky ainsi que la U. S. EPA. Quant à Dion et Perrault, ils ont eu recours à la méthode directe pour 80,5 % des échantillons. Pour leur part, Lee et Van Orden ne spécifient pas la méthode employée.

À la fin des années 1990, Dion et Perrault ont échantillonné l'amiante à l'intérieur de 17 écoles contenant des MCA (n = 77). Ces écoles ont été sélectionnées selon les critères suivants : teneur élevée en amiante dans les MCA, niveau élevé de dégradation du flocage[4] et friabilité des MCA de façon modérée à élevée. De plus, l'échantillonnage s'est déroulé alors que les locaux étaient occupés selon leur usage habituel (ex. : gymnases, salles de classe, corridors).

Le 18 septembre 2001, Chatfield et Kominsky ont échantillonné l'air à l'intérieur de deux appartements (n = 6) touchés par les événements du World Trade Center (WTC) afin de caractériser leur degré de contamination à l'amiante. Ces appartements étaient situés quatre rues au nord de Ground Zero, et leurs pièces n'avaient pas été ventilées au moment de l'échantillonnage.

La U. S. EPA a échantillonné en 2002 l'amiante dans l'air de 62 appartements et aires communes d'immeubles résidentiels du quartier Upper Manhattan à New York (n = 14) en vue de caractériser le bruit de fond urbain d'amiante dans Manhattan; ces immeubles n'avaient pas été touchés par le nuage de poussière provenant de la destruction des tours du WTC (U. S. EPA, 2003b). Lorsque cela était possible, un ventilateur oscillant était placé

[4] Procédé qui consistait à pulvériser un mélange à base de fibres d'amiante sur les murs et les plafonds afin de les protéger contre le feu et d'en améliorer l'isolation acoustique. Les flocages sont interdits au Québec depuis la fin des années 1970.

au poste d'échantillonnage tout comme lors de l'étude de l'AVAQ. Dans le cas contraire, le système de climatisation était mis en marche.

À partir du début des années 1980, Lee et Van Orden ont mesuré pendant plus de 20 ans, sur tout le territoire américain, l'amiante présent à l'intérieur de bâtiments ayant fait l'objet de litiges à propos de l'enlèvement de MCA présumés comme pouvant représenter un risque pour la santé. Au cours de leur étude, les chercheurs ont prélevé des échantillons d'air dans 317 écoles (n =1 615), 234 édifices publics et commerciaux (n = 1 336) ainsi que 5 résidences (n = 39). La présence, le type et l'état des MCA présumés ont été examinés dans ces bâtiments. Les auteurs ne précisent pas toutefois si les locaux échantillonnés ont été ventilés ou non.

Le tableau 7 compare les résultats de l'AVAQ obtenus selon le protocole AHERA avec ceux de la U. S. EPA et de Lee et Van Orden. La concentration moyenne de la U. S. EPA a été calculée en attribuant aux résultats sous la limite de détection (LD) une valeur égale à la moitié de la LD. Par contre, Lee et Van Orden leur ont attribué une valeur de zéro. Pour l'AVAQ, un seul résultat est sous la LD, et la moyenne reste inchangée peu importe la valeur accordée aux valeurs sous la LD.

Le tableau 8 met en parallèle les concentrations de l'AVAQ en fibres PCMe avec ceux de Dion et Perrault, de Chatfield et Kominsky ainsi que de Lee et Van Orden. Les moyennes de Dion et Perrault, et de Lee et Van Orden ont été estimées en attribuant une valeur de zéro aux résultats sous la LD. Cette même règle a été appliquée aux résultats de l'AVAQ ainsi qu'à deux des six échantillons de Chatfield et Kominsky dans lesquels aucune fibre d'amiante n'a été trouvée. De plus, il est à noter que les critères de numération des fibres d'amiante ne sont pas exactement les mêmes selon les auteurs.

La concentration moyenne en structures d'amiante, mesurée dans les résidences de la ville de Thetford Mines, est de 28 à 46 fois plus élevée que celles relevées dans les résidences et les édifices publics et commerciaux américains (tableau 7). Lorsque la concentration est exprimée en fibres PCMe d'amiante, la concentration moyenne obtenue par l'AVAQ est de 36 à 45 fois plus élevée (tableau 8). Cependant, la différence avec les écoles américaines est un peu moins importante; les résultats de l'étude de l'AVAQ étant de 4 fois (s/ml) à 16 fois (fibres PCMe/ml) plus élevés que ceux obtenus lors de l'étude de Lee et de Van Orden (tableaux 7 et 8).

Aussi, la concentration moyenne en structures d'amiante, mesurée dans l'air intérieur des maisons échantillonnées à Thetford Mines, est 232 fois plus élevée que celle relevée à l'intérieur de résidences de l'Upper Manhattan à New York (tableau 7).

De plus, la concentration moyenne en fibres PCMe à Thetford Mines est 1,4 fois plus faible que celle relevée quelques jours après les événements du 11 septembre 2001 dans deux résidences touchées par la poussière engendrée par l'effondrement des tours du WTC (tableau 8).

La comparaison avec les écoles du Québec, où des MCA dégradés étaient présents, permet de constater que la concentration moyenne en fibres d'amiante obtenue par Dion et Perrault est 1,7 fois plus élevée que celle de l'AVAQ (tableau 8).

Tableau 7 Comparaison des concentrations en s/ml de l'AVAQ avec celles relevées lors de deux autres études

	AVAQ (Marier *et al.*, 2007)	U. S. EPA (2003b)	Lee et Van Orden (2008)[a]
Lieu	Résidences de la ville de Thetford Mines	Résidences de l'Upper Manhattan (New York)	Bâtiments répartis dans l'ensemble des États-Unis
Critères de numération	L > 0,5 µm L/D > 5 : 1	ND	L ≥ 0,5 µm L/D ≥ 5 : 1
Limite de détection	0,004	0,0004	0,0030
n	28	48	É : 1 615 R : 39 ÉP : 590 C : 746
Moyenne arithmétique	0,051	0,00022	É : 0,013 R : 0,0018 ÉP : 0,0014 C : 0,0011

[a] Pour certains échantillons de cette étude (pourcentage inconnu), le volume d'air total recueilli est inférieur à ce qui est requis par le protocole AHERA.

É : écoles.

R : résidences.

ÉP : édifices publics.

C : commerces.

n : nombre de prélèvements.

ND : information non disponible.

Tableau 8 Comparaison des concentrations en fibres PCMe/ml de l'AVAQ avec celles relevées lors de trois autres études

	AVAQ (Marier *et al.*, 2007)	Dion et Perrault (2000)	Chatfield et Kominsky (2001)	Lee et Van Orden (2008)
Lieu	Résidences de la ville de Thetford Mines	Écoles du Québec avec présence de MCA dégradés	Résidences quatre rues au nord de Ground Zero (New York)	Bâtiments répartis dans l'ensemble des États-Unis
Critères de numération	L > 5 µm D : 0,25-3 µm L/D > 3 : 1	L ≥ 5 µm D : < 3 µm L/D > 3 : 1	L > 5 µm D : > 0,25 µm L/D ≥ 3 :1	L ≥ 5 µm D : ≥ 0,25 µm L/D ≥ 3 : 1
Limite de détection	0,000553	0,0001 à 0,0037	0,0015 à 0,00022	ND
n	26	77	6	É : 1 615 R : 39 ÉP : 590 C : 746
Moyenne arithmétique	0,0018	0,0031	0,0026	É : 0,00011 R : 0,00005 ÉP : 0,00004 C : 0,00005

É : écoles.
R : résidences.
ÉP : édifices publics.
C : commerces.
n : nombre de prélèvements.
ND : information non disponible.

3.1.2 Comparaison avec des critères de qualité de l'air

Les résultats de l'AVAQ sont comparés aux critères de qualité de l'air décrits ci-dessous. Certains d'entre eux ont force de loi comme le critère AHERA des États-Unis et celui de la France.

Critère québécois

Le seul critère élaboré au Québec est le critère de gestion du MSSS, défini dans le cadre de la gestion des matériaux contenant de l'amiante (MCA) dans les édifices publics.

Ce critère a été fixé à 0,01 f/ml[5], et il s'interprète de la façon suivante :

> « […] une valeur plus grande ou égale à 0,01 f/ml réclame des mesures préventives immédiates. Celles-ci peuvent être dans un premier temps temporaires (ex. : nettoyage), mais les locaux ne devraient pas être utilisés tant que la preuve n'est pas faite par un second échantillonnage que les niveaux sont en deçà de 0,01 f/ml. Par la suite, des correctifs permanents doivent être mis en place pour s'assurer, sur une période de un an, que les teneurs d'amiante dans l'air ambiant soient maintenues au niveau le plus bas possible. » (Comité aviseur sur l'exposition à l'amiante au Québec, 2000).

Comme il s'agit d'un critère de gestion utilisé dans des cas particuliers et non d'un critère basé sur les effets sur la santé, il n'apparaît pas pertinent de comparer les résultats de l'AVAQ avec ce critère.

Critère AHERA

La loi américaine AHERA (40 CFR Part 763) oblige les écoles à instaurer un programme d'inspection afin de déterminer si les MCA en place pourraient libérer des fibres d'amiante. Ce programme vise à éviter les situations qui pourraient représenter un risque pour la santé humaine ou pour l'environnement (U. S. EPA, 1987).

Lorsque des mesures correctrices comme l'encapsulation ou le retrait des matériaux sont entreprises, les gestionnaires doivent en vérifier l'efficacité. Ces mesures sont considérées comme suffisantes lorsque la concentration moyenne d'amiante de cinq échantillons d'air prélevés dans l'aire touchée n'est pas statistiquement différente de la concentration moyenne de cinq échantillons prélevés à l'extérieur de l'aire en question et, qu'en plus, la moyenne de trois échantillons de contrôle ne dépasse pas 70 S/mm^2 de filtre ou 0,022 structure/ml d'air. Cette valeur est définie comme la concentration en amiante de fond dans les filtres, soit la concentration qui ne se distingue pas de celle mesurée sur des filtres « blancs » (c'est-à-dire, des filtres pour lesquels aucun volume d'air n'a été prélevé).

Une disposition de la loi prévoit également que, dans le cas où la moyenne des échantillons prélevés dans l'aire touchée est < 70 S/mm^2 et que les volumes d'air minimaux à recueillir sont atteints, les mesures correctrices sont alors suffisantes.

La moyenne des concentrations mesurées par l'AVAQ à l'aide du protocole AHERA est de 0,051 structure/ml (tableau 7). Cette concentration indique simplement qu'en moyenne les échantillons contenaient des concentrations en amiante supérieures à celles du « blanc » des filtres. Une fois de plus, il ne s'agit pas d'un critère fondé sur les effets à long terme sur la santé.

[5] Fibres d'une longueur > 5 µm, d'un diamètre entre 0,25 et 3 µm et dont le ratio L/D est ≥ 3.

Critère français

En France, depuis 2003, le Code de la santé publique précise que les propriétaires de bâtiments dans lesquels se trouvent des MCA doivent réaliser des travaux de confinement ou de retrait, si les concentrations en amiante mesurées par MET sont > 0,005 f/ml (France, 2008). Ce critère a remplacé celui de 0,025 f/ml, qui a été en vigueur de 1996 à 2003.

Au sens juridique, la notion de bâtiment s'applique à tous les immeubles construits à la seule exception des immeubles d'habitation comportant un seul logement (maisons individuelles). Les données sur lesquelles s'appuie le critère français n'ont pas été retrouvées.

Puisque les règles de numération du critère français ne sont pas spécifiées et qu'il n'a pas été possible d'obtenir l'information sur laquelle se base ce critère, celui-ci n'est pas comparé aux concentrations de l'AVAQ.

Critère du WTC

À la suite des événements du 11 septembre 2001, une équipe multidisciplinaire, composée de membres d'agences publiques américaines de l'environnement et de la santé, a établi une concentration de référence pour l'air intérieur de 0,0009 fibre PCMe d'amiante/ml (COPC Committee of the World Trade Center Indoor Air Task Force Working Group, [COPC, 2003]; U. S. EPA, 2005). Ce critère a été employé lors du nettoyage des résidences du quartier Lower Manhattan les plus touchées par les poussières des tours (COPC, 2003). Il a été déterminé à partir du risque unitaire vie durant disponible dans la base de données IRIS de la U. S. EPA, c'est-à-dire, 0,23 $(f/ml)^{-1}$ (voir le tableau 2). Cette valeur de référence représente la concentration en amiante à laquelle une exposition continue (soit 24 heures/jour et 365 jours/année) durant 30 ans n'entraînera pas plus d'un excès supplémentaire de cancer pour 10 000 personnes.

La limite inférieure de l'IC à 95 % de la concentration mesurée dans cinq maisons dépasse cette valeur de référence, soit 19 % des échantillons. Selon Lorber *et al.* (2007), la simple comparaison des concentrations mesurées avec un critère s'appuyant sur des effets sur la santé est un exercice de « dépistage » des impacts potentiels sur la santé. Lorsque plus de 10 % des échantillons dépassent un critère, il est approprié de considérer qu'un impact sur la santé a pu survenir ou pourrait survenir.

3.2 AIR EXTÉRIEUR

Les concentrations d'amiante dans l'air ambiant de Thetford Mines sont mesurées depuis plus de 35 ans. De 1973 à 1982, l'analyse en MOCP a été employée par l'Association des mines d'amiante du Québec, mais les résultats de ces analyses ne sont pas disponibles (Lajoie *et al.*, 2003). Comme le présente le point 2.2.2, ce type d'analyse a aussi été utilisé en 2004 par le MDDEP.

Les analyses par MET sont effectuées dans la région depuis le début des années 1980. En 1984, les ministères de l'Environnement du Canada et du Québec ont mesuré à Thetford Mines, à l'aide de la méthode indirecte, une concentration moyenne en fibres de chrysotile

> 5 µm de 0,0737 f/ml[6] ou 0,010 fibre PCMe/ml (n = 35); les échantillonneurs étaient installés sur les toits d'édifices publics (Sébastien *et al.*, 1986 cités dans Lajoie *et al.*, 2003). En 1997, l'Association des mines d'amiante du Québec a relevé dans la municipalité une concentration moyenne de 0,0040 f/ml (Lebel, 1997 cité dans Lajoie *et al.*, 2003).

Puis, en 2000 et en 2005, le MDDEP a mesuré les concentrations d'amiante au-dessus de deux terrains de Thetford Mines remblayés par des résidus miniers contenant de l'amiante (Couture et Bisson, 2006; MENVQ, 2001). Les activités de la mine avaient alors cessé temporairement ou bien étaient au ralenti. Les échantillonneurs étaient positionnés de 1 à 2 mètres du sol afin de représenter l'exposition potentielle des enfants. Les concentrations déterminées par la méthode directe étaient de 0,00041 et de 0,00083 f/ml[7] en 2000 (n = 2) et < 0,0001 f/ml en 2005 (n = 2). Enfin, lors de la campagne d'échantillonnage de 2004, le MDDEP a analysé par la méthode directe sept échantillons de l'air ambiant (voir le point 2.2.2)

La plupart des fibres d'amiante identifiées en MET sont du chrysotile, mais des fibres amphiboles ont également été trouvées. En 1984, de 0,5 à 1 % de l'amiante mesuré à Thetford Mines, Asbestos et Black Lake était de la trémolite (Sébastien *et al.*, 1986 cités dans Lajoie *et al.*, 2003). En 2004, le MDDEP a identifié 34 fibres d'amosite et 17 fibres de chrysotile sur 51 fibres d'amiante (Bisson et Couture, 2007).

3.2.1 Comparaison avec d'autres milieux

Les concentrations en fibres d'amiante mesurées en 2004 par le MDDEP dans l'air de Thetford Mines sont mises en parallèle avec celles obtenues, au cours de la même étude, en milieu urbain à Montréal et à Québec ainsi qu'à proximité d'une halde inactive située à Tring-Jonction, une localité près de Thetford Mines (Bisson et Couture, 2007). Une comparaison avec les concentrations obtenues par Lebel (cité dans Lajoie *et al.*, 2003) et par Lee et Van Orden (2008) est également effectuée (tableau 9).

En 1997, Lebel a utilisé sept postes d'échantillonnage afin de caractériser l'amiante dans l'air extérieur de trois villes minières du Québec, soit Thetford Mines, Black Lake (aujourd'hui un secteur de la municipalité de Thetford Mines) et Asbestos.

Pour ce qui est de l'étude de Lee et de Van Orden, les échantillons d'air ont été pris à l'extérieur près de bâtiments répartis sur tout le territoire américain, soit les mêmes bâtiments dont l'air intérieur a été échantillonné et dont les résultats sont présentés aux tableaux 7 et 8.

Pour ces trois études, les auteurs ont eu recours à la MET pour analyser leurs résultats. Toutefois, les critères de numération diffèrent quelque peu entre eux. La moyenne des concentrations mesurées par le MDDEP à Thetford Mines est calculée en donnant au seul résultat sous la LD une valeur égale à LD/2. La valeur attribuée aux résultats sous la LD dans l'étude de Lebel n'était pas disponible, alors que Lee et Van Orden leur ont attribué une

[6] Il s'agit d'une moyenne arithmétique estimée.

[7] Le MDDEP a analysé les fibres selon les critères suivants : longueur > 5 µm, diamètre < 3 µm et ratio L/D > 3 : 1.

valeur égale à zéro. La moyenne des concentrations pour la ville de Thetford Mines reste inchangée lorsqu'une valeur de zéro est appliquée au résultat sous la LD. Enfin, les concentrations mesurées en milieu urbain et à Tring-Jonction par le MDDEP sont toutes sous la LD.

Les résultats du tableau 9 indiquent que les concentrations d'amiante moyennes relevées dans l'air extérieur de la ville de Thetford Mines sont 7 fois plus élevées que la limite de détection de la méthode analytique employée lors des études réalisées par le MDDEP en milieu urbain au Québec et à Tring-Jonction (0,0006 f/ml). La concentration moyenne de Thetford Mines est 215 fois plus élevée que celle relevée pour l'ensemble des États-Unis. Quant aux niveaux mesurés en 1997 dans trois villes minières du Québec, ils sont comparables à celui mesuré en 2004 à Thetford Mines.

Tableau 9 Comparaison des concentrations en fibres d'amiante (f/ml) mesurées à Thetford Mines avec d'autres milieux

	MDDEP, 2004 (Bisson et Couture, 2007)			Villes minières du Québec, 1997 Lebel (cité dans (Lajoie et *al.*, 2003)			Ensemble des États-Unis, Lee et Van Orden (2008)
	Thetford Mines (2004)	**Milieu urbain (Montréal et Québec)**	**Tring-Jonction**	**Asbestos**	**Thetford Mines**	**Black Lake**	
Critères de numération	L > 5 µm D < 3 µm L/D > 3 : 1	L > 5 µm D < 3 µm L/D > 3 : 1	L > 5 µm D < 3 µm L/D > 3 : 1	L > 5 µm D > 0,25 µm L/D ≥ 3 :1	L > 5 µm D > 0,25 µm L/D ≥ 3 : 1	L > 5 µm D > 0,25 µm L/D ≥ 3 : 1	L > 5 µm D > 0,25 µm L/D ≥ 3 : 1
n	7	5	2	ND	ND	ND	1 678
Limite de détection	0,0006	0,0006	0,0006	ND	ND	ND	ND
Moyenne arithmétique	0,0043	-[a]	-[a]	0,004	0,004	0,007	0,00002

[a] Tous les résultats obtenus sont sous la limite de détection.

n : Nombre de prélèvements.

ND : Information non disponible.

De même, les concentrations en fibres totales que le MDDEP a mesurées en 2004 à Thetford Mines, Montréal, Québec et Tring-Jonction sont comparées (Bisson et Couture, 2007). La figure 1 illustre les concentrations moyennes en fibres totales analysées en MOCP par le MDDEP (Bisson et Couture, 2007). On remarque que la concentration en fibres totales est environ de 3 à 4 fois plus élevée à Thetford Mines qu'en milieu urbain (Montréal et Québec) et qu'à Tring-Jonction.

Le nombre élevé de prélèvements, soit de 54 à 63 dans chaque ville, a permis d'effectuer une analyse statistique des différences notées entre les concentrations moyennes. Étant donné que la distribution des résultats ne suit pas une loi normale, les tests non paramétriques de Kolmogorov-Smirnov (KS) et de Mann-Whitney (MW) ont été employés. Le seuil de signification statistique a été fixé à 1 %.

Les différences dans les concentrations moyennes en fibres totales entre les deux stations de Thetford Mines ainsi qu'entre les quatre stations urbaines (Montréal et Québec) ont été analysées dans un premier temps. Dans un deuxième temps, ont également été analysées, les différences entre les concentrations de Thetford Mines et celles du milieu urbain, puis les différences entre les concentrations de Thetford Mines et de Tring-Jonction.

En somme, les concentrations moyennes en fibres totales des deux stations de Thetford Mines ne sont pas statistiquement différentes entre elles, tout comme celles des stations de Montréal entre elles et celles des stations de Montréal et de Québec entre elles (tableau 10). En revanche, la concentration moyenne en fibres totales mesurée à Thetford Mines est statistiquement différente de celle mesurée en milieu urbain et de celle de Tring-Jonction (tableau 10).

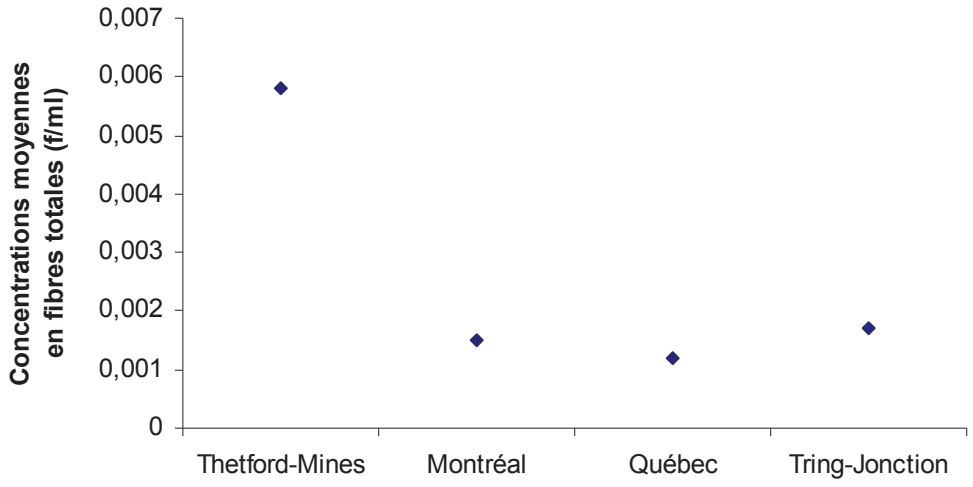


Figure 1 Concentrations moyennes de fibres totales (f/ml) dans l'air ambiant analysées par MOCP par le MDDEP

Tableau 10 Résultats des analyses statistiques effectuées sur les concentrations moyennes en fibres totales (f/ml) relevées par le MDDEP dans différentes villes du Québec

Lieux comparés (nombre de résultats comparés)	Signification statistique	KS	MW
Thetford Mines : École Saint-Noël et Maison de la culture (n = 63 versus n = 62)	ns	p = 0,072	p = 0,042
Montréal : rue Ontario et boulevard Châteauneuf (n = 31 versus n = 31)	ns	p = 0,253	p = 0,140
Montréal et Québec (n = 62 versus n = 54)	ns	p = 0,712	p = 0,266
Milieu urbain[a] et Thetford Mines (n = 116 versus n = 125)	ss	p < 0,0001	p < 0,0001
Tring-Jonction et Thetford Mines (n = 58 versus n = 125)	ss	p < 0,0001	p < 0,0001

[a] Montréal et Québec.

ns : Différence statistiquement non significative.

ss : Différence statistiquement significative.

KS : Test de Kolmogorov-Smirnov.

MW : Test de Mann-Whitney.

3.2.2 Comparaison avec des critères de qualité de l'air

Ministère de l'Environnement de l'Ontario

Le ministère de l'Environnement de l'Ontario (MEO) s'est doté d'un critère de qualité de l'air ambiant pour l'amiante de 0,04 f/ml dans le cadre du Règlement de l'Ontario sur la pollution de l'air – Qualité de l'air à l'échelle locale (419/05) (Ontario Ministry of the Environment, 2005). En vigueur depuis 1976, ce critère tient compte des fibres d'une longueur > 5 µm et dont le ratio L/D est ≥ 3, et il fixe une concentration moyenne à ne pas dépasser durant 24 heures. Il a été proposé par le ministère ontarien de la Santé de l'époque, qui a retenu le critère en milieu de travail de 0,4 f/ml recommandé par la British Occupational Hygiene Society, et il lui a appliqué un facteur de sécurité de 10. Ce dernier critère est fondé sur une probabilité à 95 % d'un risque de moins de 1 % de développer des preuves cliniques d'amiantose (A. Szakolcai, communication personnelle, 12 mars 2008). Il est à souligner que les concentrations d'air ambiant que l'on compare au critère ontarien doivent être analysées en MET (C. Doehler, communication personnelle, 6 septembre 2007).

Étant donné que ce critère s'appuie uniquement sur une probabilité d'apparition d'amiantose, les concentrations mesurées dans l'air extérieur de Thetford Mines n'ont pas été comparées à ce dernier dans le cadre du présent rapport où c'est le risque de mortalité par cancer du poumon et par mésothéliome, qui est évalué.

Ville de Montréal

La Ville de Montréal a adopté une norme de qualité de l'air ambiant pour l'amiante de 0,05 f/ml en vertu du règlement 90 de la CUM (modifié par les règlements 90-1, 90-2 et 90-3) (Ville de Montréal, 2008). Par contre, la Ville ne précise pas les fondements de cette norme. Par conséquent, les concentrations relevées à Thetford Mines ne sont pas comparées à la norme montréalaise.

4 DISCUSSION

4.1 RISQUES OBTENUS SELON LA MÉTHODOLOGIE DES LIGNES DIRECTRICES DU MSSS

L'évaluation du risque a d'abord été effectuée selon l'approche adoptée par le MSSS (2002) pour les substances cancérigènes. Les résultats obtenus sont les suivants : l'estimation des excès de mortalité vie durant par cancer du poumon et par mésothéliome inhérents à une exposition continue durant toute la vie aux concentrations mesurées dans l'air intérieur et dans l'air extérieur de la ville de Thetford Mines est comprise entre 72 et 125 pour 100 000 personnes exposées.

Ces niveaux de risque ont été calculés à partir des risques unitaires vie durant obtenus de 3 organismes ainsi qu'à partir des concentrations d'amiante relevées dans l'air intérieur des 26 maisons échantillonnées par l'AVAQ et de celles mesurées dans l'air extérieur par le MDDEP. Ils s'appliquent à l'ensemble de la population (fumeurs et non-fumeurs, hommes et femmes combinés). Aussi, le potentiel toxique des amphiboles et du chrysotile est considéré comme le même.

Incertitudes

Cette évaluation comporte plusieurs incertitudes. En premier lieu, il y a celles reliées à la détermination des risques unitaires vie durant. En effet, les données obtenues chez les travailleurs sont limitées notamment par les facteurs suivants : difficulté à caractériser les expositions historiques, variations dans les méthodes d'échantillonnage et d'analyse (ex. : critères de numération des fibres), inadéquation entre les sujets de la cohorte et la population de référence sélectionnée et description inadéquate des facteurs confondants comme les habitudes de tabagisme. Ensuite, il faut supposer que la population de référence retenue dans la détermination des risques unitaires vie durant ait les mêmes habitudes de tabagisme que la population exposée (Camus, Siemiatycki et Meek, 1998). Selon Nicholson (1986), la population de l'ensemble des États-Unis comprenait, au moment où il a publié son rapport, environ 67 % d'hommes fumeurs et 33 % de femmes fumeuses. Or d'après des données de Statistique Canada, le pourcentage de fumeurs au Québec et dans la région de Chaudière-Appalaches était approximativement de 24 % en 2005 (Shields, 2007). Aussi, le risque lors d'expositions à de faibles doses serait peut-être moindre que ce qui est prédit par le modèle linéaire. Les modèles statistiques utilisés pour l'extrapolation des résultats obtenus à partir de cohortes de travailleurs exposés à de fortes doses peuvent avoir surestimé la relation dose-réponse. Une étude de Camus *et al.* suggère que les risques de cancer du poumon estimés à partir du K_P utilisé par Nicholson, la U. S. EPA et l'HEI-AR seraient 10 fois plus élevés que le risque établi entre 1970 et 1989 au sein d'une population de femmes des régions de Thetford Mines et d'Asbestos, exposées à de l'amiante dans leur environnement.

En deuxième lieu, il existe également des incertitudes à propos des concentrations employées pour déterminer la dose d'exposition moyenne à vie. Tout d'abord, les résultats de l'étude de l'AVAQ doivent être interprétés avec prudence, car les conditions d'échantillonnage n'ont pas toutes été respectées. Aussi, les résidences dans lesquelles un

échantillon a été prélevé étaient toutes situées à 2 kilomètres ou moins des haldes. En outre, les études de caractérisation des concentrations dans l'air extérieur du MDDEP, qui n'ont pas été réalisées afin d'évaluer le risque pour la population, ne reflètent pas de façon optimale l'exposition réelle d'un individu, car les mesures effectuées pour ces études ont été prises sur les toits d'édifices (voir la section éléments de clarification de l'annexe 1). De plus, la LS de l'IC à 95 % des concentrations en amiante dans l'air extérieur, soit la valeur retenue comme donnée d'exposition, a été estimée et non mesurée. Finalement, la quasi-totalité des échantillons d'air intérieur et d'air extérieur ont été prélevés sous les vents dominants.

En troisième lieu, dans le contexte spécifique de cette évaluation du risque, les concentrations en fibres devraient être déterminées par MOCP (U. S. EPA, 1993). En effet, les risques unitaires vie durant sont issus de données provenant du milieu de travail où les concentrations ont généralement été analysées par ce type de microscopie, car la nature des fibres est connue au préalable. Toutefois, des concentrations analysées par MET ont souvent été retenues comme données d'exposition lors de pareilles évaluations du risque (COPC, 2003; Lee et Van Orden, 2008; Lioy, Zhang, Freeman, Yiin et Hague, 2002; Lorber *et al.*, 2007; Nolan *et al.*, 2005; Weis, 2001). Cela s'explique par le fait que plusieurs types de fibres sont présents dans l'environnement, et la MET permet de distinguer les fibres d'amiante. Dans les cas où la MET est employée, il est préférable de compter les fibres en PCMe.

Au Québec, les critères de numération de la MOCP (IRSST 243-1) sont les suivants : fibres d'une longueur > 5 µm, diamètre < 3 µm et ratio L/D > 3 : 1. De plus, le grossissement en MOCP ne permet pas de distinguer les fibres plus fines que 0,25 µm. Dans le cas de l'étude de l'AVAQ, les fibres > 5 µm, d'un diamètre > 0,25 et < 3 µm et dont le ratio L/D est > 3 : 1 ont été analysées par MET. Il s'agit donc de fibres PCMe. Le MDDEP a aussi eu recours à ces mêmes critères en MET, mais a, en plus, analysé les fibres < 0,25 µm de diamètre (Y. Couture, communication personnelle, 19 juin 2008). Les fibres comptées ne sont donc pas tout à fait des fibres PCMe, et cela constitue une incertitude supplémentaire.

4.2 RISQUE OBTENU D'APRÈS LE MODÈLE DE BERMAN ET DE CRUMP

L'excès de mortalité vie durant par cancer du poumon et par mésothéliome inhérent à une exposition continue durant toute la vie aux concentrations mesurées dans l'air intérieur et dans l'air extérieur de la ville de Thetford Mines correspond à 8,2 pour 100 000 personnes exposées lorsqu'il est déterminé à partir du modèle de Berman et de Crump.

Encore une fois, ce modèle vise l'ensemble de la population (fumeurs et non-fumeurs ainsi qu'hommes et femmes combinés). Son principal avantage est qu'il permet de recourir à des taux de mortalité pouvant s'appliquer à la population de référence appropriée. De plus, il s'appuie sur les modèles dose-réponse établis par Nicholson, mais il intègre des données épidémiologiques plus récentes. En 2003, un groupe d'experts de la U. S. EPA a accueilli favorablement l'analyse de Berman et de Crump (Renner, 2007). Par contre, l'agence n'a pas mis à jour l'information relative à l'amiante dans la base de données IRIS depuis ce temps, et elle utilise encore les travaux de Nicholson dans la détermination des risques (U. S. EPA, 1993).

Incertitudes

Les incertitudes mentionnées à la section 4.1 à l'égard des concentrations employées pour déterminer la dose d'exposition moyenne à vie sont également valables dans ce cas-ci. De plus, Berman et Crump ont calculé les facteurs de risque présentés dans le tableau 6 d'après une exposition à du chrysotile « pur ». Or, les études de l'AVAQ et du MDDEP ont montré la présence d'amphiboles, mais il n'est pas possible de connaître la teneur exacte. Seuls Sébastien *et al.* ont relevé des teneurs en trémolite de 0,5 à 1 % à Thetford Mines (Lajoie *et al.*, 2003). Selon Berman et Crump, étant donné que le potentiel de risque des amphiboles est environ 3 fois plus élevé pour le cancer du poumon et 769 fois plus élevé pour le mésothéliome, il se peut que le risque soit sous-estimé.

Finalement, Berman et Crump recommandent tout d'abord de calculer les risques pour des sous-groupes de fumeurs et de non-fumeurs et de les appliquer ensuite à la population générale. Néanmoins, de telles données concernant la population québécoise n'étaient pas disponibles au moment où l'analyse a été réalisée. C'est pourquoi les taux de mortalité chez les hommes et les femmes de la région sociosanitaire de Chaudière-Appalaches ont été employés afin d'estimer le risque pour l'ensemble de la population.

4.3 RISQUES ASSOCIÉS AU BRUIT DE FOND

À titre comparatif, les risques associés au bruit de fond, c'est-à-dire les concentrations en fibres d'amiante généralement trouvées dans l'environnement[8], sont estimés. Pour l'air extérieur, l'HEI-AR indique des niveaux ambiants de l'ordre de 0,00001 f/ml en milieu rural (à l'exception des régions minières) et jusqu'à 0,0001 f/ml en milieu urbain. À Montréal, 10 échantillons ont été recueillis au cours de l'année 1984, et la concentration moyenne obtenue en MET est de 0,0009 f/ml (Sébastien *et al.,* 1986, cités dans Lajoie *et al.*, 2003). Lee et Van Orden ont calculé une moyenne de 0,00002 fibre PCMe/ml pour des échantillons répartis dans l'ensemble des États-Unis (tableau 9). Les données sur les concentrations de bruit de fond à l'intérieur des résidences sont encore plus limitées. De plus, les études disponibles ont été effectuées presque uniquement dans des habitations comportant des MCA. Selon l'HEI-AR (1991), la concentration moyenne dans de telles résidences est de 0,00019 f/ml. Quant à Lee et Van Orden, ils mentionnent une concentration moyenne de 0,00005 fibre PCMe/ml pour des résidences contenant des MCA (tableau 8).

En utilisant le bruit de fond extérieur de Lee et Van Orden de 0,00002 fibre PCMe/ml et le bruit de fond intérieur de 0,00019 f/ml de l'HEI-AR, la dose d'exposition moyenne à vie s'élève à 0,00018 f/ml. Cette dernière est 17 fois plus faible que celle calculée pour la ville de Thetford Mines. Or les risques sont aussi environ 17 fois moins élevés. En effet, ils s'étendent de 0,46 à 7,1 pour 100 000 personnes selon l'approche utilisée (modèle de Berman et de Crump ou lignes directrices du MSSS). Cette estimation est approximative et donne une idée générale de l'écart entre les risques potentiellement calculés dans cette étude pour la population de Thetford Mines par rapport à ceux encourus par une population vivant dans un environnement où les sources d'exposition à l'amiante sont limitées.

[8] Il existe deux types de bruit de fond, soit les concentrations naturellement présentes ou les concentrations diffuses provenant d'activités humaines (U. S. EPA, 2008).

4.4 VALEUR GUIDE DE GESTION DU RISQUE

Selon les lignes directrices du MSSS (2002), lorsque le risque est supérieur à 1 excès de cancer pour 1 000 000 de personnes exposées, un examen de la part des organismes gouvernementaux est requis. De plus, une gestion environnementale des contaminants est nécessaire. Cette gestion environnementale implique :

- « […] la mise en place et l'application des meilleurs moyens pour diminuer à la source les émissions, les rejets ou l'exposition aux contaminants;
- la mise en place et l'application des méthodes de contrôle les plus appropriées;
- […] la surveillance des milieux et des populations touchées afin que l'intégrité dans le temps des mesures de contrôle soit assurée. »

Cette valeur guide a été proposée notamment parce qu'il importe de réduire le plus possible l'exposition aux contaminants chimiques environnementaux cancérigènes. Toutefois, selon les risques unitaires vie durant indiqués dans le tableau 2, le risque de 10^{-6} serait atteint lors d'expositions à des doses moyennes à vie de $2{,}5 \times 10^{-6}$ à $4{,}3 \times 10^{-6}$ f/ml. Or d'après les études de caractérisation de l'amiante consultées, de telles valeurs ne sont pas détectables. Aussi, les valeurs bruit de fond mentionnées ci-dessus sont au moins un ordre de grandeur plus élevé que 10^{-6} f/ml. Ainsi, ces éléments illustrent que, dans le cas spécifique de l'amiante, la valeur guide de 10^{-6} n'est pas appropriée et qu'une autre valeur devrait être envisagée. Des organismes réglementaires retiennent parfois une valeur guide qui varie entre 10^{-4} et 10^{-5}, quelle que soit la substance (MSSS, 2002).

Enfin, chaque cas devrait être discuté avec la population et les groupes concernés. De plus, les facteurs économiques, technologiques, sociaux, éthiques, légaux, culturels et politiques devraient être pris en considération dans les décisions à adopter (MSSS, 2002).

4.5 ANALYSE COMPARATIVE DES CONCENTRATIONS MESURÉES DANS LA VILLE DE THETFORD MINES

L'évaluation des concentrations d'amiante dans l'air ambiant de Thetford Mines s'avère difficile étant donné le peu d'études disponibles et les différences entre les méthodes d'échantillonnage et d'analyse employées dans les études.

Les études comparées dans le présent rapport ont des protocoles d'échantillonnage et d'analyse très semblables tout en comportant quelques dissemblances; par exemple, l'utilisation ou la non-utilisation d'un ventilateur dans la pièce où avait lieu l'échantillonnage ou encore les critères de numération des fibres comptées.

En somme, la concentration moyenne en fibres ou en structures d'amiante mesurée dans l'air des résidences de la ville de Thetford Mines est :

- de 4 à 46 fois plus élevée que celles notées aux États-Unis dans des écoles, des résidences ainsi que des édifices publics et commerciaux comprenant des MCA;
- 232 fois plus élevée que le bruit de fond mesuré dans des appartements du quartier Upper Manhattan à New York;

- 1,4 fois plus faible que celle mesurée dans deux résidences touchées par la poussière engendrée par l'effondrement des tours du WTC quelques jours après les événements du 11 septembre 2001;
- 1,7 fois plus faible que celle relevée dans les écoles du Québec, qui présentaient un niveau élevé de MCA dégradés.

La concentration moyenne mesurée par l'AVAQ est également supérieure au critère adopté pour la campagne de nettoyage des résidences de la ville de New York touchées par la destruction du WTC (0,0009 f/ml). Ce critère a été élaboré en vue de protéger la population contre le risque que pourrait représenter une exposition à l'amiante dans le développement du cancer du poumon et du mésothéliome. Lorsque 10 % des échantillons sont supérieurs à un critère fondé sur les effets sur la santé, cela indique qu'il pourrait y avoir un impact sur la santé (Lorber *et al.*, 2007). Cinq échantillons sur vingt-six, soit 19 %, recueillis dans les résidences de la ville de Thetford Mines dépassent ce critère. Puisque les autres critères pour l'air intérieur ne sont pas basés sur des effets sur la santé, ils ne sont pas comparés aux résultats de l'AVAQ.

La concentration moyenne en fibres d'amiante, calculée à partir des prélèvements effectués par le MDDEP dans l'air extérieur de la ville de Thetford Mines :

- est restée stable depuis 1997;
- est 215 fois supérieure à celle mesurée à partir d'échantillons prélevés dans l'ensemble des États-Unis;
- est, par rapport aux milieux urbains du Québec et à Tring-Jonction où aucune fibre d'amiante n'a été détectée, 7 fois plus élevée que la limite de détection de 0,0006 f/ml.

De même, la concentration moyenne en fibres totales dans l'air extérieur de la ville de Thetford Mines est statistiquement supérieure à celle mesurée en milieu urbain au Québec et à celle obtenue à Tring-Jonction. Enfin, ces résultats n'ont pas été comparés avec le critère pour l'air ambiant de l'Ontario, puisque, dans le contexte de cette étude, ce sont les risques cancérigènes qui sont évalués, alors que le critère ontarien n'a pas été défini en considérant un tel effet. Ces mêmes résultats n'ont également pas été mis en parallèle avec le critère montréalais étant donné que ses fondements ne sont pas disponibles.

CONCLUSION

La présente analyse avait comme principal objectif l'évaluation du risque pour la santé humaine inhérent à la présence de fibres d'amiante dans l'air ambiant et dans l'air intérieur de résidences de la ville de Thetford Mines. Pour ce faire, les concentrations mesurées par l'AVAQ dans des résidences ainsi que celles prélevées par le MDDEP dans l'air ambiant ont été utilisées. L'évaluation du risque cancérigène a été réalisée selon deux approches, soit celle proposée dans les lignes directrices du MSSS pour la réalisation des évaluations du risque toxicologique pour la santé humaine et celle de Berman et de Crump. Ensuite, les niveaux d'amiante mesurés dans la ville de Thetford Mines ont été comparés à ceux relevés lors d'études effectuées dans la même région à d'autres périodes ainsi qu'à ceux obtenus dans d'autres milieux, puis ils ont été comparés aux critères concernant l'amiante établis par différents organismes.

Le risque de mortalité vie durant (ou l'excès de mortalité vie durant) par cancer du poumon et par mésothéliome, qui a été estimé à partir de l'approche des lignes directrices du MSSS, est de 72, de 110 et de 125 pour 100 000 personnes exposées de façon continue durant 70 ans, dépendamment du risque unitaire vie durant utilisé. Quant à celui estimé par le modèle de Berman et de Crump, il est de 8,2 pour 100 000 personnes. Ce risque est approximativement 17 fois plus élevé que celui estimé à partir des concentrations bruit de fond. Les concentrations d'amiante dans l'air intérieur et dans l'air extérieur sont également supérieures à celles trouvées dans d'autres milieux (ex. : autres résidences, édifices publics, milieu urbain). Aussi, plus de 10 % des échantillons prélevés dans l'air des maisons dépassent un critère basé sur des effets à long terme sur la santé.

Les conclusions de l'évaluation du risque cancérigène doivent cependant être interprétées avec prudence à cause des incertitudes et des limites méthodologiques qui ont été discutées précédemment. Dans les deux approches d'évaluation du risque, les concentrations d'amiante employées pour estimer les doses d'exposition proviennent des caractérisations de l'air réalisées par l'AVAQ à l'intérieur des résidences et des concentrations mesurées à l'extérieur aux stations d'air ambiant échantillonnées par le MDDEP. Les niveaux de risque estimés dans cette étude ne peuvent être extrapolés à l'ensemble de la population de Thetford Mines que dans la mesure où les concentrations provenant de ces deux sources de données sont représentatives des concentrations auxquelles est exposé l'ensemble de la population de la ville. Il serait indiqué de confronter le risque estimé selon les deux approches aux données épidémiologiques récentes sur le cancer du poumon et sur le mésothéliome de la plèvre à Thetford Mines pour « cerner » s'il y a une surestimation ou une sous-estimation du risque, même si les données épidémiologiques des années 2000 découlent d'une exposition s'étant déroulée des années 1960 aux années 1980 environ. Nonobstant les incertitudes et les limites citées plus haut, les résultats de l'évaluation du risque ainsi que l'analyse comparative des concentrations en amiante mesurées dans la ville de Thetford Mines suggèrent un risque pour la santé attribuable à la présence d'amiante dans l'air de cette région.

Enfin, cette démarche visait à fournir de l'information scientifique aux directions de santé publique des régions de Chaudière-Appalaches et de l'Estrie ainsi qu'au MSSS qui sont chargés d'orienter les décisions de santé publique ayant trait à la gestion des risques environnementaux associés à l'exposition à l'amiante dans les villes minières du Québec. Le présent document ne tente pas de porter un jugement sur l'acceptabilité des risques. Par contre, il convient de souligner que, selon l'OMS, il n'y a pas de preuve de seuil sécuritaire pour les effets cancérigènes de l'amiante et qu'un accroissement du risque de cancer a été observé dans des populations exposées à de très faibles concentrations d'amiante (OMS, 2006b). Dans cette optique, il est souhaitable de réduire le plus possible l'exposition. Par conséquent, certaines mesures de contrôle doivent être envisagées telles que l'interdiction d'accès aux haldes, ou l'arrêt de l'utilisation des résidus miniers aux fins de remblayage et comme abrasif ou autre. De plus, il serait indiqué de prendre de nouvelles mesures d'amiante dans l'air de Thetford Mines afin de surveiller l'exposition à l'amiante dans le temps, pour s'assurer qu'elle n'augmente pas.

RÉFÉRENCES

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) – U. S. Department of Health and Human Services/Public Health Service. (2001). *Toxicological profile for asbestos*. Atlanta, GA : Auteur. Document consulté en avril 2008. http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp61.pdf.

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). (2007). What is biological fate of Asbestos?/How does asbestos induced pathogenic changes? In *Case studies in environmental medicine (CSEM) - Asbestos toxicity*. Auteur. Document consulté en avril 2008. http://www.atsdr.cdc.gov/csem/asbestos/docs/asbestos.pdf.

Berman, D. W. et Crump, K. S. (2003). *Technical support document for a protocol to assess asbestos-related risk. Final draft* (EPA 9345.4-06). Washington, D.C. : U. S. Environmental Protection Agency.

Berman, D. W. et Crump, K. S. (2008). Update of potency factors for asbestos-related lung cancer and mesothelioma. *Crit Rev Toxicol., 38* (Suppl. 1), 1-47.

Bernstein, D., Castranova, V., Donaldson, K., Fubini, B., Hadley, J., Hesterberg, T. *et al.* (2005). Testing of fibrous particles: short-term assays and strategies. *Inhal.Toxicol., 17,* 497-537.

Bisson, M. et Couture, Y. (2007). *Les fibres d'amiante dans l'air ambiant au Québec : analyse des données disponibles*. Montréal : ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs. Document consulté en avril 2008. http://www.mddep.gouv.qc.ca/air/amiante/fibres_amiante.pdf.

Bussières, I. (2008, mars). La mine d'amiante Bell en faillite. *La Presse Affaires.* Document consulté le 31 mars 2008. http://lapresseaffaires.cyberpresse.ca.

California Air Resources Board. (1986). *Staff report: initial statement of reasons for proposed rulemaking. Public hearing to consider the adoption of a regulatory amendment identifying asbestos as a toxic air contaminant.* Auteur. Document consulté en avril 2008. http://www.oehha.org/air/toxic_contaminants/html/Asbestos.htm.

California Environmental Protection Agency (CalEPA) et Office of Environmental Hazard Health Assessment (OEHHA). (2002). *Air toxics hot spots program risk assessment guidelines. Part II Technical support document for describing available cancer potency factors*. Auteurs. Document téléchargé en avril 2008 du Site de l'Office of Environmental Hazard Health Assessment. http://www.oehha.org/air/hot_spots/pdf/TSDNov2002.pdf.

Camus, M., Siemiatycki, J. et Meek, B. (1998). Nonoccupational exposure to chrysotile asbestos and the risk of lung cancer. *N. Engl J Med., 338,* 1565-1571.

Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail (CCHST). (1997). *Produits et substances chimiques. Comment les matières particulaires passent-elles dans l'appareil respiratoire?* Page consultée le 11 septembre 2008. http://www.cchst.ca/reponsessst/chemicals/how_do.html?print.

Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC). (2008). *Évaluations globales de la cancérogénicité pour l'homme. Groupe 1 : cancérogènes pour l'homme.* Page consultée le 6 novembre 2008. http://monographs.iarc.fr/FR/Classification/crthgr01.php.

Chatfield, E. J. et Kominsky, J. R. (2001). *Summary report: characterization or particulate found in apartments after destruction of the World Trade Center*. Document téléchargé en avril 2008 du site de la U. S. Environmental Protection Agency. http://www.epa.gov/wtc/panel/GroundZeroTaskForceReport108.pdf.

Comité aviseur sur l'exposition à l'amiante au Québec. (2000). *Évaluation des matériaux contenant de l'amiante (MCA) dans les édifices publics. Mise à jour - Critère de gestion quantitatif et démarche d'évaluation qualitative*. Ministère de la Santé et des Services sociaux.

Commission de la santé et de la sécurité du travail (CSST). (2000). *Le lexique.* Page consultée le 11 septembre 2008 sur le Site du Répertoire toxicologique. http://www.reptox.csst.qc.ca/Lexique-D.htm.

COPC Committee of the World Trade Center Indoor Air Task Force Working Group. (2003). *World Trade Center indoor environment assessment: selecting contaminants of potential concern and setting health-based benchmarks*. New York : U. S. Environmental Protection Agency. Document consulté en avril 2008. http://www.epa.gov/wtc/copc_benchmark.pdf.

Couture, Y. et Bisson, M. (2006). *Rapport sur l'échantillonnage des fibres d'amiante à Thetford Mines (octobre 2005)* [document non publié]. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs – Direction du suivi de l'état de l'environnement.

Dion, C. et Perrault, G. (2000). *Évaluation de la concentration de fibres d'amiante émises dans l'air ambiant de bâtiments scolaires*. Montréal : Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail. Document consulté en avril 2008. http://www.irsst.qc.ca/fr/_publicationirsst_780.html.

Dodson, R. F., Atkinson, M. A. et Levin, J. L. (2003). Asbestos fiber length as related to potential pathogenicity: a critical review. *Am J Ind Med., 44,* 291-297.

Doll, R. et Peto, J. (1985). *Effects on health of exposure to asbestos*. Londres : Health and Safety Commission.

France. (2008). *Code de la santé publique,* art. R1334-18 [mise à jour du 27 juin 2007]. Page consultée le 25 juin 2008 sur le Site de Legifrance. http://www.legifrance.gouv.fr/.

Gibbs, G. W. et Berry, G. (2007). Mesothelioma and asbestos. *Regul Toxicol Pharmacol.*

Groupe scientifique sur l'évaluation du risque toxicologique - Institut national de santé publique du Québec (2008). *Lignes directrices pour la réalisation des évaluations du risque toxicologique d'origine environnementale pour la santé humaine au Québec* [Document de travail].

Health Effects Institute-Asbestos Research (HEI-AR). (1991). *Asbestos in public and commercial buildings: a literature review and synthesis of current knowledge*. Cambridge, MA : Auteur.

Hodgson, J. T. et Darnton, A. (2000). The quantitative risks of mesothelioma and lung cancer in relation to asbestos exposure. *Ann Occup Hyg., 44,* 565-601.

Hughes, J. M. et Weill, H. (1986). Asbestos exposure-quantitative assessment of risk. *Am Rev Respir Dis., 133,* 5-13.

Institut national de la santé et de la recherche médicale (Inserm) (1997). *Effets sur la santé des principaux types d'exposition à l'amiante*. Paris : Auteur.

Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST). (1991). Numération des fibres. Méthode 243-1.1990. In *Méthodes de laboratoires : méthodes analytiques*. Montréal : Auteur.

Lajoie, P., Dion, C., Drouin, L., Dufresne, A., Lévesque, B., Perrault, G. *et al.* (2003). *Fibres d'amiante dans l'air intérieur et extérieur – État de situation au Québec*. Montréal : Institut national de santé publique du Québec. Document consulté en avril 2008. http://www.inspq.qc.ca/publications/notice.asp?E=p&NumPublication=233.

Lee, R. J. et Van Orden, D. R. (2008). Airborne asbestos in buildings. *Regul Toxicol. Pharmacol., 50,* 218-225.

Lioy, P., Zhang, J., Freeman, N., Yiin, L. M. et Hague, R. (2002). *Sparta township environmental Asbestos study. Final report of the results of air and house dust sampling.* New Jersey Department of Environmental Protection. Document consulté en avril 2008. http://www.state.nj.us/dep/dsr/sparta/final%20report.pdf.

Lorber, M., Gibb, H., Grant, L., Pinto, J., Pleil, J., et Cleverly, D. (2007). Assessment of inhalation exposures and potential health risks to the general population that resulted from the collapse of the World Trade Center towers. *Risk Anal., 27,* 1203-1221.

Madl, A. K., Scott, L. L., Murbach, D. M., Fehling, K. A., Finley, B. L. et Paustenbach, D. J. (2008). Exposure to chrysotile asbestos associated with unpacking and repacking boxes of automobile brake pads and shoes. *Ann Occup Hyg., 52,* 463-479.

Marier, M., Charney, W., Rousseau, R., Lanthier, R., et Van Raalte, J. (2007). Exploratory sampling of asbestos in residences near Thetford Mines: the public health threat in Quebec. *Int J Occup Environ Health, 13,* 386-397.

Ministère de l'Environnement du Québec (MENVQ) – Service des lieux contaminés. (2001). *Rapport des travaux du Comité directeur sur l'amiante. Dossier remblais d'amiante*. Auteur.

Ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec (MSSS). (2002). *Lignes directrices pour la réalisation des évaluations du risque toxicologique pour la santé humaine dans le cadre de la procédure d'évaluation et d'examen des impacts sur l'environnement et de l'examen des projets de réhabilitation de terrains contaminés*. Québec : Auteur. http://publications.msss.gouv.qc.ca/acrobat/f/documentation/2002/02-227-02.pdf.

Mustard, J. F., Uffen, R. J., Dewees, D. N., Laskin, J. I., et Kahn, L. B. (1984). *Report of the Royal Commission on matters of health and safety arising from the use of asbestos in Ontario*. (vol. 2). Toronto : Gouvernement de l'Ontario.

National Institute for Occupational Health and Safety (NIOSH). (1994a). Asbestos and other fibers by PCM, Method 7400. In *NIOSH manual of analytical methods (NMAM)* (4e éd.). Auteur. Document consulté en avril 2008. http://www.cdc.gov/niosh/pdfs/7400.pdf.

National Institute for Occupational Health and Safety (NIOSH). (1994b). Asbestos by TEM, Method 7402. In *NIOSH manual of analytical methods (NMAM)* (4e éd.). Auteur. Document consulté en avril 2008. http://www.cdc.gov/niosh/nmam/pdfs/7402.pdf.

National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). (2008). Review of current issues - 1.6 Determinants of particle toxicity and health effects. In *Asbestos fibers and other elongated mineral particles: state of the science and roadmap for research. Revised draft. NIOSH intelligence bulletin,* (p. 30-54). Auteur. Document consulté en septembre 2008. http://www.cdc.gov/niosh/review/public/099-A/pdfs/revisedNIOSHAsbestosRoadmap_2008_draft.pdf.

National Research Council (NRC) – Committee on Nonoccupational Health Risks of Asbestiform Fibers. (1984). *Asbestiform fibers. Nonoccupational health risks*. Washington, D.C. : National Academy Press.

Nicholson, W. J. (1986). *Airborne asbestos health assessment update*. Washington, DC : U. S. Environmental Protection Agency.

Nolan, R. P., Ross, M., Nord, G. L., Axten, C. W., Osleeb, J. P., Domnin, S. G. *et al.* (2005). Risk assessment for asbestos-related cancer from the 9/11 attack on the World Trade Center. *J Occup Environ Med., 47,* 817-825.

Ontario Ministry of the Environment – Standards Development Branch. (2005). *Summary of O. reg. 419/05 standards and point of impingement guidelines and ambient air quality criteria (AAQSC)*. Auteur.

Organisation mondiale de la Santé – Europe (OMS-Europe). (2000). *Air Quality Guidelines for Europe* (Série no 91). Copenhague : Auteur. Document consulté en avril 2008. http://www.euro.who.int/document/e71922.pdf.

Organisation mondiale de la Santé (OMS). (2006a). *Élimination des maladies liées à l'amiante*. Genève : Auteur. Document consulté en avril 2008. http://libdoc.who.int/hq/2006/WHO_SDE_OEH_06.03_fre.pdf.

Organisation mondiale de la Santé (OMS). (2006b). *Elimination of asbestos-related diseases* (Document n° WHO/SDE/OEH/06.03). Genève : Auteur. http://www.who.int/occupational_health/publications/asbestosrelateddiseases.pdf.

Perry, A. (2004). *A discussion of Asbestos detection techniques for air and soil*. Washington, D.C. : National Network of Environmental Management Studies Fellow (NNEMS) – U. S. Environmental Protection Agency. http://www.clu-in.org/download/studentpapers/Asbestos_Paper_Perry.pdf.

Radio-Canada (2008, Juin). Estrie : Mine Jeffrey. Dernier jour de travail. Article consulté le 9 septembre 2008. *Radio-Canada.ca.* http://www.radio-canada.ca/regions/estrie/2008/06/30/001-asbestos-mine-jeffrey_n.shtml.

Renner, R. (2007). U. S. EPA to revisit asbestos toxicity. *Environmental Science & Technology,* 1808-1809.

Ressources naturelles Canada. (2006). Chrysotile. In *Annuaire des minéraux du Canada 2006,* (p. 21.1-21.16). Auteur. Consulté en septembre 2008. http://www.nrcan-rncan.gc.ca/mms-smm/busi-indu/cmy-amc/contenu/2006/23.pdf.

Shields, M. (2007). Usage du tabac - Prévalence, interdiction et exposition à la fumée secondaire. *Rapports sur la santé, 18*. Article téléchargé du site de Statistique Canada. http://www.statcan.ca/francais/freepub/82-003-XIF/2006007/articles/smoking/smoking-fr.pdf.

Sous-comité sur l'épidémiologie des maladies reliées à l'exposition à l'amiante (2003). *Épidémiologie des maladies reliées à l'amiante au Québec*. Montréal : Institut national de santé publique du Québec. Document consulté en avril 2008. http://www.inspq.qc.ca/publications/notice.asp?E=p&NumPublication=222.

U. S. Consumer Product Safety Commission et Directorate of Health Sciences. (1983). *Report to the U.S. Consumer Product Safety Commission by the Chronic Hazard Advisory Panel on Asbestos.* Washington, D.C. : Auteur.

U. S. Environmental Protection Agency (U. S. EPA). (1987). Asbestos-containing materials in schools; final rule and notice. Part III: Environmental Protection Agency, 40 CFR Part 763. *Federal Register, 52*(210), 41826-41827.

U. S. Environmental Protection Agency (U. S EPA). (1993). *Asbestos (CASRN 1332-21-4).* Page Web tirée de l'Integrated Risk Information System (IRIS) le 14 janvier 2008. http://www.epa.gov/ncea/iris/subst/0371.htm.

U. S. Environmental Protection Agency, R. 2. (U. S. EPA). (2003a). *Interim final residential confirmation cleaning study, vol. 1.* Auteur.

U. S Environmental Protection Agency, R. 2 (U. S EPA). (2003b). *World Trade Center background study report. Interim final*. Auteur. Document consulté en septembre 2008. http://www.epa.gov/wtc/bg_report_section1.pdf.

U. S. Environmental Protection Agency, R. 2 (U. S. EPA). (2005). *World Trade Center residential dust cleanup program*. New York : Auteur. Document téléchargé en septembre 2008. http://www.epa.gov/wtc/finalreport/pdfs/full_final_report.pdf.

U. S. Environmental Protection Agency (U. S. EPA). (2007). *Residential dust cleanup program. Monitoring contract scope of work.* Page consultée le 25 septembre 2008. http://www.epa.gov/wtc/finalreport/pdfs/full_final_report.pdf.

U. S. Environmental Protection Agency. (U. S. EPA). (2008). *IRIS glossary/Acronyms and Abreviations.* Page Web tirée de l'Integrated Risk Information System (IRIS) le 25 septembre 2008. http://www.epa.gov/NCEA/iris/help_gloss.htm.

Ville de Montréal. (2008). *Règlements relatifs à l'assainissement de l'air*, 2001-10.

WATCH. (2007). *Annex 3. The quantitative risks of mesothelioma and lung cancer in relation to asbestos exposure - A comparison of risk models based on asbestos exposed cohorts*. http://www.officesoon.com/doc/73978-WATCH/2007/8-Annex-3-Quantitative-risks-of-mesothelioma-and-lung-/.

Weis, C. P. (2001). *Amphibole mineral fibers in source materials in residential and commercial areas of Libby pose an imminent and substantial endangement to public health* [Memorandum]. U. S. Environmental Agency. Document consulté en avril 2008. http://epa.gov/region8/superfund/libby/libby-risk-text.pdf.

ANNEXE 1

SYNTHÈSE DES DIFFÉRENTES ÉTUDES EN LIEN AVEC L'AMIANTE DANS L'ENVIRONNEMENT INTÉRIEUR ET EXTÉRIEUR DE THETFORD MINES

PRÉPARÉ PAR GEORGES ADIB

RAPPEL DU CONTEXTE

Entre 2000 et 2005, quatre études ont été effectuées en lien avec l'exposition à l'amiante à Thetford Mines.

Trois de ces études ont été menées par le ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) entre 2000 et 2005. La quatrième a été pilotée par Marier *et al.,* pour le compte de l'Association des victimes de l'amiante du Québec (AVAQ). Elle a été effectuée entre 2003 et 2004 et publiée sous forme d'article dans la revue américaine *International Journal of Occupational and Environmental Health* en décembre 2007.

À la suite de la publication de l'étude de l'AVAQ en décembre 2007 et à la lumière des trois études du MDDEP, l'INSPQ a reçu le mandat d'évaluer le risque à la santé inhérent aux niveaux d'amiante trouvés dans l'environnement intérieur et extérieur de Thetford Mines.

Pour ce faire, les quatre études ont fait l'objet d'une analyse détaillée de la part de l'équipe de l'INSPQ en ce qui concerne la méthodologie adoptée, les résultats obtenus, les conclusions et les recommandations émises par les auteurs.

Le présent document est un résumé des paramètres des quatre études. Ils sont présentés sous forme de tableaux de manière à pouvoir les comparer d'une étude à l'autre (tableaux 1 à 5).

L'évaluation des études ainsi que les commentaires de l'équipe de l'INSPQ sont présentés aux tableaux 6 et 7.

Enfin, nous avons trouvé important de rapporter certains éléments de clarification qui n'apparaissaient pas dans les trois études du MDDEP, mais que l'équipe de l'INSPQ a pu obtenir à la suite d'une rencontre avec les professionnels de ce ministère au mois de mars 2008. Ces éléments se trouvent à la fin du présent document.

Études évaluées

1. **Concernant l'échantillonnage des fibres d'amiante à Thetford Mines en lien avec l'utilisation des résidus d'amiante comme matériaux de remblayage :**
   - Première étude effectuée en 2000 (deux documents) :
     a. Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec. *Échantillonnage et analyse de l'air ambiant : 26 juillet au 2 août 2000.* (10 novembre 2000).
     b. Ministère de l'Environnement du Québec, Service des lieux contaminés. *Rapport des travaux du comité directeur sur l'amiante - Dossier remblais d'amiante.* (27 novembre 2000).
   - Deuxième étude effectuée en 2005 (deux documents) :
     a. Note de service adressée par Mme Renée Gauthier du MDDEP et Dr Albert Nantel de l'INSPQ, à Mme Ruth Drouin concernant les résultats de l'échantillonnage de fibres d'amiante à Thetford Mines (8 décembre 2005).
     b. Couture, Y. et *Bisson,* M. *Rapport sur l'échantillonnage des fibres d'amiante à Thetford Mines.* Québec : Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Direction du suivi de l'état de l'environnement Québec. (avril 2006).
2. **Concernant l'échantillonnage des fibres d'amiante dans l'air ambiant du Québec :**
   - Couture, Y. et Bisson, M. (novembre 2007). *Les fibres d'amiante dans l'air ambiant au Québec : analyse des données disponibles.* Québec : Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Direction du suivi de l'état de l'environnement. [Étude effectuée en 2004].
3. **Concernant l'échantillonnage dans les résidences de Thetford Mines :**
   - Marier, M., Charney, W., Rousseau, R., Lanthier, R. et Van Raalte, J. (2007) Exploratory sampling of asbestos in residences near Thetford Mines: the public health threat in Quebec. *Int J Occup Environ Health*, *13,* 386-397.

Tableau 1. Données techniques sur les prélèvements

Titre de l'étude	Échantillonnage des fibres d'amiante à Thetford Mines en lien avec l'utilisation des résidus d'amiante comme matériaux de remblayage		Les fibres d'amiante dans l'air ambiant au Québec : analyse des données disponibles	Échantillonnage exploratoire de l'amiante dans les résidences de Thetford Mines
	1re étude	2e étude		
Auteur(s) / Organisme(s)	Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP), en collaboration avec le Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ)	Michel Bisson et Yvon Couture, MDDEP	Michel Bisson et Yvon Couture, MDDEP, en collaboration avec le CEAEQ	Micheline Marier *et al.*, Association des victimes de l'amiante du Québec (AVAQ)
Objectif(s)	« Vérifier le risque potentiel spécifiquement associé aux terrains contenant des remblais d'amiante, sans tenir compte de l'apport potentiel provenant des haldes. »	« Fournir des données complémentaires à celles acquises en 2000 […] pour vérifier s'il existe un risque potentiel associé aux terrains contenant des remblais de résidus d'amiante. »	« Dresser un portrait général de la situation au Québec (*niveaux de fibres d'amiante dans l'air ambiant*) en regard du critère ontarien (0,04 f/ml), plutôt que de déterminer des concentrations à court terme en valeur absolue. »	« (*Déterminer si*) l'amiante est présent dans l'environnement des mines et des haldes de la région de Thetford Mines, au point de poser un risque pour les résidents. »
Période / date	26 juillet au 2 août 2000	4 au 12 octobre 2005	31 janvier au 31 août 2004	• 12 août 2003 • Du 7 au 9 novembre 2003 • Du 30 juillet ou 1er août 2004
Emplacement	• Deux sites à Thetford Mines : Centre communautaire (*St-Maurice*)[a] et près d'une cour d'école (*St-Gabriel*)[b] • Un site dans un secteur rural de Thetford Mines (*Chemin de la colline*)[c]	• Deux sites à Thetford Mines : Centre communautaire (*St-Maurice*) et à 10 mètres au sud de la cour de la même école (*St-Gabriel*) • Un site dans un secteur rural de Thetford Mines (*Chemin de la colline*)	• Deux sites à Thetford Mines : Maison de la culture[d] et une école (*St-Noël*)[e] • Un site dans une ville avec mine et haldes de résidus inactives (*Mine Carey, Tring-Jonction*)[f] • Trois sites en milieu urbain (2 à Montréal, 1 à Québec)[g]	Environnement intérieur de 26 résidences de la région de Thetford Mines[h]

a Site dans un quartier à vocation résidentielle et récréative caractérisé par la présence de quantités importantes de résidus d'amiante recouverts.

b Site à l'arrière d'une résidence bordant la cour de l'école, dont une importante partie du sol est constituée de résidus non recouverts.

c Site où la présence de résidus non recouverts semble limitée à quelques entrées résidentielles.

d Site choisi pour caractériser un quartier voisin de la mine et du moulin influencé par les vents dominants.

e Site choisi pour représenter une partie de la ville située un peu plus loin en aval de la mine et du moulin influencée par les vents dominants.

f Site choisi pour caractériser un milieu où l'on trouve des haldes inactives de résidus.

g Il s'agit d'un site sur la rue Ontario à Montréal et un autre sur le boulevard Châteauneuf à ville d'Anjou pour représenter un milieu urbain de centre-ville et d'un quartier influencé par la circulation routière (usure des freins); pour la ville de Québec, il s'agit d'un site sur la rue des Sables pour représenter un milieu urbain de centre-ville où les influences de la circulation routière et de l'industrie sont possibles.

h La majorité des résidences (24/26) était située dans un rayon de 2 kilomètres ou moins au voisinage de haldes, dont 20 sous les vents dominants et 4 à contresens.

Tableau 1. Données techniques sur les prélèvements (*suite*)

Titre de l'étude	Échantillonnage des fibres d'amiante à Thetford Mines en lien avec l'utilisation des résidus d'amiante comme matériaux de remblayage		Les fibres d'amiante dans l'air ambiant au Québec : analyse des données disponibles	Échantillonnage exploratoire de l'amiante dans les résidences de Thetford Mines
	1re étude	2e étude		
Conditions particulières	• Activités sur les aires d'accumulation de résidu réduites au minimum. • Activités minières minimales (5 quarts de travail/18). • Absence d'activités scolaires.	• Arrêt des opérations minières. • Activités scolaires normales.	• Le site de la Maison de la culture à Thetford Mines est celui qui est le plus proche de la mine du moulin; il est sous l'influence des vents dominants de l'ouest.	• Présence de matériaux de terrassement, recouverts ou non, à l'extérieur de 17 résidences sur 26. • Trois résidences avec matériaux contenant de l'amiante : isolant de tuyau de poêle (2), prélart (linoléum) en vinyle-amiante(1). • Une personne dans une résidence exposée professionnellement, d'une façon sporadique, à l'amiante (changement de plaquettes de freins). • Utilisation d'un ventilateur pour remettre les fibres en suspension.
Nombre de prélèvements	3 (+ 1 prélèvement de contrôle)	3	299 (dont 14 analysés par microscopie optique et électronique simultanément)	28 (dont 2 non retenus par les auteurs pour les résultats en fibres/ml)
Hauteur des trains d'échantillonnage par rapport au sol (mètre)	1,0 à 1,1[a]	1,75 à 2,0[b]	~ 9 (sur les toits d'édifices)[c]	1,0 à 1,2
Conditions météorologiques	• Températures moyennes variant de 10 à 27 °C • Vents faibles à moyens, presque toujours de directions variant entre l'est et le sud • Humidité relative : données non disponibles • 1/6 journée pluvieuse	• Températures moyennes variant de 3 à 26°C • Humidité relative variant de 70 à 95 % • 4/9 journées pluvieuses	Données non disponibles	Données non disponibles

a Hauteurs choisies afin d'échantillonner l'air respiré par les récepteurs les plus sensibles, nommément les enfants.

b Les hauteurs sont légèrement différentes à cause du matériel d'échantillonnage différent utilisé en 2005; voir la discussion à la fin du document (p. 64).

c Donnée obtenue du MDDEP.

Tableau 1. Données techniques sur les prélèvements (*suite*)

Titre de l'étude	Échantillonnage des fibres d'amiante à Thetford Mines en lien avec l'utilisation des résidus d'amiante comme matériaux de remblayage		Les fibres d'amiante dans l'air ambiant au Québec : analyse des données disponibles	Échantillonnage exploratoire de l'amiante dans les résidences de Thetford Mines
	1re étude	2e étude		
Méthode de prélèvement	• Pompes SKC® (modèle Universal PCXR) • Cartouche de 25 mm de diamètre avec filtre en ester de cellulose (PALL® – Gelman Laboratory); diamètre des pores non précisé	• Pompes Gilian® (modèle Aircon-2) • Cartouche de 25 mm de diamètre avec filtre en ester de cellulose; pores de 0,8 µm de diamètre	• Pompes Gilian® (modèle Aircon-2) • Cartouche de 25 mm de diamètre avec filtre en ester de cellulose; pores de 0,8 µm de diamètre	• Pompes Micro-Trap Inc® (modèle Micro-Max 1) • Cartouche de 25 mm de diamètre avec filtre en ester de cellulose ; pores de 0,45 µm de diamètre
Volume d'air prélevé (litre)	25 150 à 25 260 (10 000 pour le prélèvement contrôle)	24 975 à 25 520	~ 16 000 à ~ 31 000[a]	1 200
Durée (minutes)	10 000	9 990 à 10 208	4 320 à 8 640	80
Méthode d'analyse	Microscopie électronique à transmission (MET) et spectre dispersif en énergie de rayons X : **méthode directe NIOSH 7402**	MET et spectre dispersif en énergie de rayons X : **méthode directe NIOSH 7402**	• Microscopie optique à contraste de phase (MOCP) : **méthode IRSST 243-1** (299 prélèvements) • MET : **méthode directe NIOSH 7402** (14 prélèvements)	MET et spectre dispersif en énergie de rayons X : • **Méthode AHERA modifiée** • **Méthode directe NIOSH 7402**
Critère de comparaison	Aucun critère retenu	Aucun critère retenu	Critère ontarien pour la qualité de l'air ambiant concernant l'amiante : 0,04 f/ml[b]	• Critères AHERA de 70 structures/mm² de filtre (équivalant à 0,022 structure/ml) • Critère du World Trade Center (WTC) de 0,0009 f/ml
Laboratoire	Département de santé au travail de l'Université McGill (Montréal)	Bodycote-Groupe d'essais (Montréal)	• Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (Québec) pour MOCP • Bodycote-Groupe d'essais (Montréal) pour MET	Lab/Cor Inc. (Seattle, États-Unis)

[a] Volumes estimés à partir des données transmises par le MDDEP, en multipliant la durée de 4 320 minutes (3 jours) à 8 640 minutes (6 jours) par un débit d'environ 3,6 litres/minute.

[b] En fait, le critère apparaît dans la réglementation ontarienne 419/05 comme étant 0,04 f/cm^3; nous avons préféré garder l'information telle qu'elle apparaît dans le rapport du MDDEP (0,04 f/ml), en sachant que 0,04 f/ml est équivalent à 0,04 cm^3.

Tableau 2. Résultats bruts

Titre de l'étude	Échantillonnage des fibres d'amiante à Thetford Mines en lien avec l'utilisation des résidus d'amiante comme matériaux de remblayage					Les fibres d'amiante dans l'air ambiant au Québec : analyse des données disponibles			Échantillonnage exploratoire de l'amiante dans les résidences de Thetford Mines	
		1re étude		2e étude						
Analyse effectuée par		**MET**		**MET**			**MOCP**	**MET**	**MET**	**MET**
Type de fibres		Totales	Amiante	Totales	Amiante		Totales	Amiante	Structures d'amiante	Amiante
Critères de comptage des fibres		L ≥ 5 µm	L ≥ 5 µm	L ≥ 5 µm	L > 5 µm D < 3 µm L/D > 3:1		L > 5 µm D < 3 µm L/D > 3: 1	Non mentionnés	L > 0,5 µm L/D > 5 : 1	L > 5 µm D : 0,25 µm-3 µm L/D > 3: 1
Nombre de prélèvements	CC-SM É-SG SR-CC Laval*	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1	1 1 1	MC É-SN MC-TJ Mtl-O Mtl-C Qc	62 63 58 31 31 54	4 3 2 1 2 2	28	26
Moyenne arithmétique‡ (ou résultat unique) (f/ml)	CC-SM É-SG SR-CC Laval	0,00091 0,00041 < 0,00004 < 0,000075	0,00083 0,00041 < 0,00004 < 0,000075	0,0007 0,0002 0,0004	< 0,0001 < 0,0001 < 0,0001	MC É-SN MC-TJ Mtl-O Mtl-C Qc	0,0075 0,0042 0,0017 0,0017 0,0013 0,0012	0,0039 0,0049 0,0003 < 0,0006 0,0003 0,0003	126,15 s/mm² 0,051 s/ml	0,0019 (**0,0020**)**
Nombre et type de fibres	CC-SM É-SG SR-CC Laval	-	20(Ch)+ 2(S) 10(Ch) 0 0	-	7(V) 2(V) 4(V)	MC É-SN MC-TJ Mtl-O Mtl-C Qc	-	5-12(Ch)+9(Am)+9-18(V) 4-14(Am) + 5-9(V) 4(Sy) 0 9(Sy) 0	1-48 (Ch) 1(Ac) 1(Tr)	1-13(Ch) 1(Ac) 2(Tr)

L : Longueur des fibres.
D : Diamètre des fibres.
* Site sur un terrain du CEAEQ à Laval pour évaluer le bruit de fond en fibres : il s'agit d'un prélèvement contrôle.
‡ Les résultats en dessous de la limite de détection ont été considérés dans le calcul des moyennes comme LD/2.
s/mm² : Structures d'amiante par millimètre carré de filtre.
s/ml : Structures d'amiante par millilitre.
** Les valeurs en gras entre parenthèses sont calculées sans diviser la limite de détection par 2.
Ch : Chrysotile; S : Silicates; V : Verre; Am : Amosite; Sy : Synthétique; Ac : Actinolite; Tr : Trémolite

CC-SM : Centre communautaire St-Maurice (Thetford Mines).
É-SG : École St-Gabriel (Thetford Mines).
SR-CC : Site rural, chemin de la colline (Thetford Mines).
MC: Maison de la culture.
É-SN : École St-Noël (Thetford Mines).
MC-TJ : Mine Carey (Tring-Jonction).
Mtl-O: Rue Ontario (Montréal).
Mtl-C: Boulevard Châteauneuf (Montréal).
Qc : Rue des Sables (Québec).

Tableau 2. Résultats bruts (*suite*)

Titre de l'étude	Échantillonnage des fibres d'amiante à Thetford Mines en lien avec l'utilisation des résidus d'amiante comme matériaux de remblayage					Les fibres d'amiante dans l'air ambiant au Québec : analyse des données disponibles			Échantillonnage exploratoire de l'amiante dans les résidences de Thetford Mines		
		1re étude		2e étude							
Type de fibres		Totales	Amiante	Totales	Amiante		Totales	Amiante	Structures d'amiante		Amiante
Médiane‡ (f/ml)	CC-SM É-SG SR-CC Laval	-†	-†	-†	-†	MC É-SN MC-TJ Mtl-O Mtl-C Qc	0,0046 0,0032 0,0016 0,00075 0,00075 0,00075	0,0041 0,0041 -† -† -† -†	82,70 s/mm²		0,00083
									0,027 s/ml		
Étendue des résultats	CC-SM É-SG SR-CC Laval	-†	-†	-†	-†	MC É-SN MC-TJ Mtl-O Mtl-C Qc	< 0,0015-0,056 < 0,0015-0,015 < 0,0015-0,0078 < 0,0015-0,0054 < 0,0015-0,0052 < 0,0015-0,0041	< 0,0006-0,007 0,0023-0,0082 < 0,0006 -† < 0,0006 < 0,0006	0-662,30 s/mm²		< 0,000553-0,010
									< 0,004-0,311 s/ml		
Proportion de prélèvements > critère de comparaison (*voir tableau 1*)	CC-SM É-SG SR-CC Laval	S. O.	S. O.	S. O.	S. O.	MC É-SN MC-TJ Mtl-O Mtl-C Qc	0 %	0 %	**AHERA**	54 % (s/mm²) 57 % (s/ml)	-
									WTC	-	50 %
Limite de détection (LD) (f/ml)	TM* Laval	0,00004 0,000075	0,00004 0,000075	0,0001 -	0,0001 -		0,0015	0,0006	0,004 (s/ml)		0,000553
Proportion de prélèvements < LD	CC-SM É-SG SR-CC Laval	0 % 0 % 100 % 100 %	0 % 0 % 100 % 100 %	0 % 0 % 0 %	100 % 100 % 100 %	MC É-SN MC-TJ Mtl-O Mtl-C Qc	8 % 13 % 47 % 55 % 68 % 67 %	25 % 0 % 100 % 100 % 100 % 100 %	4 %		35 %

‡ Les résultats en dessous de la limite de détection ont été considérés dans le calcul des médianes comme LD/2.
† La médiane et l'étendue n'ont pas été calculées à cause de la petitesse de l'échantillon (n ≤ 2 dans chaque catégorie).
S. O. : Sans objet, aucun critère de comparaison retenu pour ces résultats.
*TM : Même limite de détection pour les trois sites de Thetford Mines.

Tableau 3. Résultats agglomérés (pour les fibres et les structures d'amiante uniquement)

Titre de l'étude	Échantillonnage des fibres d'amiante à Thetford Mines en lien avec l'utilisation des résidus d'amiante comme matériaux de remblayage		Les fibres d'amiante dans l'air ambiant au Québec : analyse des données disponibles	Échantillonnage exploratoire de l'amiante dans les résidences de Thetford Mines		
	1re étude	2e étude		(MET)		
				TM-R : 28 (structures d'amiante)		TM-R : 26 (fibres d'amiante)
Nombre de prélèvements	**(MET)** TM-V : 2 TM-MR : 1	**(MET)** TM-V : 2 TM-MR : 1	**(MET)** TM-V : 7 MM-HI : 2 MU : 5			
Moyenne arithmétique‡ (ou résultat unique) (f/ml)	TM-V : 0,00062 TM-MR : < 0,00004	TM-V : 0,00005 TM-MR : < 0,0001	TM-V : 0,0043 MM-HI : 0,0003 MU : 0,0003	126,15 s/mm²		0,0019 (**0,0020**)*
				0,051 s/ml		
Nombre et type de fibres	TM-V : 10-20(Ch) + 2(S) TM-MR : 0	TM : 2-7(V) TM-MR : 4(V)	TM-V : 5-12(Ch) + 4-14(Am) + 5-18(V) MM-HI : 4(Sy) MU : 9(Sy)	1-48 structures (Ch) 1(Ac) 1(Tr)		1-13(Ch) 1(Ac) 2(Tr)
Médiane‡ (f/ml)	-†	-†	TM-V : 0,0041 MM-HI : -† MU : 0,0003	82,70 s/mm²		0,00083
				0,027 s/ml		
Étendue des résultats	TM-V : 0,00041-0,00083 TM-MR : -†	TM-V : < 0,0001 TM-MR : -†	TM-V : < 0,0006-0,0082 MM-HI : < 0,0006 MU : < 0,0006	0-662,30 s/mm²		< 0,000553-0,010
				< 0,004-0,311 s/ml		
Proportion de prélèvements > critère de comparaison (*voir tableau 1*)	TM-V : S. O. TM-MR : S. O.	TM-V : S. O. TM-MR : S. O.	TM-V : 0 % MM-HI : 0 % MU : 0 %	**AHERA**	54 % (s/mm²) 57 % (s/ml)	-
				WTC	-	50 %
Limite de détection (f/ml)	0,00004	0,0001	0,0006	0,004 (s/ml)		0,000553
Proportion de prélèvements < LD	TM-V : 0 % TM-MR : 100 %	TM-V : 100 % TM-MR : 100 %	TM-V : 14 % MM-HI : 100 % MU : 100 %	4 %		35 %

TM-V : Ville de Thetford Mines (entre communautaire, école, maison de la culture)
TM-MR : Milieu rural de Thetford Mines
MM-HI : Milieu minier avec haldes inactives
MU : Milieu urbain (Montréal et Québec)
TM-R : Résidences de Thetford Mines

‡ Les résultats en dessous de la limite de détection ont été considérés dans le calcul des moyennes et des médianes en divisant la limite de détection par 2.

* Les valeurs en gras entre parenthèses sont calculées sans diviser la limite de détection par 2. Ch : Chrysotile; S : Silicates; V : Verre; Am : Amosite; Sy : Synthétique; Ac : Actinolite; Tr : Trémolite

† La médiane et l'étendue ne sont pas mentionnées à cause de la petitesse de l'échantillon (n ≤ 2 dans chaque catégorie).

S. O. : Sans objet, aucun critère de comparaison retenu pour ces résultats.

Tableau 4. Conclusion(s) des auteurs des études

Échantillonnage des fibres d'amiante à Thetford Mines en lien avec l'utilisation des résidus d'amiante comme matériaux de remblayage		Les fibres d'amiante dans l'air ambiant au Québec : analyse des données disponibles	Échantillonnage exploratoire de l'amiante dans les résidences de Thetford Mines
1re étude	2e étude		
• « L'évaluation du risque à la santé a conclu que le niveau d'exposition aux fibres d'amiante de la population dans la région de l'Amiante est supérieur à celui observé dans l'air ambiant des grandes villes d'Amérique du Nord. • L'utilisation de résidus d'amiante en surface des terrains entraîne une exposition faible mais réelle aux fibres d'amiante de type chrysotile. • Bien que le risque pour la santé des enfants exposés à une telle concentration de fibres soit faible, cette exposition s'ajoute à celle de la contamination connue dans l'air ambiant de la municipalité due à l'exploitation de la mine et aux aires d'accumulation de résidus miniers. »	• « Aucune fibre n'a été détectée dans les échantillons de la présente étude. En 2000, de faibles concentrations avaient été observées sur deux sites de prélèvement. On ne peut expliquer avec certitude les différences observées entre les deux séries de résultats. • […] il n'est pas improbable qu'un autre échantillonnage montre que des concentrations de fibres plus grandes que 0 puissent être éventuellement mesurées. En ce sens, la recommandation d'appliquer le principe de précaution en recouvrant les remblais par un matériel non contaminé est maintenue. » (*Réf. Note de service du 8-12-2005*)	• « Les résultats de cette étude n'ont pas permis de démontrer la présence de fibres d'amiante dans l'air ambiant au Québec pour les stations en milieu urbain. • Les haldes de résidus, mises en place depuis un certain temps, ne semblent pas affecter de façon notable la qualité de l'air dans la région de l'Amiante. • On retrouve des fibres d'amiante dans l'air à Thetford Mines; toutefois, les concentrations de fibres totales sont environ 10 fois inférieures au critère ontarien. Si on considère uniquement les fibres d'amiante, la différence est encore plus grande. »	• « Les résultats d'analyse de l'air, du sol et de la poussière nous amènent à considérer que l'environnement résidentiel à proximité de Thetford Mines est gravement pollué par l'amiante. • Nous considérons que cette pollution provient de l'environnement minier. Dans les quelques maisons où il y avait des matériaux contenant de l'amiante, les résultats n'étaient pas nécessairement plus élevés. • Les haldes environnantes, les résidus d'amiante utilisés dans les cours ou les allées, la poussière dégagée par les camions transportant des résidus nous sont apparus être les principales sources de pollution dans les maisons que nous avons visitées. »

Tableau 5. Principales recommandations des auteurs des études

Échantillonnage des fibres d'amiante à Thetford Mines en lien avec l'utilisation des résidus d'amiante comme matériaux de remblayage		Les fibres d'amiante dans l'air ambiant au Québec : analyse des données disponibles	Échantillonnage exploratoire de l'amiante dans les résidences de Thetford Mines
1re étude	2e étude		
• « Mettre la priorité d'intervention sur les endroits où les résidus d'amiante se trouvent en surface et où les enfants sont le plus exposés (cours d'école, terrains de jeux, parcs récréatifs et garderies. • Faire recouvrir les entrées de résidences (comportant des remblais). • Contrôler l'accès aux aires d'accumulation de résidus d'amiante. »	• « Dans un souci de prudence, il faudrait limiter l'exposition en recouvrant les remblais par un matériel non contaminé. » (*Réf. Note de service du 8.12.2005*)	Pas de recommandations.	• « Arrêt immédiat de l'utilisation des résidus miniers pour du terrassement. • Aide publique aux résidents pour l'enlèvement ou le recouvrement des résidus déjà en place autour de leur maison. • Interdiction immédiate d'accès aux haldes. • Mesure de stabilisation et de recouvrement des haldes pour mettre fin à la pollution environnementale par l'amiante. • Détermination d'un périmètre de sécurité là où il serait raisonnablement impossible d'enrayer la pollution générée par celles-ci et délocalisation avec compensation des résidences hors de ce périmètre de sécurité. • Campagne extensive d'échantillonnage pour déterminer l'étendue de la pollution résidentielle autour des mines et des haldes, réalisée sans conflit d'intérêt potentiel avec l'industrie de l'amiante. • Nettoyage professionnel des résidences, commerces et lieux publics dans ces zones de pollution. • Information du public sur les risques reliés aux résidus miniers et les mesures de prévention adéquates. • Soutien à la région pour sortir de la dépendance face à l'exploitation de l'amiante. »

Tableau 6. Points forts et limites des études, identifiés par l'équipe de l'INSPQ

Titre de l'étude	Échantillonnage des fibres d'amiante à Thetford Mines en lien avec l'utilisation des résidus d'amiante comme matériaux de remblayage		Les fibres d'amiante dans l'air ambiant au Québec : analyse des données disponibles	Échantillonnage exploratoire de l'amiante dans les résidences de Thetford Mines
	1re étude	2e étude		
Points forts	• La méthode analytique utilisée (MET) est adéquate pour des prélèvements en environnement non professionnel. • Les volumes d'air prélevés sont conformes à ce qui est prescrit pour l'analyse par MET pour l'obtention de densités optimales de fibres.	• La méthode analytique utilisée (MET) est adéquate pour des prélèvements en environnement non professionnel. • Les volumes d'air prélevés sont conformes à ce qui est prescrit pour l'analyse par MET pour l'obtention de densités optimales de fibres.	• Les volumes d'air prélevés sont conformes à ce qui est prescrit pour l'analyse par MOCP et MET.	• La méthode analytique utilisée (MET) est adéquate pour des prélèvements en environnement non professionnel.
Limites	• Étant donné la vaste étendue des aires pouvant comporter des remblais d'amiante, la représentativité de trois prélèvements uniques à des endroits choisis au hasard est discutable. • L'étude ne permet pas de répondre adéquatement à l'objectif retenu (voir p. 1, tableau 1) étant donné la non-représentativité des prélèvements.	• Les conditions d'échantillonnage (période, activités minières et scolaires, météo) n'étaient pas semblables à celles de la 1re étude.	• La majorité des prélèvements a été analysée par MOCP; cette méthode n'est pas adéquate en environnement non professionnel où le type de fibres, qui prédomine n'est pas connu. • Les résultats des prélèvements effectués à Tring-Jonction témoignent de la situation qui prévaut en présence de haldes inactives; le portrait pourrait être différent en présence de haldes actives. • On tire des conclusions sur les niveaux de fibres d'amiante dans l'air du Québec en présumant que toutes les fibres comptées (fibres totales) sont des fibres d'amiante; toutefois, il n'y a pas d'étude qui rapporte l'existence d'une corrélation entre ces deux mesures : selon le cas, on peut donc sous-estimer ou surestimer les concentrations de fibres d'amiante dans l'environnement en utilisant cette hypothèse.	• Les volumes d'air prélevés, et indirectement la densité de fibres recueillies sur les filtres, sont inférieurs à ce qui est prescrit dans la méthode NIOSH 7402 pour l'analyse par MET. • Les prélèvements sont limités à quelques résidences, toutes situées dans un rayon de 1 à 2 kilomètres par rapport aux haldes, ce qui ne permet pas de généraliser les résultats à l'ensemble de la ville ou de la région de Thetford Mines. • L'utilisation d'un ventilateur pour simuler les mouvements d'air causés par les occupants et remettre en circulation l'amiante qui a pu se déposer n'est pas une méthode standard reconnue au Québec. • Les recommandations émises par les auteurs de l'étude dépassent la portée des résultats obtenus.

Tableau 7. Commentaires généraux sur les études, émis par l'équipe de l'INSPQ

<table>
<tr><th colspan="2">Échantillonnage des fibres d'amiante à Thetford Mines en lien avec l'utilisation des résidus d'amiante comme matériaux de remblayage</th><th rowspan="2">Les fibres d'amiante dans l'air ambiant au Québec : analyse des données disponibles</th><th rowspan="2">Échantillonnage exploratoire de l'amiante dans les résidences de Thetford Mines</th></tr>
<tr><th>1re étude</th><th>2e étude</th></tr>
<tr><td>• Les auteurs de l'étude avance l'hypothèse, qu'en période de ralentissement des activités minières, les activités sur les haldes sont également réduites et que, par conséquent, les émissions dues aux haldes sont minimales. Toutefois, on ne connaît pas vraiment l'ampleur des émissions issues des haldes par érosion naturelle sous l'effet des vents ou dues à des activités humaines (utilisation de véhicules tout-terrains).
• On estime que les activités des élèves dans les cours d'écoles comportant des remblais peuvent remettre en suspension des fibres dans l'air. Or, cette étude a été effectuée en l'absence d'activités scolaires. Elle ne permet donc pas de mesurer le risque potentiel associé aux terrains contenant des remblais d'amiante comme il est mentionné dans l'objectif (voir p. 1, tableau 1)
• En raison de ces limites, nous considérons que cette étude constitue le scénario le moins mauvais (least case scenario).</td><td>• Cette étude, effectuée en période scolaire normale, est possiblement plus représentative de l'exposition réelle.
• Toutefois, les conditions pluvieuses prévalant lors des prélèvements de cette étude ont probablement influencé les niveaux d'exposition à la baisse, ce qui rend plus difficile la comparaison avec l'étude de 2000.
• On note l'absence totale de fibres de chrysotile dans les prélèvements de cette étude alors qu'on en dénombrait entre 10 et 20 dans l'étude de 2000; cette différence n'a pas été élucidée, mais il faut probablement y voir l'effet des conditions pluvieuses.</td><td rowspan="2">• L'étude a été effectuée lorsque les activités minières étaient au ralenti; il est fort possible que les niveaux d'exposition soient sous-estimés.
• Le nombre de prélèvements analysés par MET est insuffisant pour tracer un portrait exhaustif de l'exposition environnementale.
• En l'absence de corrélation entre les résultats des prélèvements analysés par MOCP et ceux analysés par MET, l'hypothèse que toutes les fibres comptées par MOCP sont des fibres d'amiante ne peut pas être utilisée pour tirer des conclusions sur l'exposition réelle à l'amiante dans l'environnement extérieur.
• La présence de fibres d'amosite dans les prélèvements demeure inexplicable.</td><td rowspan="2">• On ne sait pas si les résidences ont été choisies aléatoirement afin d'assurer une représentativité statistiquement significative.
• Les résultats de cette étude doivent être interprétés avec prudence parce que les volumes d'air prélevés, et conséquemment, les densités de fibres recueillies sur les filtres, ne respectent pas les exigences des méthodes de prélèvement et d'analyse utilisées.
• La comparaison de la limite inférieure de l'intervalle de confiance à 95 % des résultats aux critères retenus n'est pas une méthode rigoureusement satisfaisante; elle a été utilisée par les auteurs pour pallier le problème des petits volumes d'air prélevés.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Les données issues de ces études ne sont pas considérées dans le processus d'évaluation du risque à cause :
1. de la faible représentativité des prélèvements en raison de leur petit nombre (3);
2. des hypothèses soutenant le protocole d'échantillonnage.</td></tr>
</table>

ÉLÉMENTS DE CLARIFICATION

Les informations présentées dans cette section ont été obtenues à la suite d'une rencontre avec les professionnels du MDDEP en mars 2008. Elles concernent les trois études menées par ce ministère, soit :

- Échantillonnage des fibres d'amiante à Thetford Mines en lien avec l'utilisation des résidus d'amiante comme matériaux de remblayage (études de 2000 et de 2005).
- Les fibres d'amiante dans l'air ambiant au Québec : analyse des données disponibles (étude de 2004).

a. Études de 2000 et de 2005

- La hauteur des trains d'échantillonnage variait de 1 à 1,1 mètre en 2000 et de 1,75 à 2 mètres en 2005. Cet écart dans les hauteurs est dû au matériel d'échantillonnage différent utilisé en 2005. Toutefois, cet écart n'affecterait pas les résultats obtenus entre les deux études, puisque l'expérience démontre qu'il n'y a pas de différence dans les niveaux mesurés à ces hauteurs en fonction de la distance par rapport à la source.
- Les conditions météorologiques affectent possiblement les résultats obtenus; il est probable que le temps sec favorise le transport des particules, alors que par temps humide, les particules ont tendance à se déposer, il y a donc moins de remise en suspension de particules dans l'air.
- La présence de fibres de verre dans les échantillons de 2005 ne pouvait pas être expliquée, mais comme il s'agissait de deux campagnes limitées dans le temps, le MDDEP n'a pas eu le temps d'approfondir l'investigation.

b. Étude de 2004

- L'étude sur la qualité de l'air ambiant au Québec était prévue initialement sur 3 ans, mais elle a été effectuée sur 6 mois à cause de contraintes budgétaires; elle représente donc un portrait limité dans le temps de l'exposition environnementale.
- Les sites de prélèvement choisis sont ceux qui sont déjà en place et qui servent habituellement à l'échantillonnage de divers contaminants pour observer les tendances à long terme; ces sites sont situés au-dessus d'édifices à une hauteur moyenne de ± 9 mètres.
- En général, les données issues de ces sites sont comparées aux critères environnementaux en cours et ne sont pas utilisées aux fins de l'évaluation du risque.
- L'appareil utilisé pour les prélèvements extérieurs est adapté pour des températures variant de -20 °C à +45 °C; de plus, la tête d'échantillonnage était couverte d'un abri chauffé (à partir de -5 °C) et ventilé (à partir de 28 °C).
- On entend par *halde inactive,* une halde où il ne s'effectue ni ajout ni retrait de résidu minier; par contre, une halde qui « n'est pas manipulée » est une halde qui n'est pas utilisée par un entrepreneur comme source d'alimentation en matériaux.
- On ne peut statuer sur l'effet potentiel de l'érosion naturelle des haldes inactives sur l'augmentation des concentrations d'amiante dans l'air.
- On estime que les niveaux d'amiante trouvés à Thetford Mines incluent la contribution des haldes puisqu'il est difficile de discriminer entre les niveaux d'amiante provenant de la mine et ceux émanant des haldes.
- Selon le MDDEP, l'activité minière (mines Black Lake et Bell) pendant la période couverte par l'étude (février à août 2004) était au ralenti; plus précisément, la mine Bell était au ralenti de février à avril 2004 et la mine Black Lake, à partir de mai 2004. Les relevés pris par le MDDEP lorsque les deux mines étaient en arrêt indiquent des concentrations moyennes d'amiante très basses.
- Le critère de l'Ontario pour l'amiante dans l'environnement (0,04 f/ml) est dérivé des normes en milieu de travail, il serait donc établi sur la base d'une analyse par microscopie optique à contraste de phase (MOCP).
- Ce critère est prudent pour les effets sur la santé à long terme, car il ne permet pas d'excursion autour de la moyenne; il s'agit d'une valeur plafond à ne pas dépasser.
- La présence de fibres d'amosite trouvées dans les prélèvements effectués à Thetford Mines ne peut être élucidée.

ANNEXE 2

ESTIMATION DES RISQUES UNITAIRES VIE DURANT SELON L'INSERM

Cancer du poumon

L'excès vie durant de mortalité par cancer du poumon à un âge t ($E_p(t)$), attribuable à une exposition continue durant toute la vie à de l'amiante, est obtenu en soustrayant la mortalité attendue par cancer du poumon dans la population non exposée à de l'amiante ($I_{PnE}(t)$) de la mortalité par cancer du poumon dans la population exposée ($I_{PE}(t)$) au même âge t, où t correspond à la durée de la vie.

$$E_p(t) = I_{PE}(t) - I_{PnE}(t) \qquad \textbf{Équation 1a}$$

La valeur $I_{PE}(t)$ est calculée à partir de l'équation 2 du rapport. Quant à la valeur $I_{PnE}(t)$, elle est obtenue en divisant la somme du nombre de cas de cancers du poumon attendu à chaque tranche d'âge t_i ($\sum N_{PnE}(t_i)$) par un effectif donné P_0 de la population à la naissance (100 000 personnes par exemple) (Inserm, 1997). Dans le cas de l'Inserm, chaque tranche d'âge a une durée de 5 ans.

On obtient la valeur $N_{PnE}(t_i)$ en multipliant le taux de mortalité par cancer du poumon (nombre de cas/personne*année) de chaque tranche d'âge t_i par l'effectif P_i de la population « à risque de décéder » à cette tranche d'âge. L'effectif P_i est lui-même fonction du taux de mortalité toutes causes confondues de la tranche d'âge t_i et de l'effectif de la population « à risque de décéder » à l'âge t_i-1 (Inserm, 1997). Outre l'âge, les taux de mortalité varient en fonction de plusieurs facteurs dont l'année au cours de laquelle ils ont été établis, le sexe, les habitudes de tabagisme et le lieu géographique où se trouve la population de référence.

Enfin, il est à noter que le National Research Council (1984) a plutôt calculé l'excès vie durant de mortalité par cancer du poumon ($E_p(t)$) d'après l'équation 2a :

$$E_P(t) = I_{PnE}(t) * (K_P * f * d) \qquad \textbf{Équation 2a}$$

Mésothéliome

L'excès vie durant de mortalité par mésothéliome à un âge t ($E_M(t)$), attribuable à une exposition continue durant toute la vie à de l'amiante, est obtenu en divisant la somme du nombre de cas de mésothéliomes à chaque tranche d'âge t_i ($N_m(t_i)$) par un effectif donné

P_0 de la population à la naissance (100 000 personnes par exemple) (équation 3a) (Inserm, 1997).

$$E_M(t) = \frac{\sum_{1}^{n=i} N_m(t_i)}{P_0}$$ **Équation 3a**

La valeur $N_m(t_i)$ d'une tranche d'âge donnée est obtenue en multipliant le taux de mortalité par mésothéliome $I_M(t_i)$, estimé à partir de l'équation 3 du rapport, par l'effectif P_i de la population « à risque de décéder ». Toutefois, selon Nicholson (1986), lorsque le temps écoulé depuis le début de l'exposition (T) est inférieur à 10 + d, où d équivaut à la durée d'exposition, l'équation 3 du rapport peut alors s'exprimer de la façon suivante (équation 4a) :

$$I_M(t_i) = K_m * f * \left[(T-10)^3\right]$$ **Équation 4a**

Étant donné que, dans le cas d'une exposition se déroulant sur toute la vie, T est toujours inférieur à 10 + d, les valeurs $I_M(t_i)$ peuvent être calculées à partir de l'équation 4a.

N° de publication : 1225



EXPERTISE
CONSEIL



INFORMATION



FORMATION

www.**inspq**.qc.ca



RECHERCHE
ÉVALUATION
ET INNOVATION



COLLABORATION
INTERNATIONALE



LABORATOIRES
ET DÉPISTAGE

Institut national de santé publique Québec

ANNEXE 6

Simulations visuelles révisées sur la base des plans concepts
du projet Dumont en phase de faisabilité.

RNC
PROJET DUMONT

Analyse visuelle
Simulations Visuelles

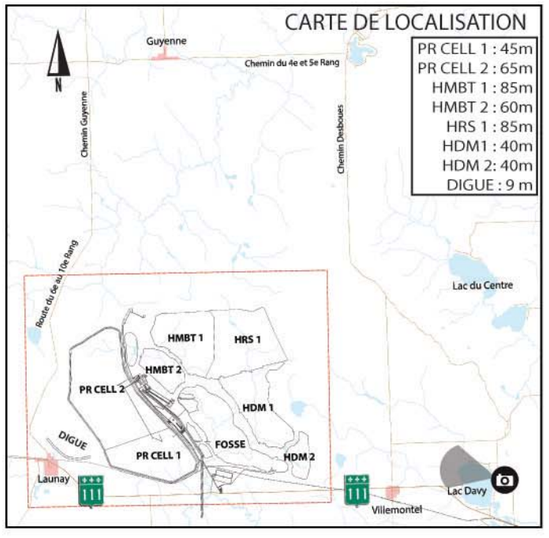
POINT DE VUE - 1 - PHOTO 09
LAC DAVY

DONNÉES TECHNIQUES

Photographie - point de vue

Emplacement:	N 48° 38.000'	O 078° 18.620'
Date de prise de photo:		27 ocotobre 2011
Direction:		303°
Élevation de prise de photo au sol:		312m
Nombre d'infrastructure minière visible sur la simulation:		0
Année de la simulation:		20





Cette photo-simulation a été réalisée à partir du concept préliminaire de l'étude de faisabilité de Royal Nickel Corp. en date du 14 juin 2013 (2280-0000-G-101 Rev E Final 13.06.14.dwg).

RNC
PROJET DUMONT

Analyse visuelle
Simulations Visuelles

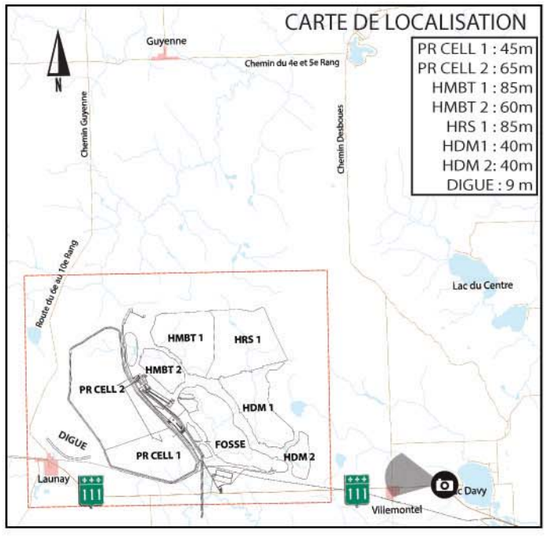
POINT DE VUE - 2 - PHOTO 13
ROUTE 111

DONNÉES TECHNIQUES

Photographie - point de vue

Emplacement:	N 48° 37.884'	O 078° 20.152'
Date de prise de photo:		27 octobre 2011
Direction:		310°
Élevation de prise de photo au sol:		308m
Nombre d'infrastructure minière visible sur la simulation:		0
Année de la simulation:		20







Cette photo-simulation a été réalisée à partir du concept préliminaire de l'étude de faisabilité de Royal Nickel Corp. en date du 14 juin 2013 (2280-0000-G-101 Rev E Final 13.06.14.dwg).



RNC PROJET DUMONT

Analyse visuelle
Simulations Visuelles

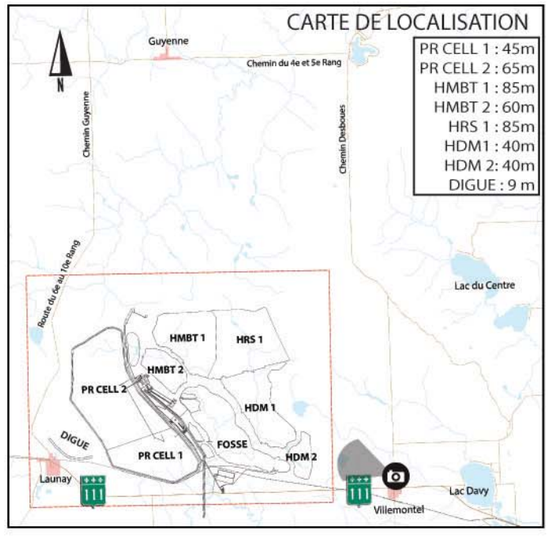
POINT DE VUE - 3 - PHOTO 25
VILLEMONTEL

DONNÉES TECHNIQUES

Photographie - point de vue

Emplacement:	N 48° 37.905'	O 078° 21.709'
Date de prise de photo:		27 ocotobre 2011
Direction:		315°
Élevation de prise de photo au sol:		317m
Nombre d'infrastructure minière visible sur la simulation:		0
Année de la simulation:		20





Cette photo-simulation a été réalisée à partir du concept préliminaire de l'étude de faisabilité de Royal Nickel Corp. en date du 14 juin 2013 (2280-0000-G-101 Rev E Final 13.06.14.dwg).



RNC PROJET DUMONT

Analyse visuelle
Simulations Visuelles

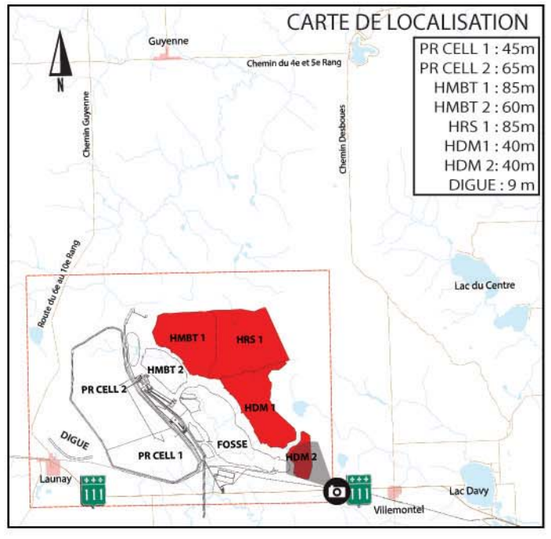
POINT DE VUE - 4 - PHOTO 26
ROUTE 111

DONNÉES TECHNIQUES

Photographie - point de vue

Emplacement:	N 48° 37.913'	O 078° 22.401'
Date de prise de photo:		27 ocotobre 2011
Direction:		306°
Élevation de prise de photo au sol:		320m
Nombre d'infrastructure minière visible sur la simulation:		4
Année de la simulation:		20





Cette photo-simulation a été réalisée à partir du concept préliminaire de l'étude de faisabilité de Royal Nickel Corp. en date du 14 juin 2013 (2280-0000-G-101 Rev E Final 13.06.14.dwg).



RNC PROJET DUMONT

Analyse visuelle
Simulations Visuelles

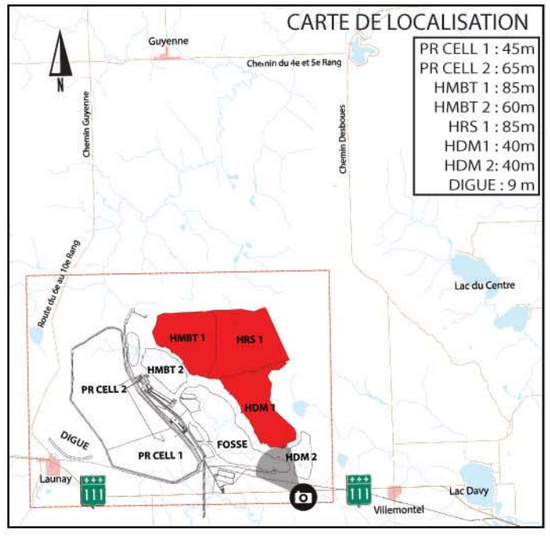
POINT DE VUE - 5 - PHOTO 38
ROUTE 111

DONNÉES TECHNIQUES

Photographie - point de vue

Emplacement:	N 48° 37.900'	O 078° 25.109'
Date de prise de photo:		27 Octobre 2011
Direction:		334°
Élevation de prise de photo au sol:		313m
Nombre d'infrastructure minière visible sur la simulation:		3
Année de la simulation:		20





Cette photo-simulation a été réalisée à partir du concept préliminaire de l'étude de faisabilité de Royal Nickel Corp. en date du 14 juin 2013 (2280-0000-G-101 Rev E Final 13.06.14.dwg).



RNC PROJET DUMONT

Analyse visuelle
Simulations Visuelles

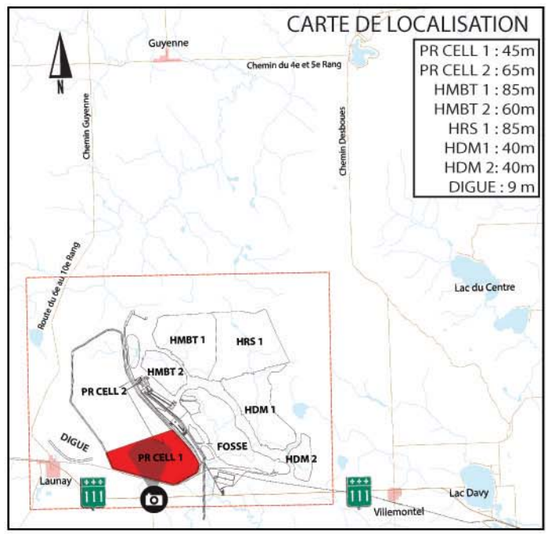
POINT DE VUE - 6 - PHOTO 1825
ROUTE 111

DONNÉES TECHNIQUES

Photographie - point de vue

Emplacement:	N 48° 37.912'	O 078° 28.930'
Date de prise de photo:		26 octobre 2011
Direction:		276°
Élevation de prise de photo au sol:		315m
Nombre d'infrastructure minière visible sur la simulation:		1
Année de la simulation:		20





Cette photo-simulation a été réalisée à partir du concept préliminaire de l'étude de faisabilité de Royal Nickel Corp. en date du 14 juin 2013 (2280-0000-G-101 Rev E Final 13.06.14.dwg).



RNC PROJET DUMONT

Analyse visuelle
Simulations Visuelles

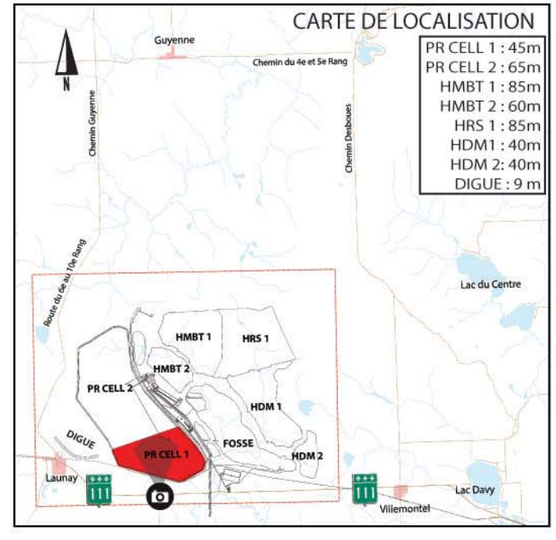
POINT DE VUE - 6 - PHOTO 1825
ROUTE 111
Avec mesure d'atténuation

DONNÉES TECHNIQUES

Photographie - point de vue

Emplacement:	N 48° 37.912'	O 078° 28.930'
Date de prise de photo:		26 octobre 2011
Direction:		276°
Élevation de prise de photo au sol:		315m
Nombre d'infrastructure minière visible sur la simulation:		1
Année de la simulation:		20





Cette photo-simulation a été réalisée à partir du concept préliminaire de l'étude de faisabilité de Royal Nickel Corp. en date du 14 juin 2013 (2280-0000-G-101 Rev E Final 13.06.14.dwg).



RNC PROJET DUMONT

Analyse visuelle
Simulations Visuelles

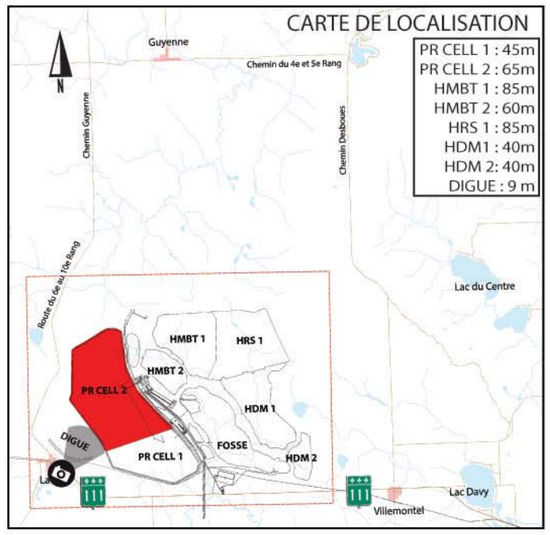
POINT DE VUE - 7 - PHOTO 103
LAUNAY

DONNÉES TECHNIQUES

Photographie - point de vue

Emplacement:	N 48° 38.694'	O 078° 32.199'
Date de prise de photo:		27 octobre 2011
Direction:		82°
Élevation de prise de photo au sol:		329m
Nombre d'infrastructure minière visible sur la simulation:		1
Année de la simulation:		20





Cette photo-simulation a été réalisée à partir du concept préliminaire de l'étude de faisabilité de Royal Nickel Corp. en date du 14 juin 2013 (2280-0000-G-101 Rev E Final 13.06.14.dwg).



RNC
PROJET DUMONT

Analyse visuelle
Simulations Visuelles

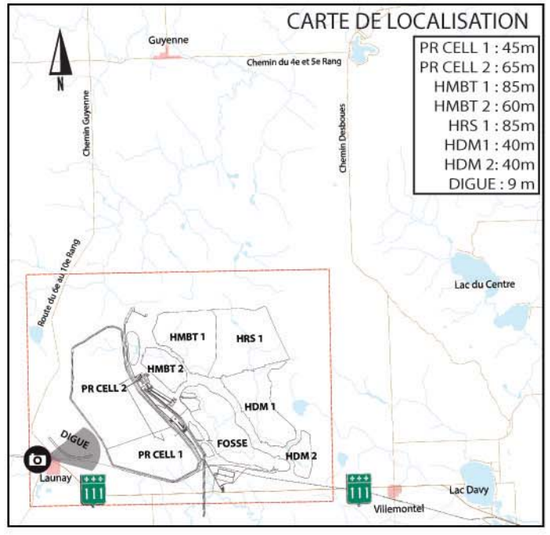
POINT DE VUE - 8 - PHOTO 117
LAUNAY

DONNÉES TECHNIQUES

Photographie - point de vue

Emplacement:	N 48° 38.694'	O 078° 32.199'
Date de prise de photo:		27 octobre 2011
Direction:		82°
Élevation de prise de photo au sol:		329m
Nombre d'infrastructure minière visible sur la simulation:		0
Année de la simulation:		20





Cette photo-simulation a été réalisée à partir du concept préliminaire de l'étude de faisabilité de Royal Nickel Corp. en date du 14 juin 2013 (2280-0000-G-101 Rev E Final 13.06.14.dwg).



RNC PROJET DUMONT

Analyse visuelle
Simulations Visuelles

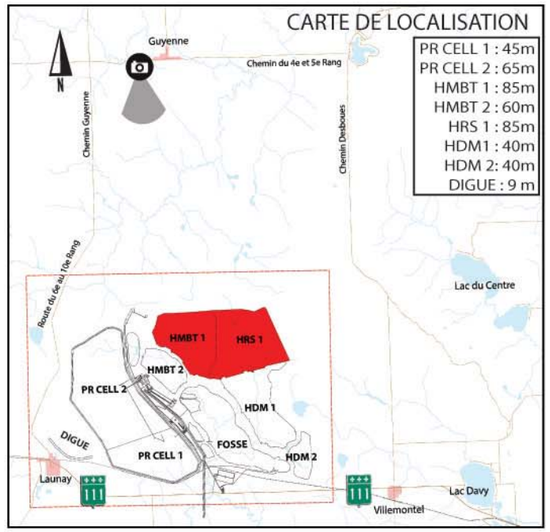
POINT DE VUE - 9 - PHOTO 1896
GUYENNE

DONNÉES TECHNIQUES

Photographie - point de vue

Emplacement:	N 48° 46.692'	O 078° 29.231'
Date de prise de photo:		26 octobre 2011
Direction:		237°
Élevation de prise de photo au sol:		306m
Nombre d'infrastructure minière visible sur la simulation:		2
Année de la simulation:		20





Cette photo-simulation a été réalisée à partir du concept préliminaire de l'étude de faisabilité de Royal Nickel Corp. en date du 14 juin 2013 (2280-0000-G-101 Rev E Final 13.06.14.dwg).

RNC
PROJET DUMONT

Analyse visuelle
Simulations Visuelles

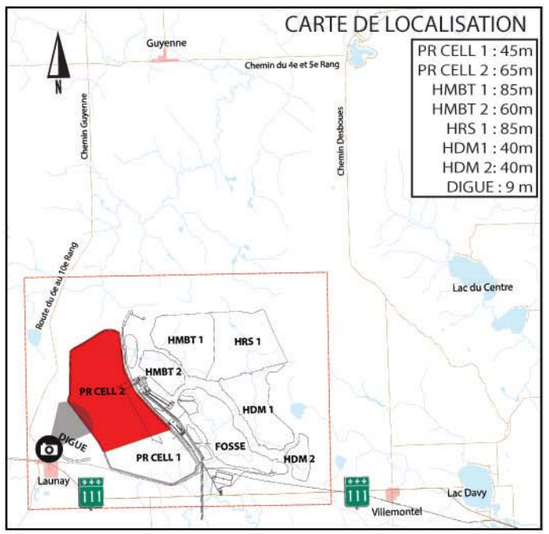
POINT DE VUE - 10 - PHOTO 123
SALLE MUNICIPALE DE LAUNAY

DONNÉES TECHNIQUES

Photographie - point de vue

Emplacement:	N 48° 38.528'	O 078° 31.876'
Date de prise de photo:		12 Juin 2012
Direction:		45°
Élevation de prise de photo au sol:		326m
Nombre d'infrastructure minière visible sur la simulation:		1
Année de la simulation:		20







Cette photo-simulation a été réalisée à partir du concept préliminaire de l'étude de faisabilité de Royal Nickel Corp. en date du 14 juin 2013 (2280-0000-G-101 Rev E Final 13.06.14.dwg).



RNC PROJET DUMONT

Analyse visuelle
Simulations Visuelles

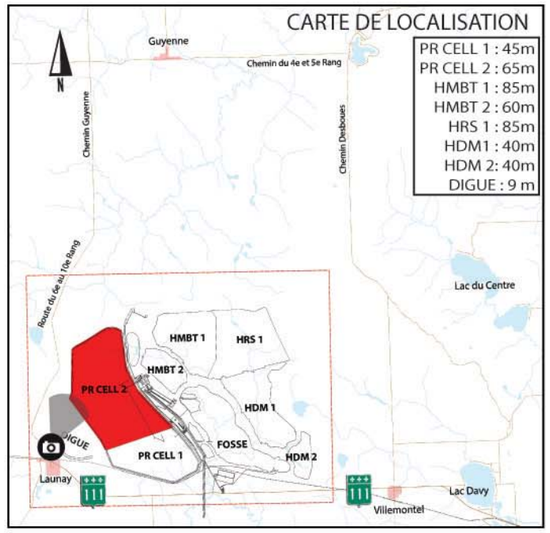
POINT DE VUE - 11 - PHOTO 126
LES COURS ARRIÈRES DES MAISONS AU NORD DE LA ROUTE 111 - LAUNAY

DONNÉES TECHNIQUES

Photographie - point de vue

Emplacement:	N 48° 38.711'	O 078° 31.991'
Date de prise de photo:		12 Juin 2012
Direction:		20°
Élevation de prise de photo au sol:		325m
Nombre d'infrastructure minière visible sur la simulation:		1
Année de la simulation:		20





Cette photo-simulation a été réalisée à partir du concept préliminaire de l'étude de faisabilité de Royal Nickel Corp. en date du 14 juin 2013 (2280-0000-G-101 Rev E Final 13.06.14.dwg).



RNC PROJET DUMONT

Analyse visuelle
Simulations Visuelles

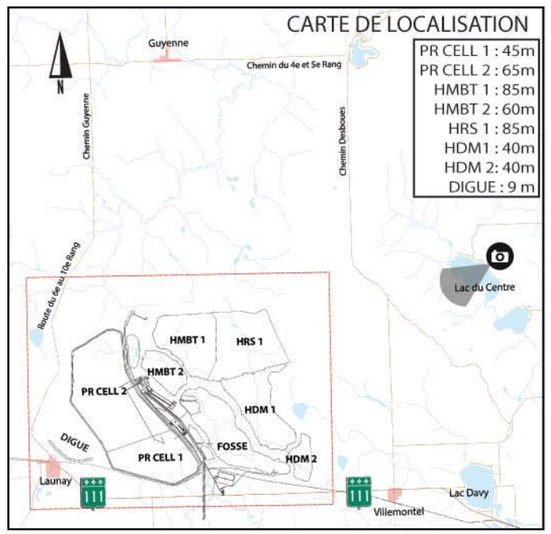
POINT DE VUE - 12 - IMAGE DE SYNTHESE DEPUIS LE LAC DU CENTRE

DONNÉES TECHNIQUES

Image de synthèse 3D - point de vue

Emplacement:	N 48° 42.255'	O 078° 18.570'
Date de prise de photo:		
Direction:		240°
Élevation de l'image de synthèse 3D:		315m
Nombre d'infrastructure minière visible sur la simulation:		0
Année de la simulation:		20





Point de vue recréé en image de synthèse d'après un modèle 3D du territoire, et le concept préliminaire des infrastructures minières de Royal Nickel Corp. en date du 14 juin 2013 (2280-0000-G-101 Rev E Final 13.06.14.dwg).



RNC PROJET DUMONT

Analyse visuelle
Simulations Visuelles

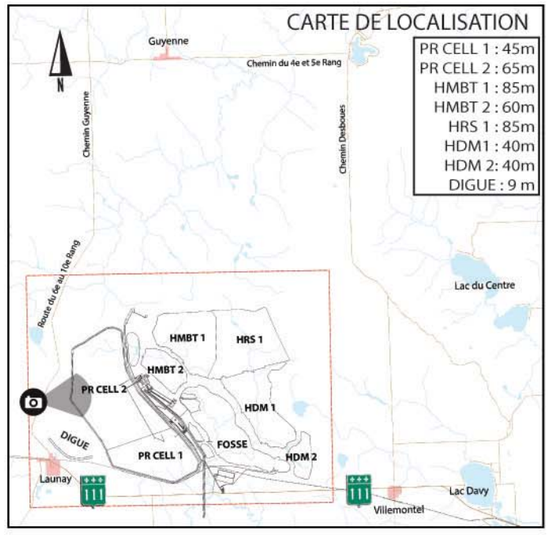
POINT DE VUE - 13 -
Cône de visibilité théorique 01
ROUTE 6ième au 10ième RANG

DONNÉES TECHNIQUES

Image de synthèse 3D - point de vue

Emplacement:	N 48° 42.255'	O 078° 39.824'
Date de prise de photo:		
Direction:		80°
Élevation de l'image de synthèse 3D:		345m
Nombre d'infrastructure minière visible sur la simulation:		0
Année de la simulation:		20





Point de vue recréé en image de synthèse d'après un modèle 3D du territoire, et le concept préliminaire des infrastructures minières de Royal Nickel Corp. en date du 14 juin 2013 (2280-0000-G-101 Rev E Final 13.06.14.dwg).



RNC PROJET DUMONT

Analyse visuelle
Simulations Visuelles

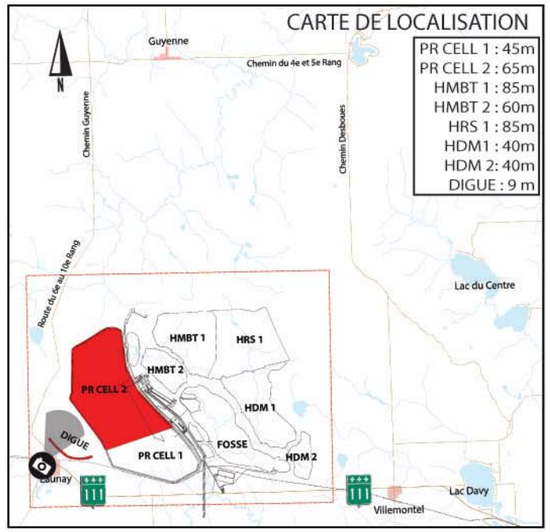
POINT DE VUE - 14 -
Cône de visibilité théorique 02
LAUNAY

DONNÉES TECHNIQUES

Image de synthèse 3D - point de vue

Emplacement:	N 48° 38.818'	O 078° 32.154'
Date de prise de photo:		
Direction:		55°
Élevation de l'image de synthèse 3D:		328 m
Nombre d'infrastructure minière visible sur la simulation:		2
Année de la simulation:		20





Point de vue recréé en image de synthèse d'après un modèle 3D du territoire, et le concept préliminaire des infrastructures minières de Royal Nickel Corp. en date du 14 juin 2013 (2280-0000-G-101 Rev E Final 13.06.14.dwg).



RNC PROJET DUMONT

Analyse visuelle
Simulations Visuelles

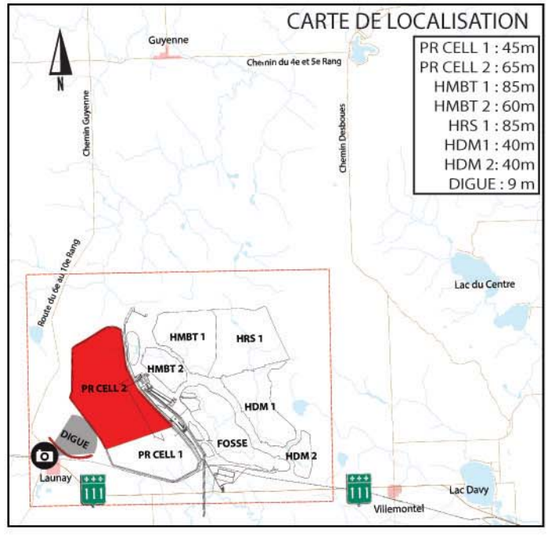
POINT DE VUE - 15 -
Cône de visibilité théorique 03
LAUNAY À L'ÉTAGE D'UNE MAISON

DONNÉES TECHNIQUES

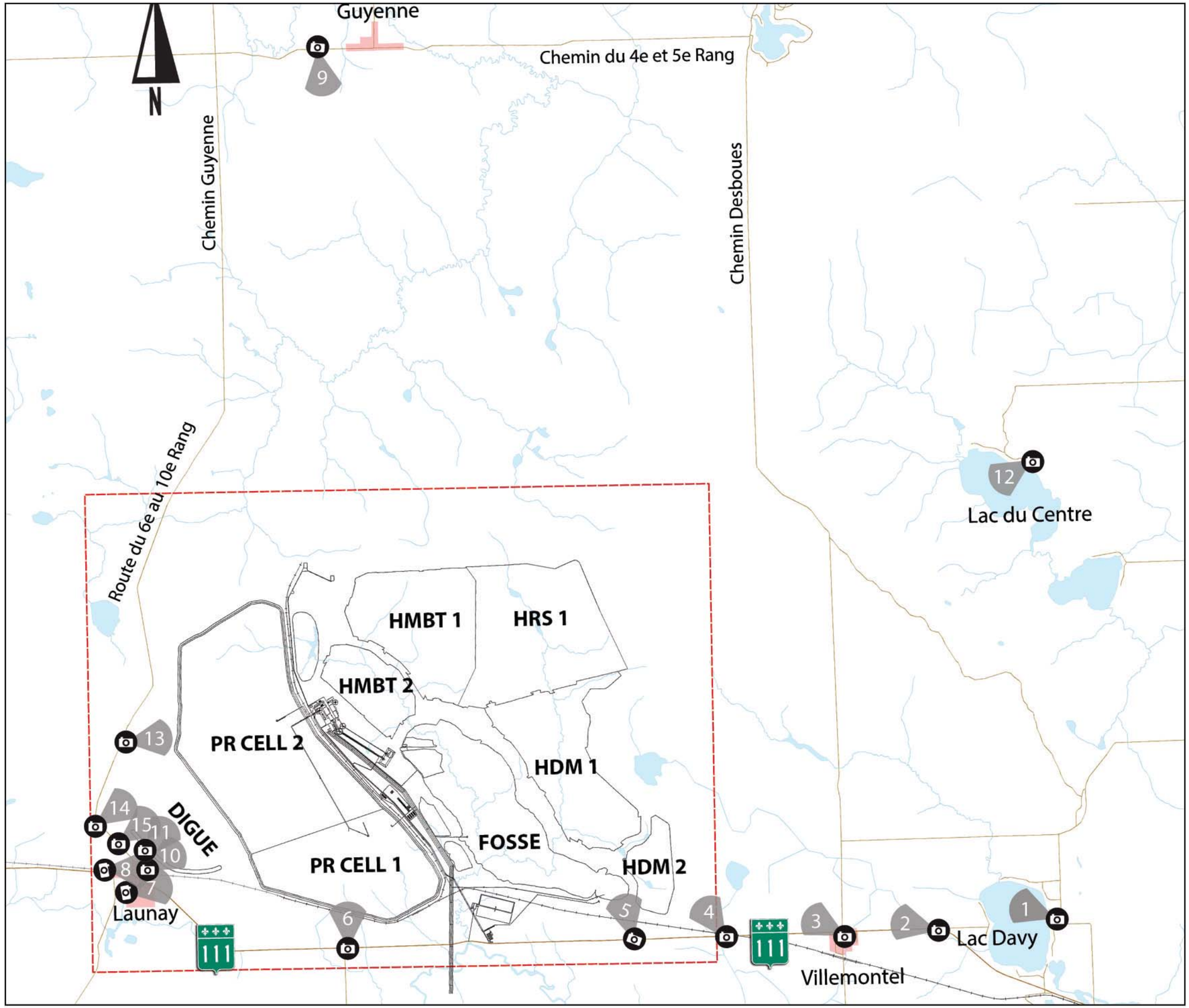
Image de synthèse 3D - point de vue

Emplacement:	N 48° 38.747'	O 078° 31.969'
Date de prise de photo:		
Direction:		40°
Élevation de l'image de synthèse 3D:		330m
Nombre d'infrastructure minière visible sur la simulation:		2
Année de la simulation:		20





Point de vue recréé en image de synthèse d'après un modèle 3D du territoire, et le concept préliminaire des infrastructures minières de Royal Nickel Corp. en date du 14 juin 2013 (2280-0000-G-101 Rev E Final 13.06.14.dwg).



RNC PROJET DUMONT

Analyse visuelle
Simulations Visuelles

POSITIONS DES CAMÉRAS

POINT DE VUE - 1 -	
PHOTO 09	LAC DAVY
POINT DE VUE - 2 -	
PHOTO 13	ROUTE 111
POINT DE VUE - 3 -	
PHOTO 25	VILLEMONTEL
POINT DE VUE - 4 -	
PHOTO 26	ROUTE 111
POINT DE VUE - 5 -	
PHOTO 38	ROUTE 111
POINT DE VUE - 6 -	
PHOTO 1825	ROUTE 111
POINT DE VUE - 7 -	
PHOTO 103	LAUNAY
POINT DE VUE - 8 -	
PHOTO 117	LAUNAY
POINT DE VUE - 9 -	
PHOTO 1896	GUYENNE
POINT DE VUE -10-	
PHOTO 123	SALLE MUNICIPALE DE LAUNAY
POINT DE VUE -11-	
PHOTO 126	LES COURS ARRIÈRES DES MAISONS AU NORD DE LA ROUTE 1 11
POINT DE VUE -12-	
IMAGE SYNTHÈSE	DEPUIS LE LAC DU CENTRE
POINT DE VUE -13-	
CÔNE DE VISIBILITÉ THÉORIQUE 01	ROUTE 6ieme AU 10ieme RANG
POINT DE VUE -14-	
CÔNE DE VISIBILITÉ THÉORIQUE 02	LAUNAY
POINT DE VUE -15-	
CÔNE DE VISIBILITÉ THÉORIQUE 03	LAUNAY A L'ÉTAGE D'UNE MAISON

HAUTEURS
PR CELL 1 : 45 m
PR CELL 2 : 65 m
HMBT 1 : 85 m
HMBT 2 : 60 m
HRS 1 : 85 m
HDM 1 : 40 m
HDM 2 : 40 m
DIGUE : 9 m

ANNEXE 7

Études sur le processus de carbonatation de la roche serpentinifère du gisement Dumont

RAPPORT D'OBSERVATION 7

PU-2013-05-803

OBSERVATIONS ET MICRO-ANALYSES AU MICROSCOPE ÉLECTRONIQUE À BALAYAGE DE GRAINS DE SERPENTINE EN VUE D'ÉVALUER LEUR CARBONATATION

Présenté à :

Mme Michelle Sciortino
M. Robert Cloutier
Royal Nickel Corp.
220 Bay Street, Suite 1200
Toronto (Ontario) M5J 2W4

Par :

Mélinda Gervais
Hassan Bouzahzah

URSTM

Unité de recherche et de service en technologie minérale
445, boul. de l'Université, Rouyn-Noranda (Québec) J9X 5E4
Téléphone : 819-762-0971, poste 2558 Télécopieur : 819-797-6672

Août 2013

Préparation des échantillons

Deux types d'échantillons ont été observés :

- Un échantillon grossier (Cellule de Launay cimentation)
- Trois échantillons de *tailings* (P1, P2 et P4).

Quelques grains de l'échantillon grossier ont simplement été déposés sur le support du MEB et sont collés à l'aide d'une pastille au carbone (à double surface collante). Les échantillons de *tailings* ont été finement déposés sur une pastille au carbone.

Les échantillons sont rendus conducteurs en appliquant une peinture d'argent sur tout leur contour. Cette peinture crée un contact avec le support métallique du MEB. Ensuite, chaque échantillon est métallisé sous vide par une vaporisation du carbone sur toute la surface des grains à l'aide d'un métalliseur (Emitech K450X).

Observations et analyses microscopiques

Toutes les observations microscopiques ont été réalisées avec un microscope électronique à balayage (MEB) de marque Hitachi S-3500N. Les conditions de travail sont les suivantes :

- Observations en mode électrons secondaires sous vide (<1Pa);
- Accélération : 20 KeV et courant 120 µA;
- Distance de travail d'environ 15 mm.

Les analyses chimiques ponctuelles sur les grains ont été effectuées par un spectromètre à dispersion d'énergie (EDX) de type SDD (X-Max 20 mm^2 d'Oxford) piloté par le logiciel INCA (Energy 450).

Remarque

Toutes les cartographies des rayons X et les points d'analyse réalisés se trouvent dans les fichiers INCA séparés et correspondant à chaque échantillon.

Cellule de Launay cimentation

Observation à la loupe binoculaire

Aspect d'un des grains de l'échantillon grossier (cellule de Launay)



Observations au microscope électronique

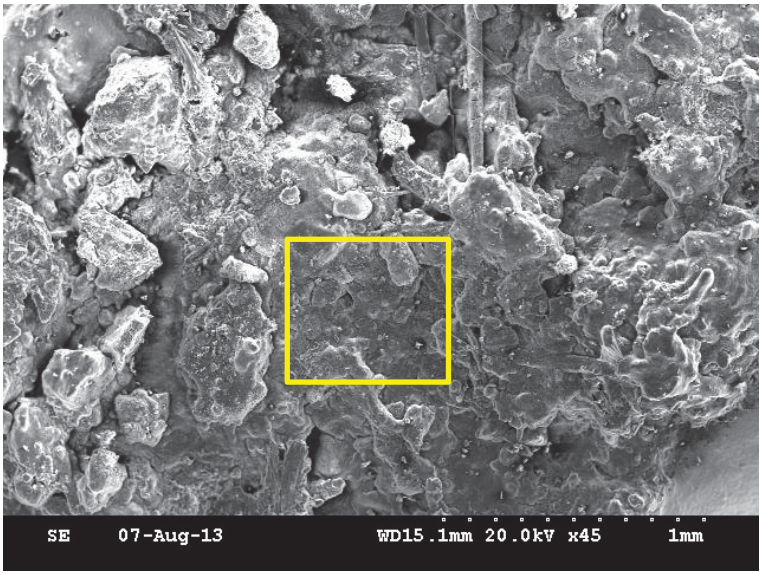


Photo 1 : Vue globale d'un des grains observés

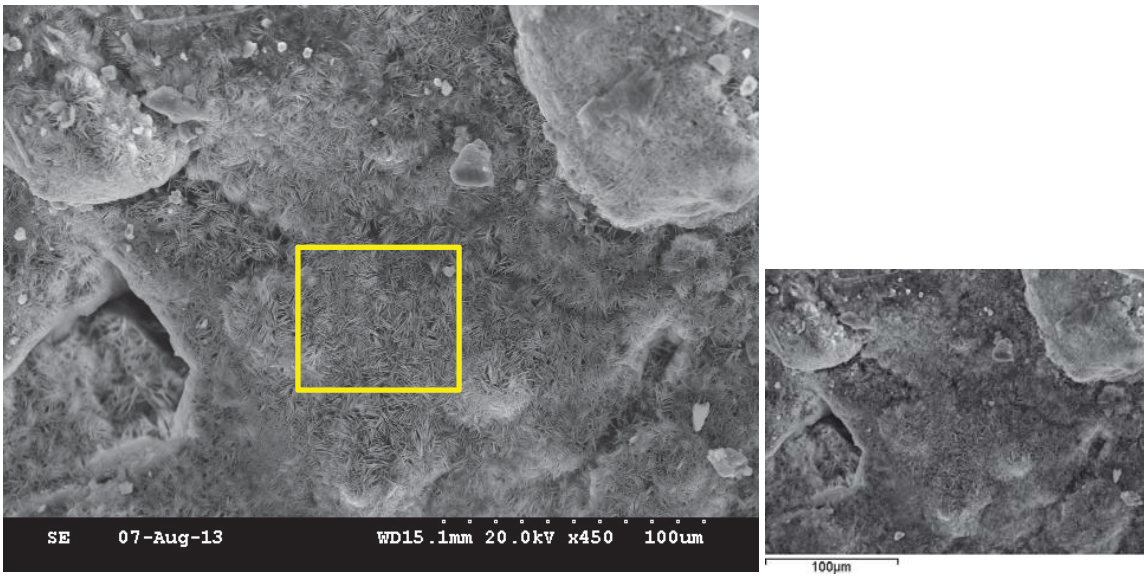


Photo 2 : Détail de la photo 1 (carré jaune). Dépôt carbonaté sur les grains de la photo 1

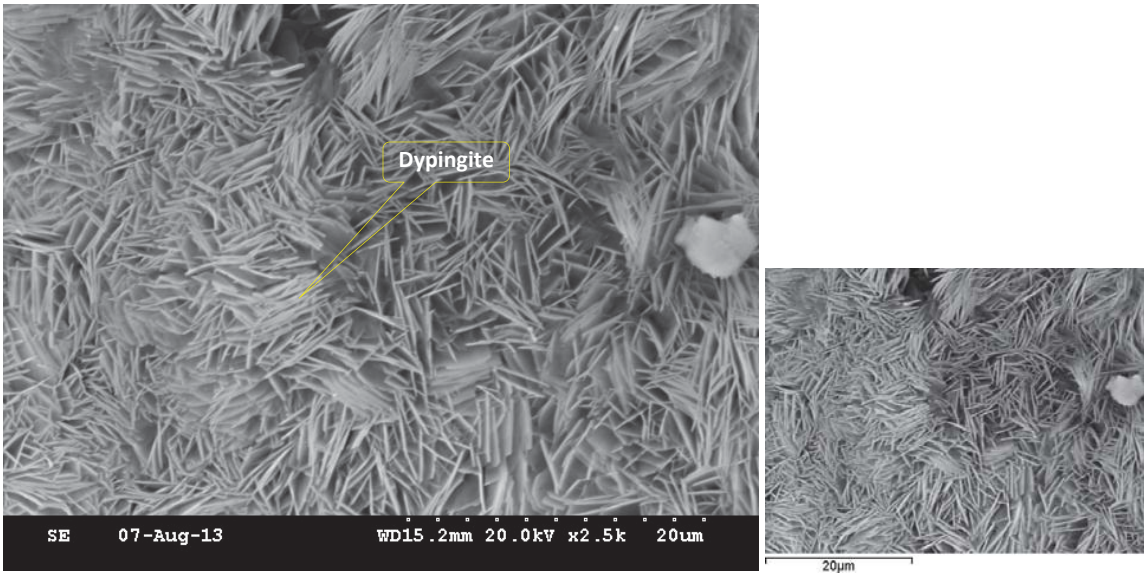


Photo 3 : Détail de la photo 2 (carré jaune) montrant la formation de cristaux de carbonates dont la structure correspond à celle de la dypingite sur un grain de serpentine

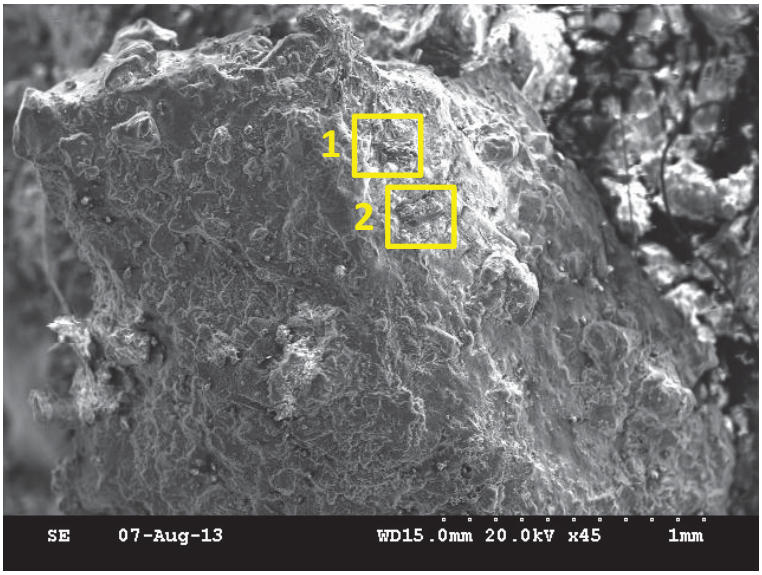


Photo 4 : Vue globale d'un second grain de l'échantillon de la cellule de Launay

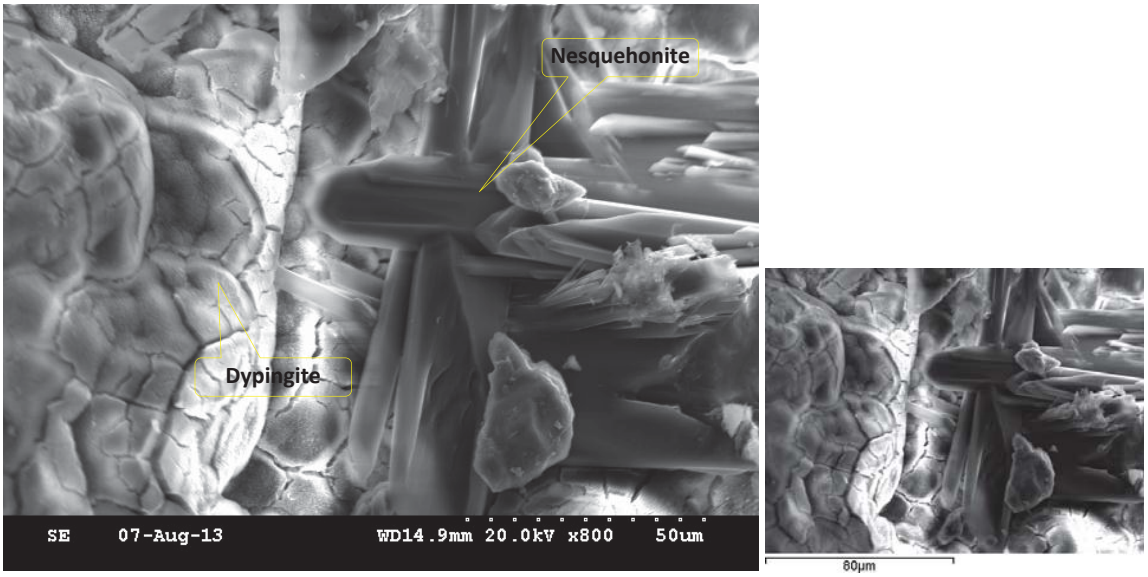


Photo 5 : Détail de la photo 4 (carré jaune 1) montrant la cristallisation de la nesquehonite et de la dypingite sur le grain de serpentine

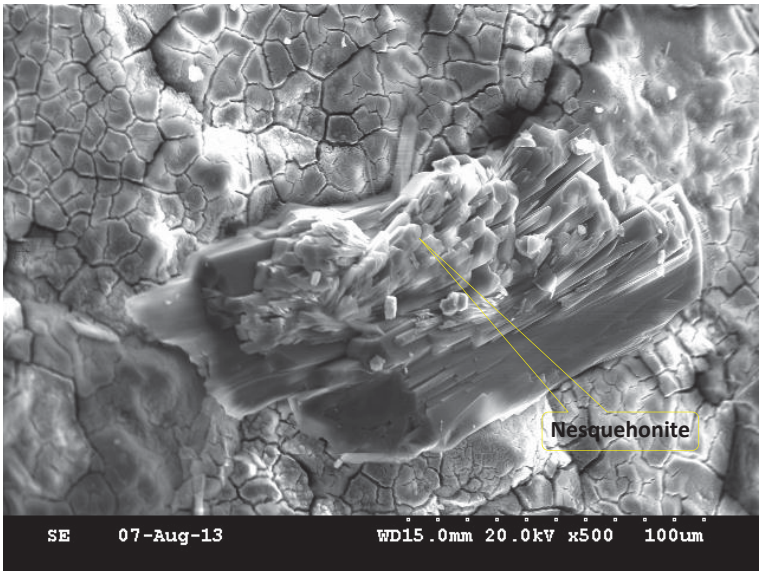


Photo 6 : Détail de la photo 4 (carré jaune 2) montrant un cristal de nesquehonite sur un dépôt de dypingite

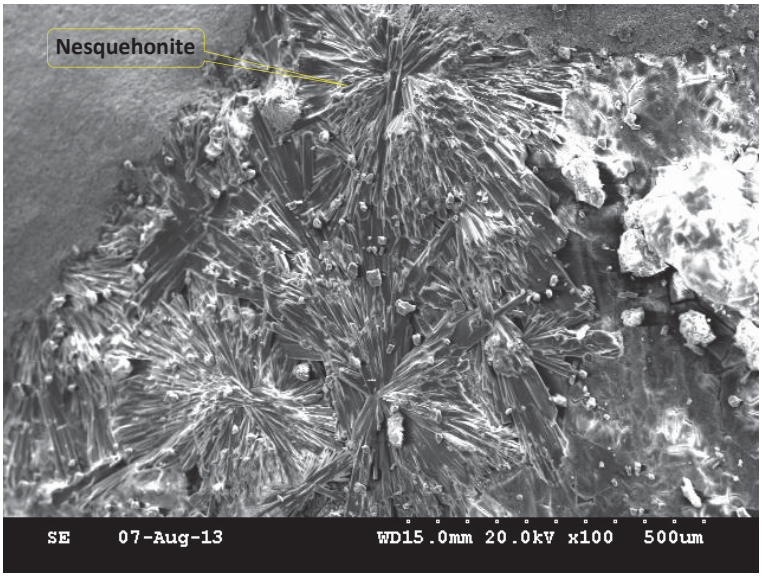


Photo 7 : Photographie montrant plusieurs cristaux de nesquehonite cristallisant sur un grain de serpentine

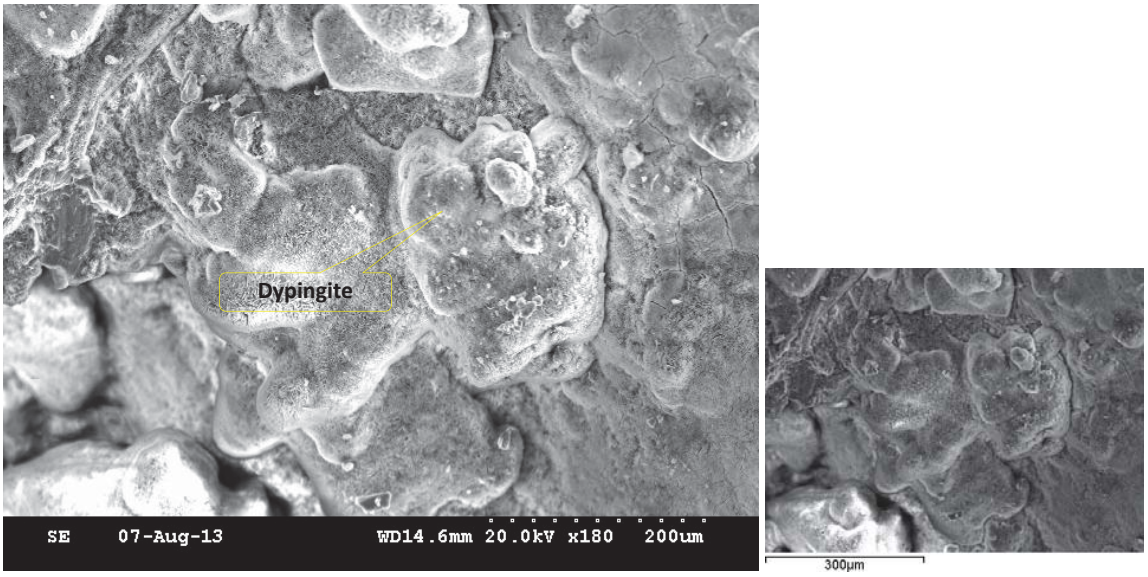


Photo 8 : Photographie montrant plusieurs grains de serpentine complètement recouverts de carbonates dont la structure correspond à celle de la dypingite.

Dans cet échantillon, les cristaux de dypingite recouvrent presque la totalité des grains. Les cristaux de nesquehonite ont été observés plusieurs fois sur deux grains. Ils se présentent sous forme d'agglomérats bien localisés sur la dypingite.

Tailings P1

Observations au microscope électronique

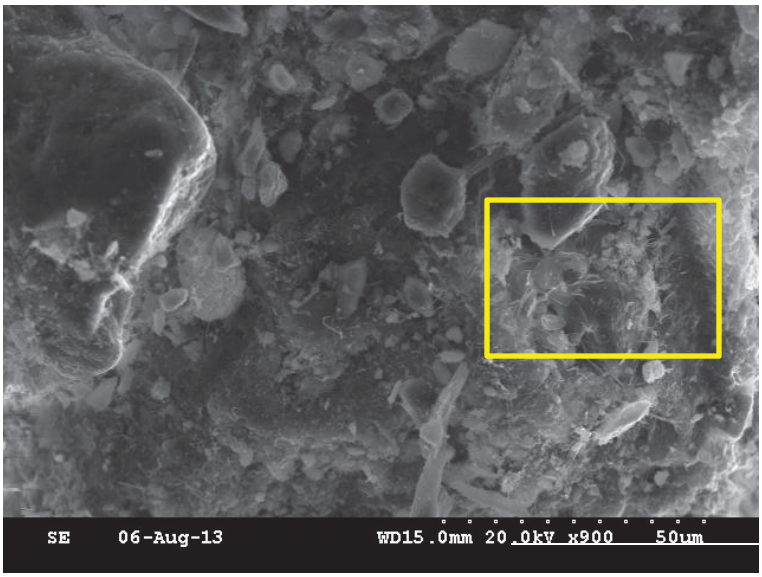
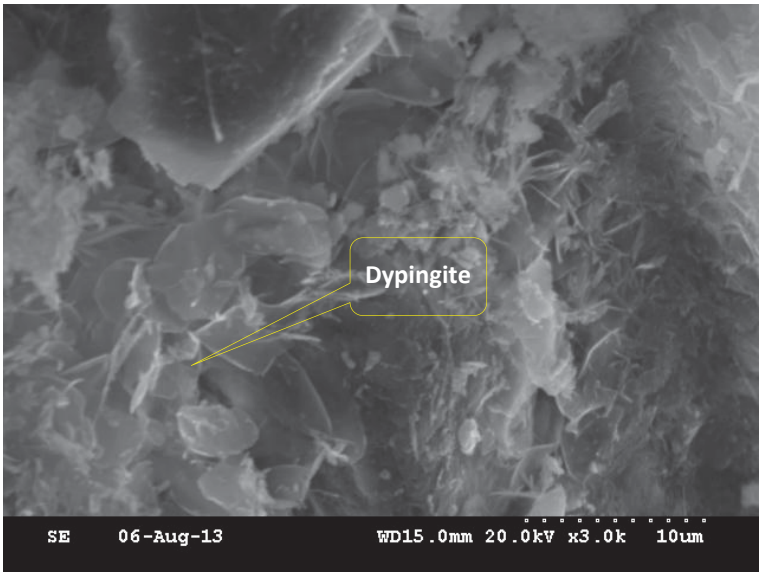


Photo 1 : Vue globale de l'échantillon représentant le *tailings* P1



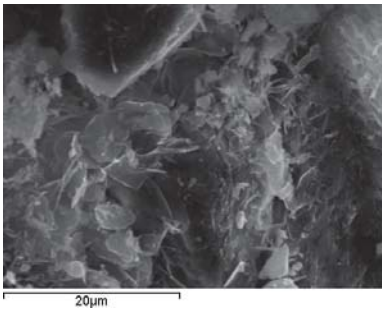


Photo 2 : Détail de la photo 1 (carré jaune) montrant un fragment de dypingite sur un grain de serpentine

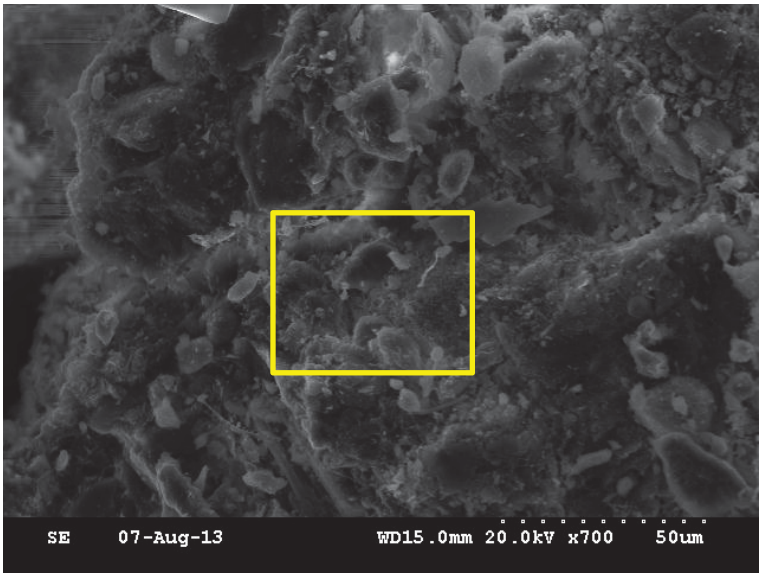


Photo 3 : Image globale d'un second site du *tailings* P1

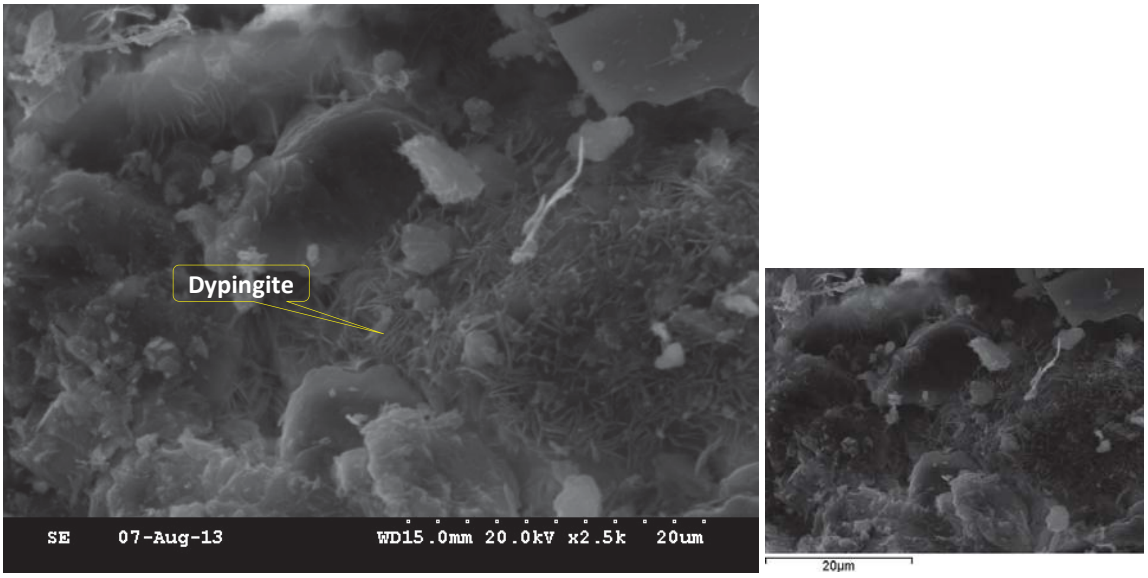


Photo 4 : Détail de la photo 3 (carré jaune) montrant des cristaux de dypingite sur des grains de serpentine

Note : Ces structures sont fréquemment observées sur les grains du *tailings* P1. L'analyse ponctuelle de ces structures (en fichier INCA joint) montre des teneurs faibles en silice que nous pouvons considérer comme une contamination par la serpentine. En soustrayant le Si des spectres d'analyse, la stœchiométrie est celle d'un carbonate, en l'occurrence, la dypingite. Cette contamination est probablement causée par le faisceau d'électrons passant au travers de la croûte carbonatée de faible épaisseur (et de densité?) donnant ainsi une signature électronique du Si provenant de la serpentine sous-jacente.

***Tailings* P2 et P4**

Observations au microscope électronique

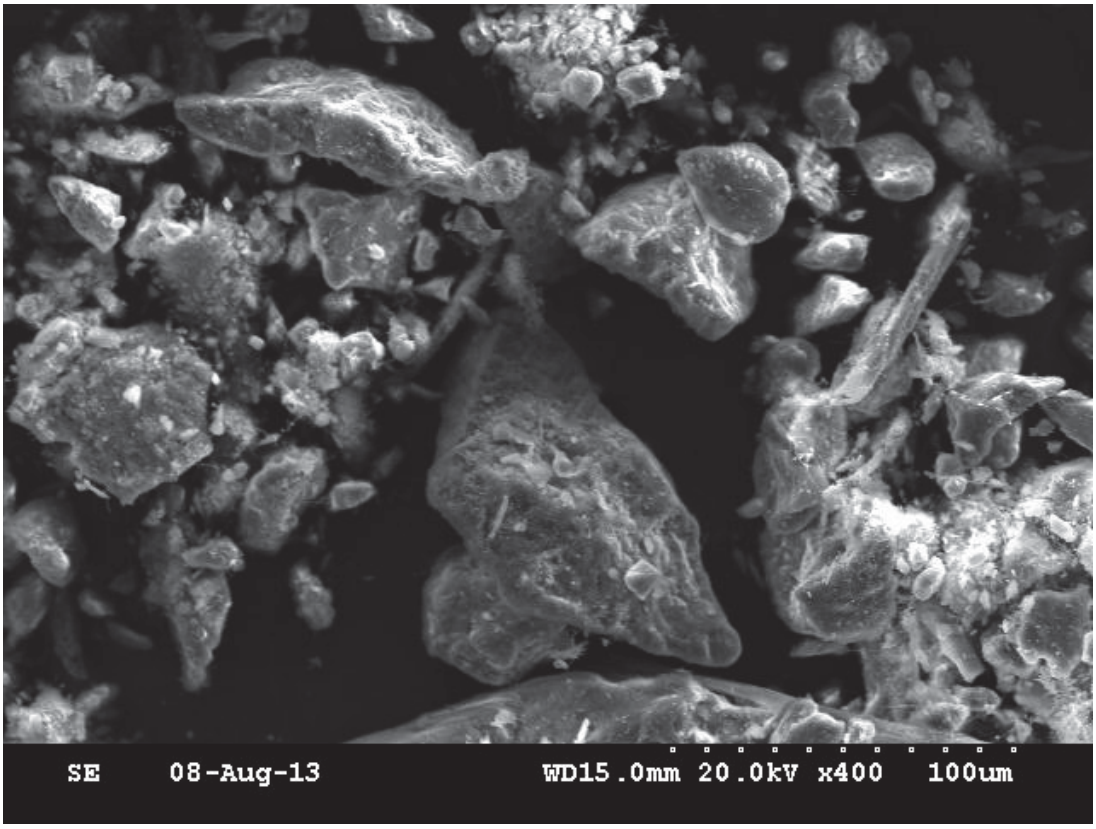


Photo 1 : Image illustrant l'aspect global des grains des deux échantillons de *Tailings* P1 et P2

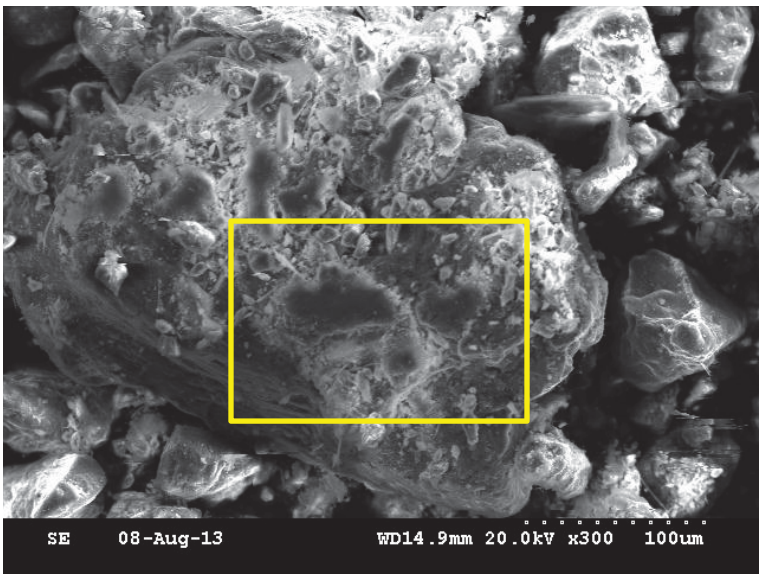


Photo 2 : Image globale d'un grain du *tailings* P2

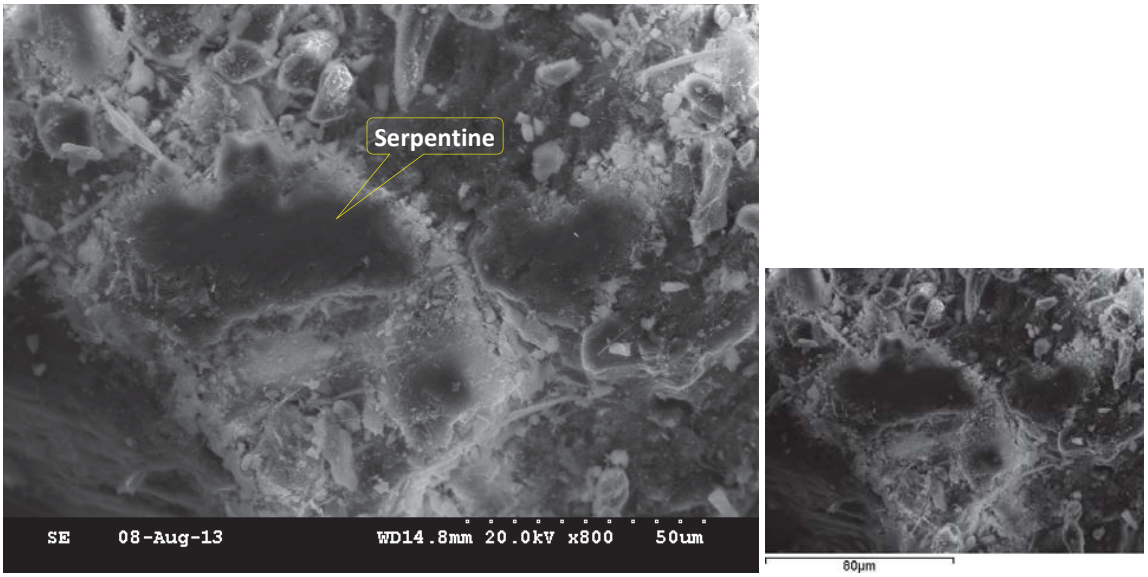


Photo 3 : Détail de la photo 2 (carré jaune) montrant une croûte dont la composition est la même que celle de la serpentine.

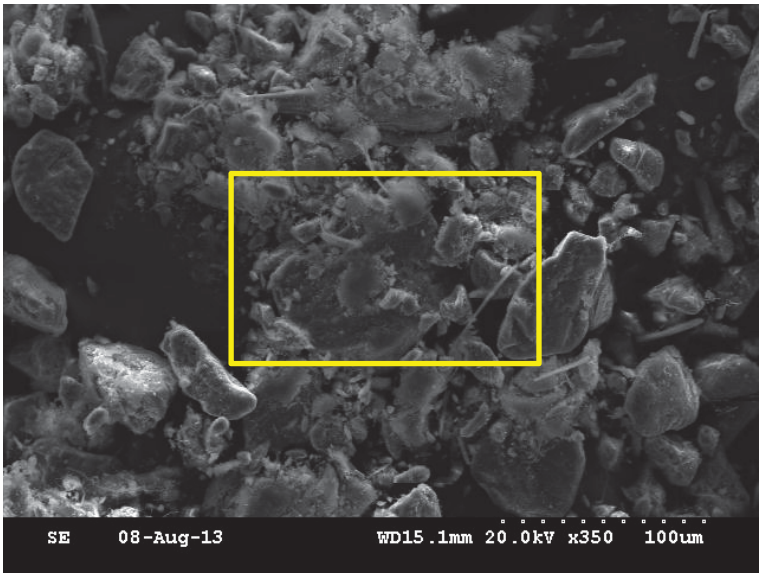


Photo 4 : Vue globale de l'aspect des grains du *tailings* P4

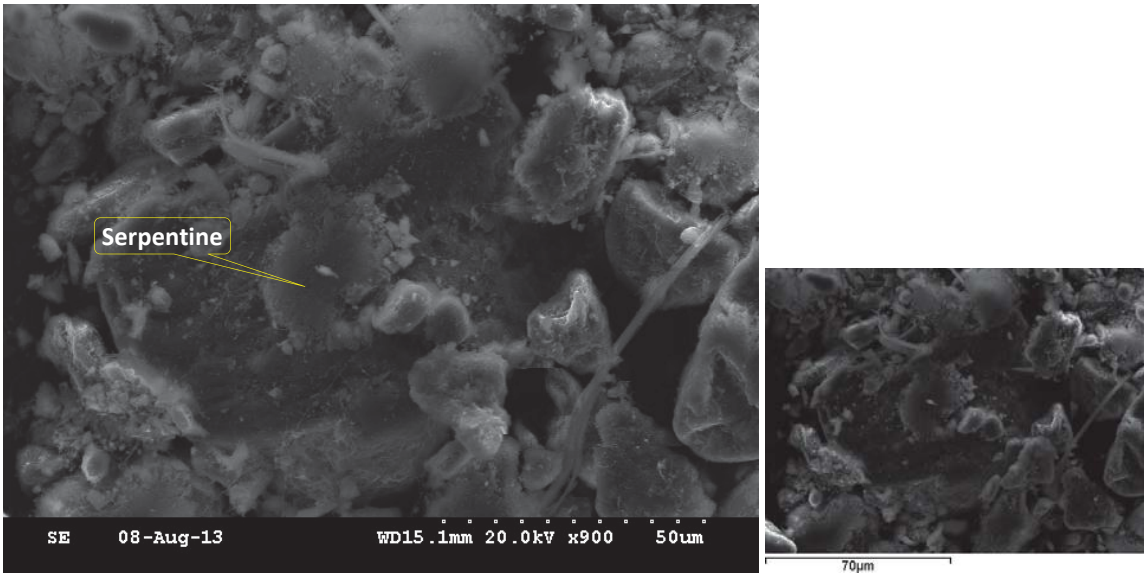


Photo 5 : Détail de la photo 3 (carré jaune) montrant des croûtes dont l'analyse ponctuelle démontre que la composition est la même que celle de la serpentine.

Notes : Tous les grains des deux échantillons de *Tailings* P2 et P4 présentent le même aspect. Ils ne sont pas soudés, et ce qui semble être des croûtes est probablement des fragments de grains pulvérisés simplement déposés sur les grains de serpentine. Leur composition chimique est la même que la serpentine, et l'aspect structural ne correspond pas à des carbonates. Aucun phénomène de carbonatation n'a pu être observé dans ces deux échantillons de *Tailings*.

445, boulevard de l'Université
Rouyn-Noranda (Québec) J9X 5E4
Téléphone : 819-762-0971, poste 2558
Télécopieur : 819-797-6672
urstm@uqat.ca

URSTM
Unité de recherche et de service
en technologie minérale
de l'Abitibi-Témiscamingue

REVUE DE LITTÉRATURE SUR LA CIMENTATION DES REJETS MINIERS PAR CARBONATATION MINÉRALE

NOTE TECHNIQUE – PU-2013-05-798

Par : Benoît Plante, Ph.D., URSTM-IRME-UQAT
Georges Beaudoin, Ph.D., Université Laval

Soumise à : Pierre-Philippe Dupont
Royal Nickel Corporation

Date : Le 1er octobre 2013

MANDAT

Pierre-Philippe Dupont de Royal Nickel Corporation a mandaté Benoît Plante (Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue – UQAT) et Georges Beaudoin (Université Laval), afin de produire une note technique faisant état des connaissances scientifiques actuelles sur la cimentation des roches ultramafiques, suite à leur carbonatation par séquestration du CO_2 atmosphérique, particulièrement dans le cas des rejets miniers, afin de faire un parallèle avec le comportement des éventuels rejets du projet Dumont.

LA CARBONATATION MINÉRALE

La carbonatation minérale est une forme de séquestration géologique du carbone qui comprend la réaction du dioxyde de carbone (gazeux ou aqueux) avec des cations, principalement le magnésium, issus de minéraux naturels pour former des minéraux carbonatés stables (Lackner *et al.*, 1995; Lackner, 2003). La carbonatation minérale des résidus miniers est une variante qui utilise la réaction des cations des minéraux qui forment les résidus miniers avec le CO_2 atmosphérique dans les conditions ambiantes. Les roches mafiques et ultramafiques riches en magnésium sont particulièrement favorables à la séquestration de CO_2 atmosphérique parce que les carbonates magnésiens néo-formés ne sont pas facilement dissous dans les conditions superficielles. La carbonatation minérale est connue pour se produire spontanément dans les conditions ambiantes et, ainsi, former des croûtes cimentées à la surface des résidus miniers ou profondément à l'intérieur des parcs à résidus miniers, tel que démontré par des évents d'air chaud dépourvu de CO_2 (e.g. Huot *et al.*, 2003a,b; Wilson *et al.*, 2006, 2009a, b; Beaudoin *et al.*, 2008; Beinlich *et al.*, 2010; Larachi *et al.*, 2010; Pronost *et al.*, 2012). Les deux minéraux riches en magnésium les plus réactifs avec le CO_2 atmosphérique sont la brucite [$Mg(OH)_2$] et le chrysotile [$Mg_3Si_2O_5(OH)_4$] (Pronost *et al.*, 2011; Harrison *et al.*, 2012). Les roches du gite

Dumont contiennent des minéraux magnésiens (chrysotile, brucite) susceptibles de séquestrer du carbone. Alors que les processus de carbonatation minérale spontanée se produisent relativement lentement dans la nature, le fait d'exposer à la météorisation atmosphérique des quantités considérables de ces minéraux dans les rejets miniers accélère la séquestration du carbone, contribuant ainsi à diminuer l'empreinte carbone de l'exploitation minière (Hitch *et al*., 2010; Wilson *et al*., 2009a, Pronost *et al*., 2012).

Les principaux carbonates de magnésium formés lors de la carbonatation minérale à partir du CO_2 atmosphérique sont la nesquehonite, la dypingite et l'hydromagnésite (*Tableau 1*). Les teneurs en Mg et en C des différents carbonates de magnésium formés sont relativement semblables, de sorte qu'il peut être difficile de les discriminer par analyse chimique. La structure cristalline des carbonates hydratés de magnésium permet de les différencier par l'analyse du spectre de diffraction des rayons-X.

Tableau 1 : Principaux carbonates formés par la séquestration de CO_2 atmosphérique

Carbonate	Formule chimique	% Mg	% C
Nesquehonite	$MgCO_3.3H_2O$ ou $Mg(HCO_3)(OH).2H_2O$	17,6	8,7
Dypingite	$Mg_5(CO_3)_4(OH)_2.5(H_2O)$	25,2	9,9
Hydromagnésite	$Mg_5(CO_3)_4(OH)_2.4H_2O$	26,0	10,3

Cependant, leurs habitus sont différents, tel qu'on peut le voir aux *Figures 1* à *3*. La nesquehonite (*Figures 1a* et *1b*) se présente sous forme d'aiguilles, la dypingite (*Figures 2a* et *2b*) a tendance à former des rosettes, alors que l'hydromagnésite (*Figures 3a* et *3b*) se présente généralement sous forme de plaques.

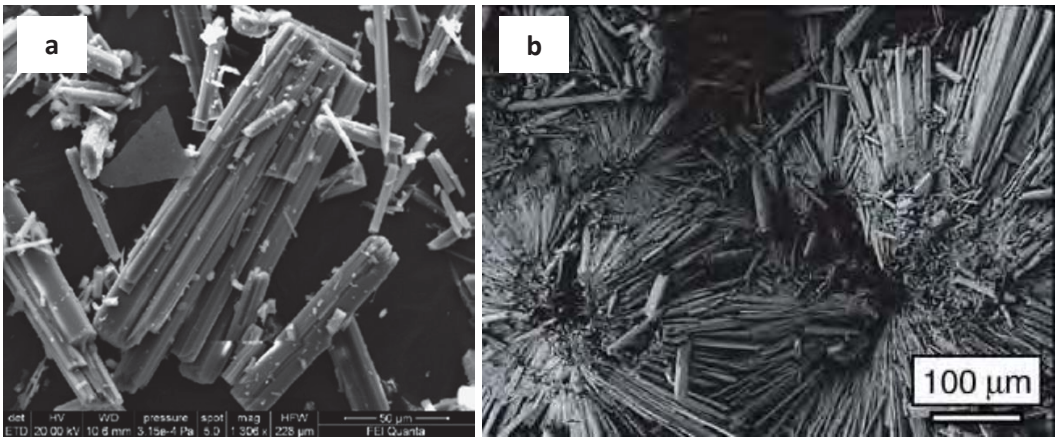


Figure 1 : Habitus de la nesquehonite (a : Ferrini *et al*., 2007; b : Power *et al*., 2009)

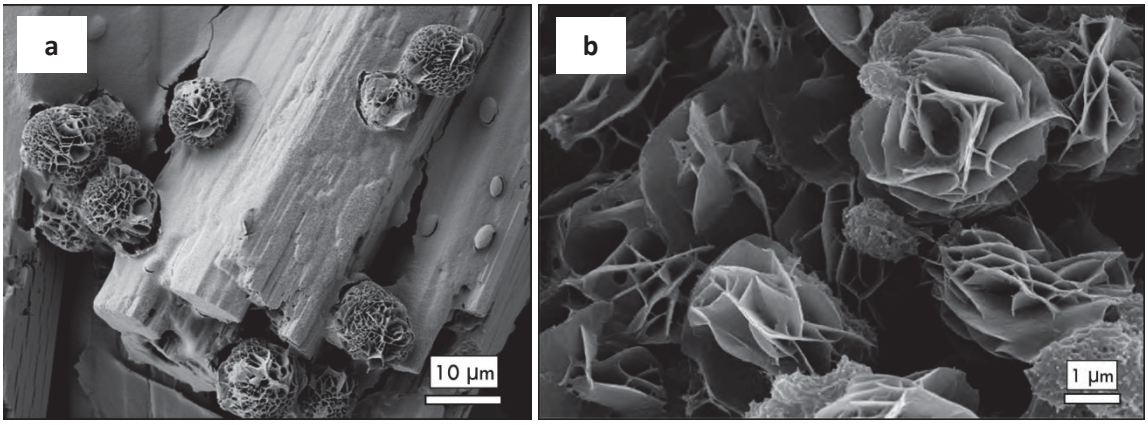


Figure 2 : Habitus de la dypingite (a et b : Power *et al.*, 2007)

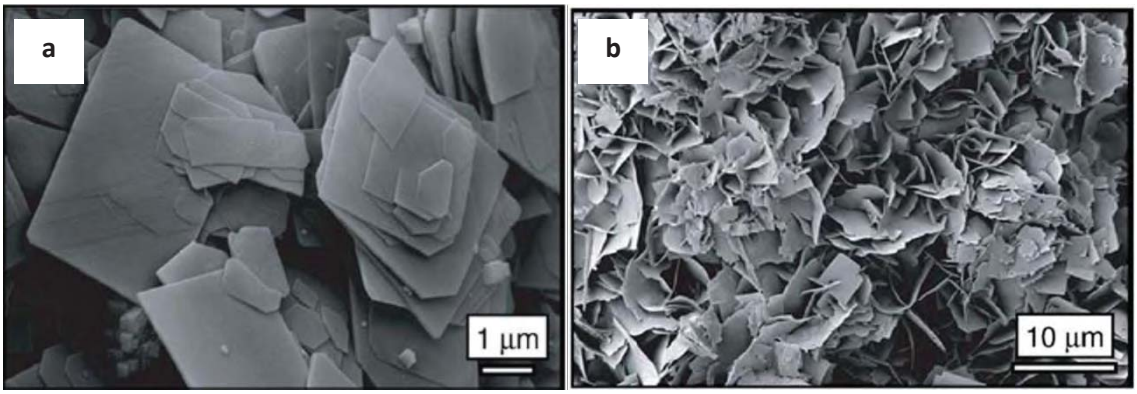


Figure 3 : Habitus de l'hydromagnésite (a et b : Power *et al.*, 2009)

PROJET DUMONT, ROYAL NICKEL CORPORATION

Le projet nickélifère Dumont de la compagnie Royal Nickel Corporation est situé à 25 km à l'ouest de la ville d'Amos, dans la région de l'Abitibi-Témiscamingue, au Québec. Il s'agit d'un projet de mine à ciel ouvert visant à exploiter un gisement de nickel dont la minéralisation est de deux types : sous forme de sulfures de nickel (pentlandite, Fe,Ni_9S_8, heazlewoodite, Ni_3S_2, millérite, NiS) et d'alliage fer-nickel (awaruite, Ni_3Fe). Le scénario d'exploitation prévoit traiter 50 000 tonnes par jour pour les cinq premières années, et 100 000 tonnes de minerai par jour pour les années 6 à 31, à teneur moyenne de 0,27 % Ni, avec une récupération d'environ 66 % (Royal Nickel Corporation, 2011).

Le gisement Dumont se trouve dans une zone minéralisée de dunite serpentinisée, composée majoritairement de lizardite et de minéraux mineurs dont la magnétite, la brucite, le chlorite, le diopside et le chrysotile. La roche serpentinisée qui se retrouvera dans les rejets de concentrateur et dans les roches stériles possède un important potentiel de séquestration du carbone (Pronost *et al.*, 2010, 2011).

Les rejets de concentrateur et les stériles du projet Dumont ont un potentiel pour capturer et stocker du carbone atmosphérique. Selon les données disponibles à ce jour, les rejets de concentrateur du projet Dumont seront composés de la roche finement broyée (majoritairement < 150 µm), dont les substances avec une valeur économique auront été extraites, et les résidus seront entreposés dans un parc à rejets. Les stériles seront, quant à eux, entreposés dans des haldes à stériles.

MÉCANISME DE SÉQUESTRATION EN CONDITIONS AMBIANTES

Les résultats suggèrent que la carbonatation ne procède pas par réaction directe entre le CO_2 gazeux et les surfaces des minéraux, mais par une étape de dissolution du magnésium et une étape de dissolution du CO_2 dans l'eau sous forme d'ion carbonate pouvant former des carbonates secondaires. Dans la première étape, l'ion magnésium (Mg^{2+}) provenant des minéraux contenus dans les rejets miniers doit être libéré dans l'eau, qui doit également contenir du CO_2 dissout, afin de précipiter les carbonates secondaires, dans une deuxième étape.

Le CO_2 dissout peut être présent sous plusieurs formes, dépendamment du pH de la solution. Entre des pH de 6,3 à 10,3, le CO_2 dissout se présente principalement sous la forme de l'ion bicarbonate (HCO_3^-), alors qu'il est principalement sous la forme de l'ion carbonate (CO_3^{2-}) au-dessus de pH 10,3. Les équations suivantes décrivent les réactions chimiques impliquées :

$$CO_{2(g)} + H_2O \rightarrow H_2CO_3 \quad [1]$$

$$H_2CO_3 \rightarrow H^+ + HCO_3^- \quad [2]$$

$$HCO_3^- \rightarrow H^+ + CO_3^{2-} \quad [3]$$

Les informations trouvées dans la littérature suggèrent que le nesquehonite est formé dans un environnement favorisant l'apparition de sels efflorescents, tels que l'évaporation de surface, alors que la dypingite et l'hydromagnésite sont formés dans des conditions sous-surfaciques typiques de sols enfouis (Wilson *et al.*, 2009a). Dans certains rejets miniers (p. ex. : site Cassiar), le nesquehonite est donc trouvé en surface des empilements et/ou à des endroits exposé où il y a évaporation de l'eau, alors que le dypingite et l'hydromagnésite seront trouvés sous la surface et/ou à des endroits moins enclins à l'évaporation. Dans d'autres rejets miniers (p. ex. : mines d'amiante des régions de Therford Mines et Asbestos), le CO_2 est séquestré pour former principalement l'hydromagnésite, autant en surface qu'en profondeur (Beaudoin *et al.*, 2008). La *Figure 4* (tirée de Wilson *et al.*, 2009a) illustre certains de ces phénomènes.

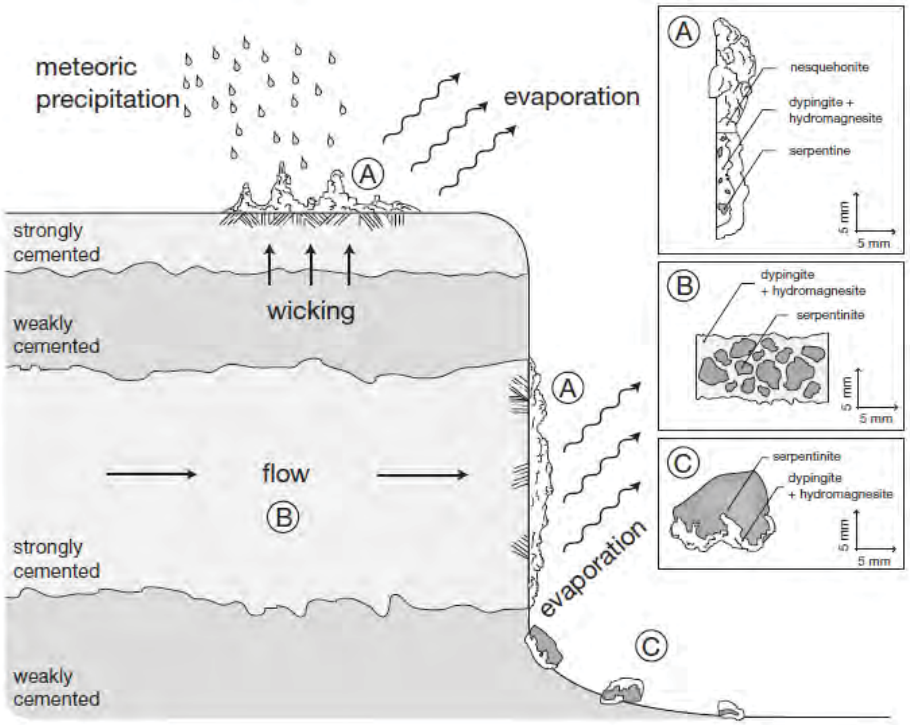


Figure 4 : Mécanismes de formation des carbonates secondaire : (A) précipités d'évaporation riches en nesquehonite sur les surfaces horizontales et verticales, (B) grains de serpentine cimentés par le dypingite et/ou hydromagnésite sous la surface, (C) enrobages de dypingite et/ou hydromagnésite sur des grains de serpentine. (Wilson *et al.*, 2009)

ÉTUDES DE CARBONATATION DE REJETS SUR D'AUTRES SITES MINIERS

Quelques études se sont penchées sur la séquestration de carbone de rejets miniers, tels que ceux de la mine Diavik (Wilson *et al.*, 2006, 2009b) et de la mine Ekati (Territoires du Nord-Ouest) (Rollo et Jamieson, 2006), des mines Cassiar (Territoires du Nord-Ouest) et Clinton Creek (Yukon) (Wilson *et al.*, 2009a) et des mines des régions de Thetford Mines et Asbestos (Québec) (Beaudoin *et al.*, 2008; Pronost *et al.*, 2011). La littérature suggère que les rejets de concentrateur peuvent séquestrer environ 0,1 à 10 kg de CO_2 par tonne de résidus de concentrateur par année (Harrison *et al.*, 2012) de façon passive, c'est-à-dire naturellement et sans utiliser aucune technique d'accélération de la carbonatation.

Dans plusieurs cas où les rejets miniers contiennent des quantités significatives de serpentine, la carbonatation produit une cimentation partielle des grains et la formation de croûtes de précipités carbonatés en surface. À la mine Cassiar, les rejets de concentrateur contenant entre 70 et 80 % de serpentine et ayant séquestré du carbone peuvent contenir jusqu'à environ 15 % de carbonates secondaires (nesquehonite, dypingite et hydromagnésite réunis), en surface et comme matrice entre les grains d'autres minéraux (Wilson *et al.*, 2006; 2009a). Par contre, moins de 1 % de la superficie du parc à résidus de concentrateur montre des précipités d'évaporation de nesquehonite, dypingite et hydromagnésite (Wilson *et al.*, 2006; 2009a). La

formation de croûtes est très fréquente dans certaines zones des rejets fins et granulés de la mine Diavik (Wilson *et al*., 2009b), où le nesquehonite est le principal carbonate formé.

Les rejets de mines d'amiante des régions de Therford Mines et d'Asbestos séquestrent du CO_2 atmosphérique, formant des carbonates secondaires, principalement l'hydromagnésite, qui cimentent les rejets (Beaudoin *et al*., 2008), tel qu'illustré sur la *Figure 5*. La cimentation se produit tant par la formation d'une matrice cristalline liant les particules des serpentine que par le remplacement par dissolution-précipitation des fragments de serpentine (Beaudoin *et al*., 2008). En outre, la cimentation dans ces rejets miniers contribue fort probablement à limiter la présence de fibres de serpentine dans l'air à proximité des empilements (Beaudoin *et al*., 2008). La carbonatation minérale se produit aussi en profondeur dans les piles de résidus miniers, tel que démontré par Pronost *et al*. (2012).

Par ailleurs, la cimentation des résidus miniers modifie leurs propriétés mécaniques. Ainsi, les parcs à résidus de l'exploitation du chrysotile dans le sud du Québec montrent de nombreuses évidences des effets mécaniques de la carbonatation minérale, dont la formation de croûtes cimentées cohésives dans du matériel non-cohésif (*Figure 5*). On notera les couches horizontales qui représentent les anciennes surfaces de travail exposées aux éléments. Les stratifications inclinées représentent la cimentation de la face inclinée du parc à mesure que son remplissage progresse. Les croûtes inclinées vers la pelle mécanique représentent la cimentation des résidus miniers entre les périodes d'utilisation du banc d'emprunt. On notera également les fractures qui découpent les surfaces à mesure que l'exploitation du banc d'emprunt repousse son front.

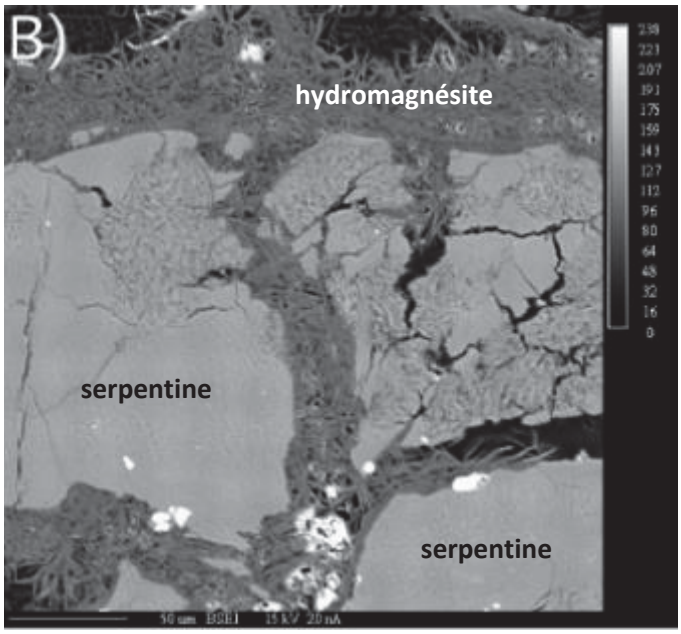


Tirée de Beaudoin *et al*., 2008

Figure 5 : Modifications des propriétés mécaniques des résidus miniers de l'exploitation du chrysotile (parc à résidu de la mine Beaver, Thetford Mines)

Des essais en colonne réalisés à l'Université Laval démontrent que la carbonatation minérale est fortement contrôlée par le niveau de saturation en eau et par la fréquence des arrosages (Assima *et al*., 2012). Ces résultats sont également corroborés par des essais de consommation de CO_2 présentement développés à l'UQAT (Awoh *et al*., 2013), démontrant l'impact de la saturation sur la séquestration de CO_2. Par contre, la carbonatation minérale est freinée par des réactions de passivation par l'oxydation du fer en milieu oxique (Assima *et al*., 2012).

La *figure 6* montre que les fragments sont liés par la matrice interstitielle d'hydromagnésite en flocons, tandis que les fragments de serpentinite sont graduellement remplacés par dissolution-précipitation de la bordure vers l'intérieur, en suivant les zones de fractures qui facilitent l'infiltration de l'eau qui transporte le CO_2 et le Mg^2+ en solution vers les sites de précipitation



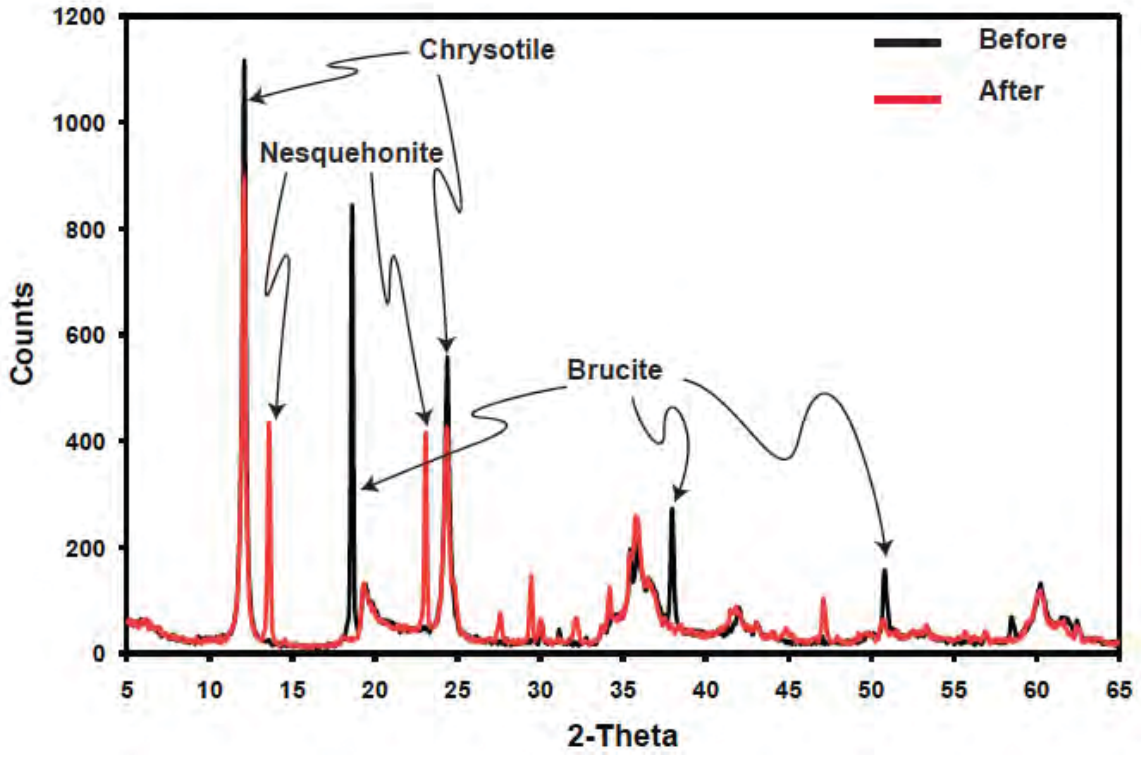
(tiré de Beaudoin *et al.*, 2008)

Figure 6 : Fragments de serpentinite cimentés par de l'hydromagnésite observés au MEB

RÉSULTATS ANTÉRIEURS SUR LA CARBONATATION DES REJETS DUMONT

Quelques études antérieures ont été réalisées sur les matériaux du projet Dumont. Par exemple, des travaux réalisés à l'Université Laval (Pronost *et al*., 2010, 2011) sur des rejets de l'usine pilote du concentrateur ont démontré que la séquestration de carbone était influencée principalement par le contenu en brucite ($Mg(OH)_2$) et ont identifié que les principaux carbonates formés sont la nesquehonite et la dypingite. Leurs résultats démontrent que le CO_2 ne réagit pas directement avec le Mg^{2+} des résidus, mais que les réactifs (Mg^{2+}, CO_2) doivent passer en solution aqueuse et, donc, que la présence d'eau est nécessaire à la séquestration. Le produit de la réaction chimique en eudiomètre est bien documenté par le spectre de diffraction des rayon-X qui démontre la destruction complète de la brucite, partielle du chrysotile, et l'apparition de carbonates néo-formés, principalement la nesquehonite (*Figure 7*). Sur la *figure 7*, le spectre en

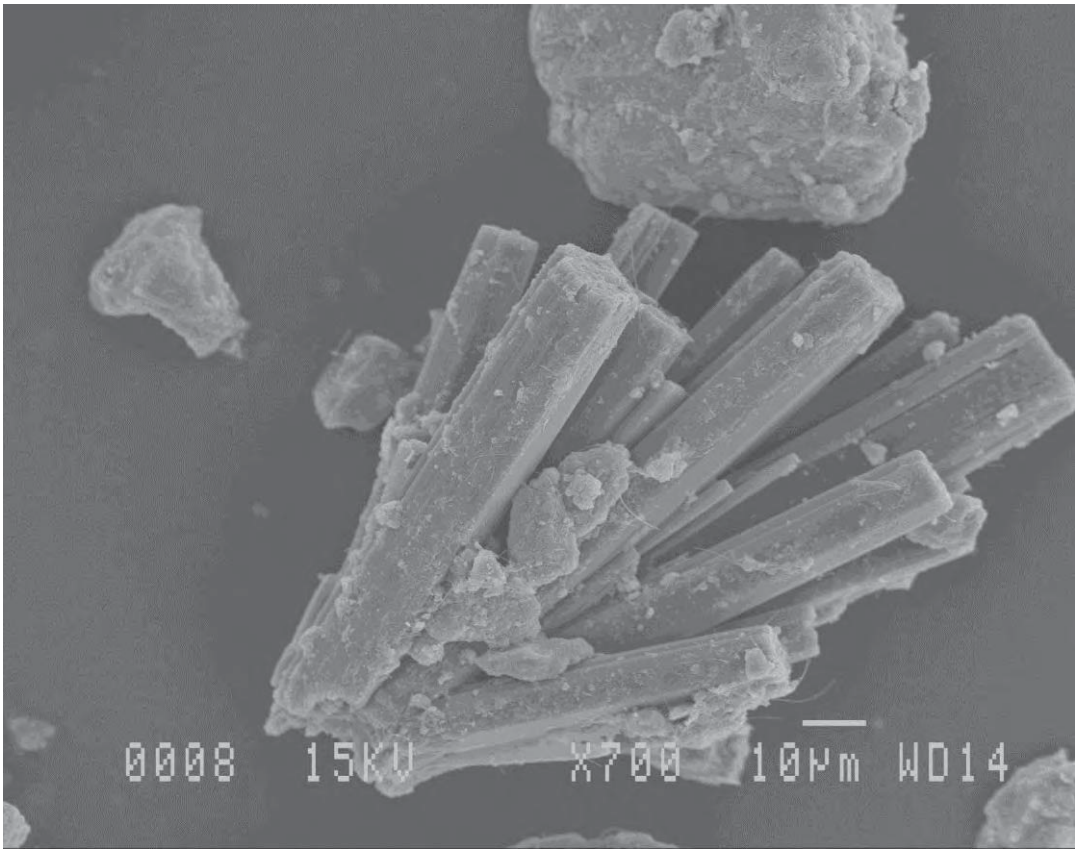
noir documente la minéralogie de l'échantillon avant la réaction, où on peut noter que l'échantillon est principalement composé de chrysotile et de brucite. Le spectre en rouge donne la minéralogie de l'échantillon après la réaction, où on peut noter la disparition du spectre de la brucite, la diminution d'intensité des pics du chrysotile, et l'apparition des nouveaux pics, caractéristiques de la nesquehonite



Tirée de *Pronost et al.*, 2011

Figure 7 : Diffractogramme des rayon-X de l'échantillon F184 (Fraction *fluff* d'essais de pilotage) provenant du projet Dumont Nickel

La nesquehonite est aussi observée au MEB dans les résidus miniers après les expériences de carbonatation en eudiomètre (*Figure 8*).



Tirée de Pronost *et al.,* 2010

Figure 8 : Nesquehonite observée au MEB parmi les produits de la réaction de l'échantillon FT184F (final tail, essai de pilotage) de l'expérience RN4-b en eudiomètre

Des essais en colonne sont présentement en cours à l'UQAT sur les stériles et rejets de concentrateur du projet Dumont, ainsi que sur cinq lithologies trouvées dans le gisement (gabbro, dunite faible teneur, volcanique, ultramafique de l'éponte inférieure et péridotite supérieure), en plus des stériles et des rejets de concentrateur. Dans ces essais, les matériaux sont placés dans une colonne et soumis à des cycles de mouillage-séchage périodiques. L'objectif de ces essais est de prédire la qualité des eaux de drainage circulant au travers des matériaux, et d'estimer leur potentiel de séquestration de CO_2. À cet effet, des essais de séquestration de CO_2 sont développés, afin de quantifier le flux de CO_2 séquestré par les matériaux de Dumont (Awoh *et al*., 2013). Pour ce faire, un volume d'air est isolé au-dessus des matériaux et la concentration en CO_2 est suivie sur une période de deux heures. Les résultats obtenus suggèrent que plusieurs lithologies séquestrent du CO_2 : la dunite, l'ultramafique de l'éponte inférieure et la péridotite supérieure. Le rejet de concentrateur et le stérile consomment également du CO_2. Cette méthode, toujours en développement, suggère des flux de CO_2 séquestrés de l'ordre de 200 à 5000 g/m^2/année, dépendamment des types de matériaux, de leurs caractéristiques physiques (granulométrie, porosité) et de la teneur en eau.

Des échantillons des colonnes ont été prélevés après 12 mois de cycles de mouillage-séchage. Certains de ces échantillons montrent des signes évidents de cimentation. En effet, des agglo-

mérats sont trouvés en surface des colonnes de matériaux qui montrent des flux de séquestration de CO_2 dans les essais de consommation de CO_2, à savoir la dunite, l'ultramafique de l'éponte inférieure et la péridotite supérieure. La *Figure 9* montre un exemple d'agglomérat observé en surface d'une colonne des matériaux de Royal Nickel.



Figure 9 : Agglomérat cimenté dans une colonne de matériaux du projet Dumont après 12 mois de cycles de mouillage-séchage

Des observations au microscope électronique à balayage (MEB) ont été réalisées sur des morceaux agglomérés issus des colonnes, afin de détecter la présence de carbonates secondaires (*Figure 7*). Plusieurs structures rappelant les morphologies des carbonates secondaires présentés aux *Figures 1* à *3* sont trouvées dans les échantillons issus des colonnes, à savoir des aiguilles et des plaquettes qui semblent se développer sur des morceaux de serpentine. L'apparition de carbonates secondaires semble donc cimenter les morceaux de serpentine du rejet Dumont dans les essais en colonne.

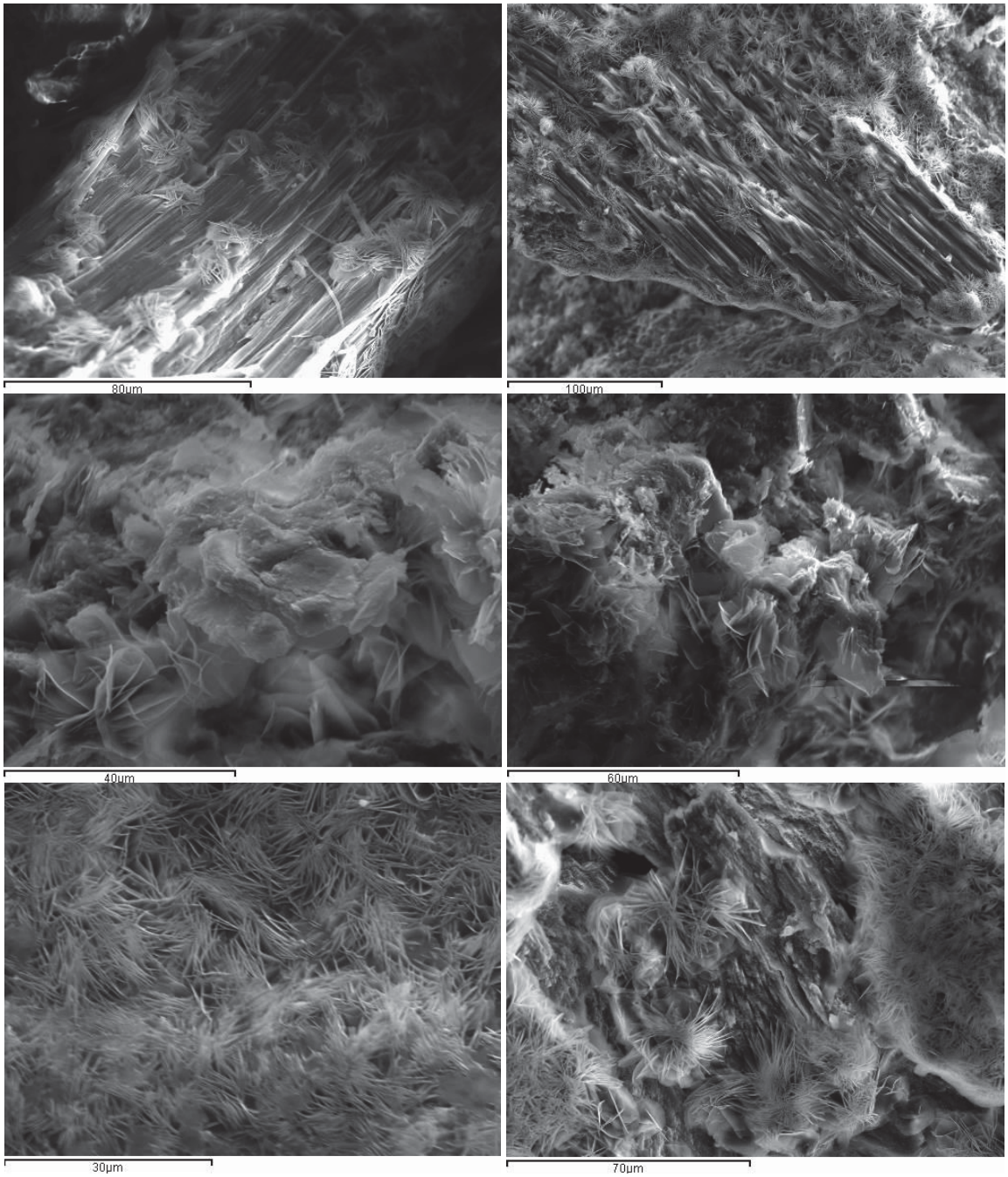


Figure 10 : structures trouvées dans un échantillon aggloméré issus des essais en colonne

Des essais en aquarium ont également été réalisés sur des échantillons de stériles et de rejets de concentrateur, afin de vérifier le développement de la carbonatation. Les échantillons de stériles et de rejets de concentrateurs ont été placés sur une plaque perforée munie d'un géotextile au fond de l'aquarium, ce qui en permet le drainage. L'eau de pluie tombée sur le site Dumont à chaque période de 24 h est récoltée et un aliquote de cette eau est vaporisé sur toute la surface des échantillons à chaque jour, et ce, proportionnellement à la superficie de l'aquarium. Le dispositif expérimental est montré à la *figure 11*.



(photo : Royal Nickel Corporation)

Figure 11 : Essais en aquarium

Des échantillons ont été prélevés à intervalles réguliers pour observations au MEB, afin d'apprécier le développement des carbonates secondaires issus de la séquestration de carbone. Les échantillons ont été conservés tels que prélevés (humides) jusqu'au laboratoire et sont déposés sur un support à échantillon. L'échantillon est séché à l'air ambiant pendant environ une journée avant les observations microscopiques.

Les échantillons sont rendus conducteurs en appliquant une peinture d'argent sur tout leur contour. La peinture d'argent crée un contact avec le support métallique du MEB. Ensuite, chaque échantillon est métallisé sous vide par une vaporisation du carbone sur toute la surface des grains à l'aide d'un métalliseur (Emitech K450X).

Les observations au MEB ont permis de voir le développement de carbonates secondaires dès les premières semaines dans les stériles, et après quelques semaines en surface des rejets de concentrateur. De plus, certains grains de stériles se sont cimentés, tout comme dans les essais en colonne. La *figure 12* montre des carbonates secondaires cimentant des rejets de concentrateurs en surface de l'essai en aquarium après quelques semaines.

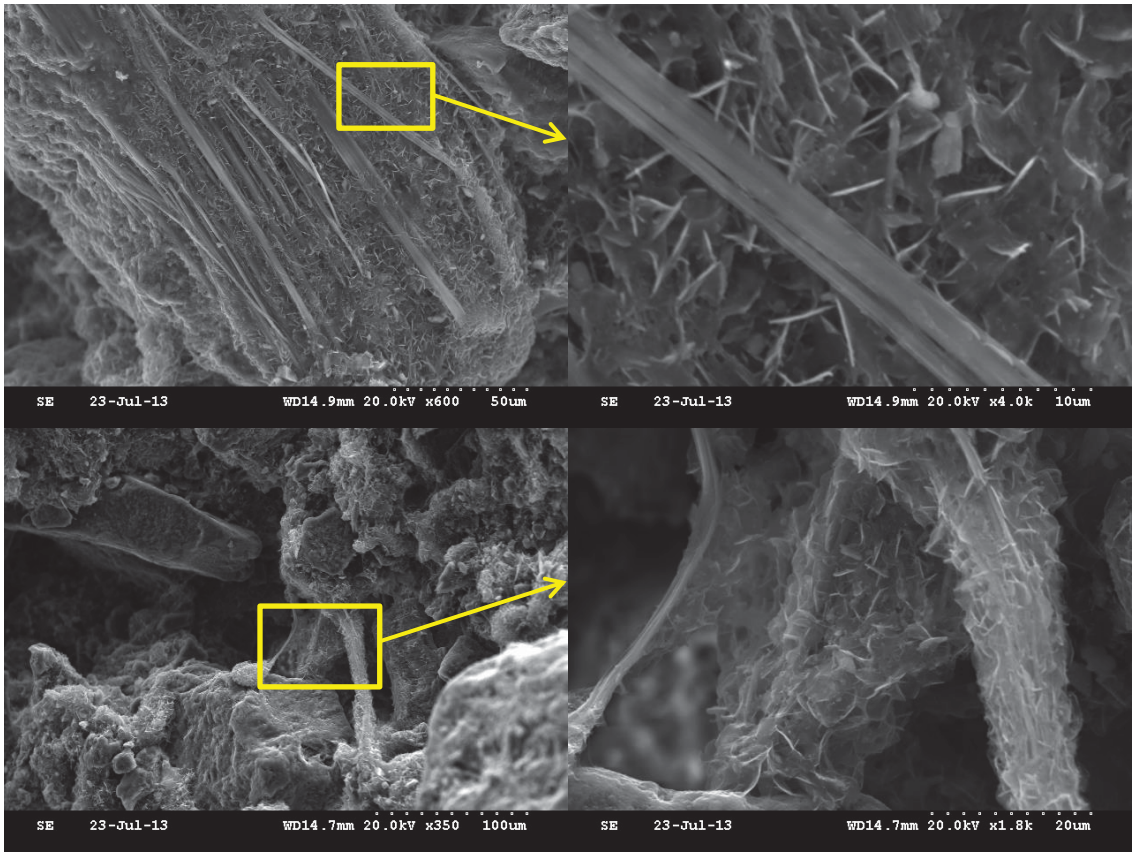


Figure 12 : Images prises au MEB montrant des carbonates secondaires dans les échantillons de rejets de concentrateurs après quelques semaines dans les essais en aquarium

De plus, la formation d'une croûte en surface des rejets de concentrateur a été observée; la figure 13 montre des fragments de croûte prélevés en surface des rejets de concentrateurs.



Figure 13 : fragments de croûte prélevés en surface des rejets de concentrateurs dans les essais en aquarium

CONCLUSIONS

Le gisement Dumont est composé majoritairement de roches serpentinisées. Les rejets de concentrateur seront donc composés en grande majorité (environ 90 %) de serpentine, avec environ 10 % de brucite (Pronost et al. 2011; Assima et al., soumis) et ils ont un fort potentiel de carbonatation minérale lorsque soumis aux conditions ambiantes. Le gisement est entouré de gabbro ne contenant pas de serpentine. Les empilements de stériles seront donc composés d'un mélange de roches contenant majoritairement (>85 %) de la serpentine et de brucite (dunite, péridotite) et de gabbro n'en contenant pas. Selon les tonnages estimés, les empilements de stériles contiendront donc environ 45 % de roches serpentinifères et pourraient fort probablement se carbonater lorsque soumis aux conditions ambiantes.

Une des conséquences de la carbonatation des rejets miniers serpentinifères est la cimentation des grains. Compte tenu de la composition projetée des futurs rejets du projet Dumont et des résultats obtenus jusqu'à maintenant sur les travaux de recherche en lien avec le potentiel de séquestration de CO_2 des rejets Dumont à l'Université Laval et à l'UQAT, il est fort probable que ces derniers se cimentent en séquestrant du CO_2 atmosphérique, limitant la production de poussières en périphérie des empilements, tout en améliorant les propriétés mécaniques des résidus miniers cimentés. Cependant, le temps nécessaire au développement d'une telle cimentation et l'impact sur la génération de poussières restent à être définis par des travaux spécifiques.

Donc, en conclusion :

- Les rejets Dumont (stériles et rejets de concentrateur) contiendront des quantités significative de serpentine et de brucite;
- Ces rejets possèdent un fort potentiel de séquestration de CO_2, tel que démontré par les travaux réalisés jusqu'à maintenant à l'Université Laval et à l'UQAT;
- Une conséquence attendue de la séquestration des rejets est la cimentation des rejets, qui a été observée dans les essais en laboratoire;
- La vitesse de cimentation et le degré de celle-ci à l'échelle des futurs empilements de la mine Dumont restent à être précisés par des travaux spécifiques.

RÉFÉRENCES

Assima, G.P., Larachi, F., Molson, J.W., Beaudoin. G., submitted. Accurate and direct quantification of native brucite in serpentine ores - New methodology and implications for CO_2 sequestration by mining residues. Thermochimica Acta.

Assima, G.P., Larachi, F., Beaudoin, G., Molson, J. 2012. CO_2 Sequestration in Chrysotile Mining Residues—Implication of Watering and Passivation under Environmental Conditions. Industrial & Engineering Chemistry Research 51: 8726-8734.

Assima, G.P., Larachi, F., Beaudoin, G., Molson, J.W. 2013. Dynamics of carbon dioxide uptake in chrysotile mining residues – Effect of mineralogy and liquid saturation. International Journal of Greenhouse Gas Control 12: 124-135.

Awoh, A. S., Plante, B., Bussière, B., Mbonimpa, M. 2013. CO_2 consumption test for the quantification of the mineral carbonation potential of mine waste rock. Proceedings of the Canadian Geotechnical Conference GeoMontreal, Montreal, Canada, October 2013.

Beaudoin, G., Hébert, R., Contantin, M., Duchesne, J., Cecchi, E., Huot, F., Vigneau, S., Fiola, R., 2008. Spontaneous carbonation of serpentine in milling and mining waste, southern Québec and Italy. Proceedings of the 2nd International Conference on Accelerated Carbonation for Environmental and Materials Engineering (ACEME), Rome, Italy, 1-3 October 2008, p. 73-82.

Beinlich, A., Austrheim, H., Glodny, J., Erambert, M., Andersen, T.B., 2010. CO2 sequestration and extreme Mg depletion in serpentinized peridotite clasts from the Devonian Solund basin, SW-Norway. Geochimica et Cosmochimica Acta 74, 6935-6964.

Harrison, A.L., Power, I.M., Dipple, G.M., 2012. Accelerated Carbonation of Brucite in Mine Tailings for Carbon Sequestration. Environmental Science & Technology 47, 126-134.

Hitch, M., Ballantyne, S.M., Hindle, S.R., 2010. Revaluing mine waste rock for carbon capture and storage. International Journal of Mining, Reclamation and Environment 24, 64-79.

Huot F., Beaudoin G., Hébert R., Constantin M., Dipple G.M. & Roudsepp M., 2003a. Le piégeage du CO_2 anthropogénique dans les parcs à résidus d'amiante du Québec : concept et valorisation. Rapport non-publié, 167 p.

Huot F., Beaudoin G., Hébert R., Constantin M., Bonnin G. & Dipple G., 2003b. Evaluation of Southern Quebec asbestos residues for CO_2 sequestration by mineral carbonation; preliminary results. GAC-Mac Annual Meeting Program with Abstracts.

Lackner, K.S., 2003. A Guide to CO_2 Sequestration. Science 300, 1677.

Lackner, K.S., Wendt, C.H., Butt, D.P., Joyce Jr, E.L., Sharp, D.H., 1995. Carbon dioxide disposal in carbonate minerals. Energy 20, 1153-1170.

Larachi, F., Daldoul, I., Beaudoin, G., 2010. Fixation of CO2 by chrysotile in low-pressure dry and moist carbonation: Ex-situ and in-situ characterizations. Geochimica et Cosmochimica Acta 74, 3051-3075.

Pronost, J., Beaudoin, G., Constantin, M., Duchesne, J., Hébert, R. Larachi, F. 2010. Evaluation of the mineral carbonation potential of mining residues from Royal Nickel Dumont Project, Amos (Québec, Canada). Université Laval.

Pronost, J., Beaudoin, G., Tremblay, J., Larachi, F., Duchesne, J., Hébert, R., Constantin, M., 2011. Carbon sequestration kinetic and storage capacity of ultramafic mining waste. Environmental Science and Technology 45, 9413-9420.

Pronost, J., Beaudoin, G., Lemieux, J.-M., Hébert, R., Constantin, M., Marcouiller, S., Klein, M., Duchesne, J., Molson, J.W., Larachi, F., Maldague, X. (2012). CO2-depleted warm air venting

from chrysotile milling waste (Thetford Mines, Canada): Evidence for in-situ carbon capture from the atmosphere. Geology 40: 275-278.

Rollo, H.A., Jamieson, H.E., 2006. Interaction of diamond mine waste and surface water in the Canadian Arctic. Applied Geochemistry 21, 1522-1538.

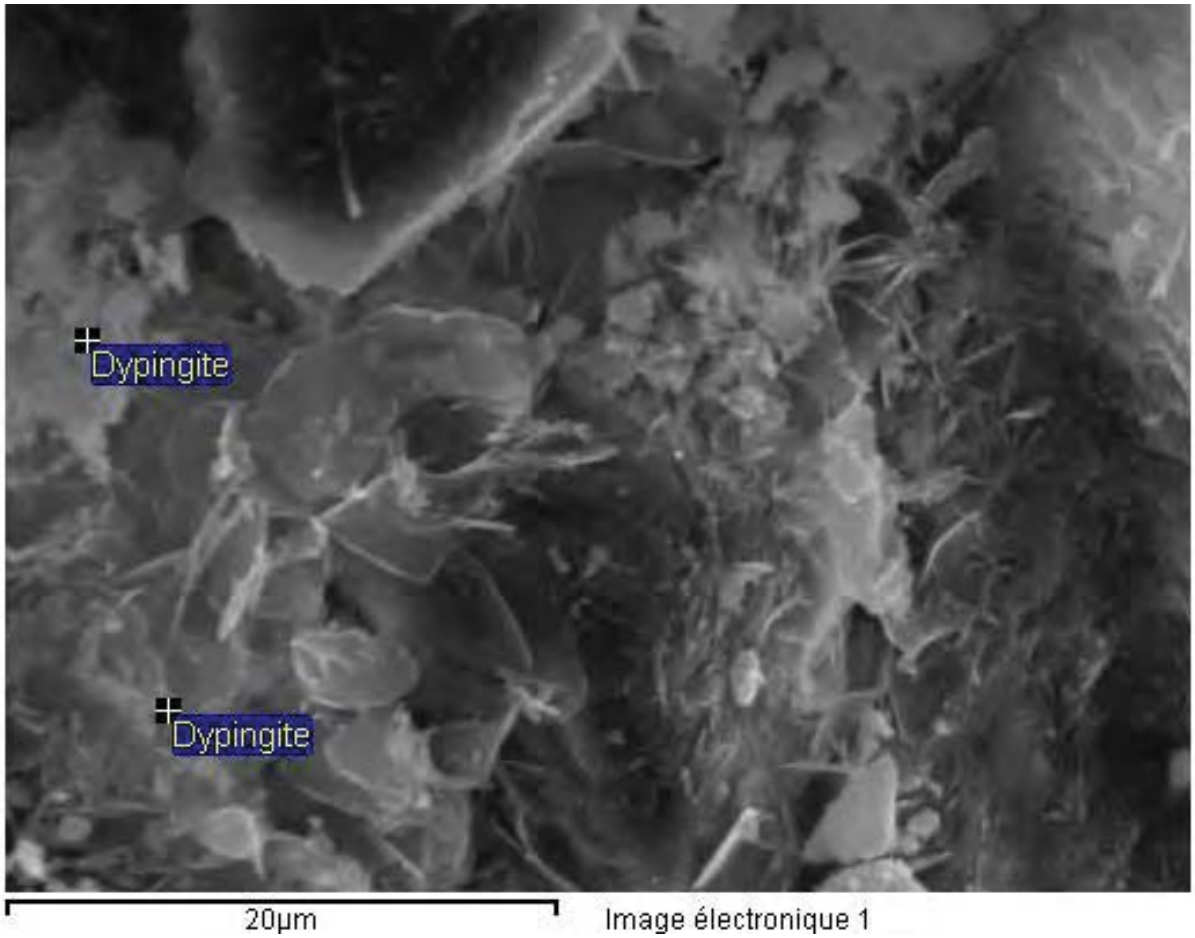
Royal Nickel Corporation. 2011. Étude de préfaisabilité du projet nickélifère Dumont, Démarche d'information et de consultation, Document général d'information–version 1.0.

Wilson, S.A., Raudsepp, M., Dipple, G.M., 2006. Verifying and quantifying carbon fixation in minerals from serpertine-rich mine tailings using the Rietveld method with X-ray powder diffraction data. American Mineralogist 91, 1331-1341.

Wilson, S.A., Dipple, G.M., Power, I.M., Thom, J.M., Anderson, R.G., Raudsepp, M., Gabites, J.E., Southam, G., 2009a. Carbon dioxide fixation within mine wastes of ultramafic-hosted ore deposits: Examples from the Clinton Creek and Cassiar Chrysotile deposits, Canada. Economic Geology 104, 95-112.

Wilson, S.A., Raudsepp, M., Dipple, G.M., 2009b. Quantifying carbon fixation in trace minerals from processed kimberlite: A comparative study of quantitative methods using X-ray powder diffraction data with applications to the Diavik Diamond Mine, Northwest Territories, Canada. Applied Geochemistry 24, 2312-2331.

Wilson, S.A., Dipple, G.M., Power, I.M., Barker, S.L.L., Fallon, S.J., Southam, G., 2011. Subarctic weathering of mineral wastes provides a sink for atmospheric CO2. Environmental Science and Technology 45, 7727-7736.



Option Mise en forme : Oxygène par stoechiométrie (Normalisé)

	C	Mg	O	Total
Dypingite	21.62	12.54	65.84	100
Dypingite	20.92	14.08	65	100

Tous les résultats en % massique

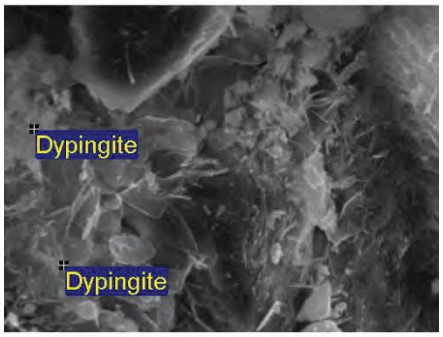
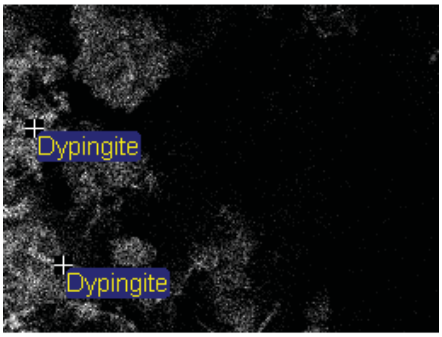
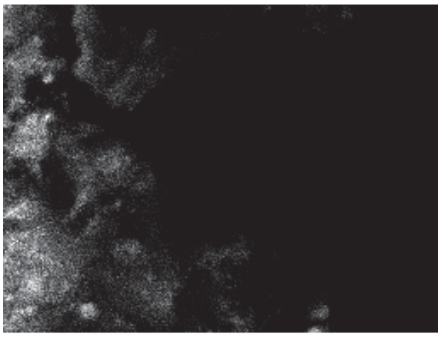
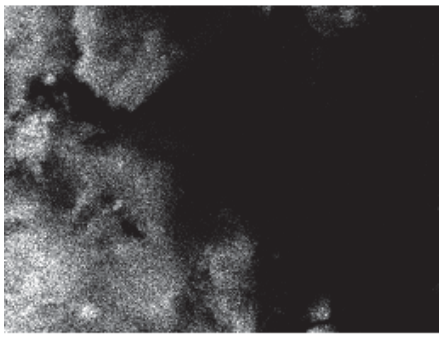


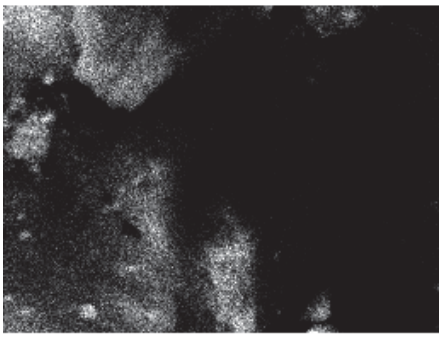
Image électronique 1

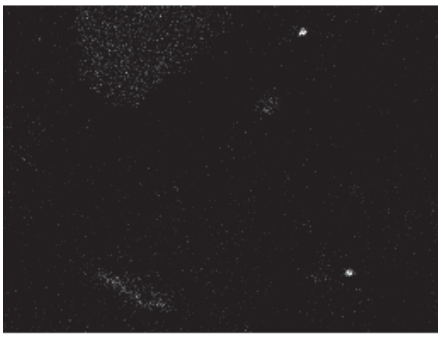


C Ka1_2

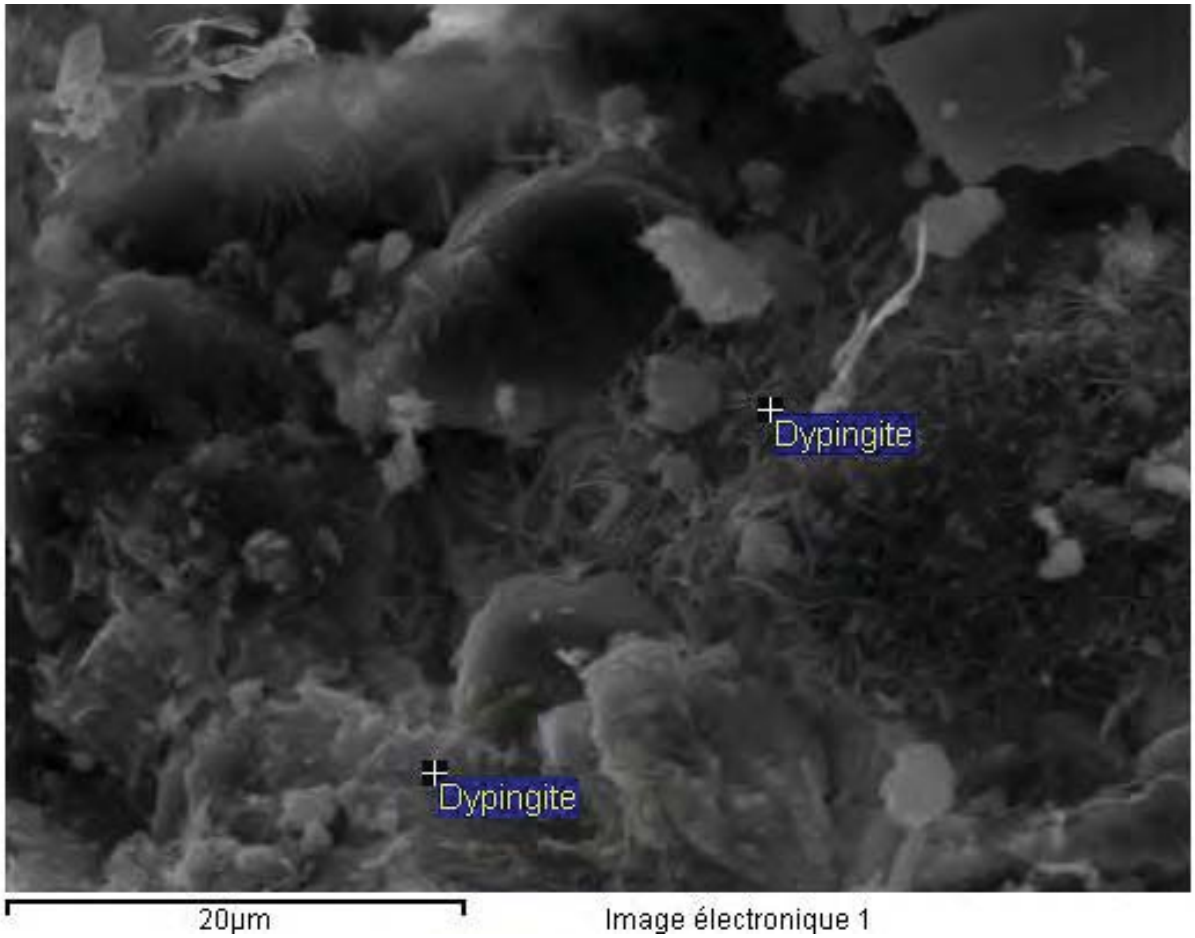

O Ka1


Mg Ka1_2


Si Ka1


Fe Ka1

Remarque:



Option Mise en forme : Oxygène par stoechiométrie (Normalisé)

	C	Mg	O	Total
Dypingite	18.3	19.88	61.83	100
Dypingite	20.92	14.09	64.99	100

Tous les résultats en % massique

PU-204-09-660

2013-08-12 13:58:23

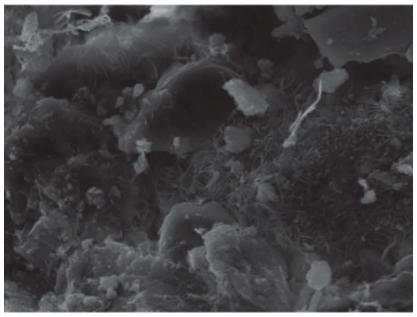
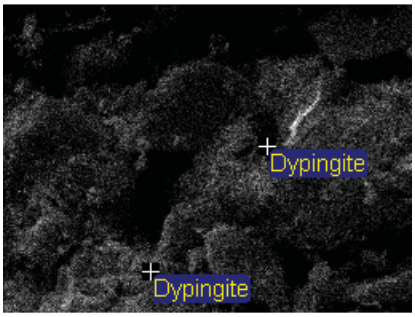
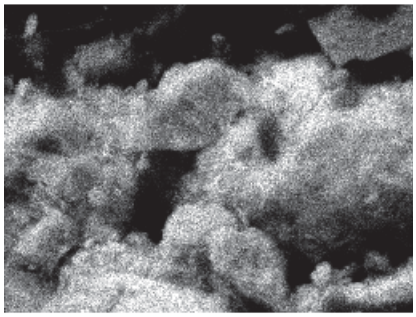


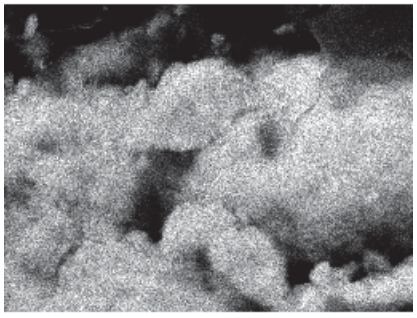
Image électronique 1



C Ka1_2



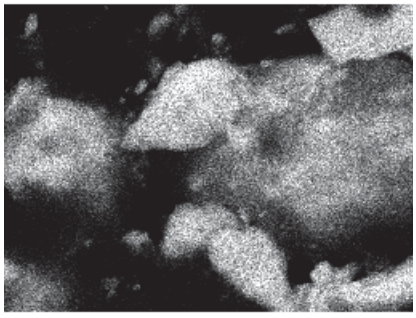
O Ka1



Mg Ka1_2



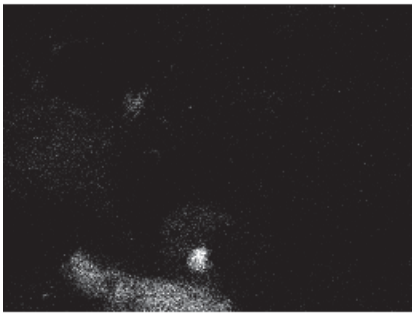
Al Ka1



Si Ka1

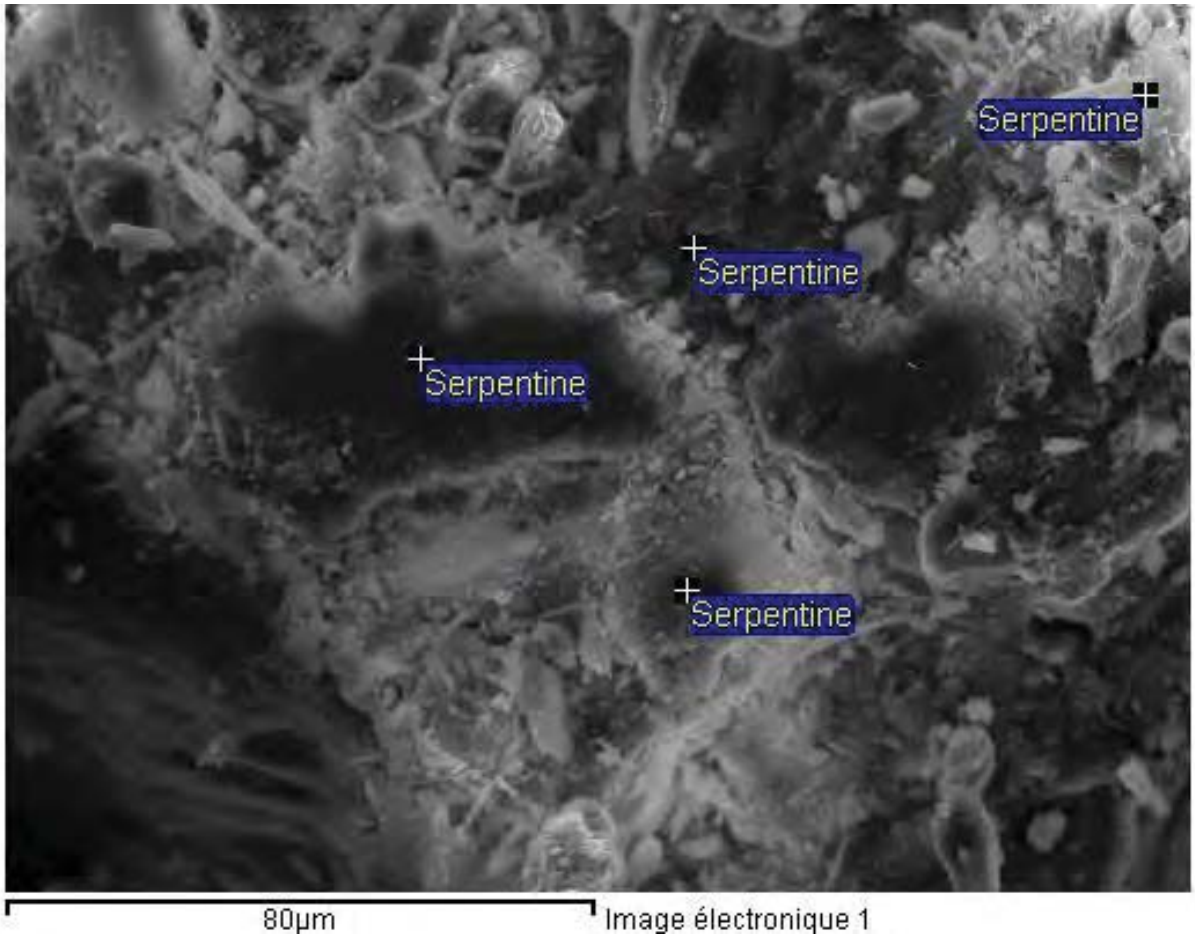


Ca Ka1



Fe Ka1

Remarque:



Option Mise en forme : Oxygène par stoechiométrie (Normalisé)

	Mg	Si	O	Total
Serpentine	29.51	23.87	46.62	100
Serpentine	30.85	22.83	46.32	100
Serpentine	30.95	22.76	46.29	100
Serpentine	31.69	22.18	46.13	100

Tous les résultats en % massique

PU-204-09-660

2013-08-12 14:09:33

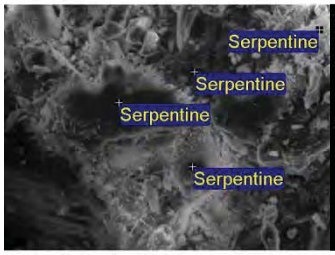
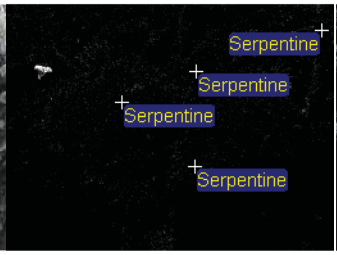
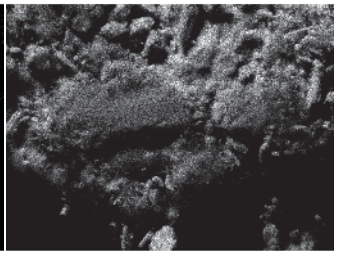
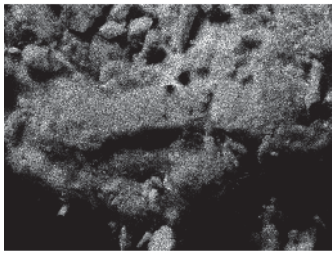


Image électronique 1

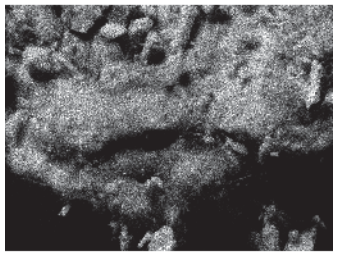


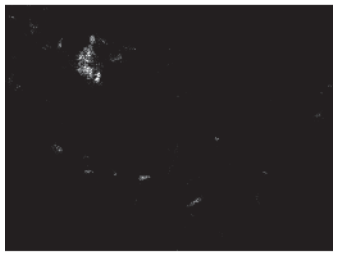
C Ka1_2

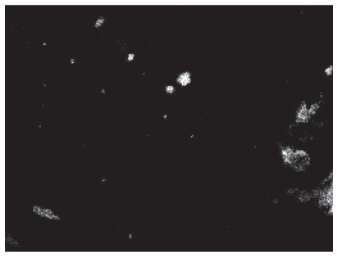

O Ka1


Mg Ka1_2

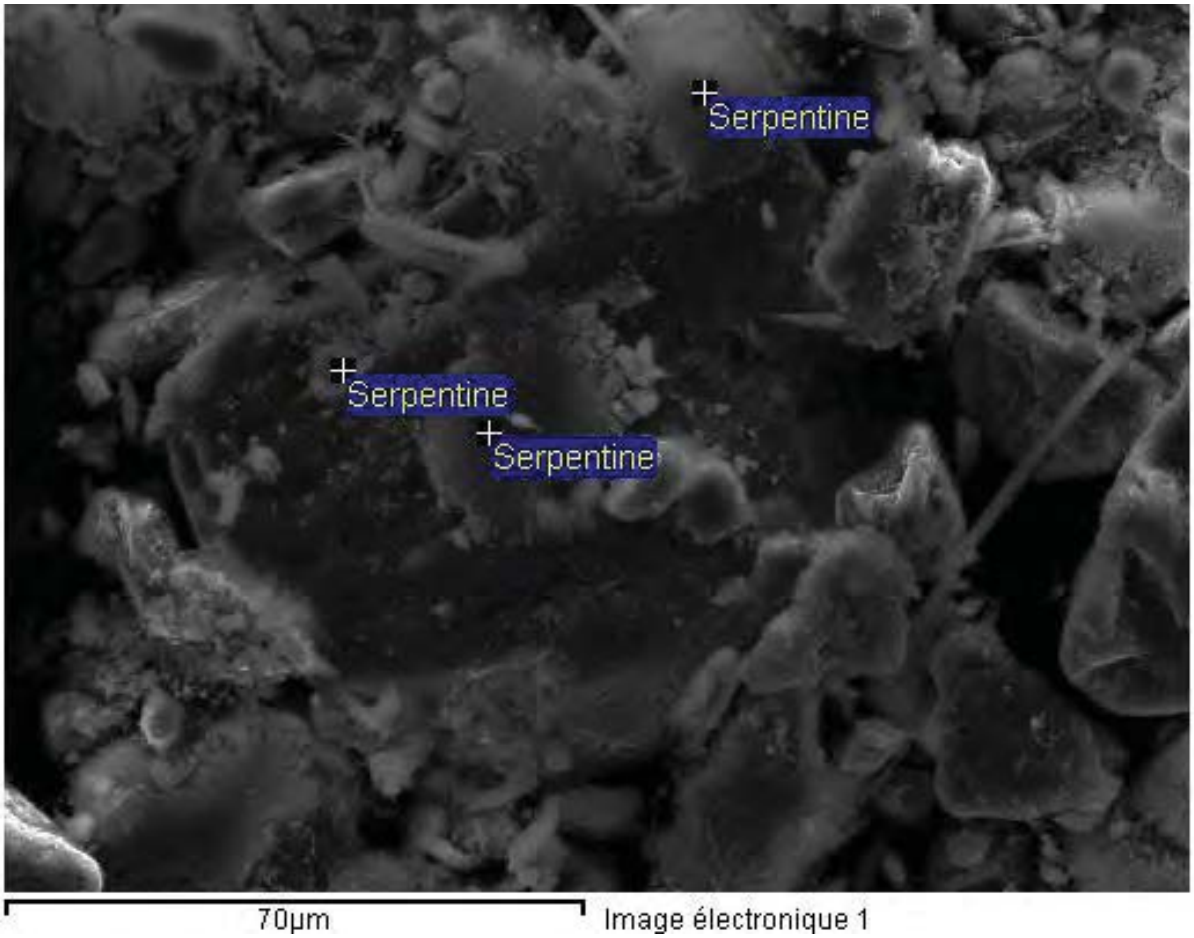

Al Ka1


Si Ka1


Ca Ka1


Fe Ka1

Remarque:



Option Mise en forme : Oxygène par stoechiométrie (Normalisé)

	Mg	Si	O	Total
Serpentine	29.94	23.54	46.52	100
Serpentine	30.04	23.46	46.5	100
Serpentine	29.07	24.21	46.72	100

Tous les résultats en % massique

ANNEXE 8

Quantification du chrysotile dans les roches du projet Dumont

Royal Nickel Corporation

Rapport de Quantification du Chrysotile

07 novembre 2013

Projet Dumont; Amos, Qc.

07 novembre 2013

CERTIFICAT DE QUALFICATION

Robert Cloutier

Je suis un citoyen canadien, résidant au 81 rue Germain, Amos, Québec, J9T 4J4, Canada certifie par la présente que :

1. Je suis gradué de l'Université de Montréal en 1986 avec le diplôme de bachelier (Bs.C) en Géologie.

2. Je pratique ma profession depuis 1986 en exploration et production minières avec une interruption de 7ans entre 2000 et 2007.

3. Je suis membre en règle de l'Ordre des Géologues du Québec (OGQ) depuis 2008, sous le numéro de membre 1233

4. Je travaille, à temps plein, pour la société Royal Nickel Corporation depuis 2007 à titre de géologue puis de géologue sénior.

5. Je reçois de mon employeur, à titre incitatif, des options d'achat d'actions dans la compagnie Royal Nickel Corporation.

6. Je suis co-auteur du rapport *Rapport de Quantification du Chrysotile, 15 avril 2013* et j'assume les responsabilités de tous les aspects géologiques de ce rapport.

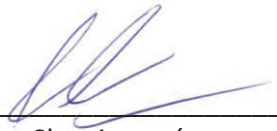
7. J'ai supervisé le travail des professionnels de Royal Nickel Corporation qui ont travaillé à la compilation, l'interprétation et la rédaction de ce rapport.

8. Je travaille sur le projet Dumont depuis 2007, j'ai visité la propriété et j'ai examiné la carotte de forage du projet Dumont.

9. Le contenu de ce rapport est fondé sur mon expérience personnelle de la propriété Dumont et résume fidèlement les travaux effectués. Cette étude est valable dans les limites de mes qualifications et de mon expérience professionnelle.

10. Je consens à l'utilisation de mon nom en regard de ce rapport.

EN FOI DE QUOI, je signe à Amos, ce 07 novembre 2013



_____

Robert Cloutier , géo

CERTIFICAT DE QUALFICATION

Arnaud Fontaine

Je soussigné, Arnaud Fontaine, géo. stag., domicilié au 93, 3e Avenue Ouest, Amos, Québec, Canada, J9T 1R5, certifie par la présente que :

1. Je travaille pour la compagnie Royal Nickel Corporation, 42 rue Trudel, Amos, Québec, Canada, J9T 4N1, depuis 2011 à titre de Géologue Stagiaire.

2. Je suis diplômé de l'Université de Québec à Montréal et détiens un Baccalauréat en Sciences de la Terre et de l'Atmosphère (2012) en concentration Géologie.

3. Je suis membre stagiaire de l'Ordre des Géologues du Québec depuis 2012, sous le numéro de membre 1608.

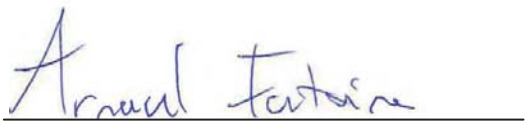
4. Je pratique ma profession dans le domaine de la géologie et de l'exploration minérale au Canada depuis 2011.

5. Je suis co-auteur du rapport intitulé *Rapport de Quantification du Chrysotile, 15 avril 2013*, et j'assume les responsabilités de tous les aspects géologiques de ce rapport.

6. J'ai participé aux activités reliées au projet Dumont depuis les 2 dernières années, j'ai examiné de la carotte de forage de la propriété et j'ai visité la propriété. Ce rapport est fondé sur mon expérience personnelle de la région, sur des rapports de travaux et sur des cartes disponibles ainsi que sur des travaux que j'y ai effectués.

7. En autant que je le sache, il n'y a aucun fait substantiel ou changement significatif en ce qui concerne le sujet du rapport qui ne serait pas reflété dans le rapport mentionné.

EN FOI DE QUOI, je signe à Amos, ce 07 novembre 2013



Arnaud Fontaine, géo. stag., B. Sc.
Géologue d'exploration – Projet Dumont
Royal Nickel Corporation

CERTIFICAT DE QUALFICATION

Brian Bélisle

Je soussigné, Brian Bélisle, géo. stag., domicilié au 281, rue Marchildon, Amos, Québec, Canada, J9T 4G5, certifie par la présente que :

1. Je travaille pour la compagnie Royal Nickel Corporation, 42 rue Trudel, Amos, Québec, Canada, J9T 4N1, depuis 2011 à titre de Géologue Stagiaire.

2. Je suis diplômé de l'Université de Québec à Montréal et détiens un Baccalauréat en Sciences de la Terre et de l'Atmosphère (2010) en concentration Géologie.

3. Je suis membre stagiaire de l'Ordre des Géologues du Québec depuis 2011, sous le numéro de membre 1529.

4. Je pratique ma profession dans le domaine de la géologie et de l'exploration minérale au Canada depuis 2011.

5. Je suis co-auteur du rapport intitulé *Rapport de Quantification du Chrysotile, 15 avril 2013*, et j'assume les responsabilités de tous les aspects géologiques de ce rapport.

6. J'ai participé aux activités reliées au projet Dumont depuis les 2 dernières années, j'ai examiné de la carotte de forage de la propriété et j'ai visité la propriété. Ce rapport est fondé sur mon expérience personnelle de la région, sur des rapports de travaux et sur des cartes disponibles ainsi que sur des travaux que j'y ai effectués.

7. En autant que je le sache, il n'y a aucun fait substantiel ou changement significatif en ce qui concerne le sujet du rapport qui ne serait pas reflété dans le rapport mentionné.

EN FOI DE QUOI, je signe à Amos, ce 07 novembre 2013



Brian Bélisle. stag., B. Sc.
Géologue d'exploration – Projet Dumont
Royal Nickel Corporation

CERTIFICAT DE QUALFICATION

Kyle Fournier

Je soussigné, Kyle Fournier, géo. stag., domicilié au 44, 2e Avenue Est, Amos, Québec, Canada, J9T 1G4, certifie par la présente que :

1. Je travaille pour la compagnie Royal Nickel Corporation, 42 rue Trudel, Amos, Québec, Canada, J9T 4N1, depuis 2011 à titre de Géologue Stagiaire.

2. Je suis diplômé de l'Université de Toronto et détiens un Baccalauréat en Sciences spécialisé en Géologie (2009).

3. Je suis membre stagiaire de l'Ordre des Géologues du Québec depuis 2012, sous le numéro de membre 1582.

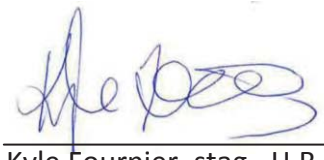
4. Je pratique ma profession dans le domaine de la géologie et de l'exploration minérale au Canada depuis 2011.

5. Je suis co-auteur du rapport intitulé *Rapport de Quantification du Chrysotile, 15 avril 2013*, et j'assume les responsabilités de tous les aspects géologiques de ce rapport.

6. J'ai participé aux activités reliées au projet Dumont depuis les 2 dernières années, j'ai examiné de la carotte de forage de la propriété et j'ai visité la propriété. Ce rapport est fondé sur mon expérience personnelle de la région, sur des rapports de travaux et sur des cartes disponibles ainsi que sur des travaux que j'y ai effectués.

7. En autant que je le sache, il n'y a aucun fait substantiel ou changement significatif en ce qui concerne le sujet du rapport qui ne serait pas reflété dans le rapport mentionné.

EN FOI DE QUOI, je signe à Amos, ce 07 novembre 2013



Kyle Fournier. stag., H.B.Sc.
Géologue d'exploration – Projet Dumont
Royal Nickel Corporation

CERTIFICAT DE QUALFICATION

Alexandr Beloborodov

Je soussigné, Alexandr Beloborodov, géo. stag., domicilié au 723, rue Miniac, Amos, Québec, Canada, J9T 4N8, certifie par la présente que :

1. Je travaille pour la compagnie Royal Nickel Corporation, 42 rue Trudel, Amos, Québec, Canada, J9T 4N1, depuis 2011 à titre de Géologue Stagiaire.

2. Je suis diplômé de l'Université de Québec à Montréal et détiens un Baccalauréat en Sciences de la Terre et de l'Atmosphère (2011) en concentration Géologie.

3. Je suis membre stagiaire de l'Ordre des Géologues du Québec depuis 2012, sous le numéro de membre 1637.

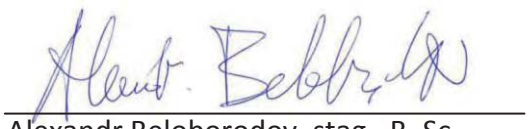
4. Je pratique ma profession dans le domaine de la géologie et de l'exploration minérale au Canada depuis 2011.

5. Je suis co-auteur du rapport intitulé *Rapport de Quantification du Chrysotile, 15 avril 2013*, et j'assume les responsabilités de tous les aspects géologiques de ce rapport.

6. J'ai participé aux activités reliées au projet Dumont depuis les 2 dernières années, j'ai examiné de la carotte de forage de la propriété et j'ai visité la propriété. Ce rapport est fondé sur mon expérience personnelle de la région, sur des rapports de travaux et sur des cartes disponibles ainsi que sur des travaux que j'y ai effectués.

7. En autant que je le sache, il n'y a aucun fait substantiel ou changement significatif en ce qui concerne le sujet du rapport qui ne serait pas reflété dans le rapport mentionné.

EN FOI DE QUOI, je signe à Amos, ce 07 novembre 2013



Alexandr Beloborodov. stag., B. Sc.
Géologue d'exploration – Projet Dumont
Royal Nickel Corporation

CERTIFICAT DE QUALFICATION

François Lacoste

Je soussigné, François Lacoste, géo. stag., domicilié au 834, 3e rue Ouest appartement 1, Amos, Québec, Canada, J9T 2T3, certifie par la présente que :

1. Je travaille pour la compagnie Royal Nickel Corporation, 42 rue Trudel, Amos, Québec, Canada, J9T 4N1, depuis 2011 à titre de Géologue Stagiaire.

2. Je suis diplômé de l'Université de Québec à Montréal et détiens un Baccalauréat en Sciences de la Terre et de l'Atmosphère (2010) en concentration Géologie.

3. Je suis membre stagiaire de l'Ordre des Géologues du Québec depuis 2011, sous le numéro de membre 1519.

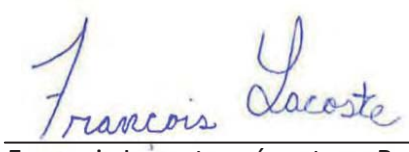
4. Je pratique ma profession dans le domaine de la géologie et de l'exploration minérale au Canada depuis 2011.

5. Je suis co-auteur du rapport intitulé *Rapport de Quantification du Chrysotile, 15 avril 2013*, et j'assume les responsabilités de tous les aspects géologiques de ce rapport.

6. J'ai participé aux activités reliées au projet Dumont depuis les 2 dernières années, j'ai examiné de la carotte de forage de la propriété et j'ai visité la propriété. Ce rapport est fondé sur mon expérience personnelle de la région, sur des rapports de travaux et sur des cartes disponibles ainsi que sur des travaux que j'y ai effectués.

7. En autant que je le sache, il n'y a aucun fait substantiel ou changement significatif en ce qui concerne le sujet du rapport qui ne serait pas reflété dans le rapport mentionné.

EN FOI DE QUOI, je signe à Amos, ce 07 novembre 2013



François Lacoste, géo. stag., B. Sc.
Géologue d'exploration – Projet Dumont
Royal Nickel Corporation

Table des matières

1) Introduction 1
2) Problématique du chrysotile en lien avec le projet Dumont 2
3) Méthodes quantitatives du chrysotile 5
Option 1: Comptage des fibres par point tel qu'appliqué par APE 5
Option 2: DRX (Diffraction aux Rayons-X) 5
Option 3: Analyse Thermale Différentielle (ATD) 6
Option 4: Analyse Spectrale par Photonic Knowledge 6
Option 5: Mesure de fibres par volume 7
Option 6: Estimation quantitative visuelle 7
4) Description de la méthode d'estimation visuelle quantitative 8
Introduction 8
Trois types d'environnements de chrysotile 10
1) Réseaux de chrysotile: 10
2) Chrysotile dans les zones hautement fragmentées 11
3) Chrysotile dans les veines/fractures 13
Discussion de la surestimation dans les environnements de chrysotile 14
Chrysotile dans les zones de carotte de forage non récupérées 15
Résumé 17
5) Sélection d'Échantillons Représentatifs 18
Méthodologie 18
1) Représentativité de la Lithologie: 18
2) Domaines Structuraux de la Propriété Dumont: 19
3) Domaines métallurgiques: 20
4) Trous de forage récents (coalingite): 21
Sommaire 21
6) Procédures (Document Détaillé dans l'Annexe IV) 22
Identification 22
Prises des mesures 26
Collecte des données 28
7) Interprétation des données 29
8) Résultats 33
Résultats du journal de sondage du chrysotile 33
Représentativité des données 33
Traitement des données avancé 36
1) Calcul de l'écart-type pondéré 36
2) Identification du 95e percentile 36
3) Calcul de l'intervalle de confiance 95% 38
4) Calcul de la moyenne avec intervalle de confiance 95% 39
Résultats des méthodes statistiques 40
9) Conclusion 42

Table des figures

Figure 1: Distribution des échantillons Explomin (QUEMSCAN) dans le gisement Dumont 3
Figure 2: Distribution des trous de forage sur le gisement Dumont 8
Figure 3: Vue en 3D de la distribution des trous de forage sur le gisement Dumont 9
Figure 4: Géologie de surface et les domaines structuraux du projet Dumont 18
Figure 5: Vue en 3D de la fosse planifiée avec les failles majeures 19
Figure 6: Vue en 3D de la fosse planifiée avec les domaines métallurgiques 20
Figure 7: Intense (4.5 à 7%) 22
Figure 8: Élevée (2.5 à 4.5%) 22
Figure 9: Modérée (1 à 2.5%) 22
Figure 10: Faible (0.1 à 1%) 22
Figure 11: Exemple de délimitation des Réseaux de chrysotile 23
Figure 12: Intense (40 à 70%) 24
Figure 13: Élevée (25 à 40%) 24
Figure 14: Modérée (10 à 25%) 24
Figure 15: Faible (1 à 10%) 24
Figure 16: Exemple de délimitation du chrysotile dans les zones hautement fragmentées 25
Figure 17: Veine de chrysotile coupant presque perpendiculairement l'axe de la carotte de forage 25
Figure 18: Veine de chrysotile subparallèle à l'axe de la carotte de forage 25
Figure 19: Image de la table Chrysotile dans DH Logger® 27
Figure 20: Segmentation en 4.5 cm d'une veine de chrysotile subparallèle à l'axe de la carotte 28
Figure 21: Représentation 3D vers le Nord-Est du chrysotile avec les failles majeures mises à jour en 2012. . 33
Figure 22: Représentation 3D vue vers le Nord-Est. 34
Figure 23: Représentation 3D vers le Sud du chrysotile avec les failles majeures. 34
Figure 24: Histogramme des pourcentages de chrysotile sur l'ensemble des données 36
Figure 25: Histogramme des pourcentages de chrysotile dans la péridotite supérieure 37
Figure 26: Histogramme des pourcentages de chrysotile dans la dunite 37
Figure 27: Histogramme des pourcentages de chrysotile dans la péridotite inférieure 38
Figure 28: Intervalle de confiance 95% 38
Figure 29 : Échelle log-normal en abscisse sur la distribution des données du chrysotile 39

Tableaux

Tableau 1 : Liste des minéraux asbestiformes 2
Tableau 2: Valeurs assignées pour les catégories d'intensités de chaque environnement de chrysotile 17
Tableau 3: Liste des trous de forage sélectionnés 21
Tableau 4: Quantification du chrysotile 35
Tableau 5: Résultats du traitement des données statistiques sur les valeures examinées 40
Tableau 6: Résultats du traitement des données statistiques incluant le chrysotile de la carotte non récupérée 41

1) Introduction

Le mandat de ce projet consiste à établir une méthode d'évaluation quantitative du contenu de chrysotile dans le gisement Dumont et à évaluer la teneur globale du chrysotile dans le gisement. Cette teneur servira d'intrant à la modélisation des poussières par la firme Genivar qui servira ensuite d'intrant à la firme Sanexen pour une analyse d'évaluation des risques à la santé humaine posés par la dispersion des poussières lors de l'exploitation minière du projet Dumont.

Le chrysotile, avec l'antigorite et la lizardite, est l'un des trois plus importants polymorphes du groupe minéral de la serpentine. Son habitus souvent fibreux est le résultat de sa croissance dans des fractures d'expansion durant la serpentinisation des roches ultramafiques sous des conditions spécifiques. Étant donné les compositions et structures similaires des polymorphes et des autres phases de serpentine existantes, l'identification du chrysotile et sa quantification sont complexes.

Royal Nickel Corporation (RNC) a consulté divers minéralogistes de SGS (SGS Minerals Service) et XPS (Xstrata Process Support) pour fournir des options sur les possibles méthodes qui peuvent identifier et potentiellement quantifier le chrysotile.

Plusieurs méthodes sont disponibles pour des analyses qualitatives dépendamment de la pureté et de l'état de l'échantillon. Certaines de ces méthodes qualitatives peuvent être appliquées quantitativement. L'applicabilité de plusieurs de ces méthodes est limitée par leur capacité de quantifier le chrysotile à des basses teneurs comme celles présentes dans le gisement Dumont. Six méthodes ont été évaluées et sont décrites à la section 3. L'estimation quantitative visuelle a été la méthode choisie. Cette méthode, décrite en détail dans la section 4, a été appliquée sur un échantillonnage représentatif du dépôt à travers 13 trous de forage.

La moyenne de la teneur en chrysotile dans les roches ultramafiques de la propriété Dumont se situe entre 1.7% et 1.9% avec un intervalle de confiance à 95%.

2) Problématique du chrysotile en lien avec le projet Dumont

La dénomination « fibre d'amiante » désigne six fibres minérales qui se distinguent par leur forme dite « asbestiforme », c'est-à-dire « ayant la forme d'amiante ». Ces six fibres d'amiante se répartissent en deux familles :

Tableau 1 : Liste des minéraux asbestiformes

Minéral asbestiforme	Analogue minéral non asbestiforme	Composition nominal	Présent dans le gisement Dumont
Minéraux de la famille des serpentines			
Chrysotile	Lizardite, Antigorite	$Mg_3(Si_2O_5)(OH)_4$	Oui
Minéraux de la famille des amphiboles			
Crocidolite	Riebeckite	$Na_2Fe_3^{2+}Fe_2^{3+}(Si_8O_{22})(OH)_2$	Non
Amosite	Grunérite	$(Fe^{2+}, Mg)_7(Si_8O_{22})(OH)_2$	Non
Anthophyllite fibreux	Anthophyllite	$(Mg, Fe^{2+})_7(Si_8O_{22})(OH)_2$	Non
Actinolite fibreux	Actinolite	$Ca_2(Fe^{2+}, Mg)_5(Si_8O_{22})(OH)_2$	Non
Trémolite fibreuse	Trémolite	$Ca_2Mg_5(Si_8O_{22})(OH)_2$	Non

Les méthodes analytiques pour la détermination des fibres d'amiante ne permettent pas toujours de différencier une fibre minérale asbestiforme de son homologue non asbestiforme, car il n'existe actuellement aucune méthode fiable pour différencier, de façon simple, les fragments de clivage des fibres asbestiformes ou non asbestiformes.

Les méthodes utilisées pour mesurer la teneur en chrysotile dans l'industrie du chrysotile s'intéressent surtout à la concentration des fibres de valeur commerciale et ne donnent pas une bonne représentation de la concentration totale de chrysotile dans la roche.

Les différents travaux réalisés par Royal Nickel Corporation ont démontré que le seul minéral asbestiforme présent dans le projet Dumont est le chrysotile. Cela a été vérifié grâce à un total de 1557 échantillons QEMSCAN qui ont été analysés par SGS. De ces échantillons, 1420 ont été prélevés à travers le gisement dans les unités ultramafiques (figure 1) susceptibles de contenir des minéraux asbestiformes.

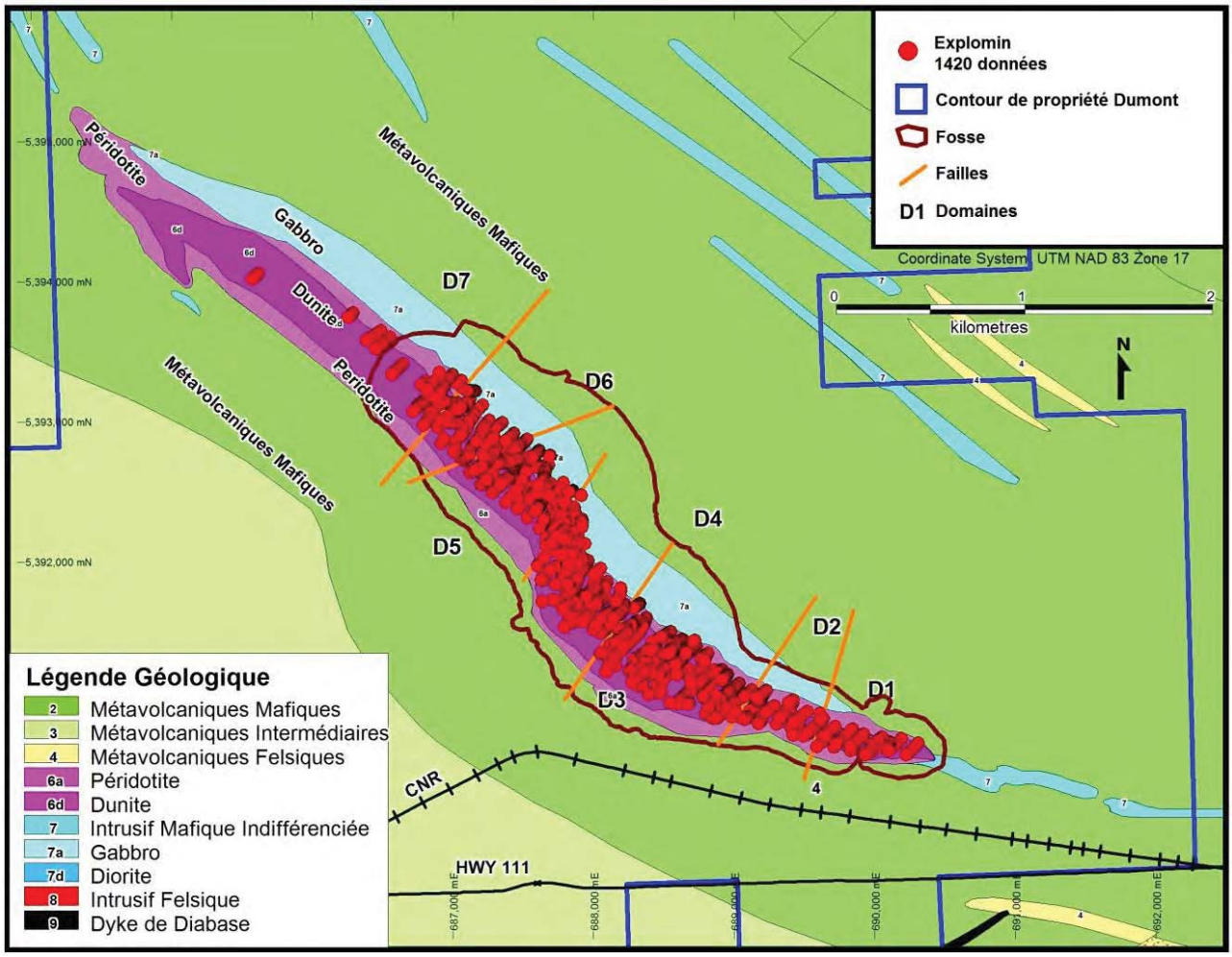


Figure 1: Distribution des échantillons Explomin (QUEMSCAN) dans le gisement Dumont

Dans la péridotite, près du contact de l'éponte inférieure, du talc a été identifié dans certains échantillons QUEMSCAN examinés. Dans cet environnement le talc et la magnésite remplacent le chrysotile.

Le talc peut, en présence de quartz, générer de la trémolite par la réaction : Talc + Qtz = Trémolite. Deux facteurs ont fait en sorte que cette réaction ne s'est pas produite :

- Le degré de métamorphisme du gisement est au faciès des schistes verts (serpentinisation). Ce niveau de métamorphisme n'est pas suffisant pour permettre la remobilisation de la silice et la formation de quartz comme on en retrouverait dans le faciès supérieur que serait celui des amphibolites (la trémolite fait partie du groupe des amphiboles).
- Le gisement Dumont est sous-saturé en silice.

Aucune amphibole abestiforme ou non abestiforme n'a été identifiée dans les échantillons contenant du talc.

Il est à noter qu'un autre minéral qui peut avoir une forme fibreuse est présent dans le minerai du projet Dumont. Il s'agit de la brucite, qui est un hydroxyde de magnésium, et non pas un silicate comme les minéraux asbestiforme.

Plusieurs analyses sont en cours pour évaluer les problématiques potentielles occasionnées par le chrysotile :

- Une première étude sur la carbonatation faite en 2010 par le Département de géologie et de génie géologique et du Département de génie chimique de l'Université Laval (Annexe I) a démontré l'application des minéraux fibreux (brucite et chrysotile) dans la réaction de transformation en carbonate. Il fut montré que le chrysotile faisait partie de cette réaction impliquant le dioxyde de carbone.
- Une analyse sur la séquestration du carbone est en cours dans le cadre d'une subvention de Recherche et Développement Coopératif (RDC) du CRSNG (Conseil de recherche en sciences naturelles et en génie) intitulée : « Facteurs d'influence sur la prédiction de la qualité des eaux de drainage de rejets miniers séquestrateurs de carbone : cas du projet Dumont de la compagnie Royal Nickel Corporation. » Le titulaire est le professeur Bruno Bussière, en collaboration avec Benoit Plante à l'UQAT et Georges Beaudoin à l'Université Laval. Dans le cadre de cette étude, la possibilité d'encapsulation du chrysotile par la brucite dans les résidus miniers sera évaluée.
- Des tests métallurgiques sont en cours pour évaluer les impacts des minéraux fibreux (chrysotile et brucite) sur l'usinage et la récupération.

3) Méthodes quantitatives du chrysotile

Option 1: Comptage des fibres par point tel qu'appliqué par APE

(Informations fournies par XPS)

- Les méthodes APE (Agence de Protection de l'Environnement) ne distinguent pas le clino-chrysotile des autres matériaux fibreux. Ces méthodes comptent le nombre de fibres par superficie (fibre/cm^2 par exemple). Une fibre est définie par son aspect ratio. Ainsi, une fibre peut être l'un des nombreux minéraux avec un habitus fibreux apparent. Par conséquent, cette méthode peut résulter en une surestimation du chrysotile, particulièrement dans les types de roche de la propriété Dumont, où la dunite et la péridotite contiennent entre 3% et 6% de brucite.
- En addition avec l'aspect ratio, les minéralogistes utilisent l'habitus formant des fibres courbées dites "tails" pour identifier le chrysotile, ce qui peut être très subjectif. La précision/reproductibilité d'une valeur numérique par cette méthode est variable et inappropriée dans notre cas.
- L'échantillonnage du comptage des fibres par point est exécuté en comptant une quelque centaine de points sur un échantillonnage à petite échelle et introduit des problèmes sur la représentativité des échantillons de même que la sélection de ces derniers qui est biaisée.

Conclusion:
Cette méthode n'a pas été tentée par RNC, elle est considérée comme prenant beaucoup de temps, imprécise, non-reproductible et non-représentative.

Option 2: DRX (Diffraction aux Rayons-X)

(Informations fournies par SGS et XPS, Annexe VII)

- Le chrysotile est un polymorphe de la lizardite et de l'antigorite. Cependant, certaines différences dans leur structure permettent d'observer une signature par DRX propre à chacune.
- La DRX a été performée sur des composites métallurgiques en tant que partie du programme QEMSCAN.

Conclusion:
Dans le cas de la propriété Dumont, cette option a été réfutée puisque le chrysotile n'est pas un composant majeur du dépôt. Ce faisant, les pics de DRX sont difficiles à distinguer selon les minéraux du groupe de la serpentine, qui eux sont abondants et souvent en intercroissance avec le chrysotile dans les fractures du dépôt. Il serait donc peu concluant d'utiliser la DRX car il serait difficile de quantifier le chrysotile. Cette méthode implique beaucoup de manipulations et n'est pas efficace en termes de temps.

Option 3: Analyse Thermale Différentielle (ATD)

(Voir rapport fourni par XPS pour détails, Annexe II)

- Selon Viti et al. 2011, il a été montré que l'ATD pouvait être appliquée pour déterminer quantitativement le chrysotile dans les serpentinites. XPS a été embauché pour reproduire la procédure établie par Viti et al. 2011 sur les roches de la propriété Dumont pour analyser les applicabilités.

Conclusion:

XPS a conclu que cette méthode ne peut pas être appliquée dû à la présence de brucite dans les roches de la propriété Dumont, ce que les auteurs n'ont pas considéré en raison du manque de brucite dans leurs échantillons. XPS n'était pas en mesure de corriger ces changements avec suffisamment de précision pour être en mesure de prédire la composition minérale, et donc la quantification, avec un quelconque degré de certitude. De plus, cette technique s'applique sur des échantillons microscopiques et donc peu représentatifs. Pour ces raisons, cette option n'a pas été considérée.

Option 4: Analyse Spectrale par Photonic Knowledge

(Présentation Power Point fournie par Photonic Knowledge)

En 2011, RNC a entrepris un programme de caractérisation par analyse spectrale avec Photonic Knowledge pour comprendre la répartition des altérations, dont celle du chrysotile, ainsi que la minéralogie dans la carotte de forage Dumont. Voici les difficultés rencontrées :

- Photonic Knowledge applique une bibliothèque de référence pour assigner un minéral ou un groupe de minéraux à un spectre donné. La bibliothèque de référence est établie par l'envoi d'échantillons pour MEB, analyse, DRX etc. En se référant aux options précédentes sur l'identification du chrysotile, la construction d'une bibliothèque de référence n'est pas possible en raison des facteurs qui ont été expliqués.
- Malgré la nature similaire de la chimie et les caractéristiques physiques des produits d'altération de la carotte de forage Dumont, l'analyse spectrale a été en mesure d'établir des spectres spécifiques pour un groupe de minéraux et de minéraux non distincts.
- D'addition avec ces contraintes, le chrysotile se retrouve souvent en petites quantités et dans les petites fractures d'extension, lesquelles sont plus petites que la résolution de l'imagerie spectrale. Par conséquent, les minéraux à grains fins, tels que le chrysotile, ne peuvent pas être clairement identifiés, et encore moins quantifiés.
- Les effets de bordure dans les données n'ont pas été corrigés adéquatement.
- L'imagerie spectrale n'a pas bien corrélé avec la minéralogie quantifiée par QEMSCAN en général pour toutes les images spectrales observées.

Conclusion:

Cette option n'a pas été prise en considération puisqu'il y a beaucoup de contraintes techniques et procédurales reliées à cette méthode pour son application à la quantification du chrysotile.

Option 5: Mesure de fibres par volume

Les producteurs de chrysotile/asbestos dans la région de Black Lake, Québec, utilisent une méthode de calcul volumétrique pour le contrôle de la teneur. Un échantillon donné est broyé et les fibres sont séparées. Le volume des fibres est comparé au volume de l'échantillon, fournissant un pourcentage de fibre. Le Centre de Technologie Minérale et de Plasturgie (CTMP) a été consulté pour l'utilisation de cette méthode pour les roches du projet Dumont.

Conclusion:

RNC a été informé que cette méthode ne fonctionnerait pas dans une perspective idéale pour les roches du projet Dumont en raison de la présence d'autres minéraux fibreux (brucite) et qu'il faudrait ainsi des méthodes supplémentaires (DRX) après qu'un échantillon de "fibre" soit séparé. Des dépôts tels que Black Lake n'ont qu'un seul type de fibre: l'amiante, qui est de qualité très pure et sous forme de cristaux. DRX a présenté les contraintes susmentionnées. Par conséquent, cette méthode n'a pas été approchée par RNC.

Option 6: Estimation quantitative visuelle

(Réalisation de journaux de sondages pour le chrysotile sur la carotte de forage du projet Dumont)

Les tentatives précédentes pour quantifier le chrysotile par les méthodes décrites ci-dessus n'ont pas été concluantes. RNC a donc établi une procédure standard représentative de réalisation d'un journal de sondage pour le chrysotile sur la carotte de forage. Cette méthode fournit des résultats reproductibles et quantifiables.

La première phase du programme est complétée affichant un résultat moyen de 1.8% de chrysotile sur 13 trous de forage représentatifs sélectionnés à travers le dépôt Dumont. La section suivante de ce document décrit les méthodes utilisées pour arriver à la construction du journal de sondage du chrysotile du projet Dumont (voir également le document Méthodes de quantification du chrysotile, Annexe III).

4) Description de la méthode d'estimation visuelle quantitative

Introduction

Le filon-couche de Dumont est encaissé dans les laves et roches volcanoclastiques du Groupe d'Amos. Considéré comme une intrusion litée mafique-ultramafique, le filon-couche comprend une zone ultramafique inférieure et une zone mafique supérieure. La zone ultramafique est subdivisée en sous-zones: péridotite inférieure, dunite et péridotite supérieure. La zone mafique regroupe trois sous-zones qui sont, de la base vers le sommet, la clinopyroxénite, le gabbro et le gabbro à quartz. Le chrysotile est connu pour se développer dans la zone ultramafique en fonction des divers degrés de serpentinisation.

RNC assume que les trous de forages effectués sur le projet Dumont sont représentatifs du gisement. Au moment de réaliser cette étude, plus de 460 trous de forage pour plus de 168 000 mètres forés ont été réalisés sur la zone minéralisée du projet Dumont.

Plusieurs contraintes géologiques ont orienté la sélection des trous de forages pour assurer une représentativité du gisement dans les forages choisis. Les détails du processus de sélection sont décrits dans le chapitre 5 de ce document.

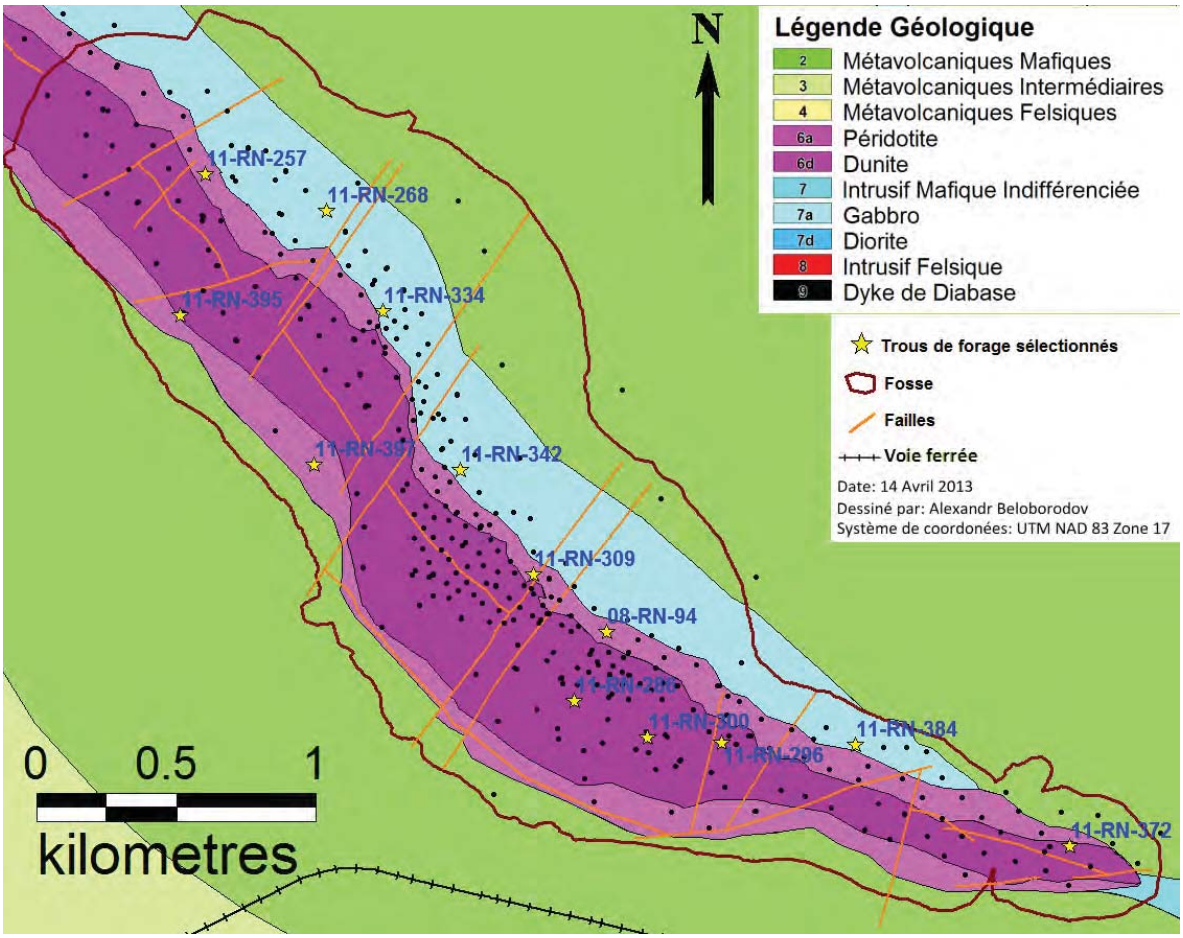


Figure 2: Distribution des trous de forage sur le gisement Dumont

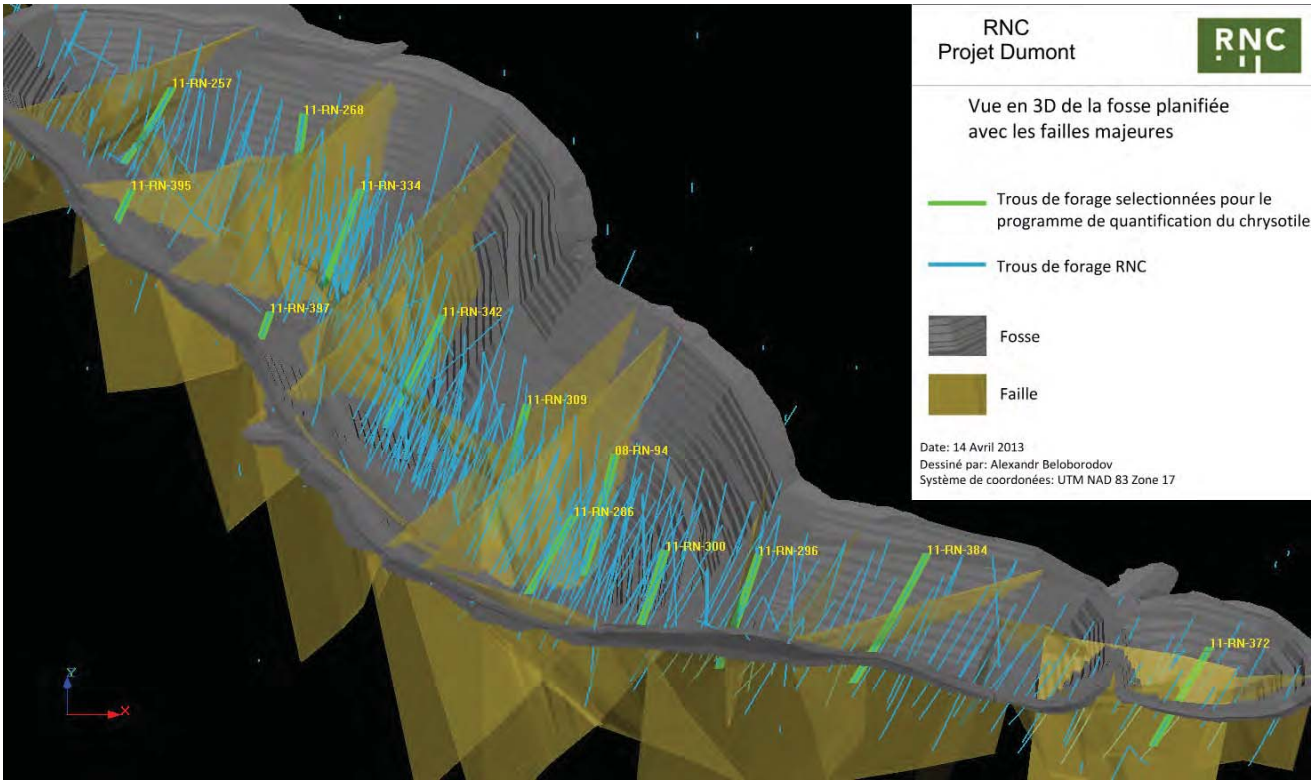


Figure 3: Vue en 3D de la distribution des trous de forage sur le gisement Dumont

Pour caractériser objectivement chaque environnement de chrysotile et pour une gestion de temps efficace, des niveaux d'intensités furent créés. Ils réfèrent chacun à une teneur en pourcentage de chrysotile présent dans la carotte. Pour se faire, les géologues de RNC ont utilisé un trou de forage en référence (11-RN-309) qui fut choisi pour ces variations de textures dans les environnements de chrysotile.

Il y a trois environnements géologiques où le chrysotile a été identifié dans la roche ultramafique récupérée en forage et où l'estimation de celui-ci a besoin d'être évaluée séparément. Ces environnements sont:

1) Réseaux de chrysotile: (Autour des grains et dans les petites veines, omniprésentes dans la roche)
2) Chrysotile dans les zones hautement fragmentées (Failles)
3) Chrysotile dans les veines/Fractures (ouvertes ou fermées)

Cette section présente toutes les méthodes envisagées et testées pour arriver à une entente sur la procédure d'opération finale. Ceci va être démontré pour les trois types d'environnements de chrysotile analysés.

Trois types d'environnements de chrysotile

1) Réseaux de chrysotile:

Pour estimer la teneur de chrysotile dans les réseaux, les géologues de RNC ont premièrement séparé l'analyse en quatre catégories d'intensité. Des étendues de variation d'intensité en pourcentage de chrysotile furent attribuées à chaque catégorie d'intensité afin de faire une distinction entre chaque catégorie.

Ces étendues sont:

Intense	(5-8%),
Élevée	(3-5%),
Modérée	(1-3%),
Faible	(0.1%-1%).

Pour attribuer une teneur en pourcentage de chrysotile à chaque catégorie, deux méthodes furent testées.

Premier essai d'évaluation du chrysotile

La première méthode expérimentée était de mesurer l'épaisseur de chrysotile dans les petites veines et autour des grains pour chaque catégorie d'intensité à travers des lignes perpendiculaires sur la surface coupée de la carotte dans un intervalle donné. Les mesures furent additionnées, puis divisées par la longueur de l'intervalle testé pour donner un pourcentage de chrysotile sur un plan.

Cette méthode a généré un écart significatif entre les résultats des cinq géologues attitrés à cette tâche. Les pourcentages mesurés ne correspondaient pas à leur estimation visuelle. Cet écart était dû à une surévaluation de l'épaisseur des petites veines de chrysotile (plus petite que 1mm) mesurées avec une règle traditionnelle. Les résultats et les étapes utilisées pour cette méthode sont décrits dans le document Méthodes de Quantification du Chrysotile en Annexe III.

Méthode d'évaluation du chrysotile retenue

Les géologues de RNC ont par la suite mis au point une nouvelle méthode utilisant Photoshop®. En premier lieu, des photos furent prises pour chaque catégorie d'intensité sur la surface coupée de la demie carotte. En tronquant la photo dans Photoshop®, les sections de réseaux de chrysotile furent isolées de sorte que seulement ceux-ci soient présents. Puis, en comparant avec la roche, le contraste et la luminosité furent ajustés pour faire en sorte que seulement (ou principalement) les réseaux de chrysotile apparaissent en blanc ou en couleurs clairs et que le reste apparaisse en couleurs foncées. Par la suite, Photoshop® a calculé le pourcentage de pixels clairs par rapport aux pixels foncés présents en utilisant la fonction «Histogramme». Ainsi, les géologues de RNC obtinrent un pourcentage pour les différentes catégories de réseaux de chrysotile. Cette méthode est reproductible et donne des valeurs qui concordent avec l'estimation visuelle des géologues de RNC.

Avec cinq photos représentatives des catégories d'intensités "Faible" et "Modérée", quatre photos représentatives de la catégorie d'intensité "Élevée" et trois photos représentatives de la catégorie d'intensité "Intense", une valeur moyenne a été obtenue pour chaque catégorie en utilisant la méthode de Photoshop® pour les réseaux de chrysotile.

Par la suite, des gammes de pourcentage furent assignées à chaque catégorie. Ces valeurs sont indiquées dans le Tableau 2 du résumé à la fin de cette section.

Les résultats et étapes utilisées pour cette méthode sont décrits dans le document Méthodes de Quantification du Chrysotile en Annexe III.

Ajout de données supplémentaires
Dans le but d'avoir une meilleure représentativité des catégories d'intensités "Élevée" et "Intense" de nouveaux échantillons ont été évalués pour avoir maintenant un total de 5 échantillons pour chaque catégorie d'intensité. Ainsi, 2 échantillons ont été ajoutés pour la catégorie d'intensité "Intense" et un échantillon pour la catégorie d'intensité "Élevée".

Ces nouveaux échantillons ont été évalués par la méthode Photoshop®. La valeur assignée à chaque catégorie a été ajustée en prenant en compte les pourcentages des nouveaux échantillons. Malgré l'ajout de nouvelles données pour les catégories d'intensités "Élevée" et "Intense", l'ajustement de la valeur assignée des catégories d'intensités "Élevée" et "Intense" n'apporte aucune différence aux valeurs assignées précédentes.

La section «Échantillons utilisés pour la caractérisation de l'environnement «Réseaux de chrysotile»» du document «Méthodes de Quantification du Chrysotile» (Annexe III) montre le tableau récapitulatif de ces valeurs (tableau 3 de l'Annexe III) ainsi que les illustrations des nouveaux échantillons.

2) Chrysotile dans les zones hautement fragmentées

Pour estimer la teneur de chrysotile dans les zones hautement fragmentées, les géologues de RNC ont utilisé la même stratégie de catégories d'intensités que pour les Réseaux de chrysotile. Une variété de zones hautement fragmentées a été sélectionnée pour assurer une distribution représentative.

La quantification des catégories d'intensités du chrysotile dans ces zones a dû s'effectuer de façon visuelle par cinq géologues de RNC. Les valeurs mesurées ont été compilées, vérifiées puis assignées à une catégorie d'intensité (faible, modérée, élevée et intense).

Dans cet environnement il est impossible d'utiliser Photoshop® pour deux raisons principales. Photoshop® exige des surfaces propres et continues. Par contre, dans cet environnement, la carotte de forage est fragmentée et la boue des zones cisaillées y couvre de façon omniprésente la carotte de forage.

Une teneur moyenne fut calculée pour chaque catégorie à partir des estimations des géologues faites sur une sélection de zones représentatives :

- 6 zones hautement fragmentées représentatives de la catégorie d'intensité Faible
- 6 zones hautement fragmentées représentatives de la catégorie d'intensité Modérée
- 2 zones hautement fragmentées représentatives de la catégorie d'intensité Élevée
- 2 zones hautement fragmentées représentatives de la catégorie d'intensité Intense,

Par la suite, des gammes de pourcentage furent assignées à chacune des catégories. Ces valeurs sont indiquées dans le Tableau 2 du résumé à la fin de cette section.

Les résultats et étapes utilisées pour cette méthode sont décrits dans le document Méthodes de Quantification du Chrysotile en Annexe III.

Ajout de données supplémentaires

Dans le but d'avoir une plus grande représentativité des catégories d'intensités Élevée et Intense, de nouveaux intervalles ont été évalués pour avoir maintenant un total de 5 échantillons pour ces catégories d'intensités. Ainsi, 3 intervalles ont été ajoutés pour les catégories d'intensités Élevée et Intense.

Ces nouveaux intervalles ont été évalués en utilisant la méthode décrite ci-haut. La valeur assignée à chaque catégorie a été ajustée en prenant en compte les pourcentages des nouveaux échantillons. L'ajout de nouvelles données pour les catégories d'intensités Élevée et Intense a causé une légère augmentation des valeurs assignées à ces catégories d'intensités.

- Intensité Élevée : la valeur moyenne passe de 33% à 35%.
- Intensité Intense : la valeur moyenne passe de 50% à 55%.

L'ajustement de la valeur assignée des zones hautement fragmentées de catégories d'intensités Élevée et Intense est supérieure à la première phase d'estimation et entraîne une augmentation du pourcentage estimé de chrysotile, à la fois sur les trous sélectionnés et sur l'ensemble du projet. Cet ajustement augmente la valeur dans l'ordre de grandeur du centième de pourcentage.

La section «Échantillons utilisés pour la caractérisation de l'environnement «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées» » du document «Méthodes de Quantification du Chrysotile» (Annexe III) montre le tableau récapitulatif de ces valeurs (tableau 5 de l'Annexe III) incluant les illustrations des échantillons.

Vérification interne des zones hautement fragmentées

Lors de l'ajout de données supplémentaires, sept géologues ont réévalué six intervalles de la catégorie d'intensité Intense des zones hautement fragmentées. Sur ces six intervalles, trois d'entre eux ont été recatégorisés dans les catégories Modérée et Élevée. Les trois autres sont demeurés dans la catégorie Intense.

Pour cette raison, les géologues de RNC ont décidé de faire une réévaluation des 45 intervalles de la catégorie d'intensité Intense de l'environnement «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées» pour vérifier la validité des identifications faites lors du journal de sondage du chrysotile.

Sur les 45 intervalles de la catégorie Intense, 15 d'entre eux ont été recatégorisés et ajustés dans la base de données. Ces intervalles sont illustrés dans l'Annexe VI.

La réévaluation interne des zones hautement fragmentées de la catégorie d'intensité «Intense» est inférieure à la première phase d'estimation et entraîne une diminution du pourcentage de chrysotile, à la fois, sur les trous sélectionnés et sur l'ensemble du projet. Cet ajustement diminue la valeur dans l'ordre de grandeur du centième de pourcentage.

3) Chrysotile dans les veines/fractures

Pour estimer la teneur en chrysotile de cet environnement les géologues de RNC ont jugé que la méthode la plus adéquate :

- est de mesurer l'épaisseur du chrysotile présent dans les veines et fractures à l'aide d'une règle;
- et d'assumer que la teneur désignée en chrysotile est de 100%.

Tout ce qui est à l'extérieur des veines est considéré comme faisant partie de réseaux de chrysotile à travers la roche.

Pour les veines qui recoupent l'axe de la carotte de forage avec un angle fort, une mesure de l'épaisseur du chrysotile est prise. Pour les veines qui recoupent l'axe de la carotte avec un angle faible, un calcul standard est utilisé de façon à diviser le joint en segments de 4.5 cm (ou le diamètre de la carotte de forage). Ce qui revient à couper la veine en segments de 4.5 cm de longueur, à regrouper ces segments côte à côte perpendiculairement à l'axe de la carotte de forage et à mesurer l'épaisseur totale.

Les résultats et étapes utilisées pour cette méthode sont décrits dans le document Méthodes de Quantification du Chrysotile en Annexe III.

Discussion de la surestimation dans les environnements de chrysotile

Une surestimation de la teneur en chrysotile présent dans la carotte de forage est générée par ces méthodes de quantification dans les environnements de chrysotile puisque de la brucite (pâle) et des minéraux blancs coexistants (tels que le talc, la serpentine et des carbonates) sont souvent associés au chrysotile et ne peuvent pas être aisément distingués lorsque ceux-ci sont de granulométrie fine.

À une échelle millimétrique, les géologues peuvent faire la différence entre ces minéraux et ainsi évaluer adéquatement les catégories d'intensités pour les environnements «Réseaux de chrysotile» et «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées». Pour l'environnement «Chrysotile dans les veines/fractures», l'identification plus aisée de ces minéraux pâles coexistants permet aux géologues d'estimer correctement l'épaisseur de la structure évaluée.

Cependant, sur une échelle plus petite qu'un millimètre, il est parfois difficile de différencier ces minéraux à l'œil nu et ceux-ci se retrouvent inclus dans l'évaluation des environnements de chrysotile fait par les géologues, ce qui génère cette surestimation.

Dans l'environnement «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées», chaque catégorie d'intensité couvre une large gamme de pourcentage. L'estimation visuelle dans les zones à pourcentages élevés est plus variable d'un géologue à l'autre. Pour cette raison, dès que l'estimation visuelle se situe près des limites des gammes de pourcentage des catégories d'intensités, la zone est classée dans la catégorie supérieure.

Nous considérons ces surestimations comme globalement faibles avec un impact mineur sur les résultats. Ces méthodes d'évaluation pour les différents environnements de chrysotile furent approuvées par les géologues de RNC.

Chrysotile dans les zones de carotte de forage non récupérées

L'altération des lithologies ultramafiques du projet Dumont génère des minéraux fibreux qui peuvent former des veines ou remplir des failles ou zones cisaillées. Ces zones sont potentiellement propices à une perte de récupération de la carotte de forage. Lors du forage, si le foreur ne fait pas attention, ces zones sont propices à être lessivées par un contrôle inadéquat de la pression d'eau lors du forage. Malgré tout, ces zones sont régulièrement récupérées par les foreurs.

Il existe plusieurs situations où une perte de la carotte de forage peut survenir.

Perte de carotte lors du forage:

- Broyage de la carotte lors du forage
  - Terrain fracturé
  - Mauvaise manœuvre des foreurs
- Faille ouverte sans remplissage minéral (veine d'eau)
- Faille ou veine de minéraux boueux lessivée lors du forage.
- Défectuosité ou usure de l'équipement de forage (ressort de soutien, foret, etc.)
- Perte de carotte lors des manipulations par les foreurs ou par les techniciens de RNC jusqu'à la carothèque.

Perte de carotte lors de la manipulation de la carotte de forage dans la carothèque:

- Lors de l'étalage des boîtes.
- Lors du transport des boîtes d'un secteur à l'autre dans la carothèque.
- Lors de la coupe de la carotte pour l'échantillonnage.
- Lors des manipulations d'entreposage sur palette et la manipulation de celle-ci.

Les zones de boues riches en chrysotile ne subissent peu de perte lors des manipulations dans la carothèque. Ces zones boueuses sont molles, pâteuses et «collent» au fond de la boîte de carotte de forage. Par nature, elles ne sont pas propices à tomber de la boîte, les pertes de carotte de forage proviennent donc presque exclusivement des morceaux de carottes solides.

Dans le cas spécifique de ce projet d'évaluation du chrysotile, les mesures sont faites sur des carottes de forage qui ont déjà été manipulées lors d'un journal de sondage et d'un échantillonnage préalable.

À partir de leur expérience globale du projet Dumont les géologues de RNC évaluent que 25% des zones de carotte de forage non récupérées correspondent des zones à contenu élevé en chrysotile (Zone hautement fracturée).

Ces 25% de carottes de forage non récupérées correspondent à des zones de veines ou de failles boueuses contenant également de la serpentine, de la brucite, du talc, des carbonates et des fragments de roche. Nous évaluons donc que le chrysotile représenterait en moyenne 35% du contenu de ces zones. Cette valeur de 35% est l'équivalent de la catégorie Élevée de l'environnement «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées» qui est jugée représentative des sections «boueuses» non récupérées.

Avec 25% de zones de carotte de forage non récupéré à contenu élevé en chrysotile et une quantité attribuée de 35% de chrysotile dans ces zones, cela représente globalement 8.75% de chrysotile supplémentaire à ajouter au projet Dumont pour les zones de carotte de forage non récupérées.

La carotte perdue a été calculée par une différence de la longueur du trou dans la roche par rapport à la longueur de la carotte mesurée lors de l'évaluation du chrysotile. La teneur de chrysotile présent a été ensuite calculé automatiquement en multipliant la carotte perdue par 8.75%. Ce calcul a été fait individuellement pour chacun des trous et cumulé sur l'ensemble du projet.

Les zones de carotte de forage non récupérées, représentant environ 1.36% des 13 trous ciblés par ce projet d'évaluation du chrysotile, ont été ajoutées au tableau de compilation. Au final, les zones de carotte de forage non récupérées génèrent une augmentation de 0.12% de chrysotile qui ne peut être évalué visuellement et qui doit être ajouté au résultat de l'ensemble du projet. Les résultats sont montrés dans le Tableau 4 de la section «Résultats» de ce document.

Résumé

Toutes les valeurs moyennes de chaque catégorie d'intensité de chaque environnement de chrysotile identifié avec les méthodes mentionnées précédemment ont été compilées et arrondies à la valeur supérieure. Cette surestimation a pour but d'éviter une sous-estimation du contenu en chrysotile du projet Dumont. Ces valeurs ont servi au calcul de la teneur en pourcentage total du chrysotile présent dans la carotte de forage.

Le Tableau 2 montre les valeurs assignées à chaque catégorie d'intensité, avec la gamme du pourcentage que représente chacune des catégories.

Tableau 2: Valeurs assignées pour les catégories d'intensités de chaque environnement de chrysotile

Environnements de chrysotile	Catégories d'intensités (Gamme de pourcentage)	Valeurs assignées aux catégories d'intensité
Réseaux de chrysotile	Aucun (0 à 0.1%)	0%
	Faible (0.1 à 1%)	0.75%
	Modérée (1 à 2.5%)	1.75%
	Élevée (2.5 à 4.5%)	3.50%
	Intense (4.5 à 7%)	6%
Chrysotile dans les zones hautement fragmentées	Faible (1 à 10%)	3%
	Modérée (10 à 25%)	15%
	Élevée (25 à 40%)	33%
	Intense (40 à 70%)	50%
Chrysotile dans les veines/fractures	70 à 100% chrysotile	100%

Avec ces méthodes mises sur pied, les environnements de chrysotile peuvent être identifiés visuellement, mesurés avec une règle et catégorisés visuellement pour en arriver à quantifier le chrysotile.

La table «Chrysotile» a été créée dans DH Logger® où chaque catégorie d'intensité pour chaque environnement de chrysotile est représentée. La table et les calculs sont expliqués dans la section «Interprétation des données» de ce document.

5) Sélection d'Échantillons Représentatifs

Méthodologie

Treize (13) trous de forage ont été sélectionnés pour représenter les différentes lithologies ultramafiques. Le processus de sélection de ces 13 trous de forage de sondage devait respecter quatre (4) contraintes.

1. Représentativité de la lithologie et représentativité spatiale;
2. Représentativité des domaines structuraux;
3. Représentativité de domaines métallurgiques;
4. Utilisation de trous de forage récents (coalingite).

1) Représentativité de la Lithologie: (Figure 4)

Le chrysotile apparaît seulement dans les roches ultramafiques. Les trous de forage sélectionnés ont été spatialement répartis de façon à cibler la péridotite supérieure et/ou la dunite et/ou la péridotite inférieure. Les trous de forage sélectionnés ont aussi été spatialement répartis afin d'être représentatifs de l'étendue de la fosse. Les parties les plus profondes de la fosse sont également représentées.

Sur la figure 4, les trous de forage sélectionnés sont représentés par une étoile jaune.

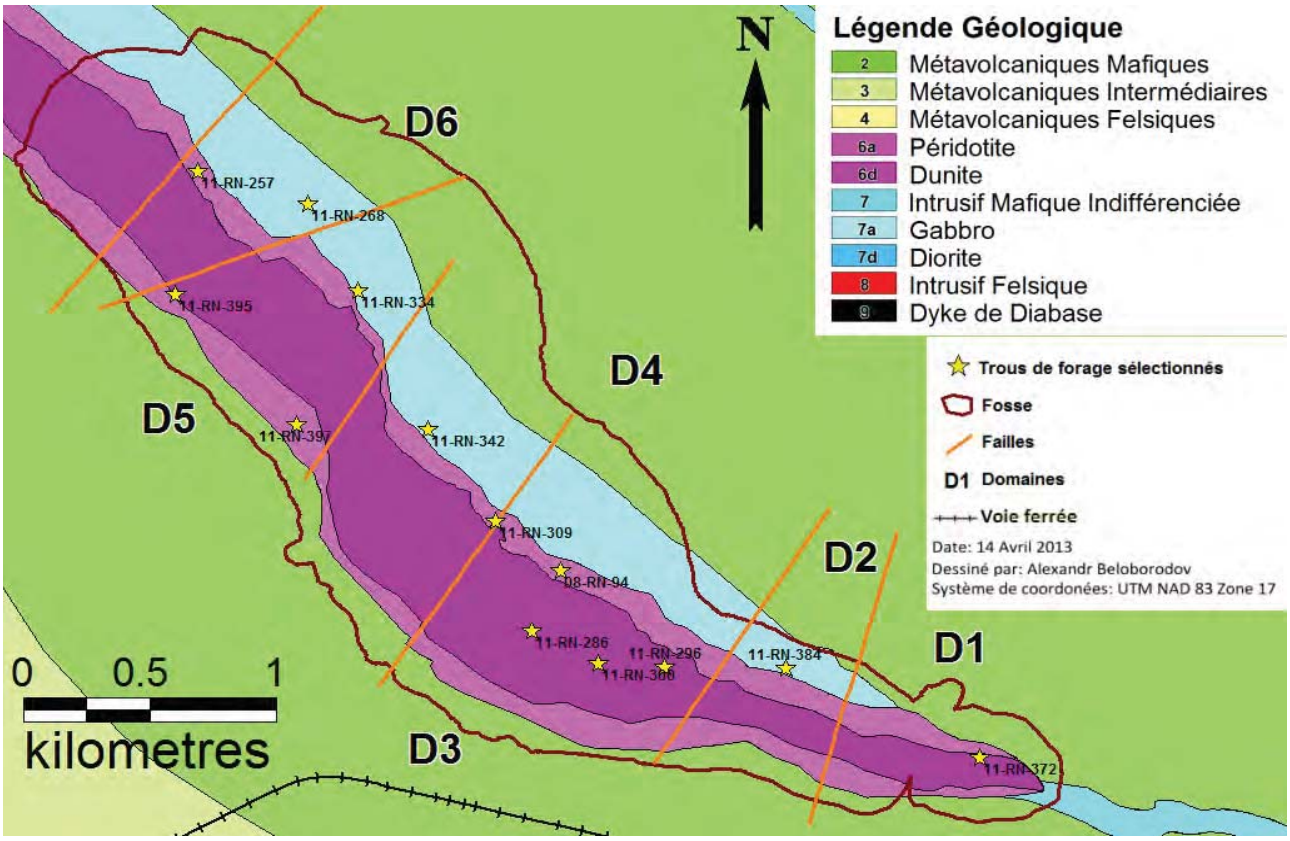


Figure 4: Géologie de surface et les domaines structuraux du projet Dumont

2) Domaines Structuraux de la Propriété Dumont: (Figure 4 et 5)

Le filon-couche de Dumont a été divisé en 7 domaines structuraux par les géologues de Royal Nickel, Itasca Consulting et SRK Consulting. Ces domaines sont définis par des structures majeures transversales au dépôt.

Un minimum d'un (1) trou de forage a été choisi dans chacun des domaines 1 à 6 ce qui permet aussi d'avoir une distribution spatiale proportionnée de la fosse (figure 5). Le domaine 7, à l'extrémité nord-ouest de la fosse planifiée, représente un faible tonnage et sera évalué lors d'une phase subséquente.

Les failles sont un processus de contrôle pour la création du chrysotile. Pour ce projet d'évaluation du chrysotile, nous nous sommes assurés de représenter les différents types de failles présentes. Quelques trous de forage géotechniques orientés ont ciblé les zones de failles majeures dans le but de les caractériser. Ces trous de forage sont aussi représentés parmi ceux sélectionnés pour ce projet d'évaluation du chrysotile.

La figure 5 illustre les trous de forage sélectionnés dans une vue en 3D de la fosse planifiée, de l'étude de faisabilité, avec les failles majeures.

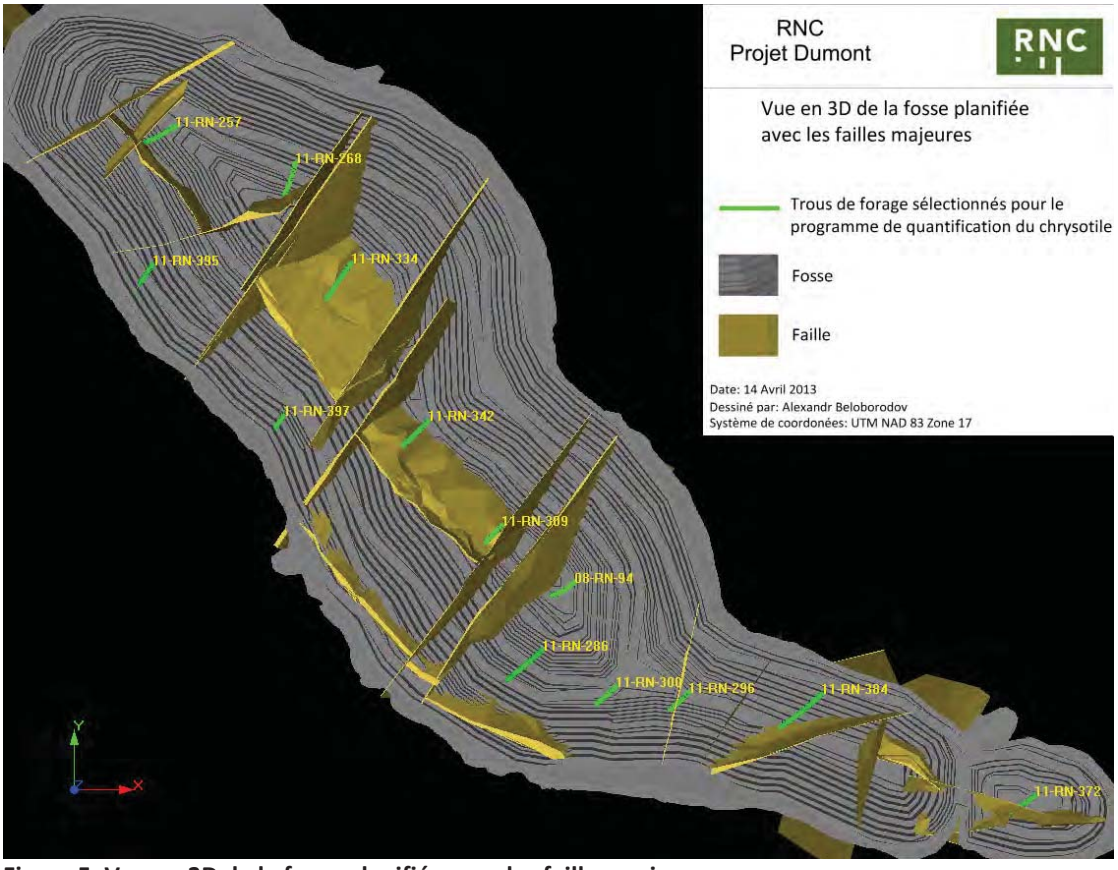


Figure 5: Vue en 3D de la fosse planifiée avec les failles majeures

Il existe une similitude spatiale entre les domaines structuraux et métallurgiques, car ils sont tous deux contrôlés par les failles structurales.

3) Domaines métallurgiques: (Figure 6)

Les essais métallurgiques complétés par RNC montrent une corrélation claire entre les variations minéralogiques reliées au degré de serpentinisation et à la récupération métallurgique du nickel. Cinq domaines métallurgiques ont été établis correspondant à ces différents niveaux de serpentinisation. Ils sont définis minéralogiquement en fonction du ratio de heazlewoodite par rapport à la pentlandite (Hz / Pn) ainsi que par l'abondance de serpentine enrichie en fer:

Domaine Métallurgique 1 ou Dominant Heazlewoodite: Les échantillons dont le ratio de heazlewoodite par rapport à la pentlandite (Hz / Pn) est supérieur à 5 sont considérés comme étant dominés par l'heazlewoodite.

Domaine Métallurgique 2 ou Combinaison heazlewoodite – pentlandite : Les échantillons dont le ratio de heazlewoodite par rapport à la pentlandite (Hz / Pn) se situe entre 1 et 5 sont considérés comme étant une combinaison de heazlewoodite et pentlandite.

Domaine Métallurgique 3, 4 et 5 ou Dominant pentlandite : Les échantillons dont le ratio de heazlewoodite par rapport à la pentlandite (Hz / Pn) est inférieur à 1 sont considérés comme étant dominés par la pentlandite. Ils sont divisés en 3 sous-types basés sur l'abondance des sulfures de nickel ainsi que de la serpentine enrichie en fer.

Ces domaines sont fondés sur différents types d'altération et différents contrôles structuraux menant à la formation du chrysotile. Pour une représentation complète des divers niveaux d'altérations ultramafiques, les cinq (5) domaines métallurgiques sont présents dans la fosse et sont représentés dans les trous sélectionnés. Un minimum d'un (1) trou de forage a été choisi dans chacun des 5 domaines métallurgiques.

La figure 6 illustre les domaines métallurgiques, les trous de forage sélectionnés et les failles majeures dans une vue en 3D de la fosse planifiée, de l'étude de faisabilité.

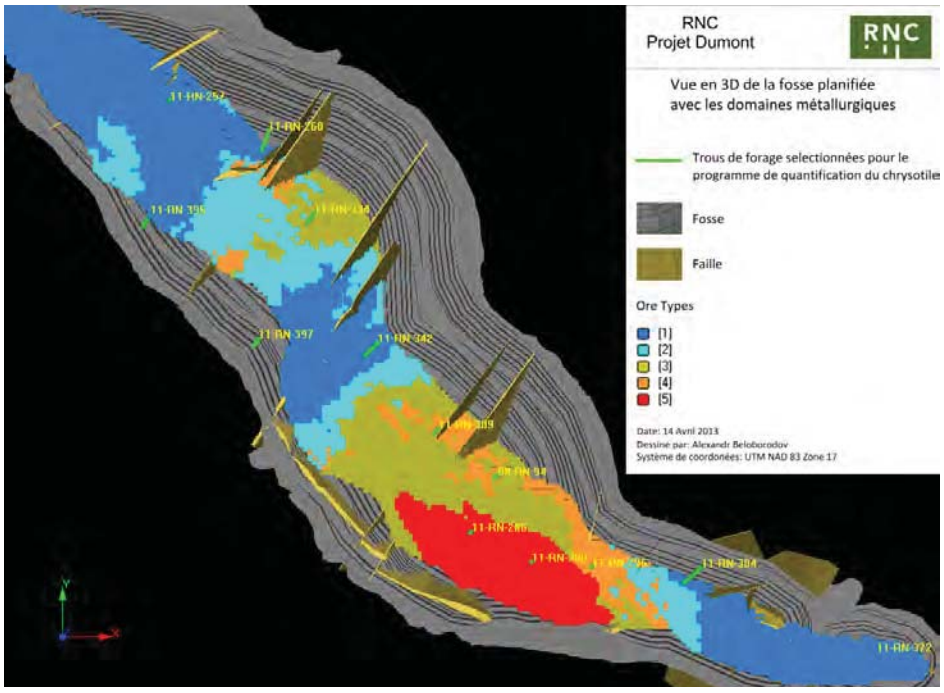


Figure 6: Vue en 3D de la fosse planifiée avec les domaines métallurgiques

4) Trous de forage récents (coalingite):

Les roches ultramafiques du projet Dumont contiennent un minéral d'expansion appelé coalingite qui provoque des fractures, variant de mineures à totales (poudre), dans la carotte de forage. Cela ajoute un niveau de difficulté pour quantifier le chrysotile dans les zones contenant de la coalingite. Par conséquent, il fut crucial de choisir des trous de forage contenant le moins de coalingite possible. Ainsi, des trous de forage plus récents qui n'avaient pas encore subi une forte altération de coalingite ont été priorisés.

La présence de coalingite dans les trous de forage a fait en sorte que le processus de sélection a été plus difficile, certains secteurs de la fosse projetée ayant peu de forages récents. Des 13 trous de forage sélectionnés, 12 d'entre eux datent de 2011 et un date de 2008.

Sommaire

Ces étapes constituent collectivement une sélection précise et représentative des trous de forage pour l'analyse du chrysotile. Ceci a été mis en œuvre pour la première phase du programme de quantification du chrysotile.

Le Tableau 3 présente la liste finale des trous de forage sélectionnés pour la première phase du programme.

Tableau 3: Liste des trous de forage sélectionnés

Trous de forage sélectionnés pour la phase 1	Lithologies	Domaines structuraux	Domaines Métallurgiques
08-RN-94	Péridotite supérieure, Dunite	Domaine 3	Pentlandite dominante (Type 3)
11-RN-257	Dunite, Péridotite inférieure	Domaine 6	Heazlewoodite dominante (Type 1)
11-RN-268	Péridotite supérieure, Dunite	Domaine 6	Heazlewoodite dominante (Type 1)
11-RN-286	Dunite	Domaine 3	Pentlandite dominante (Type 5)
11-RN-296	Dunite, Péridotite inférieure	Domaine 3	Pentlandite dominante (Type 4)
11-RN-300	Dunite	Domaine 3	Pentlandite dominante (Type 5)
11-RN-309	Péridotite supérieure, Dunite	Domaine 4	Pentlandite dominante (Type 4)
11-RN-334	Péridotite supérieure, Dunite	Domaine 5	Pentlandite dominante (Type 3)
11-RN-342	Péridotite supérieure, Dunite	Domaine 4	Heazlewoodite dominante (Type 1)
11-RN-372	Péridotite supérieure, Dunite, Péridotie inférieure	Domaine 1	Heazlewoodite dominante (Type 1)
11-RN-384	Péridotite supérieure, Dunite, Péridotie inférieure	Domaine 2	Combinaison (Type 2)
11-RN-395	Péridotite inférieure	Domaine 5	-
11-RN-397	Péridotite inférieure	Domaine 5	-

6) Procédures (Document Détaillé dans l'Annexe IV)

Les géologues de RNC ont créé une procédure standard pour le journal de sondage du chrysotile pour avoir une constance dans la prise des données, pour avoir une liste de vérification et pour avoir une reproductibilité des résultats. Ce qui suit est une version abrégée de la procédure standard qui figure à l'Annexe IV pour un intervalle de 3 mètres de carotte de forage.

Identification

1. Les intervalles de «Réseaux de chrysotile» sont séparés en délimitant les sections avec un crayon blanc (figure 11) selon leur intensité (figures 7, 8, 9 et 10).
   - Si l'intervalle de réseaux de chrysotile est entre 0% et 0.1% de chrysotile, un «N» (Aucun) est alors marqué dans le coin supérieur droit de la ligne de délimitation au début de l'intervalle.
   - Si l'intervalle de réseaux de chrysotile est entre 0.1% et 1% de chrysotile, un «W» (Faible) est alors marqué dans le coin supérieur droit de la ligne de délimitation au début de l'intervalle.
   - Si l'intervalle de réseaux de chrysotile est entre 1% et 2.5% de chrysotile, un «M» (Modérée) est alors marqué dans le coin supérieur droit de la ligne de délimitation au début de l'intervalle.
   - Si l'intervalle de réseaux de chrysotile est entre 2.5% et 4.5% de chrysotile, un «H» (Élevée) est alors marqué dans le coin supérieur droit de la ligne de délimitation au début de l'intervalle.
   - Si l'intervalle de réseaux de chrysotile est entre 4.5% et 7% de chrysotile, un «I» (Intense) est alors marqué dans le coin supérieur droit de la ligne de délimitation au début de l'intervalle.



Figure 7: Intense (4.5 à 7%)



Figure 8: Élevée (2.5 à 4.5%)

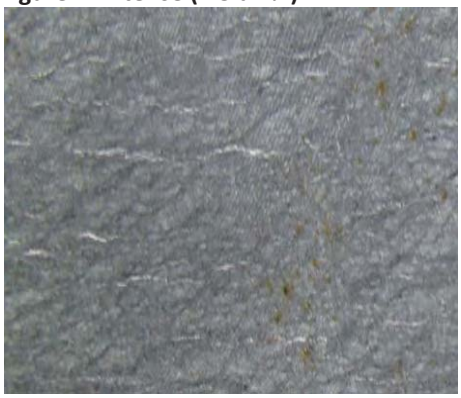


Figure 9: Modérée (1 à 2.5%)



Figure 10: Faible (0.1 à 1%)

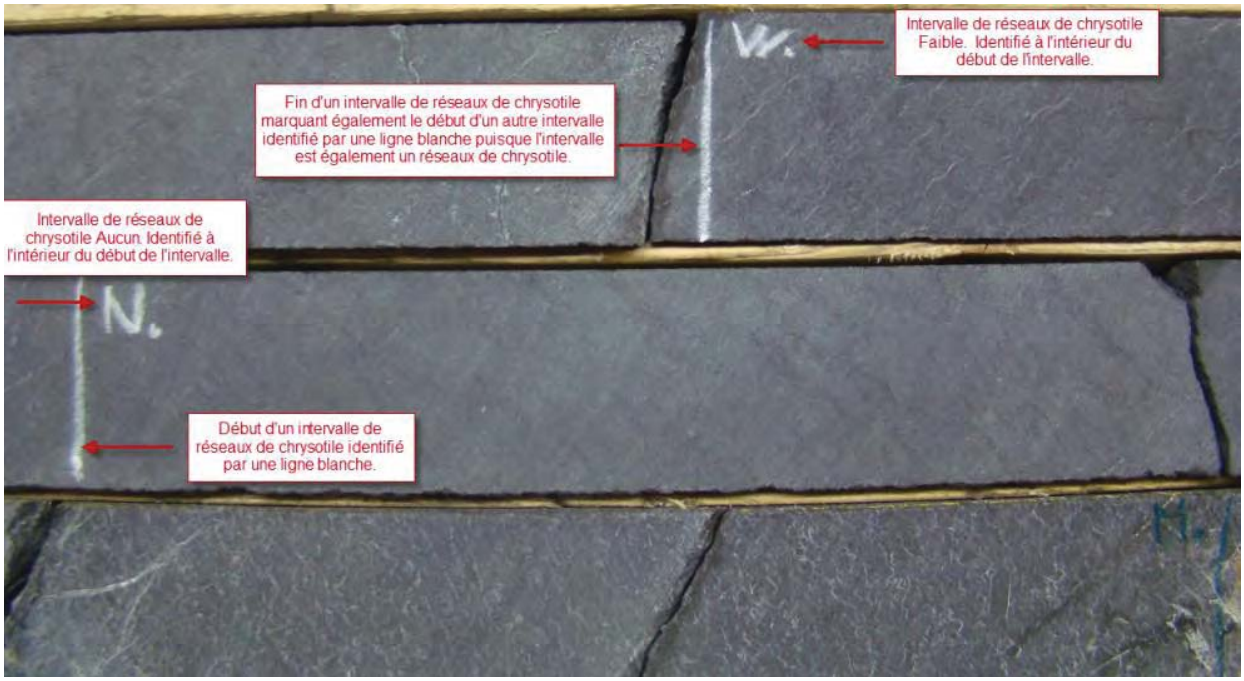


Figure 11: Exemple de délimitation des Réseaux de chrysotile

2. Les intervalles de «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées» sont séparés en délimitant les sections avec un crayon vert (figure 16) selon leur intensité (figures 12, 13, 14 et 15).

   - Si l'intervalle de la zone hautement fragmentée se situe entre 1% et 10% de chrysotile, un «W» (Intensité Faible) est alors marqué dans le coin supérieur gauche de la ligne de délimitation du début de l'intervalle.
   - Si l'intervalle de la zone hautement fragmentée se situe entre 10% et 25% de chrysotile, un «M» (Intensité Modérée) est alors marqué dans le coin supérieur gauche de la ligne de délimitation du début de l'intervalle.
   - Si l'intervalle de la zone hautement fragmentée se situe entre 25% et 40% de chrysotile, un «H» (Intensité Élevée) est alors marqué dans le coin supérieur gauche de la ligne de délimitation du début de l'intervalle.
   - Si l'intervalle de la zone hautement fragmentée se situe entre 40% et 70% de chrysotile, un «I» (Intensité Intense) est alors marqué dans le coin supérieur gauche de la ligne de délimitation du début de l'intervalle.



Figure 12: Intense (40 à 70%)



Figure 13: Élevée (25 à 40%)



Figure 14: Modérée (10 à 25%)



Figure 15: Faible (1 à 10%)



Figure 16: Exemple de délimitation du chrysotile dans les zones hautement fragmentées

3. Les veines/fractures de chrysotile significatives (seulement si elles contiennent entre 70% et 100% de chrysotile, sinon elles sont identifiées comme étant une zone hautement fragmentée) sont délimitées par un traçage du contour avec un crayon orange (Figures 17 et 18). Les veines de chrysotile trop petites pour les mesurer avec une règle sont incluses dans les intervalles de Réseaux de chrysotile.



Figure 17: Veine de chrysotile coupant presque perpendiculairement l'axe de la carotte de forage

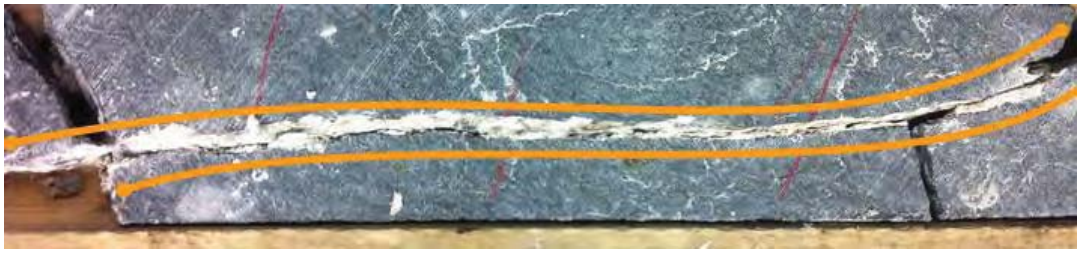


Figure 18: Veine de chrysotile subparallèle à l'axe de la carotte de forage

Prises des mesures

4. Les intervalles de «Réseaux de chrysotile» (en blanc) sont mesurés au millimètre près avec une règle et les résultats sont placés dans la colonne appropriée dans la table «Chrysotile» de DH Logger® (Figure 19).

    - Les intervalles «Réseaux de chrysotile Aucun»: Tous les intervalles identifiés avec un «N» sont mesurés et additionnés et la mesure résultante est mise dans la colonne «None (0% to 0.1%)».
    - Les intervalles «Réseaux de chrysotile Faible»: Tous les intervalles identifiés avec un «W» sont mesurés et additionnés et la mesure résultante est mise dans la colonne «Network (0.1% to 1%)».
    - Les intervalles «Réseaux de chrysotile Modérée»: Tous les intervalles identifiés avec un «M» sont mesurés et additionnés et la mesure résultante est mise dans la colonne «Network (1% to 2.5%)».
    - Les intervalles «Réseaux de chrysotile Élevée»: Tous les intervalles identifiés avec un «H» sont mesurés et additionnés et la mesure résultante est mise dans la colonne «Network (2.5% to 4.5%)».
    - Les intervalles «Réseaux de chrysotile Intense»: Tous les intervalles identifiés avec un «I» sont mesurés et additionnés et la mesure résultante est mise dans la colonne «Network (4.5% to 7%)».

5. Les intervalles de «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées» (en vert) sont mesurés au millimètre près avec une règle et le les résultats sont placés dans la colonne appropriée dans la table «Chrysotile» de DH Logger® (Figure 19).

    - Les intervalles «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées Faible»: Tous les intervalles identifiés avec un «W» sont mesurés et additionnés et la mesure résultante est mise dans la colonne «RZ (1% to 10%)».
    - Les intervalles «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées Modérée»: Tous les intervalles identifiés avec un «M» sont mesurés et additionnés et la mesure résultante est mise dans la colonne «RZ (10% to 25%)».
    - Les intervalles «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées Élevée»: Tous les intervalles identifiés avec un «H» sont mesurés et additionnés et la mesure résultante est mise dans la colonne «RZ (25% to 40%)».
    - Les intervalles «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées Intense»: Tous les intervalles identifiés avec un «I» sont mesurés et additionnés et la mesure résultante est mise dans la colonne «RZ (40% to 70%)».

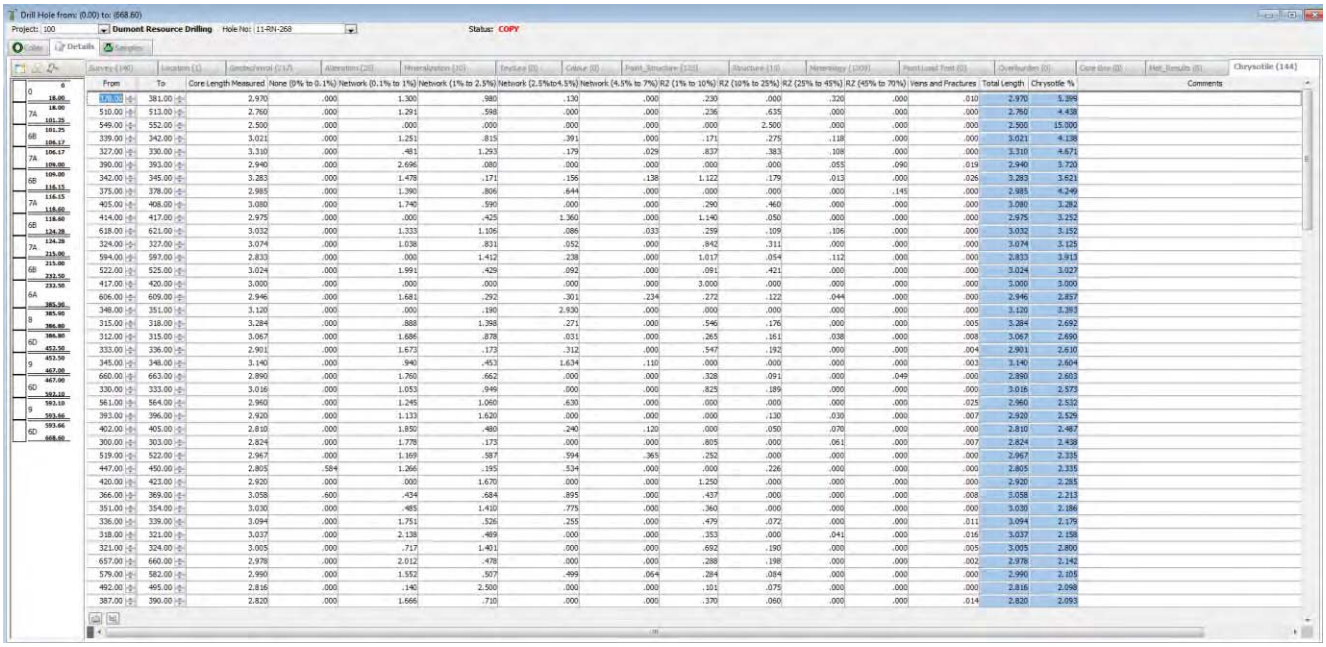


Figure 19: Image de la table Chrysotile dans DH Logger®

6. Les veines/fractures de chrysotile sont mesurées au millimètre près dans l'intervalle de 3 mètres Le total, des largeurs cumulées, des veines/fractures est additionné, la valeur résultante est placée dans la colonne «Veins and Fractures». Si une veine recoupe l'axe de la carotte de forage avec un angle faible (Figure 18), une équation standard est utilisée. Cette équation permet de calculer l'épaisseur relative de chrysotile dans la veine en séparant la veine en plusieurs segments de 4.5 cm et en les mesurant côte à côte perpendiculairement à l'axe de la carotte de forage. Les étapes suivantes démontrent l'équation:

   Étape 1: La longueur totale de la veine de chrysotile est mesurée et divisée par 4.5 cm (diamètre de la carotte).

   Étape 2: L'épaisseur moyenne de chrysotile dans la veine est multipliée par le résultat obtenu à l'étape 1.

Exemple illustrant la figure 20:

Étape 1: Longueur totale de la veine (22.5cm) / 4.5cm = 5

Étape 2: Épaisseur moyenne de chrysotile dans la veine = 2mm
2mm * 5 = 10mm

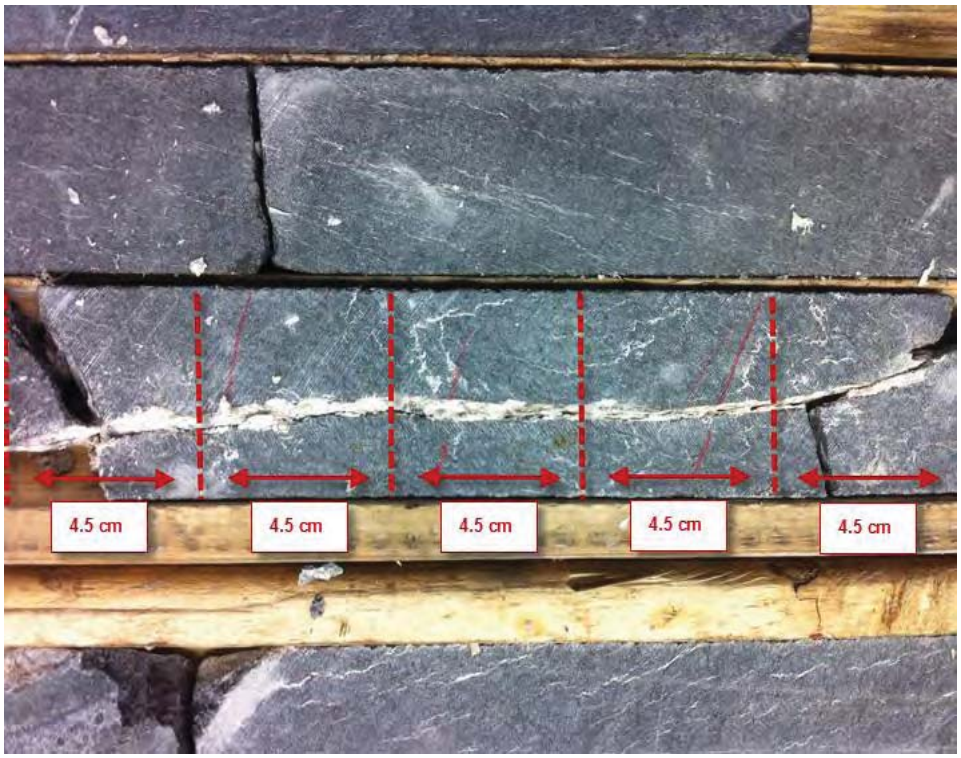


Figure 20: Segmentation en 4.5 cm d'une veine de chrysotile subparallèle à l'axe de la carotte

Collecte des données

7. La longueur totale de la carotte de forage entre les blocs de 3 mètres est mesurée.

- La longueur mesurée est insérée dans la colonne «Core Length Measured» et est comparée avec la colonne «Total Length» (expliquée dans la section «Interprétation des données») dans DH Logger® (Figure 19).
- Si les mesures ont une différence de 5 cm ou plus, les mesures entrées dans toutes les colonnes sont revérifiées pour voir si une donnée a été mal entrée. Si les données sont bien entrées, les intervalles de chrysotile sont tous remesurés pour voir si un intervalle a été oublié.
- Si les mesures ont une différence de moins de 5 cm, la valeur est considérée acceptable.

7) Interprétation des données

Une fois que toutes les mesures d'un intervalle de 3 mètres sont entrées dans la table «Chrysotile» dans DH Logger®, la sommation des mesures de chaque catégorie d'intensité de chaque environnement de chrysotile de l'intervalle de 3 mètres est calculée automatiquement dans la colonne «Total Length». En comparant la colonne «Total Length» avec la mesure de la longueur totale de la carotte de forage (colonne «Core Length Measured»), une vérification peut être faite par les géologues pour voir si les mesures ont bien été prises et/ou entrées dans DH Logger®. La colonne «Total Lenght» a été créée pour une assurance de qualité. L'équation du calcul automatique de la colonne «Total Lenght» est démontrée ci-dessous:

«Total Length» = «Réseaux de chrysotile Aucun» + «Réseaux de chrysotile Faible» + «Réseaux de chrysotile Modérée» + «Réseaux de chrysotile Élevée» «Réseaux de chrysotile Intense» + «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées Faible» + «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées Modérée» + «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées Élevée» + «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées Intense» + «Chrysotile dans les veines/fractures».

Voici un exemple utilisant les valeurs de l'intervalle 228m à 231m du trou 11-RN-300 (Annexe V):

	Réseaux de chrysotile					Chrysotile dans les zones hautement fragmentées				Chrysotile dans les veines /fractures	Calculs		
Longueur de la carotte	Aucun	Faible	Modérée	Élevée	Intense	Faible	Modérée	Élevée	Intense		% Chrysotile	Total Length	Chrysotile Length
2.969	1.084	0.266	0.21	0.09	0	0.872	0.377	0	0.07	0	4.380	2.969	0.1300

«Total Length» = 1.084 + 0.266 + 0.21 + 0.09 + 0.872 + 0.377 + 0.07 = 2.969

De façon simultanée, le pourcentage de chrysotile de l'intervalle de 3 mètres est calculé automatiquement dans la colonne «% Chrysotile» avec une équation utilisant la valeur assignée aux catégories d'intensités (Tableau 2). Le pourcentage de chrysotile est calculé premièrement par une multiplication de chaque catégorie d'intensité par leur valeur assignée. Les résultats sont ensuite additionnés pour être finalement divisés par la valeur de la colonne «Total Length» pour donner un pourcentage de chrysotile de l'intervalle de 3 mètres. L'équation du calcul automatique de la colonne «% Chrysotile» est démontrée ci-dessous:

«% Chrysotile» = («Réseaux de chrysotile Aucun» * 0%) + («Réseaux de chrysotile Faible» * 0.75%) + («Réseaux de chrysotile Modérée» * 1.75%) + («Réseaux de chrysotile Élevée» * 3.5%) + («Réseaux de chrysotile Intense» * 6%) + («Chrysotile dans les zones hautement fragmentées Faible» * 3%) + («Chrysotile dans les zones hautement fragmentées Modérée» * 15%) + («Chrysotile dans les zones hautement fragmentées Élevée» * 35%) + («Chrysotile dans les zones hautement fragmentées Intense» * 55%) + («Chrysotile dans les veines/fractures» * 100%)) / «Total Length» * 100

Tous les pourcentages (Valeur assignée) sont tirés du Tableau 2 de la section Description de la Méthode

Voici un exemple utilisant les valeurs de l'intervalle 228m à 231m du trou 11-RN-300 (Annexe V):

	Réseaux de chrysotile					Chrysotile dans les zones hautement fragmentées				Chrysotile dans les veines /fractures	Calculs		
Longueur de la carotte	Aucun	Faible	Modérée	Élevée	Intense	Faible	Modérée	Élevée	Intense		% Chrysotile	Total Length	Chrysotile Length
2.969	1.084	0.266	0.21	0.09	0	0.872	0.377	0	0.07	0	4.380	2.969	0.1300

«% Chrysotile» = ((1.084 *0) + (0.266 * 0.75%) + (0.21 * 1.75%) + (0.09 * 3.5%) + (0.872 * 3%) + (0.377 * 15%) + (0.07 * 55%)) / 2.969 * 100 = 4.380%

Dans le but de calculer la moyenne pondérée d'un ensemble des pourcentages de chrysotile (calcul de la moyenne pondérée d'une lithologie, d'un trou de forage, etc.), la longueur du chrysotile de chaque intervalle de 3 mètres est calculée automatiquement dans la colonne «Chrysotile Length» par une équation qui multiplie le pourcentage de chrysotile («Chrysotile %») par la colonne «Total Length» divisé par 100. L'équation du calcul automatique de la colonne «Chrysotile Length» est démontrée ci-dessous:

«Chrysotile Length» = «Total Length» * «% Chrysotile» / 100

Voici un exemple utilisant les valeurs de l'intervalle 228m à 231m du trou 11-RN-300 (Annexe V):

	Réseaux de chrysotile					Chrysotile dans les zones hautement fragmentées				Chrysotile dans les veines /fractures	Calculs		
Longueur de la carotte	Aucun	Faible	Modérée	Élevée	Intense	Faible	Modérée	Élevée	Intense		% Chrysotile	Total Length	Chrysotile Length
2.969	1.084	0.266	0.21	0.09	0	0.872	0.377	0	0.07	0	4.380	2.969	0.1300

«Chrysotile Length» = 2.969 * 4.380 / 100 = 0.13

Lorsque le journal de sondage du chrysotile est complété pour un trou, les données sont exportées dans Excel et chaque intervalle du trou de forage est séparé respectivement par les lithologies présentes dans le trou de forage. Par la suite, une moyenne pondérée des pourcentages de chrysotile est calculée pour chaque lithologie en divisant la sommation de toutes les données de la colonne «Chrysotile Length» par la sommation de toutes les données de la colonne «Total Length» multipliée par 100. La moyenne pondérée de tous les pourcentages du trou est également calculée de la même façon en prenant toutes les données du trou. L'équation des moyennes pondérées est démontrée ci-dessous:

Moyenne pondérée = Σ «Chrysotile Length» (Longueur du chrysotile) / Σ «Total Length» (Longueur de carotte de forage calculée)* 100

Voici un exemple utilisant toutes les valeurs des intervalles du trou 11-RN-300 (Annexe V) :

	Carotte de forage		Calculs				Carotte de forage		Calculs		
Numéro du trou de forage	Début de l'intervalle	Fin de l'intervalle	% Chrysotile	Total Length	Chrysotile Length		Début de l'intervalle	Fin de l'intervalle	% Chrysotile	Total Length	Chrysotile Length
11-RN-300	45	48	0.203	2.975	0.0060		159	162	0.405	3.022	0.0122
11-RN-300	48	51	0.352	2.9	0.0102		162	165	0.173	2.875	0.0050
11-RN-300	51	54	0.250	2.85	0.0071		165	168	0.457	3.034	0.0139
11-RN-300	54	57	0.121	2.995	0.0036		168	171	5.144	2.989	0.1537
11-RN-300	57	60	0.065	2.925	0.0019		171	174	2.376	2.98	0.0708
11-RN-300	60	63	0.115	3	0.0035		174	177	1.310	2.96	0.0388
11-RN-300	63	66	0.489	3.035	0.0149		177	180	0.104	2.881	0.0030
11-RN-300	66	69	0.231	2.935	0.0068		180	183	0.567	3.024	0.0172
11-RN-300	69	72	0.017	3.045	0.0005		183	186	2.076	2.966	0.0616
11-RN-300	72	75	1.788	3.1	0.0554		186	189	0.561	2.942	0.0165
11-RN-300	75	78	0.899	3	0.0270		189	192	1.344	3.036	0.0408
11-RN-300	78	81	0.078	3.065	0.0024		192	195	2.180	3.088	0.0673
11-RN-300	81	84	0.971	2.76	0.0268		195	198	1.984	3.041	0.0603
11-RN-300	84	87	0.758	2.9	0.0220		198	201	2.602	3.018	0.0785
11-RN-300	87	90	0.284	3.095	0.0088		201	204	3.344	3.028	0.1012
11-RN-300	90	93	0.040	3.115	0.0012		204	207	0.346	2.985	0.0103
11-RN-300	93	96	1.138	2.925	0.0333		207	210	1.084	2.953	0.0320
11-RN-300	96	99	0.926	2.995	0.0277		210	213	3.681	2.993	0.1102
11-RN-300	99	102	0.216	3.045	0.0066		213	216	0.616	2.986	0.0184
11-RN-300	102	105	0.304	3.12	0.0095		216	219	0.725	3.015	0.0219
11-RN-300	105	108	1.440	3	0.0432		219	222	0.320	3.037	0.0097
11-RN-300	108	111	2.065	2.845	0.0588		222	225	0.237	3.025	0.0072
11-RN-300	111	114	0.283	2.805	0.0079		225	228	0.539	2.958	0.0159
11-RN-300	114	117	3.806	2.885	0.1098		228	231	4.380	2.969	0.1300
11-RN-300	117	120	0.444	2.945	0.0131		231	234	2.770	3.05	0.0845
11-RN-300	120	123	0.500	2.95	0.0148		234	237	0.142	2.932	0.0042
11-RN-300	123	126	0.128	2.97	0.0038		237	240	0.620	3.15	0.0195
11-RN-300	126	129	0.328	2.9	0.0095		240	243	2.593	3.048	0.0790
11-RN-300	129	132	0.629	3.111	0.0196		243	246	0.000	3.133	0.0000
11-RN-300	132	135	2.483	3.033	0.0753		246	249	0.736	3.112	0.0229
11-RN-300	135	138	0.670	3.039	0.0204		249	252	0.874	3.21	0.0280
11-RN-300	138	141	0.462	2.887	0.0133		252	255	1.502	2.8	0.0421
11-RN-300	141	144	0.229	3.035	0.0070		255	258	1.140	2.71	0.0309
11-RN-300	144	147	0.000	3.068	0.0000		258	261	1.720	2.948	0.0507
11-RN-300	147	150	0.918	3.044	0.0280		261	264	0.743	2.851	0.0212
11-RN-300	150	153	0.580	3	0.0174		264	267	0.807	3.01	0.0243
11-RN-300	153	156	6.752	3.102	0.2095		267	270	0.735	2.703	0.0199
11-RN-300	156	159	0.224	2.735	0.0061		270	273	0.939	3.05	0.0287

Moyenne pondérée = 2.4848 / 226.6 * 100 = 1.1%

La moyenne pondérée et la longueur totale de la carotte calculée (Σ «Total Length») sont par la suite insérées dans un tableau de compilation pour tous les trous de forages évalués pour le chrysotile de la phase un du projet (voir la section «Résultats» de ce document).

Pour répondre à la recommandation d'InnovExplo de rajouter une colonne montrant la différence entre la colonne «Core Length Measured» et la colonne «Total Length», une nouvelle colonne nommée «Core vs. Total» a été créé dans la table «Chrysotile» de DH Logger® en tant que calcul automatique. Cette colonne servira à mieux identifier les écarts de plus de cinq centimètres entre les colonnes «Core Length Measured» et «Total Length» lors de la collecte de données (Chapitre «Procédures» de ce document). Puisque cette colonne a été créée après la première phase du projet, aucune valeur n'est présentement affichée dans les tables de données. Lors des prochaines évaluations du chrysotile, cette colonne sera utilisée. L'équation du calcul automatique de la colonne «Core vs. Total» est démontrée ci-dessous:

«Core vs. Total» = «Core Length Measured» - «Total Length»

L'ordre des colonnes apparaissant dans la table «Chrysotile» du programme DH Logger® peut être personnalisé par chaque géologue sur leur version de DH Logger® selon leur préférence. De ce fait, chaque géologue peut ainsi mettre les colonnes «Core Length Measured», «Total Length» et «Core vs. Total» un à la suite de l'autre pour mieux visualiser la différence entre les mesures.

8) Résultats

Résultats du journal de sondage du chrysotile

La première phase du projet de quantification du chrysotile a été complétée le 2 février 2013. Les données brutes sont disponibles dans l'Annexe V.

Le Tableau 4 montre les moyennes pondérées des teneurs en pourcentages (tel que démontré dans la section «Interprétation des données») pour chaque unité lithologique de chaque trou de forage sélectionné ainsi que le pourcentage total pondéré de l'ensemble du projet.

Ce tableau prend en considération les ajustements apportés aux valeurs assignées des catégories d'intensité Élevée et Intense des zones hautement fragmentées, de la recatégorisation des zones hautement fragmentées Intense et de l'ajout du chrysotile dans les zones non récupérées.

Représentativité des données

Les figures 21, 22 et 23 mettent en évidence la distribution hétérogène du contenu en chrysotile des roches ultramafiques. L'hétérogénéité est représentée par les hautes concentrations de chrysotile qui se retrouvent concentrées autour des zones de failles majeures et de leurs failles associées identifiées par RNC, Itasca et SRK. Par le fait même, ces figures démontrent que la majorité du gisement se retrouve en dehors de ces zones de faille.

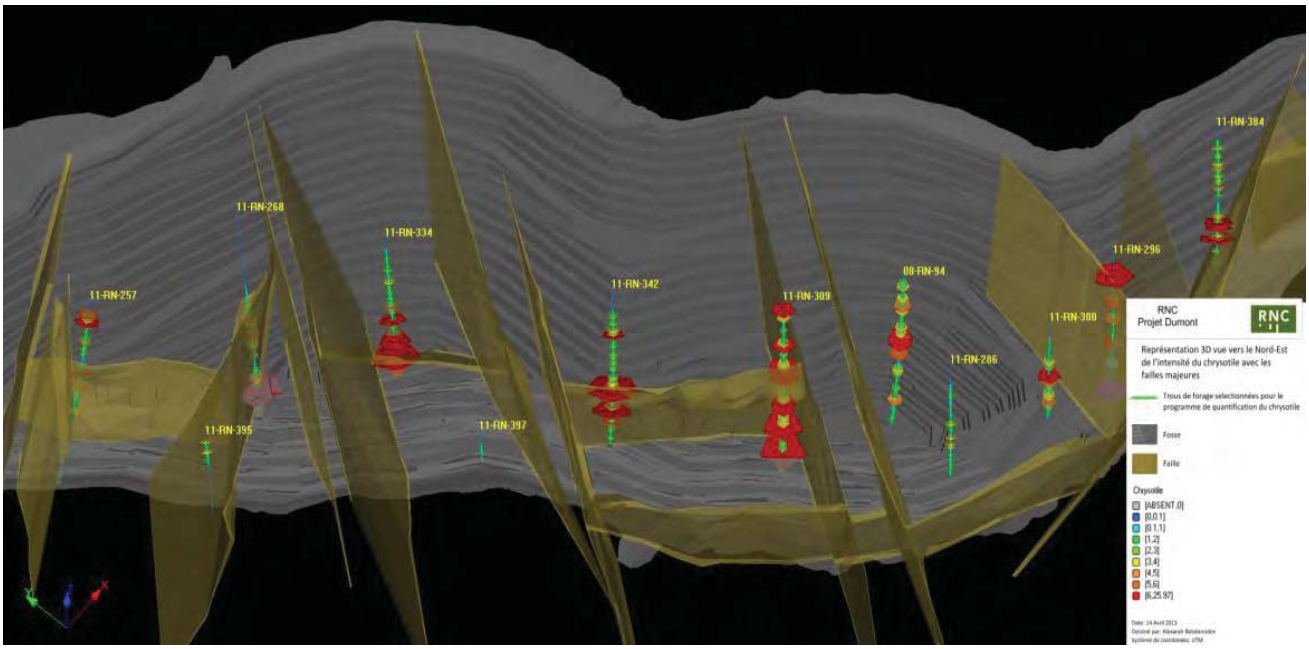


Figure 21: Représentation 3D vers le Nord-Est du chrysotile avec les failles majeures mises à jour en 2012.

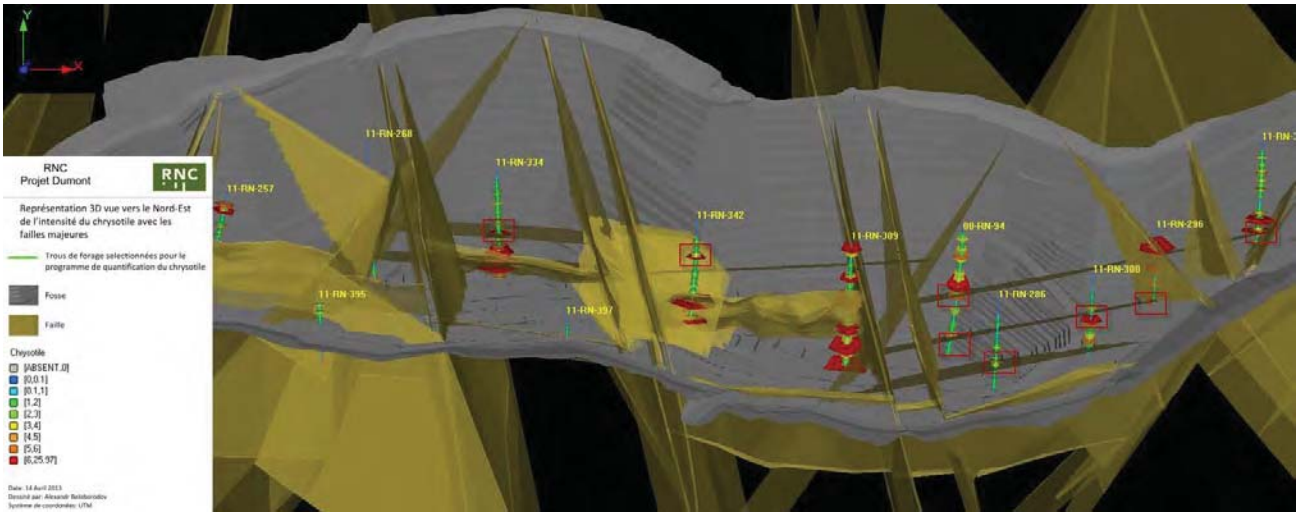


Figure 22: Représentation 3D vue vers le Nord-Est.

Sur la figure 22, les boites rouges représentent les failles mineures interprétées par SRK en 2011, qui n'ont pas été retenues dans la mise à jour des failles majeures de 2012.

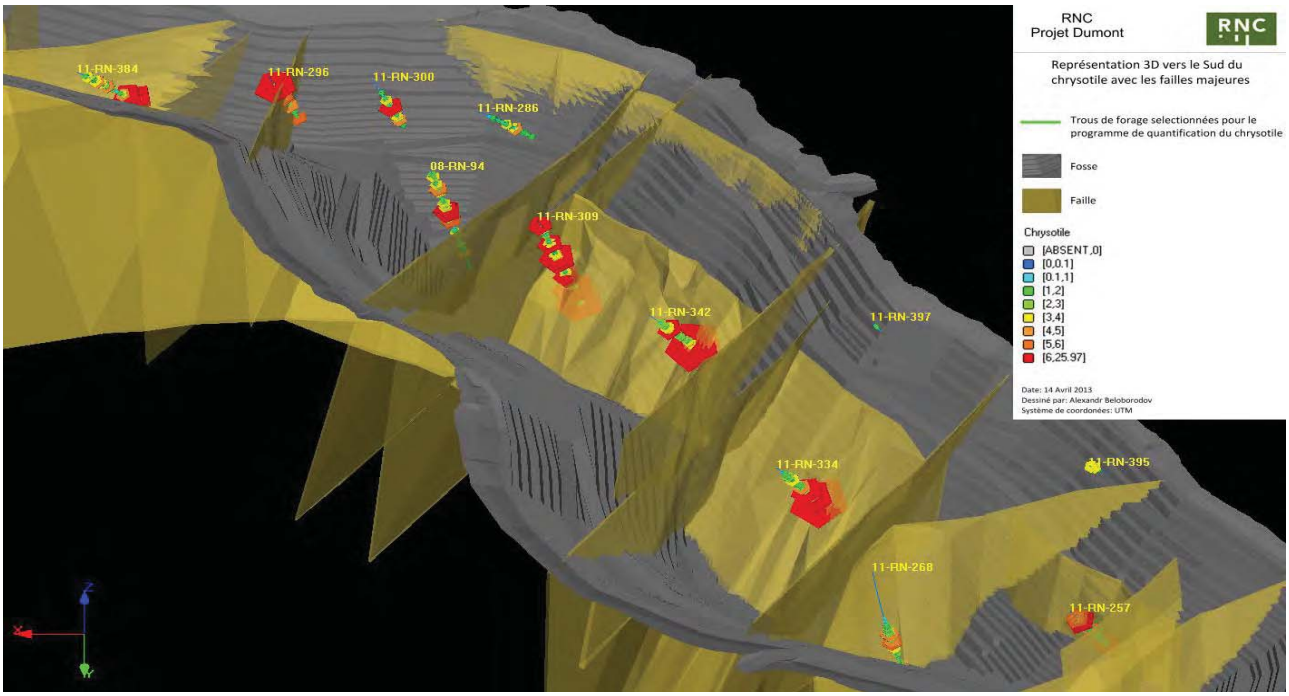


Figure 23: Représentation 3D vers le Sud du chrysotile avec les failles majeures.

Tableau 4: Quantification du chrysotile

Quantification du chrysotile (Moyenne Pondérée)

	TROUS	Péridotite Supérieure	Dunite	Péridotite Inférieure	Sous total Roche	Carotte non récupérée	TOTAL
Domaine 1	11-RN-372	91.9 m	152.8 m	20.6 m	**265.3** m	0.6 m	**265.9** m
		1.9%	0.9%	0.6%	**1.2%**	8.75%	**1.2%**
Domaine 2	11-RN-384	178.0 m	41.5 m	177.8 m	**397.3** m	7.7 m	**405.0** m
		1.6%	3.4%	1.5%	**1.7%**	8.75%	**1.9%**
Domaine 3	08-RN-94	100.7 m	351.2 m	0 m	**451.8** m	0 m	**451.8** m
		1.9%	1.7%		**1.7%**	0%	**1.7%**
Domaine 3	11-RN-286	0 m	221.6 m	0 m	**221.6** m	1.8 m	**223.4** m
			1.2%		**1.2%**	8.75%	**1.3%**
Domaine 3	11-RN-300	0 m	226.6 m	0 m	**226.6** m	1.4 m	**228.0** m
			1.1%		**1.1%**	8.75%	**1.1%**
Domaine 3	11-RN-296	0 m	258.5 m	86.1 m	**344.6** m	4.4 m	**349.0** m
			1.1%	1.5%	**1.2%**	8.75%	**1.3%**
Domaine 4	11-RN-342	110.2 m	247.1 m	0 m	**357.2** m	0 m	**357.2** m
		1.8%	2.5%		**2.3%**	0%	**2.3%**
Domaine 4	11-RN-309	125.2 m	362.8 m	0 m	**488.0** m	7.0 m	**495.0** m
		1.7%	2.6%		**2.4%**	8.75%	**2.5%**
Domaine 5	11-RN-334	104.4 m	204.9 m	0 m	**309.2** m	10.8 m	**320.0** m
		1.3%	3.1%		**2.5%**	8.75%	**2.7%**
Domaine 5	11-RN-395	0 m	0 m	83.8 m	**83.8** m	1.1 m	**84.9** m
				0.8%	**0.8%**	8.75%	**0.9%**
Domaine 5	11-RN-397	0 m	0 m	46.4 m	**46.4** m	1.5 m	**47.9** m
				0.5%	**0.5%**	8.75%	**0.7%**
Domaine 6	11-RN-268	152.7 m	273.7 m	0 m	**426.4** m	5.2 m	**431.6** m
		1.8%	1.7%		**1.7%**	8.75%	**1.8%**
Domaine 6	11-RN-257	0 m	380.6 m	65.4 m	**446.0** m	14.8 m	**460.8** m
			1.2%	0.8%	**1.2%**	8.75%	**1.4%**
Métrage total par lithologie		**862.9** m	**2721.3** m	**480.1** m	**4064.3** m	**56.2** m	**4120.4** m
Moyenne % par Lithologie		**1.7** %	**1.8** %	**1.1** %	**1.7** %	**8.75** %	**1.8** %

Traitement des données avancé

Un traitement des données a été effectué par la suite avec des méthodes statistiques pour définir un intervalle de confiance sur la moyenne de chrysotile. Les analyses ont été faites sur les différentes lithologies et sur l'ensemble des données. Les résultats sont représentés sur des histogrammes (voir figure 24 à 27) qui incluent des informations additionnelles comme les valeurs maximales et minimales et les percentiles. Voici les étapes du calcul qui a permis d'obtenir les résultats:

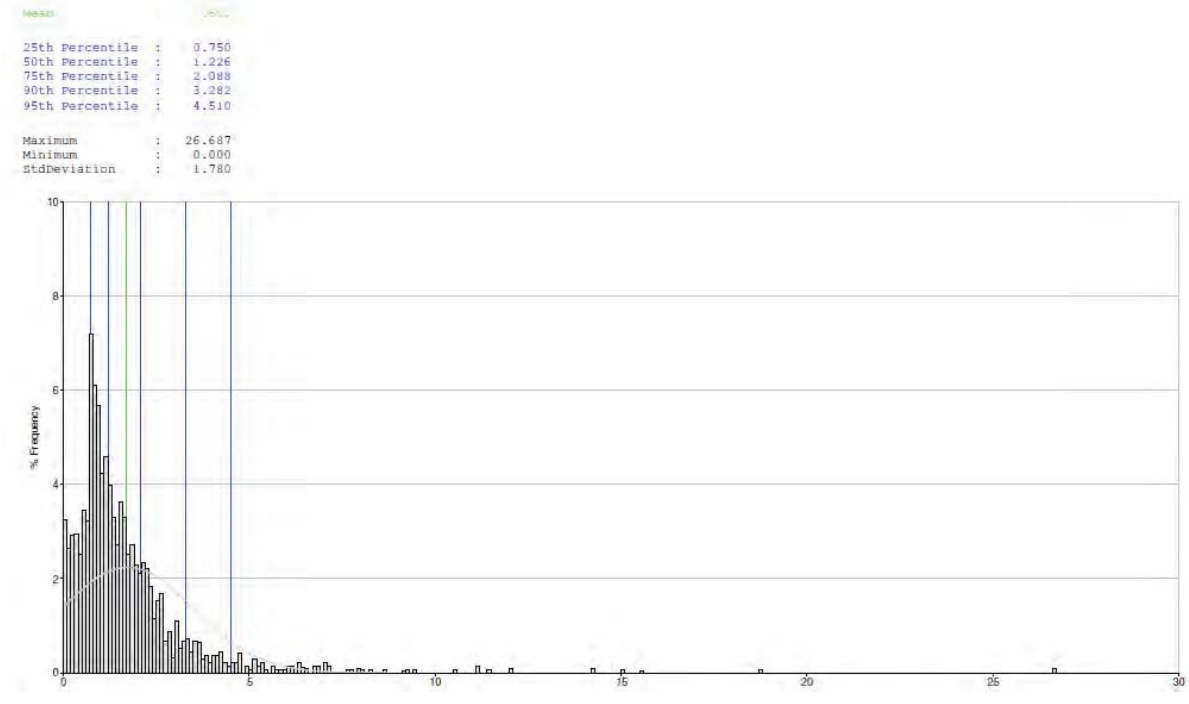
1) Calcul de l'écart-type pondéré
2) Identification du 95e percentile
3) Calcul de l'intervalle de confiance 95%
4) Calcul de l'intervalle de confiance 95% sur la moyenne

1) Calcul de l'écart-type pondéré

L'écart-type est la dispersion des valeurs par rapport à la moyenne. Elle sert à définir les intervalles de confiance. L'écart-type de chaque distribution a été calculé à l'aide de la fonction ÉCARTYPE dans le programme Excel.

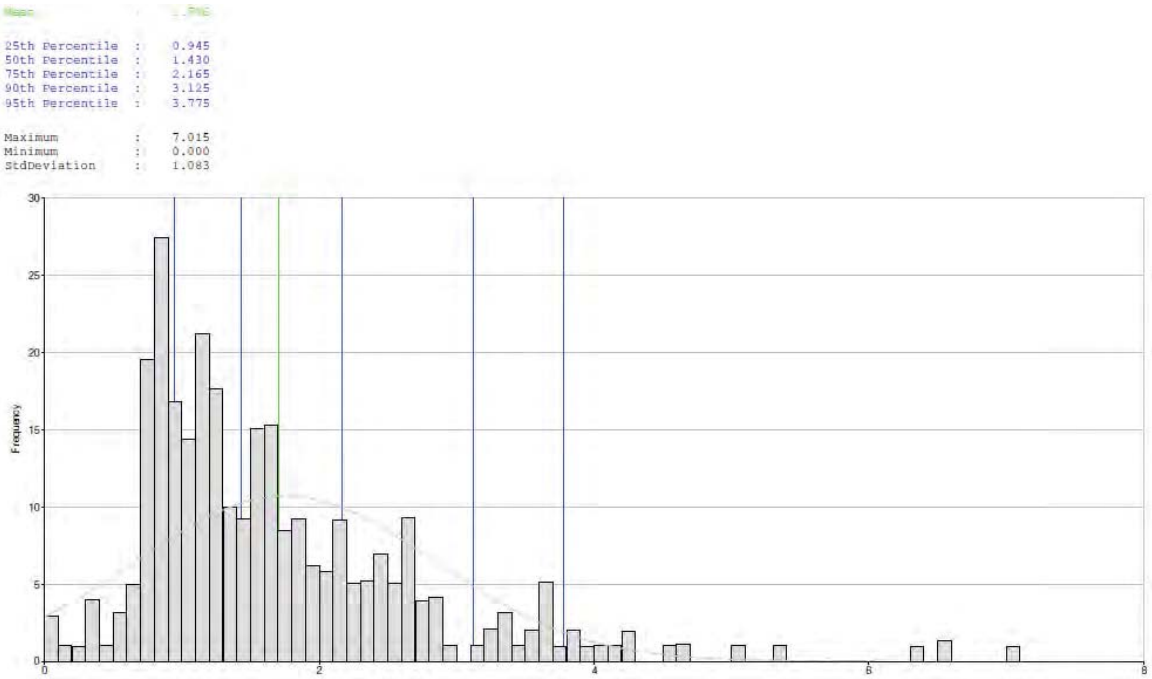
2) Identification du 95e percentile (Figure 24 à 27)

Le 95e percentile est la valeur qui délimite le 5% des valeurs les plus élevées et les 95% les plus basses. Par exemple, sur un ensemble de 100 données de 1 à 100 respectivement, le 95e percentile serait la valeur 95. Le 95e percentile n'est pas un calcul, il est la 95e plus petite valeur. Il a été déterminé en multipliant le nombre de valeurs par 0.95 dans la distribution et en sélectionnant la valeur correspondant aux résultats.



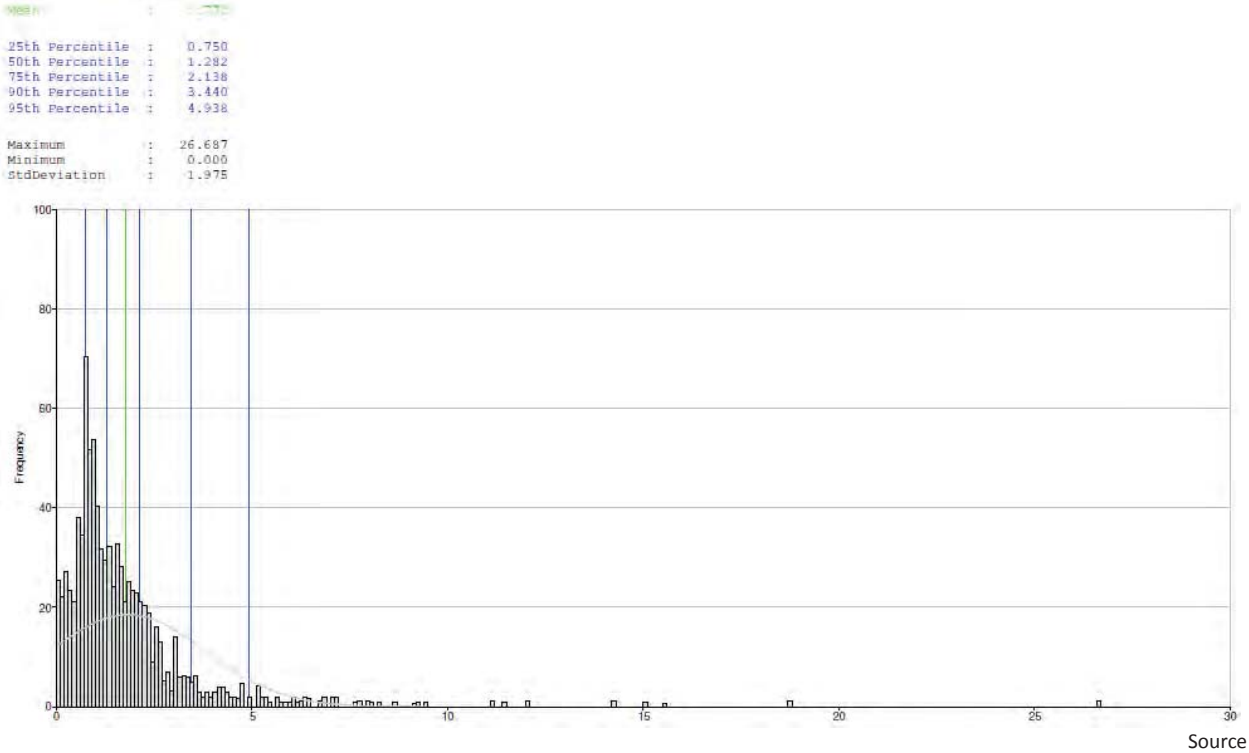
Source : RNC

Figure 24: Histogramme des pourcentages de chrysotile sur l'ensemble des données



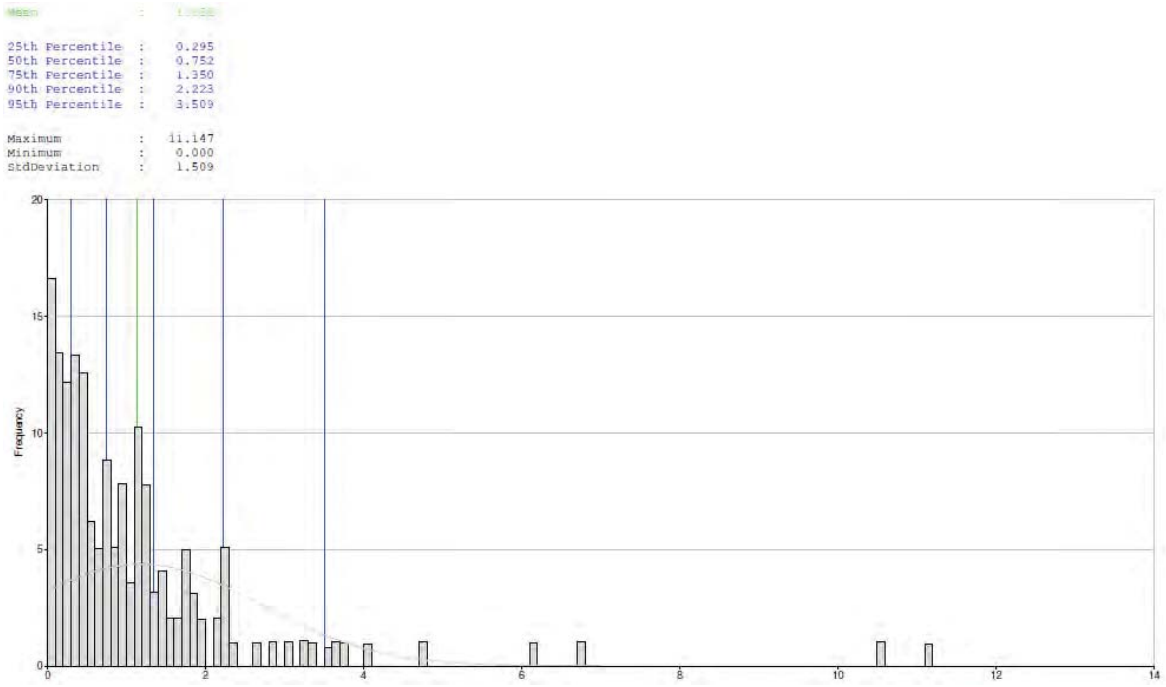
Source : RNC

Figure 25: Histogramme des pourcentages de chrysotile dans la péridotite supérieure



Source : RNC

Figure 26: Histogramme des pourcentages de chrysotile dans la dunite

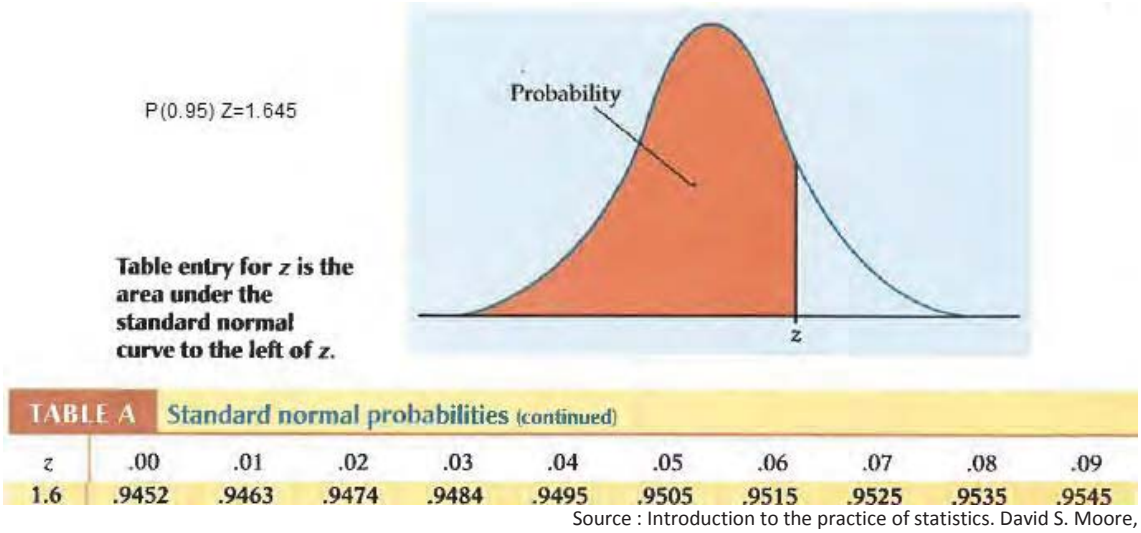


Source : RNC

Figure 27: Histogramme des pourcentages de chrysotile dans la péridotite inférieure

3) Calcul de l'intervalle de confiance 95% (Figure 28)

L'intervalle de confiance se calcule en fonction de l'écart type pondéré et de la moyenne pondérée. En ajoutant 1.645 fois l'écart-type à la moyenne (valeur absolue correspondant à un niveau de confiance 95%), on obtient un intervalle de confiance unilatérale de 95% sur une distribution. L'intervalle de confiance représente le pourcentage de chance que chaque valeur soit contenue dans l'intervalle. Dans ce cas-ci, il y a 95% de chance que cette valeur se situe entre 0% et la valeur calculée.



Source : Introduction to the practice of statistics. David S. Moore, George P. McCabe

Figure 28: Intervalle de confiance 95%

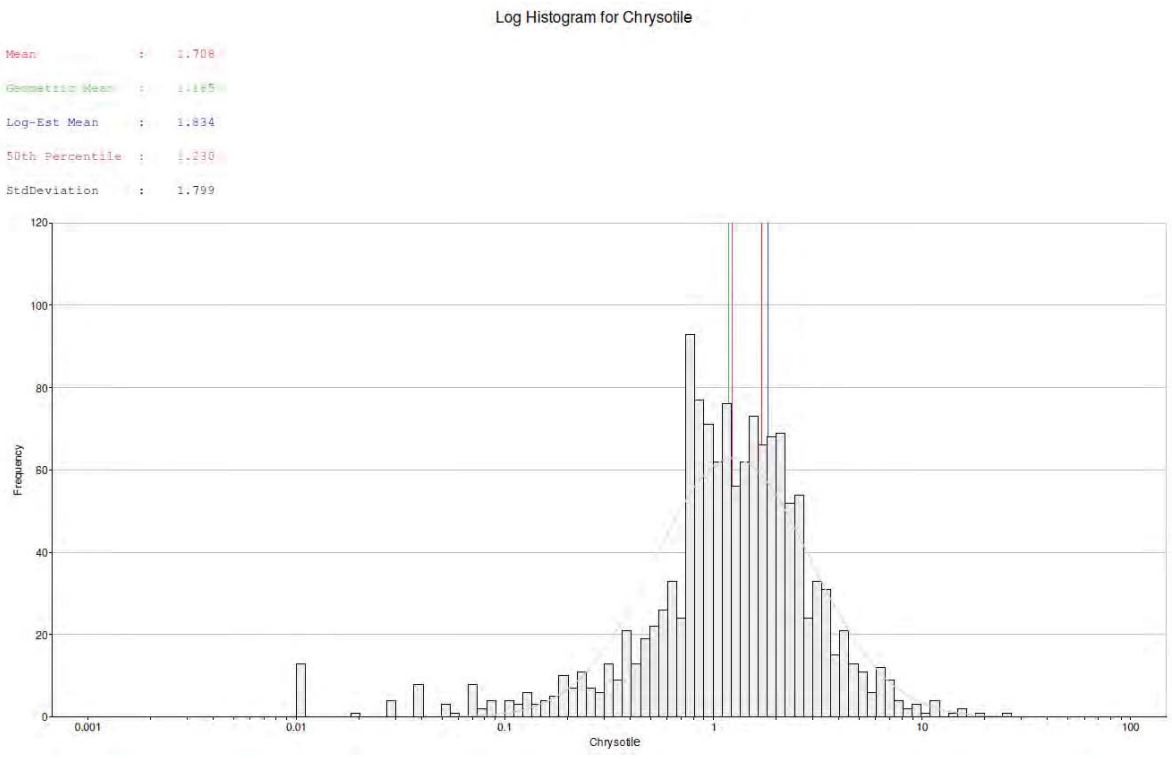
4) Calcul de la moyenne avec intervalle de confiance 95%

La moyenne avec intervalle de confiance est un intervalle dans lequel il y a 95% des chances que la «vraie» moyenne soit incluse à l'intérieur de l'intervalle. Cette valeur se calcule en fonction du nombre de données, de la moyenne et de l'écart-type. Plus il y a de valeurs, plus la moyenne est précise et représente l'ensemble de la population et plus l'intervalle diminue.

En considérant que la distribution n'est pas symétrique (figure 24), deux options peuvent être utilisées pour déterminer l'intervalle.

Première option : Échelle log-normal

La première option consiste à utiliser une échelle log-normal en abscisse sur notre distribution puisque c'est la distribution qui s'en approche le plus. La transformation logarithmique n'a pas été utilisée, car cette transformation modifie les données et minimise le risque; et notre but est d'être conservateur. En utilisant une échelle logarithmique, la distribution ressemble plus à une distribution normale. Une estimation logarithmique de la moyenne peut alors être faite. Dans l'histogramme ci-dessous, l'estimation logarithmique (en bleu) et la moyenne (en rouge) sont similaires.



Source : RNC

Figure 29 : Échelle log-normal en abscisse sur la distribution des données du chrysotile

Deuxième méthode : Données brutes

La deuxième option consiste à utiliser les valeurs brutes sans les transformer. Cette méthode est la plus conservatrice puisqu'elle tient compte de l'asymétrie et a donc une incertitude représentative sur la moyenne. De plus, en statistiques, quand le nombre de valeurs dans une distribution est supérieur à 30, l'asymétrie joue très peu sur les résultats. On peut donc appliquer les méthodes statistiques sur les données brutes.

Résultats des méthodes statistiques

Voici les tableaux des résultats représentant les teneurs en pourcentages obtenus de l'ensemble des données et par type de lithologies. Les deux méthodes de calculs obtiennent des résultats très similaires, c'est donc la méthode qui conserve les données brutes qui a été utilisée puisqu'elle ne minimise pas le risque.

Données brutes uniquement (sans le chrysotile dans les zones de carotte de forage non récupérées)

(IC95 = μ ± 1.96 * É-T/racine(n)) → 1.7± 1.96 *1.8/racine(1377) = 1.7± 0.09 → (1.6, 1.8)

Tableau 5: Résultats du traitement des données statistiques sur les valeures examinées

Lithologies	Moyenne Pondérée	Écart-Type	Nombre de valeurs	95e Percentile	Intervalle de Confiance 95%	Limite de tolérance 95% sur la moyenne	
						Inférieure	Supérieure
Péridotite Supérieure	**1.7**	1.1	294	3.8	3.5	**1.6**	**1.8**
Dunite	**1.8**	2.0	917	4.9	5.1	**1.6**	**1.9**
Péridotite Inférieure	**1.1**	1.5	166	3.3	3.5	**0.9**	**1.4**
Ensemble des roches ultramafiques du projet Dumont	**1.7**	1.8	1 377	4.4	4.6	**1.6**	**1.8**

Selon ce tableau, l'application de formules statistiques a donné sur l'ensemble des données de chrysotile un intervalle de confiance de 95% sur la moyenne qui se situe entre 1.6% et 1.8% pour les roches ultramafiques du projet Dumont.

Données incluant les intervalles de chrysotile dans les zones de carotte de forage non récupérées

Le tableau 6 illustre les données mesurées sur la carotte de forage par les géologues et le chrysotile évalué dans les zones de carotte de forage non récupérées.

La teneur du chrysotile dans les carottes de forage non récupérées n'est pas une valeur observée, mais une valeur pondérée qui est démontrée dans le tableau 4. Cette valeur attribuée à la carotte non récupérée correspond à un ajout de 0.1% en chrysotile. Cette valeur a été ajoutée arbitrairement aux valeurs individuelles du tableau 5.

Tableau 6: Résultats du traitement des données statistiques incluant le chrysotile de la carotte non récupérée

Lithologies	Moyenne Pondérée	Écart-Type	Nombre de valeurs	95e Percentile	Intervalle de Confiance 95%	Limite de tolérance 95% sur la moyenne	
						Inférieure	Supérieure
Péridotite Supérieure	**1.8**	1.1	294	3.9	3.6	**1.7**	**1.9**
Dunite	**1.9**	2.0	917	5.0	5.2	**1.7**	**2.0**
Péridotite Inférieure	**1.2**	1.5	166	3.4	3.6	**1.0**	**1.5**
Ensemble des roches ultramafiques du projet Dumont	**1.8**	1.8	1 377	4.5	4.7	**1.7**	**1.9**

Selon ce tableau, l'application de formules statistiques a donné sur l'ensemble des données de chrysotile un intervalle de confiance de 95% sur la moyenne qui se situe entre 1.7% et 1.9% pour les roches ultramafiques du projet Dumont.

Les valeurs globales du tableau 6 sont plus représentatives du gisement Dumont car elles incluent le contenu en chrysotile dans les zones de carotte de forage non récupérées.

9) Conclusion

De toutes les options possibles pour la quantification du chrysotile, seulement l'estimation visuelle quantitative pouvait s'appliquer aux roches ultramafiques du projet Dumont. Une méthode et une procédure détaillées furent mises sur pied pour que les géologues de RNC puissent suivre et maintenir un niveau de constance dans leurs descriptions.

La quantification du chrysotile fut appliquée à 13 trous de forage qui ont été soigneusement sélectionnés sur la base de plusieurs facteurs afin d'obtenir la représentativité complète de la fosse planifiée. Les calculs des données brutes ont été facilités par une série d'équations automatiques créées dans DH Logger®.

L'application de formules statistiques a donné sur l'ensemble des données de teneur en chrysotile une moyenne pondérée de 1.8% avec un intervalle de confiance de 95% sur la moyenne qui se situe entre 1.7% et 1.9% pour les roches ultramafiques du projet Dumont.

ANNEXE I

Evaluation of the mineral carbonation potential of mining residues from Royal Nickel Dumont Nickel Project, Amos

Evaluation of the mineral carbonation potential of mining residues from Royal Nickel Dumont Nickel Project, Amos (Québec, Canada)

Julie Pronost, Ph. D

Georges Beaudoin, geo., Ph.D.

Marc Constantin, geo., Ph.D.

Josée Duchesne, ing., Ph.D.

Réjean Hébert, geo., ing., Ph.D.

Faïçal Larachi, ing. st. D.Sc.

Département de géologie et de génie géologique
Département de génie chimique
Université Laval

26 April 2010



Table of content

Executive Summary 3

Introduction 5

1 Characterization of the material 6
1.1 Sorting process 6
1.2 Scanning electron microscopy (SEM) 9
1.3 X-ray diffraction (XRD) 12
1.4 Chemical characterization 14
1.41 Major element composition of the powdered rocks 14
1.42 Carbon content of the powdered rocks 18
1.43 Process water 20
A- Acidity 20
B- Solubility of the elements 21

2 Carbonation experiments 25
2.1 Carbonation in eudiometers 25
2.11 Gas mixture with high CO_2 content 27
A- Protocol 27
B- Results 28
2.12 Gas mixture with low CO_2 content 36
A- Protocol 36
B- Results 37
2.2 Carbonation at room conditions 38

3 Characterization of the carbonated material 39
3.1 Scanning electron microscopy (SEM) 39
3.2 X-ray diffraction 47
3.3 pH of water 49
3.4 Carbon analyses 50
3.41 Samples carbonated at room conditions 50
3.42 Samples in eudiometers 52

4 Interpretations of results 56
4.1 Parameters influencing the total amount of carbonation 56
4.2 Parameters determining the reaction rate 59

Summary and conclusions 64

Appendix 67

Executive Summary

Carbonation of calcium or magnesium-rich minerals produces carbonates that are stable at the Earth's surface. These spontaneous reactions provide a suitable process for long term storage of CO_2. Twelve ultramafic samples prodived by Royal Nickel Corporation have been studied in order to determine their potential for carbon sequestration. They belong to three different fractions produced by the sorting process of mineralized rocks from four different geological domains. The sorting fractions have varying grain size : 20 mesh for the fluffs, 100 mesh for the slimes and 150 mesh for the final tails. All the samples contain serpentine and brucite as major mineral components and magnetite and chlorite as minor phases. The geological domain of origin influences the relative abundance of brucite and serpentine, the content of brucite ranging from 13 to 20 wt %.

Final tail and slime fraction samples were delivered submerged in water. All the process waters displayed basic pH apart from one sulfur-rich sample. The amount of dissolved ions is in the range 16-31 ppm for Mg, 4-62 ppm for Ca, 10-27 ppm for Na and 3-7 ppm for K. The solid fractions contain less than 0.3% of Ca, Na and K oxides but these elements have a high solubility whereas Mg has a low solubility but its oxide accounts for more than 40 wt % of the solid samples. All the samples contained detectable amounts of CO_2 before the experiments, from 0.3% on average for fluffs to 0.9% on average for final tails, the finer fractions being the most reactive. This early carbonation presumably occurred after crushing during the sorting process and, for the fractions submerged in water, during open-air drying preliminary to the experiments.

One series of carbonation experiments was carried out in open atmosphere at standard indoor conditions (24°C, 380 – 400 ppm CO_2). Water was regularly added to the samples in order to keep the powders wet but not submerged. Half of each sample was been regularly crushed and stirred, the other half remained an unreworked witness. After 33 days of reaction, unreworked samples were containing between 1.5% CO_2 (average for fluffs) and 1.9% CO_2 (average for final tails). Regular stirring increased the CO_2 content of 0.2% on average.

Six series of experiments have been performed in eudiometers. These instruments allow real time monitoring of CO_2 uptake. It is thus possible to determine when the samples become unreactive with respect to CO_2, which indicate they have reached their maximum amount of carbonation. In addition to final content of carbon in the samples, reaction rates can also be calculated. Different amounts of powdered rocks were set in CO_2-rich gas mixtures (10 to 40 vol %) at two different temperatures (21 and 33°C) with varying water contents.

Samples that have reached their maximum amount of carbonation contain between 5.2 and 9.5% CO_2. MEB observation and EDS analysis have revealed carbonates in different habits: flakes, agglomerates and well crystallized prisms. The most common mineral has been identified by DRX analysis as nesquehonite ($Mg(HCO_3)(OH).2H_2O$), but dypingite ($Mg_5(CO_3)_4(OH)_2.5H_2O$) is also present in samples carbonated at higher temperature. A decrease in brucite proportion in carbonated samples in comparison with the initial powdered samples suggests that this phase is consumed preferentially by the carbonation reaction.

The mineral composition of the sample, which is determined by geological domain of origin, is the most important parameter influencing the final CO_2 content. Samples with 13 to 18% brucite can reach 6-7% CO_2 and samples with 18-20% brucite can reach 8-9% CO_2. In the range of tested conditions, other factors did not exert a strong influence on the maximal amount of carbonation.

Carbonation rates during the first days of reaction are sensitive to different parameters. The amount of sample loaded in a eudiometer determines the ratio between the surface of sample being in direct contact with the gas mixture and the total volume of powder. It is observed that the reaction rate by unit of weight is higher when the volume of powder is low. This probably corresponds to diffusion of CO_2 and/or advection of gas in the pores of the solid sample. It is observed that the coarser fractions display a higher reaction rate early in the experiment compared to the finer fractions, which can be ascribed to the same phenomenon. The kinetic of the reaction is enhanced by high CO_2 contents, whereas temperature has marginal effect on the reaction rate for the tested range.

Water is necessary for the reaction to proceed. As revealed by XRD analysis, the products of the reaction are hydrated carbonates whose formation requires the hydroxyl groups OH. It is also probable that gaseous CO_2 does not react with the magnesium in its solid state, but that the compounds need to be dissolved beforehand. In the range 30-60 %, the water content of the sample does not affect the reaction rate significantly. As water content is increased, the powder is submerged and all pores are saturated, and the reaction rate decreases considerably. Dissolution and diffusion of CO_2 in water are most likely the process provoking this decrease in the reaction rate.

Stability of the carbonated phases has been tested by leaving a series of samples in the eudiometers during 18 days after the wet but unsubmerged samples had reached a stage of non reactivity with CO_2. These samples did not release or consume any CO_2. Carbonated samples from all the series have been dried and submitted to infra red analysis after they were taken out of eudiometers. For the unsubmerged samples, the total amount of carbonation calculated from measurements in eudiometers and infra red analysis results yield consistent results. Carbon contents indicated by infra red analysis however tend to be slighlty lower than the results based on eudiometer observation. The long term stability of the carbonates formed under high CO_2 condition needs further study.

Introduction

The increasing atmospheric concentrations in greenhouse gases such as methane and carbon dioxide and their effect on climate have lead to the development of several mitigation strategies to reduce deduced anthropogenic impact on climate. Sequestration of CO_2 by reaction with Ca or Mg-rich natural minerals and its long term storage in the form of carbonates has been identified as a promising method by the IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). The present study is aimed at determining the potential for carbon sequestration of ultramafic mining residues from metallurgical tests from the Dumont project of Royal Nickel Corporation, situated near Amos (Québec, Canada).

The experiments have been carried out on twelve samples: three fine grained fractions produced by the treatment of rocks belonging to four different geological domains within the Dumont project. We do not have information on the geological domains represented by the samples. The geochemical and petrological characteristics of the samples have been determined by X ray diffraction, scanning electron microscopy imagery, energy dispersive X-ray spectroscopy, X ray fluorescence and infrared analysis. Samples of the process water used in the wet sorting of mineralization have been submitted to inductively coupled plasma atomic emission spectrometry analysis as well as pH measurements.

Three kinds of carbonation experiments have been carried out on the mining residues. One series comprised open carbonation at room conditions whereas the other two series of experiments were completed in eudiometers under controlled conditions. The eudiometers are designed for real time monitoring of gas volumes throughout the experiments and thus allow the determination of reaction rates for CO_2 uptake in varying conditions. The effect of four different parameters have been tested : CO_2 concentration in the gas mixture, water/rock ratio, temperature and the ratio of exposed surface to volume.

1 Characterization of the material

1.1 Sorting process

The experimental studies were carried out on three streams of residues produced by the sorting process. Fig. 1 shows the dry process that involves crushing, sieving and defibering of the material that produces the "fluff" (F) fraction. Fig. 2 presents the ensuing wet process that generates the "slimes" (S) samples resulting from the desliming operation and the "final tail" (FT) samples obtained after magnetic separation and flotation.

These three fractions have been sampled during the processing of four different types of material belonging to geological domains identified as 184B, 184F, 184G and 197B. The 12 samples are labeled according to their fraction (F, S or FT) and sample number.

The fractions are all fine grained. Fluffs are grey powders. Slimes and final tails were delivered submerged in water. Once dried they are fine powders, dark grey in the case of slimes and yellowish grey for final tail samples. The samples 184B, 184F and 184G are identical whereas powders from 197B sample are more brownish.

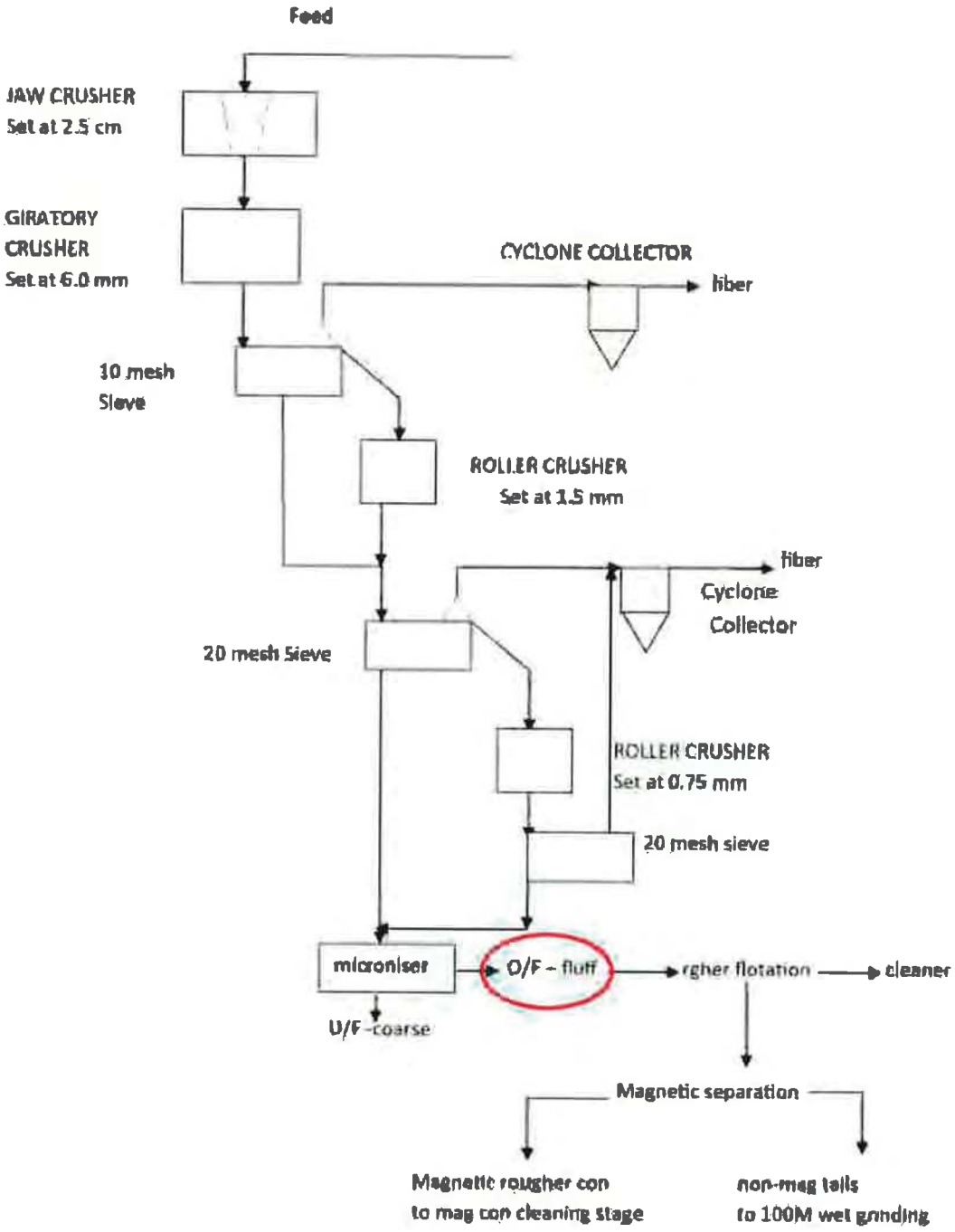


Fig. 1: Flowsheet describing the dry process. The fluff fraction output is circled in red. This fraction has a grain-size of less than 20 mesh (80% under 840 μm). Figure provided by Royal Nickel Corporation.

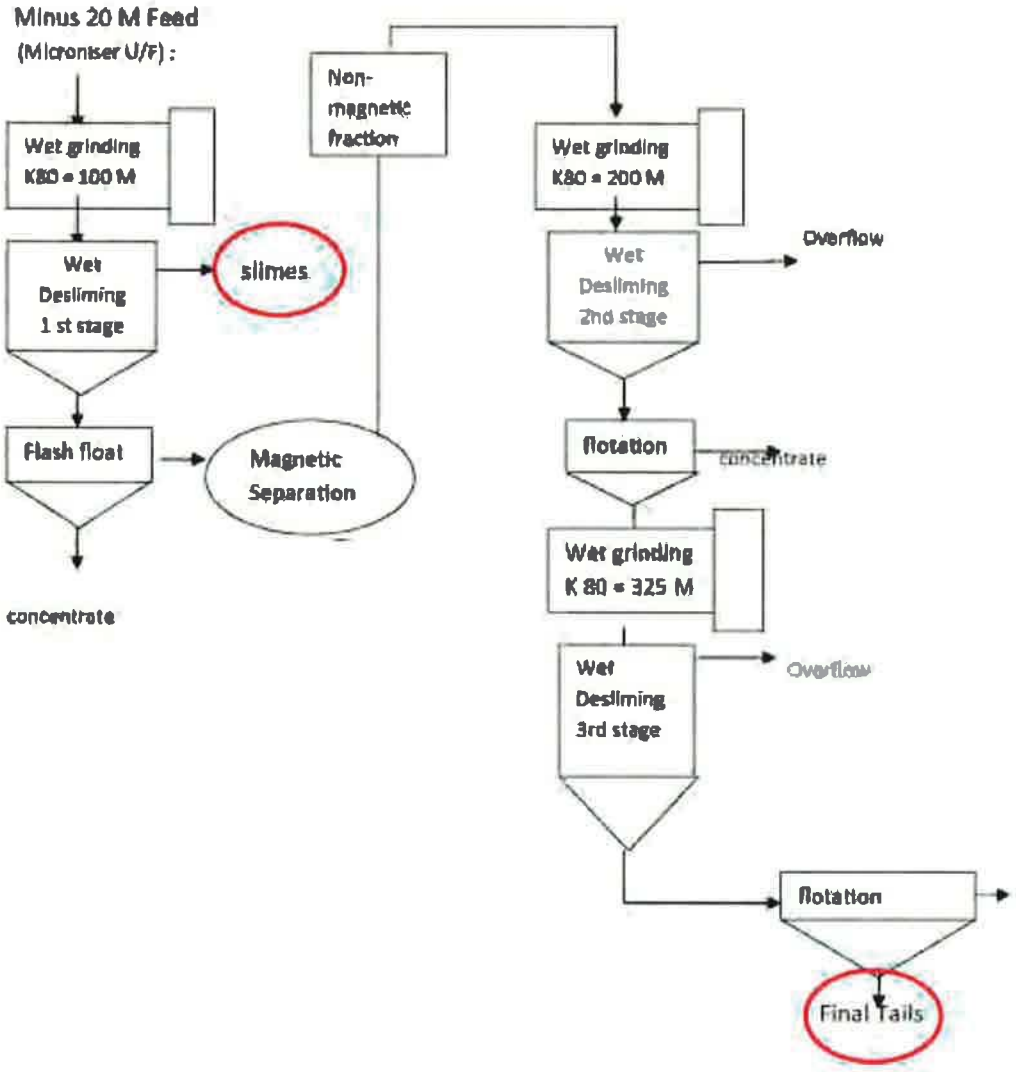


Fig. 2: Flowsheet of the wet process with output of the slime fraction (100 mesh : 80% under 150 μm) and final tail fraction (350 mesh : 80% under 40 μm). Figure provided by Royal Nickel Corporation.

1.2 Scanning electron microscopy (SEM)

The observations and analysis have been performed at Université Laval's Laboratoire de microanalyse. The scanning electron microscope (SEM) is a JEOL-840A equipped with energy dispersive X-ray spectroscopy (EDS). Before being loaded in the SEM analysis chamber, samples are coated under vacuum with gold and palladium in order to increase the conductivity of the surface, such that EDS spectra will show gold and palladium peaks from the conductive coating.

All the 12 samples have been studied. Only representative pictures and analyses are reported here, but all data is reported in Appendix A.

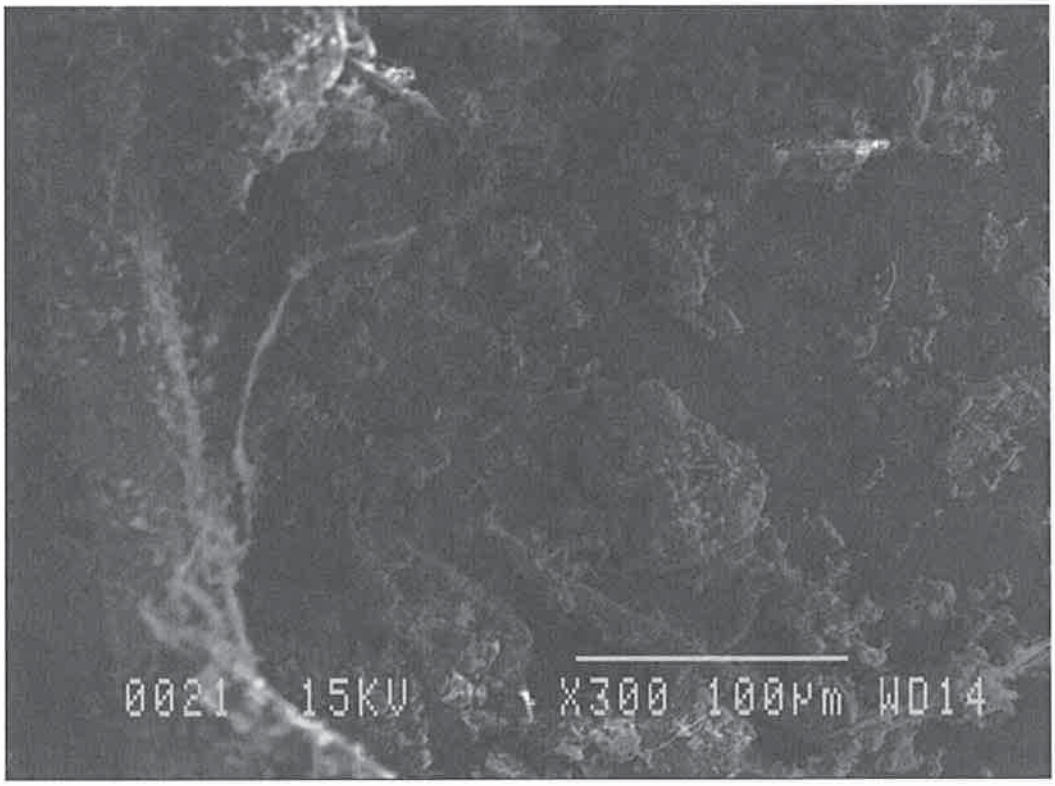


Fig. 3: Sample F197B (magnification: x300). Study of the fluff samples reveals a heterogeneous grain-size. A large proportion of the grains are under 100-200 µm but, as can be seen on the left of the image, considerably longer fibers are also present. In all fractions, a very fine fibrous coating is observed at the surface of some grains. Fibers can be brucite or chrysotile and grains are probably lizardite.

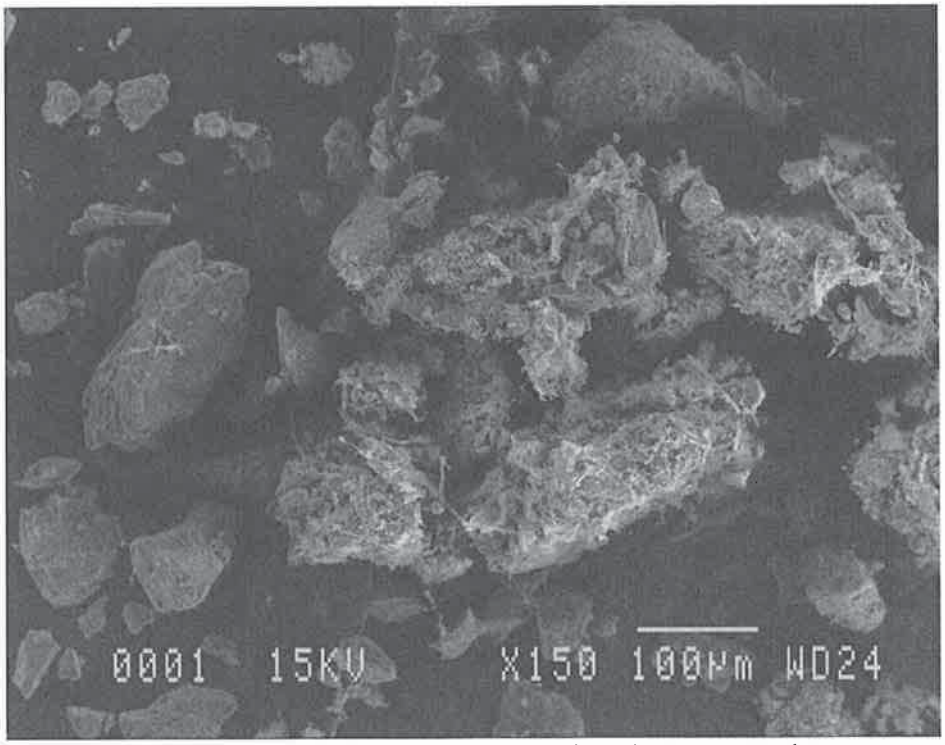


Fig. 4: Sample S184B (x150). The slime fractions have a more homogeneous and finer grain size than the fluffs. Most of the grains are smaller than 150 µm and some of them are covered by fibers.

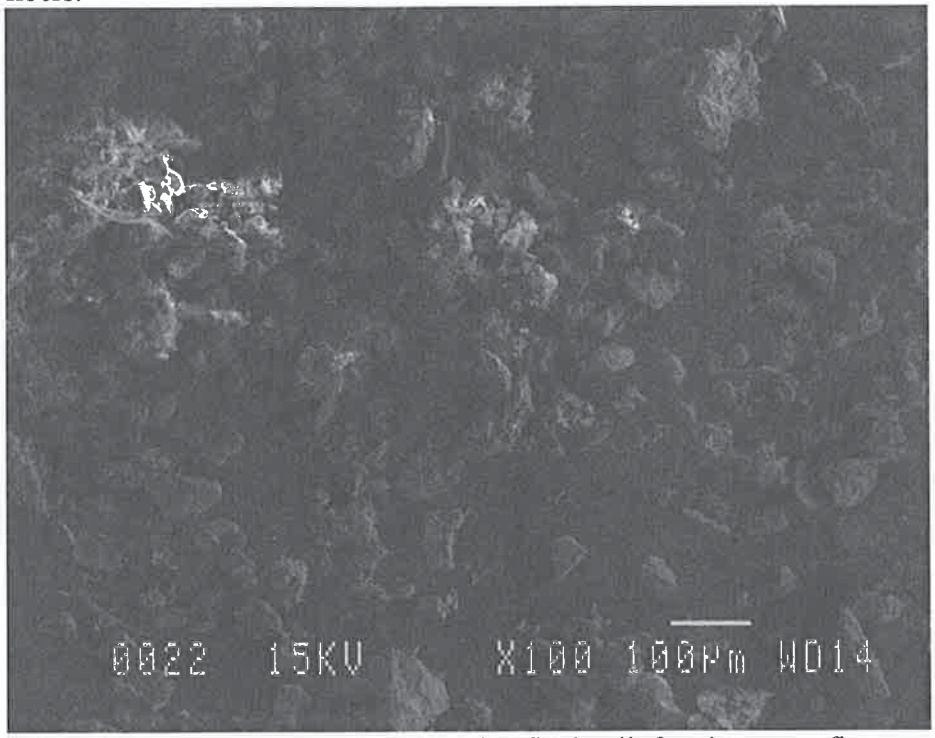


Fig. 5: Sample FT 184B (x100). The final tail fractions are finer grained than the slimes (generally under 50 µm) and the same fine fibers cover grains.

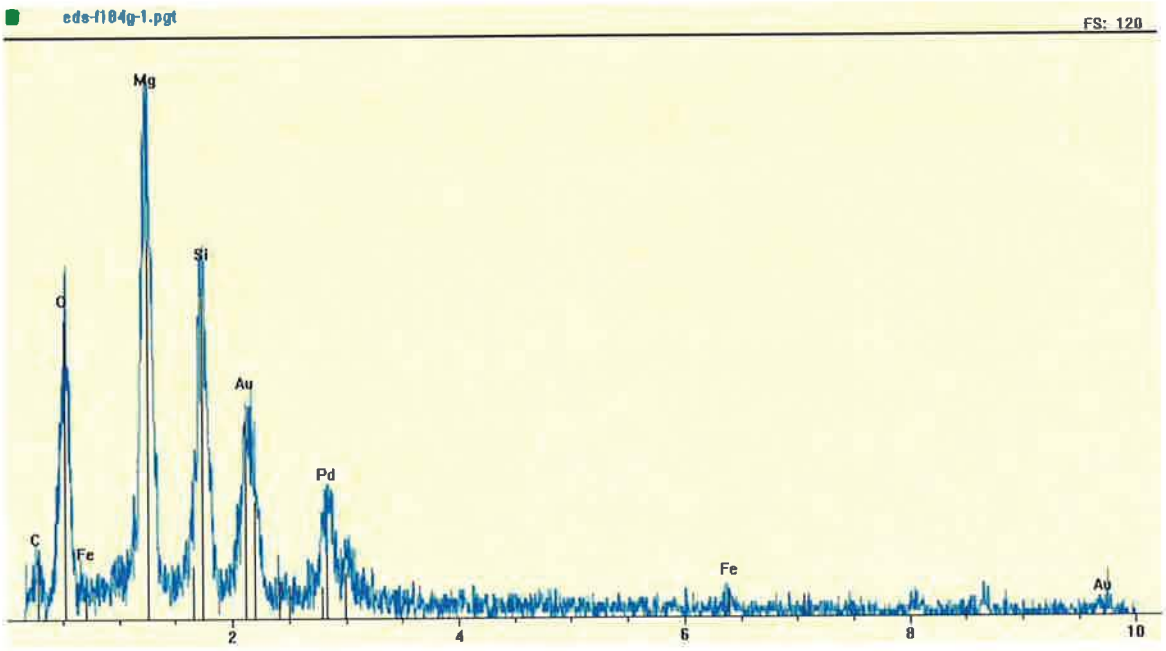


Fig. 6: EDS analysis of a large fiber from sample F184G.

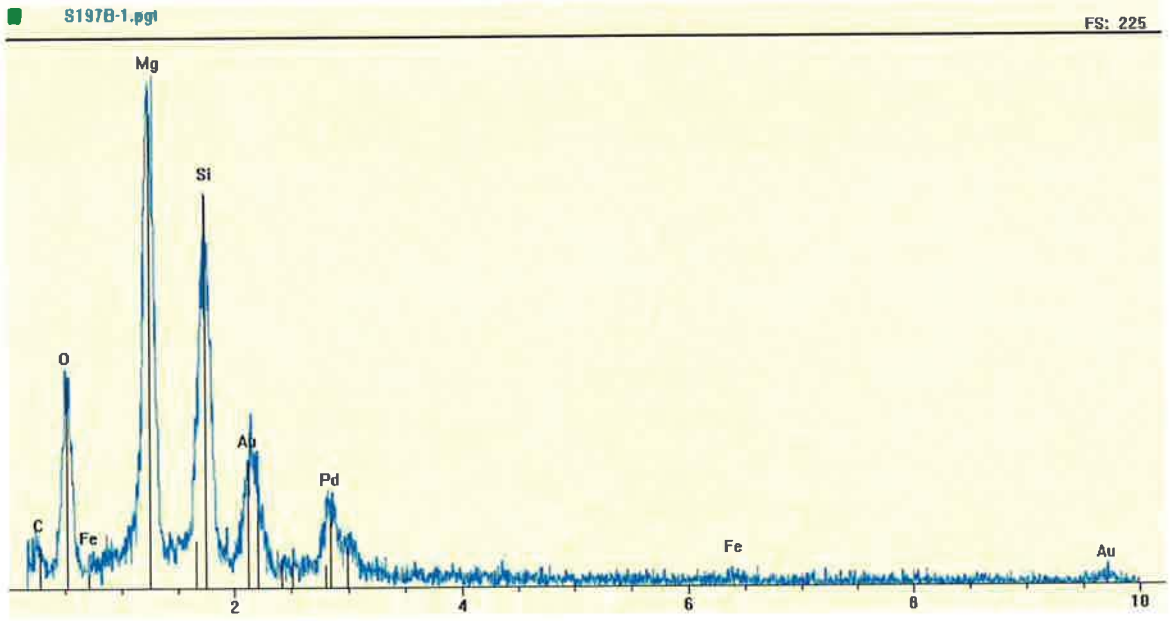


Fig. 7: EDS analysis of a grain from sample S197B.

All the EDS analysis performed on the material display very similar results. A small carbon peak, as observed on these patterns, is not indicative of the presence of carbonates. The samples are set on tape, which yields a higher background noise for carbon than for other elements.

The material is mainly composed of magnesium silicates containing a small amount of iron. The relative height of magnesium, silicon and oxygen peaks can vary, presumably because of the concomitant presence of serpentine ($Mg_3Si_2O_5(OH)_4$) and brucite ($Mg(OH)_2$) in different proportions.

1.3 X-ray diffraction (XRD)

Analyses have been performed at Université Laval's Laboratoire de microanalyse with a Siemens D5000. This analytical technique allows identification of mineral phases on the basis of their crystal lattice structure. It is generally considered that a phase should account for ca 3-5 modal % in a sample in order to be detected.

Results indicate that the 12 samples contain the same five major phases in similar amounts: chrysotile, lizardite, brucite, magnetite and chlorite. All the data are reported in Appendix B and only representative XRD patterns are discussed hereafter.

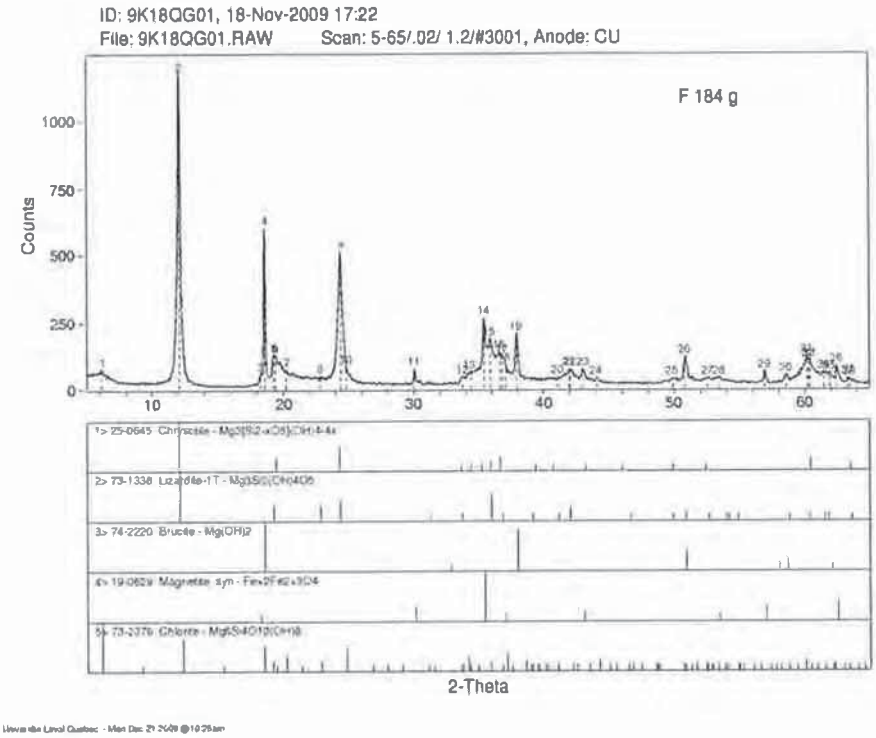


Fig. 8: XRD pattern of sample S184G. The serpentine peaks (chrysotile and lizardite) are overwhelmingly dominant. Brucite can easily be identified. Magnetite and chlorite are present in sufficient amount to be detected.

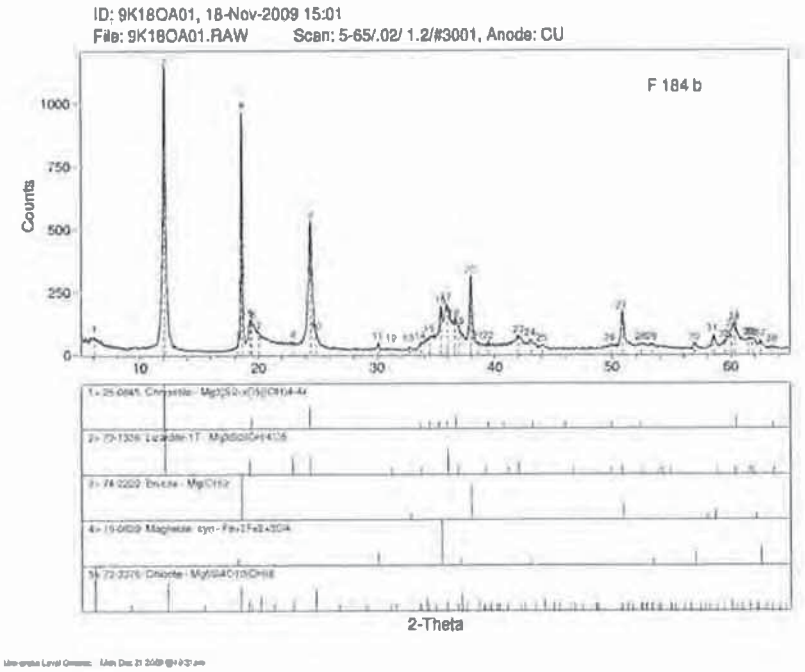


Fig. 9: XRD pattern of sample F184B. The identified phases are the same than in sample S184G but the relative importance of peaks is different: the peak of brucite is noticeably higher in that sample.

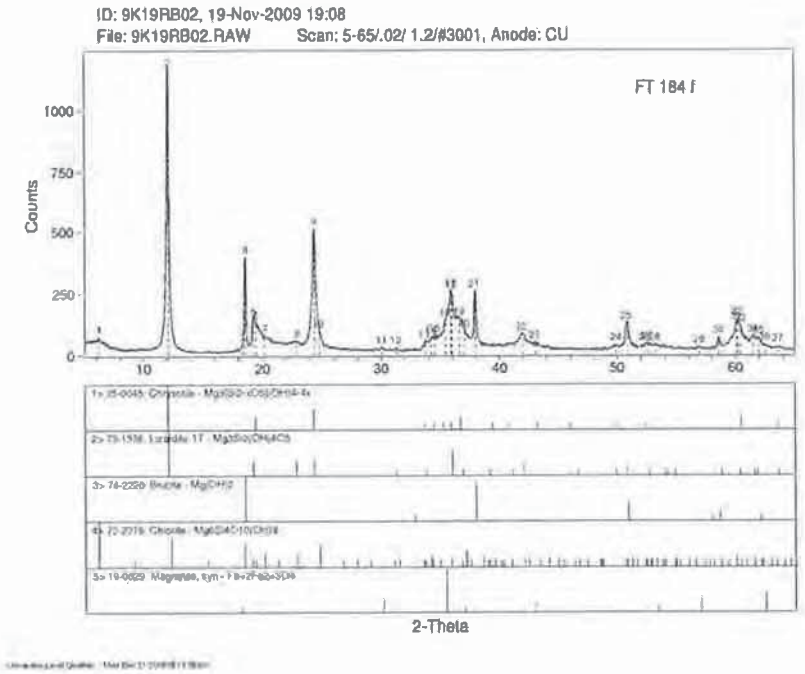


Fig. 10: XRD pattern of sample FT184F. The peak #11 corresponding to magnetite is smaller in that pattern.

1.4 Chemical characterization

1.4.1 Major element composition of the powdered rocks

Fluffs samples as well as dried fractions of final tail and slime samples were sent to Actlabs for major element analysis by X-ray fluorescence (XRF). The analyzed oxides are SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, MnO, MgO, CaO, Na_2O, K_2O, TiO_2, P_2O_5 and Cr_2O_3. Loss on ignition (LOI) is specified too. The samples are oxidized during the preparation for analysis and the iron content is then reported in its oxidized form Fe_2O_3. For all the oxides the detection limit indicated by the laboratory is 0.01% except for MnO (0.001%). The laboratory analyzes 6 different standards with each series. One of them (UB-N) is a serpentinite whose composition is close to our samples. For all the oxides, the difference between the measured content and the certified value of this ultramafic standard is always less than 0.35% (absolute value). Accuracy and precision can then be considered good. The results are reported in Appendix C along with the ideal composition of the pure phases identified by XRD.

For all the samples, predominant oxides are MgO (in the range 40.4 – 43.5 %), SiO_2 (33.4 – 37.4 %) and Fe_2O_3 (3.0 – 7.4 %). LOI accounted for 14.8 to 16.8 % of the samples weight, with the exception of slime S197B that displays a particularly high LOI (19.6 %). The samples contain small amounts of Al_2O_3 ($\leq$ 0.34), CaO ($\leq$ 0.28), Cr_2O_3 ($\leq$ 0.22), MnO ($\leq$ 0.13), P_2O_5 ($\leq$ 0.12), K_2O ($\leq$ 0.05), TiO_2 ($\leq$ 0.04) and Na_2O ($\leq$ 0.03). These elements can substitute for other major elements in common phases, as Ti in magnetite and Mn in olivine, or they can be major constituent of minor phases undetected by XR-D, whether they belong to the ultramafic formation (chromite for example) or to possible small gabbroic intrusions (pyroxenes, quartz, feldspars, biotites, amphiboles). Assuming that Al in chlorite accounts for the whole Al content of the samples, the powdered rocks contain between 1.0 and 1.9 wt % chlorite. It should be noted that this phase is detected by XR-D in spite of its low abundance because its first peak can be easily isolated.

Even if the samples belonging to the four geological domains have overall very similar chemical compositions they can be distinguished one from another. Fig. 11 shows the binary diagram LOI (wt %) vs MgO (wt %) for the 12 samples as well as for the ideal composition of brucite, serpentine and chlorite. In this diagram, samples cluster according to their geological domain. Their position in the graph depends on their respective content of serpentine and brucite. The effect of chlorite is not discernable from the effect of serpentine because these phases have very similar composition, but it has been previously shown that the chlorite content is lower than 2 wt %. All the samples are mainly composed of a mix between brucite and Mg#84 serpentine (serpentine composed of 84% of magnesian end member and 16% of ferrous end member). The three fractions from geological domain 184G are less rich in brucite (between 13 and 18%) followed by samples 184F (18-19% brucite) and samples 184B (20% brucite). The relative heights of brucite and chrysotile peaks on XRD patterns confirm this observation. Powdered rocks coming from the geological domain 197B, and particularly the slime, plot off the trend defined by the other samples. The brucite/serpentine ratio seems to be similar to 184F but the data are shifted towards high LOI.

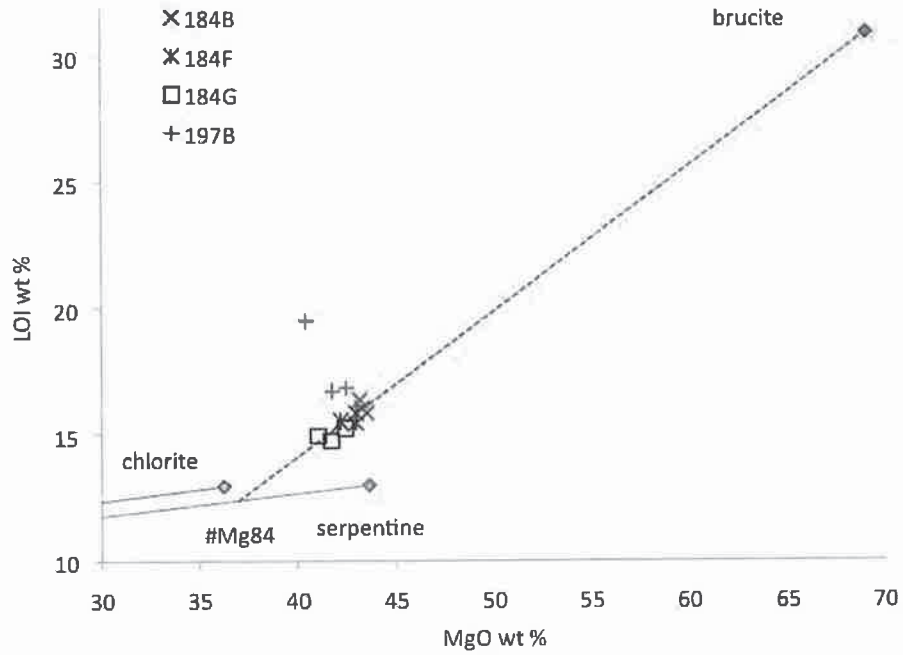


Fig. 11: Loss on ignition (LOI) vs MgO for the powders and for the following pure minerals phases : brucite, serpentine and chlorite. Chlorite and serpentine appear as lines because they are solid solutions between magnesian and ferrous end-members. The different fractions of each sample are not distinguished.

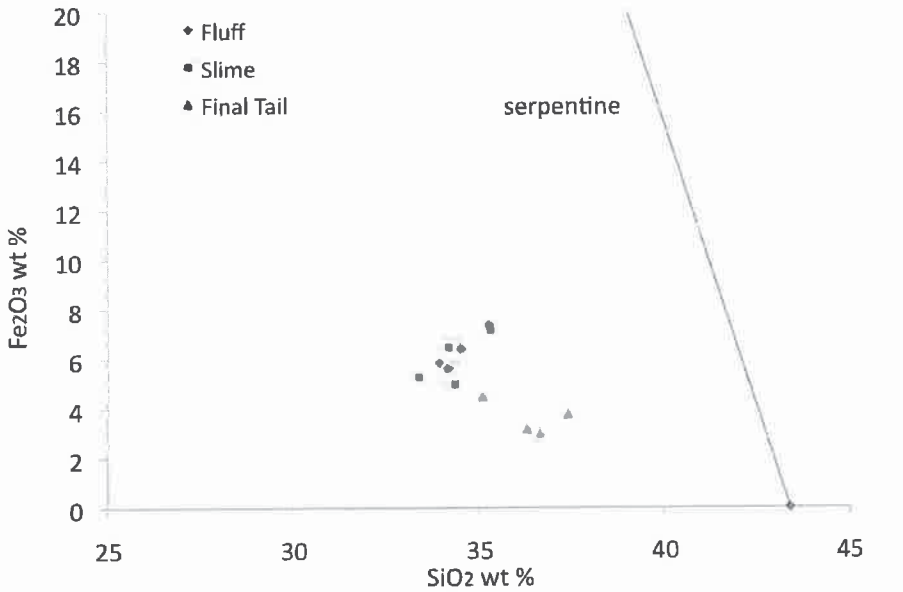


Fig. 12: Fe_2O_3 vs SiO_2 for the three fractions of the four samples, compared to and for pure serpentine. Brucite would plot at 0% for both oxides and magnetite at 100% Fe_2O_3 and 0% SiO_2.

The samples also display geochemical variability that can be ascribed to the sorting process. As shown in the Fe_2O_3 vs SiO_2 binary diagram (Fig. 12), the final tails are generally depleted in Fe

compared to the other fractions, most probably because of the magnetic sorting that has removed Fe-rich oxides such as magnetite. Final tails are also slightly enriched in SiO_2, apart from FT197B, that is also less depleted in Fe_2O_3 than the final tail samples coming from other geological domains.

Among the minor elements, CaO, Cr_2O_3 and P_2O_5 display a noticeable distribution. As can be seen in Fig. 13, Cr_2O_3 has slightly higher contents in samples 184G and the CaO content is also related to the geological origine of the rock. As for P_2O_5, its concentration does not depend on the geological domain but on the sorting fraction: the fluffs are depleted compared to the slime and final tail fractions (Fig. 14).

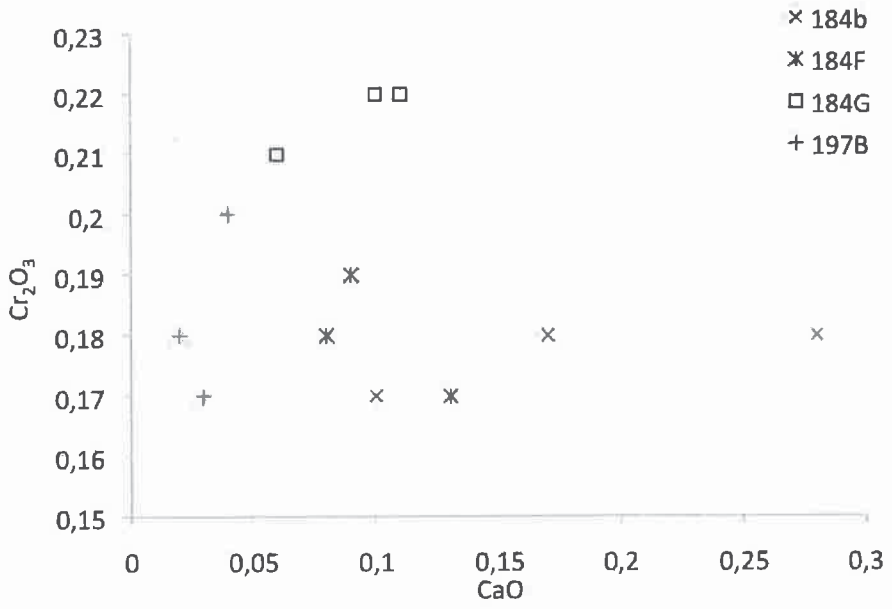


Fig. 13: Cr_2O_3 against CaO for each sample irrespective of the sorting fraction.

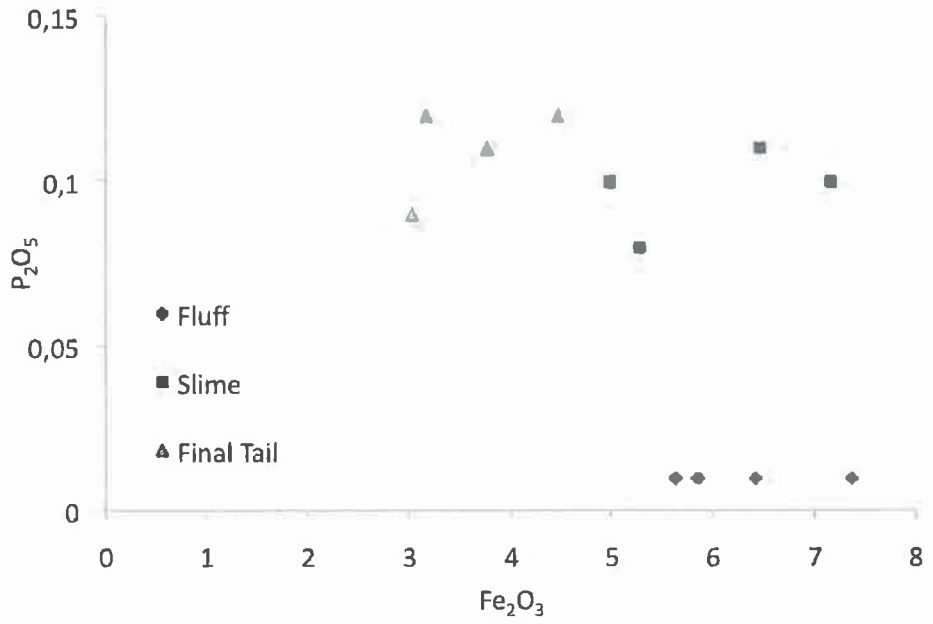


Fig. 14: P_2O_5 against Fe_2O_3 for the samples according to their sorting fraction.

The geochemical variability observed in the samples is conditioned by both the sorting process and the geological sampling site. The sorting process affects noticeably the iron content of the final tail fraction by removing the magnetic oxides, and this fraction also has higher silica. The slime and final tail fractions contain slightly more phosphorus than the fluff fraction, which could be due to relative enrichment of a very minor mineral such as apatite or to chemicals used in the sorting of these fractions under wet conditions and storage in process water.

Some other element contents are controlled by the geological origin of the rock. The domain 184G is enriched in chromium compared to the other samples and samples cluster according to their origin regarding the CaO content. The concentration in these minor elements depends on the quantity of minor phases that is different for each geological domain. The ratio LOI/MgO depends on the relative proportions of serpentine and brucite, which is mainly determined by the initial mineral composition of the rocks. It should be noted that samples coming from the domain 197B are slightly different than the others. All of them, and particularly the slime fraction, have higher LOI. The final tail fraction of this sample is less enriched in Si and less depleted in Fe than other final tail fractions, as if the sorting was less efficient for this sample. These chemical features could be caused by an unidentified phase that would be concentrated in the slime fraction. The 197B samples do not display anomalous content of minor elements and, as explained in next paragraph, the carbon content is not high enough to explain the high LOI. The unidentified mineral must then be a ferro-magnesian phase more hydrated than brucite or a mineral containing other volatile elements, such as sulfur.

1.42 Carbon content of the powdered rocks

Carbon analyses have been performed by Actlabs. Two types of analysis have been used in the study. Low level carbon analysis allows a detection limit of 0.001% and is suitable for samples with less than 1 wt % carbon. Standard infrared analysis has a detection limit of 0.01 % and is more appropriate for samples containing more than 1% carbon. In both cases the measurements indicate the total carbon content, without any discrimination between inorganic or organic carbon. Carbonate minerals have not been found during mineralogical study of the samples.

The fluff as well as the dried slime and final tail fractions have been analyzed using the low level carbon analysis method. The quality of the results is tested by the laboratory with two reference materials (standards) whose carbon content is outside the range of our samples (LKSD-4: 17.70% C and SGR-1b: 28% C). The serpentinite UB-N (recommended values with 95% confidence limits are 0.39% ± 0.08% CO_2, which is equivalent to 0.11% ± 0.02% C) has then been added as unknown in the series of samples to be measured. The laboratory always tests reproducibility by analyzing one or two samples of the series twice. For this series, a complete verification of reproducibility has been done by sending each sample and the UB-N standard in triplicate. The results are presented in Appendix D.

Reproducibility is generally good. The difference between two analyses of the same sample is generally lower than 8% of the value, even if exceptions occur (most noticeably for S197B and S184B). Fig. 15 shows the relative standards deviation for the three analyses of each sample against the average carbon content. As expected, the discrepancy decreases when the carbon content increases but the slimes S197B and S184B are out of the trend.

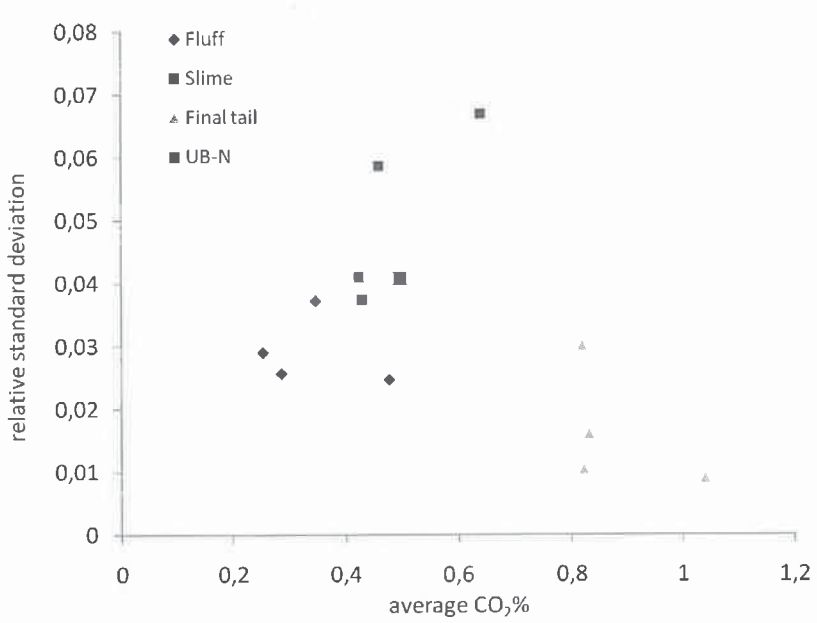


Fig. 15 : Each sample has been analyzed in triplicates. This diagram presents the relative standards deviation for the three analyses of each sample against the average value for CO_2 content.

Accuracy is estimated by comparing the analytical results with the reference values of the standards. The serpentinite UB-N has been analyzed three times and gave the following results: 0.139, 0.129 and 0.138 % C, which is significantly higher than the 0.11% ± 0.02% C certified value. The results are considered precise but an overestimation in the range of 20% of the low C concentration is possible.

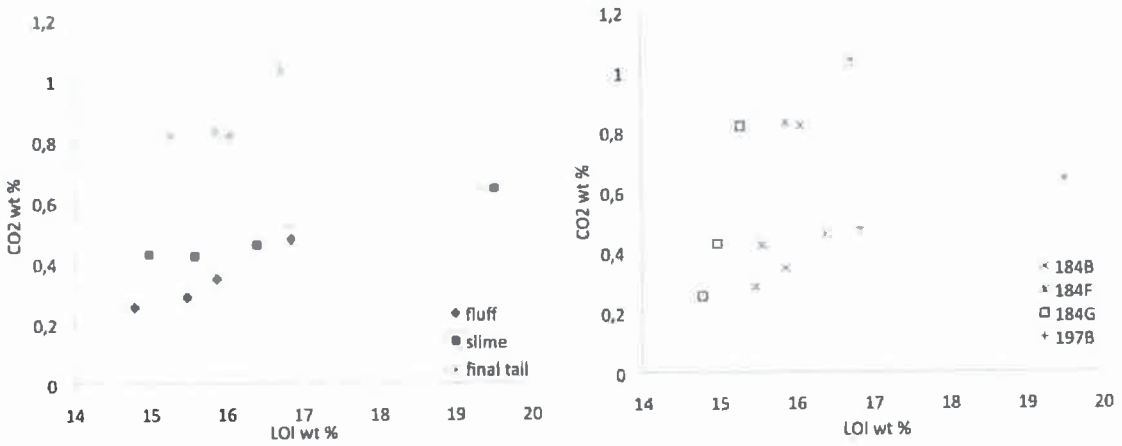


Fig 16A: Average triplicate CO_2 content against LOI. Symbols correspond to the sorting fraction of the samples.
Fig 16B: Same diagram, with symbols corresponding to the geological domain of each sample.

Fig. 16 shows the carbon content (average value for three measurements) against the LOI for each sample. The CO_2 content appears primarily controlled by the sorting fraction. The fluffs have the lowest content (av. 0.30 % CO_2), the slimes are slightly richer (av. 0.49 % CO_2) and the final tails contain markedly more carbon (av. 0.88 % CO_2). The carbon content does not seem heavily influenced by the geological origin in the case of the domains 184G, 184F and 184B, which display similar values (resp. 0.50, 0.51 and 0.53 % CO_2 on average). However, samples 197B fractions are enriched in carbon compared to the others (ave. 0.72 %). It could only partially explain their higher LOI, particularly in the case of the slime fraction.

The fluff fractions, that display the lowest carbon content, are the less processed fractions. They have not been in contact with water before the analysis, whereas the slimes and the final tails underwent the wet sorting process in the plant and were dried during three days under a hood in the laboratory. However, as the carbon content of slime and fluff fractions is similar whereas the final tail fractions are richer, it therefore seems that contact with water is not the crucial parameter. The finer grain size of the final tail fraction could explain why they are more reactive with atmospheric CO_2. It is also possible that a small amount of carbonates were present in the rocks before processing and became relatively enriched in the final tail fractions because of the sorting process.

1.43 Process water

A- Acidity

The fluff fraction is dry but the slime and final tail fractions were delivered submerged in water, as they were processed in the plant. The water content of each sample has been evaluated by weighting an aliquot before and after drying (Tab. 1). All the samples have water content higher than 90 %. Acidity has been measured (Tab. 2) with a pHmeter (Model 415 by Denver Instrument) calibrated before each use with three buffer solutions whose pH are 4, 7 and 12. The measurements for the four final tail fractions, water content fall in a narrow range of basic pH: 9.61 to 9.66 (see Fig. 17). The process water of the slime fractions has heterogeneous pH. S184B and S184F are in the same range (8.38 and 8.40) while S184G is a bit more basic (9.17) and S197B is slightly acid (6.18). As the dissolution of sulfides releases H^+ ions in an aqueous solution, making it more acid, this observation confirms that S197B could contain a high concentration of sulfur-bearing minerals.

Tab. 1: Water content of the wet samples (slimes and final tails).

	wet sample	dry sample	% water
S184B	62,0040	0,6087	99,02
S184F	59,4286	1,8516	96,88
S184G	60,0222	1,9046	96,83
S197B	64,7835	3,7827	94,16
FT184B	55,9581	1,3637	97,56
FT184F	63,5851	2,8587	95,50
FT184G	61,1224	4,4675	92,69
FT197B	65,0153	1,4679	97,74

Tab. 2: Acidity of the process water for the wet samples.

	pH
S184B	8,38
S184F	8,80
S184G	9,17
S197B	6,18
FT184B	9,64
FT184F	9,61
FT184G	9,62
FT197B	9,66

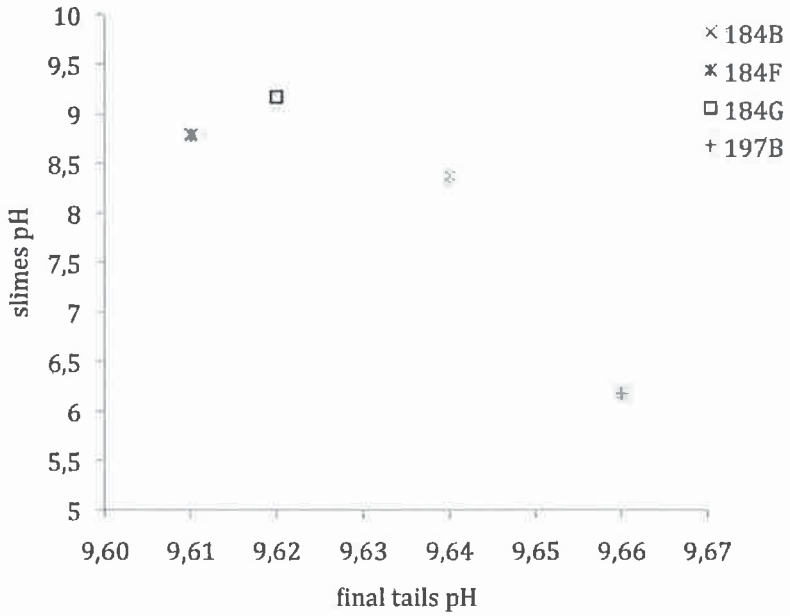


Fig. 17: Value of pH for the process water of final tail against the same data for the slimes.

B- Solubility of the elements

For each sample of process water, an aliquot has been filtered in order to remove the fine particles in suspension and has been sent for major element analysis to the laboratory Exova (Québec). 29 elements have been analyzed by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry (ICP-AES). The detection limit is between 0.5 and 0.001 ppm depending on the element. In addition to the eight samples, the series included two standard solutions prepared at Université Laval and two aliquots of distilled water that have been used during the carbonation experiments. The complete table of results is presented in Appendix E.

For both the distilled water, the analytical results are under the detection limit. The distilled water is then considered pure enough to be used in the experiments without contaminating reaction products.

The two standard solutions were analyzed at the beginning and at the end of each analytical series. The difference between the two analyses of this standard does not exceed 3.3% of the content, which assures that the reproducibility is very good. The maximal discrepancy between a measure and the reference value is 10 % and occurs for Al (1.1 ppm instead of 1). Accuracy is then considered good.

For all the samples, the following elements concentrations are below detection limit: beryllium, bismuth, cadmium, chrome, cobalt, copper, lead, lithium, molybdenum, nickel, selenium, silver, thallium, tin, titanium, vanadium, zinc. Arsenic contents are under the detection limit for all

samples but S184B and S184F where it is very low: 0.002 ppm. This element will not be discussed further.

Some elements display concentrations that are lower than the detection limit in some samples and only slightly higher in others. It is the case for barium, boron, iron, manganese and strontium. Generally, the process water of the slime fractions are enriched in all the elements compared to those of the final tail fractions.

The following elements are systematically present at concentrations higher than the detection limit: aluminum, calcium, magnesium, potassium, silicon and sodium (Table 3). Al content is always under 0.1 ppm whereas Si content is lower than 0.1 ppm in final tail waters only, and comprised between 0.17 and 0.57 in the slime waters. Similarly, Ca concentration is between 3 and 7 ppm in final tails and between 13 and 62 in slimes. Na concentration is between 10 and 16 ppm in final tails and between 17 and 27 in slimes. For all samples, K content falls in the range 3 to 6.6 ppm and Mg concentration is comprised between 16 to 31 ppm.

Correlations can be established in the chemical behavior of some elements (Tab. 4). Al, Ca, K and Na as well as the trace elements B and Ba tend to have high or low concentrations in the same samples (see example in Fig. 18). Si, Fe and Mn are also bound together while Mg is not correlated to any other element. The process water FT197B is enriched in Ca, K and Na and is the only final tail sample with detectable Sr whereas these elements are less concentrated in the sample S197B than in other slimes process water.

Tab. 3: Chemical composition of the process waters of final tail and slime samples (concentrations are in ppm).

	FT184B	FT184F	FT184G	FT197B	S184B	S184F	S184G	S197B
Al	0,03	0,04	0,03	0,04	0,1	0,08	0,06	0,06
B	0,03	0,03	0,02	0	0,06	0,04	0,03	0
Ba	0	0	0	0	0,04	0,05	0,03	0,02
Ca	3,7	4,3	3,9	6,9	62	61	31	13
Fe	0	0	0	0	0,1	0,13	0,05	0,17
K	4,4	3,9	3,4	5	6,6	5,3	3	3,3
Mg	31	25	29	16	20	30	25	26
Mn	0	0	0,012	0	0,01	0,013	0,007	0,011
Na	12	12	10	16	27	23	14	17
Si	0,09	0,1	0,09	0,07	0,54	0,49	0,17	0,57
Sr	0	0	0	0,03	0,24	0,24	0,13	0,05

Tab. 4: Correlation matrix for the soluble elements contents in final tail and slime process waters.

	Al	Ba	B	Ca	Fe	Mg	Mn	K	Si	Na	Sr
Al	1,00										
Ba	0,92	1,00									
B	0,61	0,57	1,00								
Ca	0,94	0,95	0,72	1,00							
Fe	0,73	0,76	0,09	0,61	1,00						
Mg	-0,23	0,05	0,15	-0,07	0,08	1,00					
Mn	0,56	0,67	0,22	0,58	0,70	0,29	1,00				
K	0,62	0,42	0,58	0,64	0,17	-0,39	0,04	1,00			
Si	0,84	0,79	0,28	0,71	0,96	0,01	0,69	0,39	1,00		
Na	0,95	0,83	0,54	0,90	0,68	-0,32	0,45	0,80	0,81	1,00	
Sr	0,94	0,96	0,67	1,00	0,63	-0,11	0,57	0,62	0,71	0,90	1,00

Tab. 5: Ratio between the concentration of an element in process water and in the corresponding solid sample.

	FT184B	FT184F	FT184G	FT197B	S184B	S184F	S184G	S197B
Al	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,3	0,2	0,2
Ca	37	54	65	173	221	678	310	650
Fe	0	0	0	0	0,020	0,020	0,007	0,032
Mg	0,7	0,6	0,7	0,4	0,5	0,7	0,6	0,6
Mn	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1
K	220	195	113	250	132	265	150	110
Si	0,002	0,003	0,002	0,002	0,016	0,014	0,005	0,017
Na	x	400	500	533	900	767	467	1700

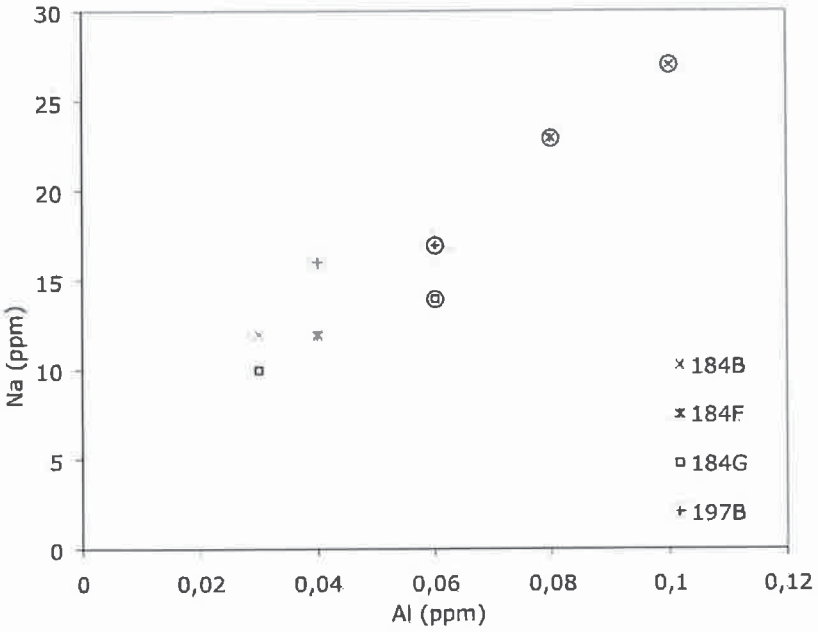


Fig. 18: Sodium concentration in process water against aluminum concentration. The slime samples are circled in black.

The final content of an element in a solution depends on its content in the submerged solid and on its tendency to dissolve. This tendency can be expressed by dividing the element content in solution by its content in the solid material (Tab. 5). This ratio is very high for Na (400 – 1700) and for K (110 – 275), that are easily soluble elements. Mg and Al have lower ratios, respectively 0.4 to 0.7 and 0.1 to 0.3. For Si, Fe and Mn, the ratio is very low, equal to or lower than 0.1.

Overall, despite its low solubility, Mg is the most abundant element in final tail solutions whereas Ca is dominant in slime waters. Most elements (Ca, K, Na, Al, Si) display a higher tendency to dissolve in slime solutions, which can be due to differences in water acidity.

2 Carbonation experiments

Two kinds of experiments have been carried out: most of them were set up in a controlled atmosphere in eudiometers but a series of carbonation tests has also been completed in open beakers left under a hood at standard room atmosphere. These tests in open beakers will indicate a final amount of carbonation but only the experiments in eudiometers allow a quantitative monitoring of the kinetics of CO_2 uptake. Among the experiments in eudiometers, six series of samples were carbonated in CO_2 rich atmospheres (500 mL apparatus) and four series in low CO_2 conditions (4 L apparatus). Each series of assays was generally scheduled to last two weeks.

2.1 Carbonation in eudiometers

An eudiometer is a device designed to measure gas volumes. It is comprised of a graduated PYREX® apparatus whose bottom opening is dipped in a cylinder filled with ideally a non-volatile liquid for which glycerol was choosen in the present work. A powdered sample with water to a fixed relative humidity is placed in the eudiometer in a mixture of N_2, O_2 and CO_2 in known proportions, and left to react at constant temperature. The level of glycerol varies depending on the changes in gas volume in the eudiometer. Because the reactions are monitored for long periods of time, each series of experiments include a control apparatus loaded with non reactive material (quartz) exposed to the same gas mixture atmopshere in order to correct automatically the data for the effect of atmospheric pressure changes. The two models of eudiometers (500 mL and 4 L) used for our experiments are shown in Figs. 19 and 20 respectively.



Fig. 19: Two 500 mL eudiometers. The left eudiometer contains a sample whereas the control apparatus loaded with quartz and water is to the right.

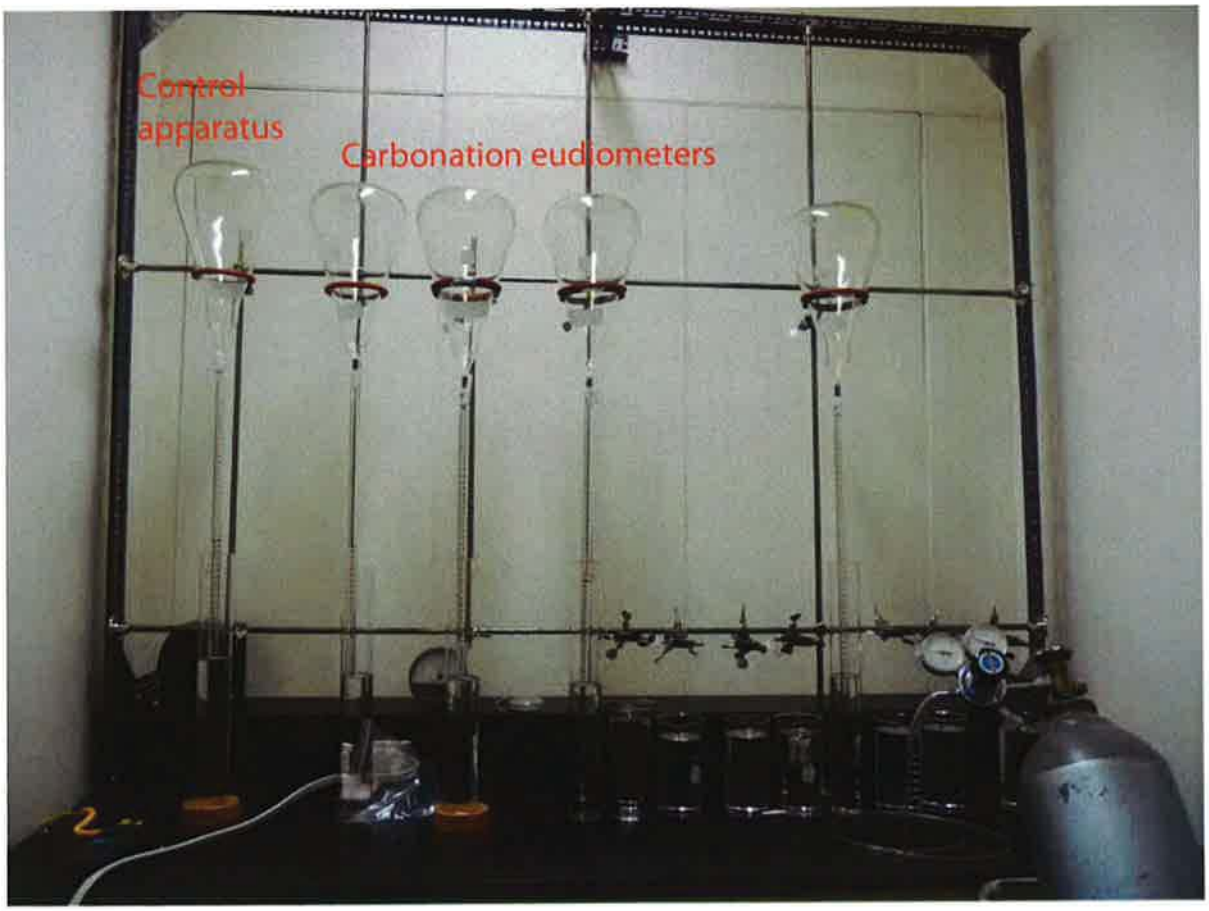


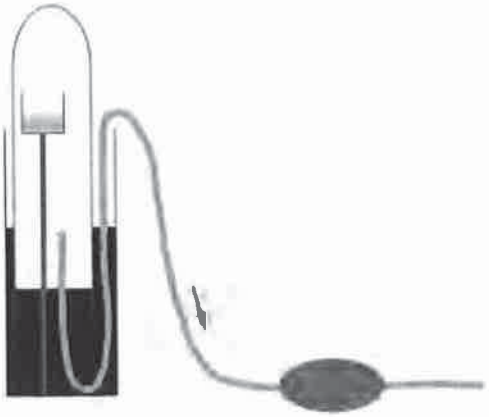
Fig. 20: Five 4L eudiometers. The apparatus seen on the left is loaded with quartz and the others contain experimental samples.

2.11 Gas mixture with high CO_2 content

A- Protocol



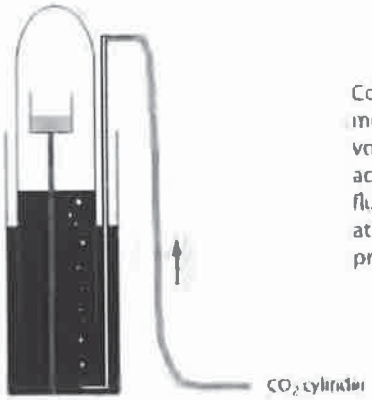
1- After having been weighted and hydrated, the material is layed in the beaker and isolated from the air of the room by the glycerol. The trapped atmosphere has a normal CO_2 content. The sample can be left a few hours in order to let the water and the air reach an equilibrium. This stage has never induced any variation of volume and is considered optional. As the air is compressed, the level of glycerol is a bit higher than the open end of the eudiometer.



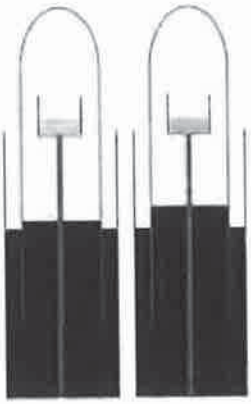
2- The air is partially sucked out of the eudiometer with a flexible hose and a manual pump in order to leave some room for the CO_2.

3- CO_2 is injected until the desired proportion is reached.

4- The control apparatus is prepared following the same procedure except that quartz replaces the reactive material. At t=0 both eudiometers have identical external and internal glycerol levels.



Control eudiometer : gas volume changes according to fluctuations of atmopsheric pressure.



Carbonation eudiometer : gas volume changes according to fluctuations of atmopsheric pressure and CO_2 consumption.

Fig. 21: Preparation protocol for carbonation experiments in eudiometers. Each series of experiment must include a control apparatus but the number of eudiometers loaded with samples is unlimited.

B- Results

All the series of experiments include four to six carbonation eudiometers containing samples. The series are numbered from RN1 to RN6 in chronological order. An additional letter, from *a* to *h*, designates each particular eudiometer. Samples are labeled according to their process fraction (F, S and FT) and to their geological domain of origin (184B, 184F 184G and 197B). Each carbonated sample corresponds to an experiment label and to a sample label (e.g. RN1a – FT184B). A table summarizing the main parameters and the experimental results can be consulted in Appendix F. The series of experiments RN1 to RN5 have been carried out at an average temperature of 20.7°C (standard deviation = 0.65) whereas the series RN6 was run at 33.3°C (s.d = 2.7).

Volume changes as low as 2 mL can be detected with the 4 L apparatus, which corresponds to 3.6 mg or 82 µmole of CO_2. If this amount of CO_2 were absorbed by a 2 g sample, it would yield a weight increase of 0.18%.

Series RN1, 11/09 - 28/09

Only samples from the domain 184B were available at the time of the experiment. This series was a first experiment to evaluate the CO_2 uptake potential of the material, in order to adjust the quantity of sample powder that should be loaded in eudiometers for following experiments. The samples were two aliquots of S184B and FT184B partially dried under a hood. The water content was decreased from 99% to 83% for S184B and from 98% to 74% for FT184B. The solid inventory was still totally submerged in water. It should be noted that the material has been left in the process water, contrary to the protocol followed for the other series for which distilled water has been added to the totally dried powders.

The four experiments comprised one duplicate. Sample FT184B containing 74% of water was set up in a gas mixture with 33 vol % CO_2 in the duplicate experiments. The two samples S184B with 83% water were left in a gas mixture containing 12 and 15% CO_2. For the four experiments the amount of solid material was varied between 3.2 and 5.4 g (Appendix F).

Fig. 22 shows the eudiometers raw data acquired, including the control apparatus. A regular decrease in gas volume over time is shown for eudiometers containing samples, while the control device shows smaller and uneven fluctuations that are provoked by changes in atmospheric pressure (see Fig. 23). The gas is compressed and occupies a smaller volume when the pressure increases. Other factors such as temperature fluctuations are negligible in comparison to atmospheric pressure variations. The variations in the control eudiometers can then be used to correct the observations reported for the sample eudiometers. As the CO_2% in the initial gas mixture is known, the consumption corresponding to each measurement can be calculated, as illustrated in Fig. 24.

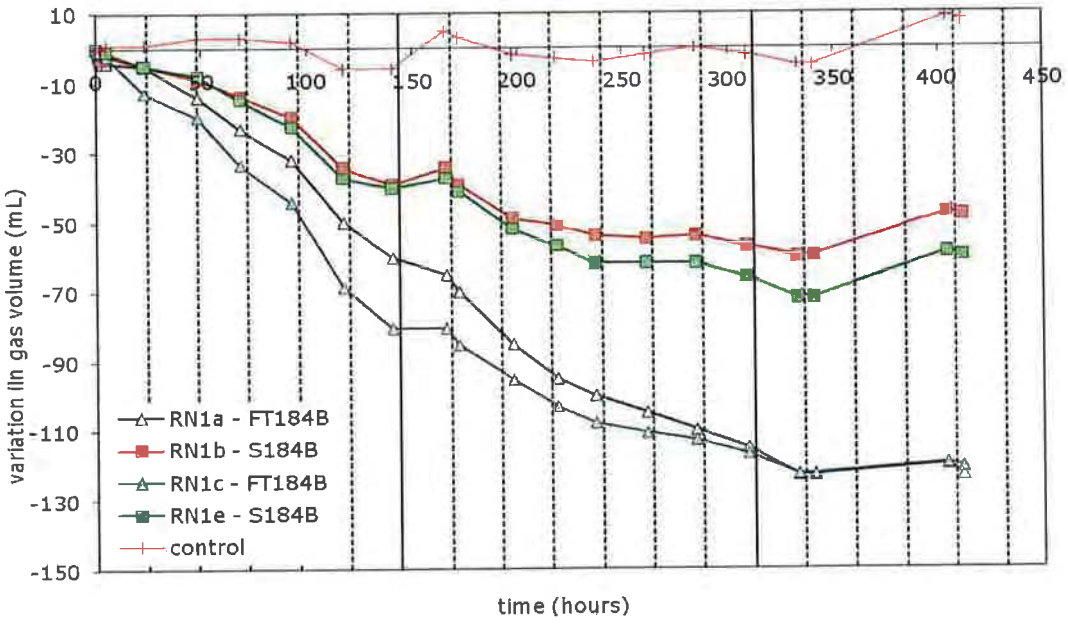


Fig. 22: Raw measurements of gas volume variations in eudiometers for the series RN1, including the control apparatus. Each vertical dotted line marks a 24 hours interval while full lines correspond to one week.

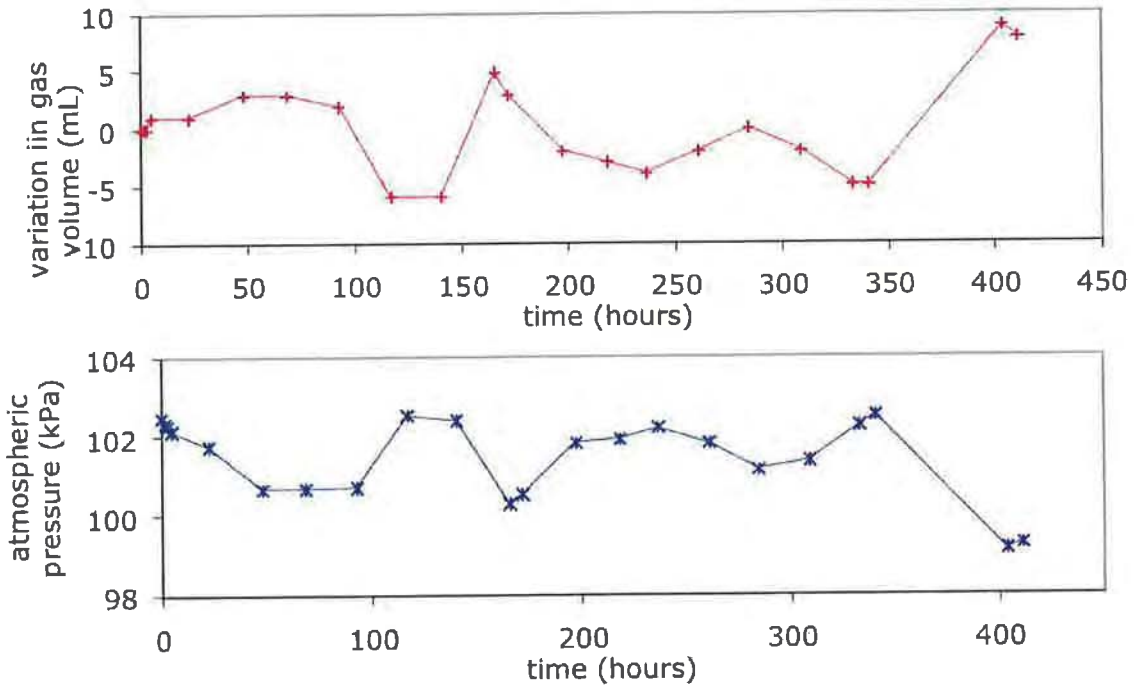


Fig. 23: Variations of the gas volume in the control apparatus in the course of the experiments RN1 compared to the changes in atmospheric pressure as measured at Jean Lesage airport and corrected for the difference of altitude with the laboratory.

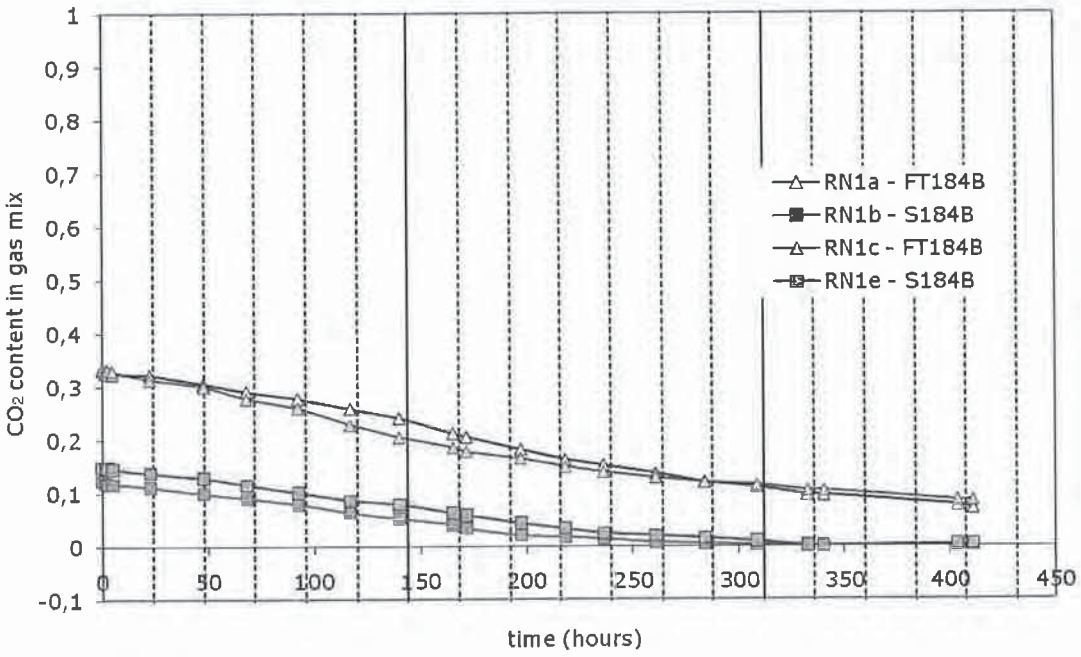


Fig. 24: Evolution of CO_2 contents in eudiometers during the series of experiments RN1. The amount of remaining CO_2 can be calculated as the difference between the initial CO_2 (on a molar basis) and the consumed CO_2. The ratio of CO_2 in the gas is calculated as CO_2/ (air + CO_2).

The two samples S184B, that have initial CO_2 content of 12 and 15%, display a regular decrease if CO_2 content and reach 98-99% consumption after two weeks. The initial CO_2 concentration in the atmosphere of the final tail samples was 33% and, after 18 days (time = 411 h), 81 to 84% of the CO_2 is consumed.

The duplicates of experiment RN1-FT184B give very similar results. Small discrepancies can be ascribed to slightly different initial parameters such as CO_2 content and the amount of solid material used. It should be noted that the absorption rate is not constant but slows down as the reaction progresses and CO_2 is depleted from the gas mixture.

RN2, 29/09 – 15 /10

At the time of the second series, samples 184F and 184G had been received. The RN2 series has been performed on available fluffs fractions, in order to investigate variability between the different domains, and completed with new aliquots of FT184B and S184B.

For the fluffs fractions, around 7 g of solid material has been set up in the 500 mL eudiometers with 4 g of water. The water content was then in the range 33-35%. The solid material was wet but not submerged in water. FT184B had a slurry texture. The water content was 59% and the amount of solid material 1.6 g. For S184B the water content was 78% and the amount of solid

material 1.5 g. The solid fraction was submerged. The CO_2 initial content was fixed to 11% for FT184B and between 32 and 34% for all the other samples (Appendix F).

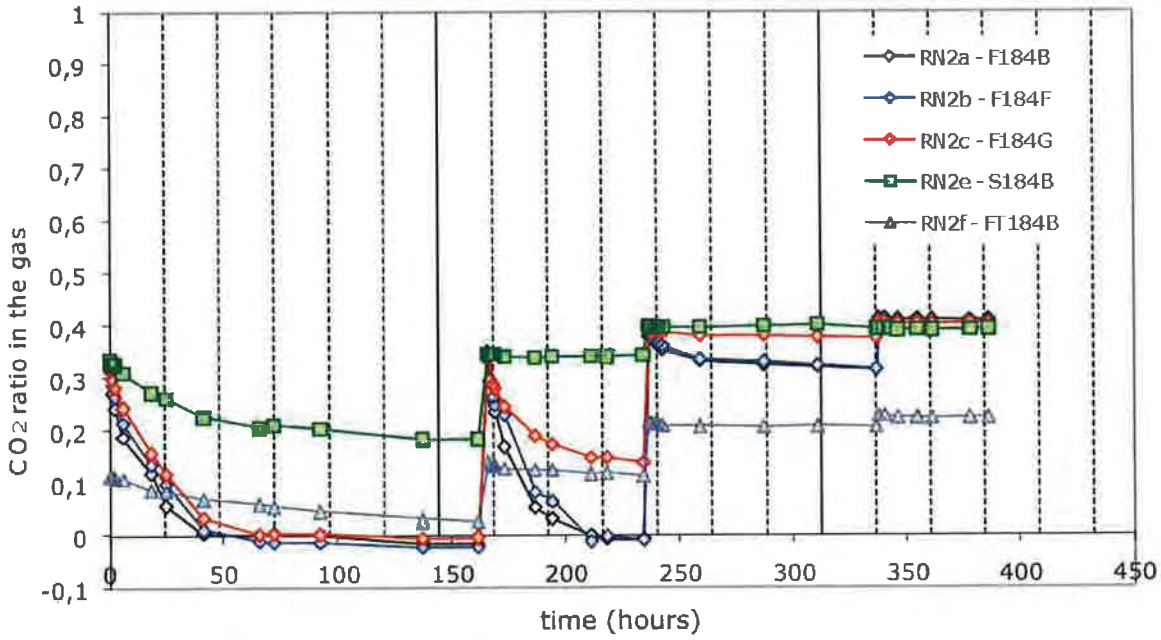


Fig. 25: Evolution of CO_2 contents in eudiometers during the series of experiments RN2.

As illustrated in Fig. 25, the three fluff samples display a very similar rate of CO_2 consumption. The uptake is very quick during the first two days until no CO_2 is left. The CO_2 content becomes slightly negative after the third day but this extra consumption is within uncertainty. An overestimation of 1-2 mL on the initial volume of the control apparatus would have led to this effect. On the 8th day (166 h), fresh CO_2 was injected inside the eudiometers, so that its concentration in the air mixture reached 34 to 35%. The uptake following the injection was quick, as it took around two days to entirely consume the CO_2. Another reinjection on the 11th day (237 h) was this time followed by a slower reaction that failed to consume all the CO_2 and the fourth reinjection that occured on the 15th day (338 h) was not followed by any additional consumption of CO_2.

The two other samples, S and FT184B, had a greatly higher water content than the three fluffs: with respectively 78 and 59% water, these samples were submerged and they display noticeably slower reaction rates.

RN3, 16/10 – 02/11

The samples belonging to the domain 197B were delivered at the time of the third series. The RN3 series comprised then the fluff fractions of the four studied geological domains. Four 500

mL eudiometers were loaded with 2 g of dry material and 1 g of water (31 to 35% of water). Two other eudiometers were available for additional experiments and have then been loaded with 2 g of dry material (F184G and F197B). For all samples, the inital CO_2 content was close to 10% (Appendix F).

The CO_2 was totally consumed by the wet samples over a period of two days while the dry powders F184G and F197B display small CO_2 consumption: respectively 3 and 4 mL (see Fig. 26). On the 7th day (145 h), new CO_2 was reinjected in all the apparatus so that its content reached c.a. 40%. The dry fluffs remained unreactive while the consumption was slightly reactivated for the wet samples. On the 14th day, 60 mL of room air was injected in eudiometer "a", in order to determine if lack of oxygen in the previous gas mixtures could have hindered the reaction, which would challenge the idea that the change in gas volume in eudiometers is due to CO_2 consumption. This injection had no observable effect and is omitted from the graph for clarity. On the 15th day (334 h), all the experimental apparatus were opened. The initially wet material was dry and hardened. It was then crushed and 2 mL of water was added. The dry fluffs had kept an unchanged aspect and texture. They were humidified with 1 mL of water. The eudiometers were then lowered in glycerol again and CO_2 was injected until its content reached 30 to 45%.

The samples that have been remoisturized display slight reactivation of the carbonatation. The loss of water (by consumption by the carbonatation reaction or by dilution in glycerol) was then a limiting factor for the reaction of the material with CO_2. CO_2 uptake for samples that were initially dry is stronger than what is observed for samples that had already reacted with CO_2.

Another reinjection in eudiometers "a" and "b" at t = 385 h did not result in any additional reaction.

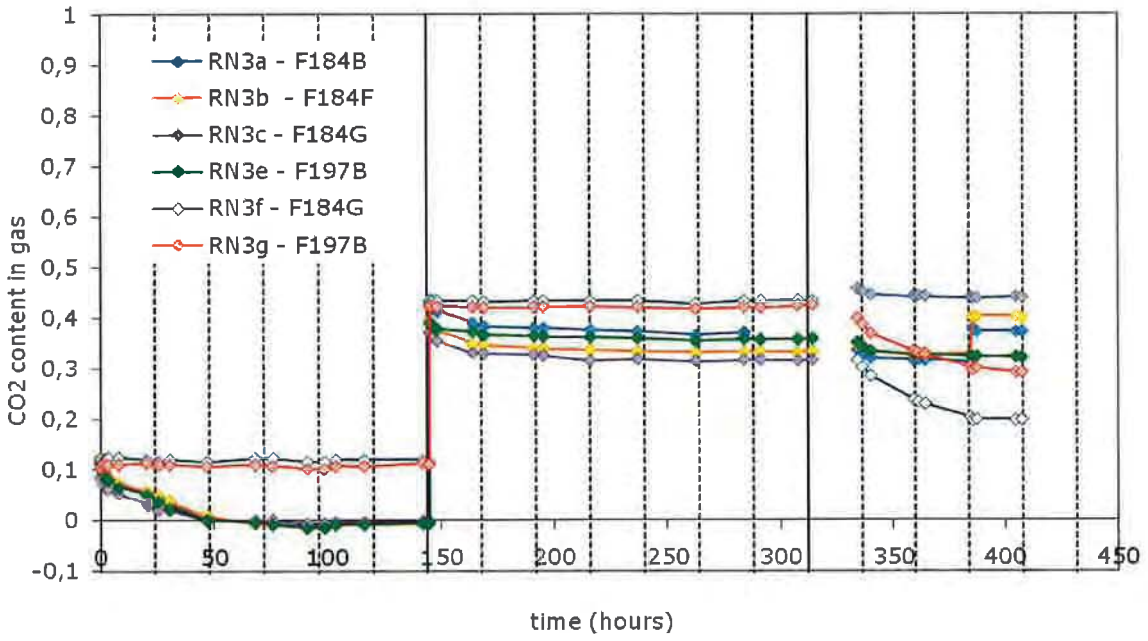


Fig. 26 : Evolution of CO_2 contents in eudiometers during the series of experiments RN3.

RN4, 03/11 – 14/11

This series included the final tail fractions of the four samples. As the amount of water added to the samples in the previous experiment was insufficient to let the material react until it reached saturation, 2 g of powder were this time loaded with 2 g of water. The 500 mL eudiometers "f" and "g" were respectively loaded with 10 g of process water (from sample FT184G) and 10 g of distilled water, in order to evaluate the amount of CO_2 that can be dissolved in water under the experimental conditions (Appendix F).

The initial CO_2 content was set up at c.a. 10% for all samples. As can be seen in Fig. 27, the eudiometers containing only water do not display any measurable variation in gas volume (3 mL for both of them) whereas the CO_2 is entirely consumed after two days in the other eudiometers. On the third day (50 h), CO_2 was reinjected until its content reached 40% in the eudiometers containing water. In the eudiometer loaded with process water, the CO_2 content evolved from 41 to 40% over a period of seven days whereas the atmosphere in the eudiometer containing the distilled water evolved from 40 to 39%. The increase of CO_2 partial pressure in the air mixture has then provoked an increase in the amount of CO_2 dissolved in water but this effect is small when compared to the consumption observed in eudiometers that contain samples. In these eudiometers, the first reinjection brought the CO_2 content to 13 to 15% and its consumption took five days. Another reinjection was carried out on the 8th day (167 h). CO_2 content was set to 40%, and the reaction was barely reactivated. On the 10th day (215 h), all eudiometers were opened to air. The pH of the water in eudiometers "f" and "g" was measured, as discussed later. The solid samples were dry and hardened. After having been crushed and humidified with 2 g of water, they were placed in the eudiometers again in a gas mixture containing 32 to 37 % CO_2. The consumption observed during two days was limited: the decrease in CO_2 concentration reached 1 % only.

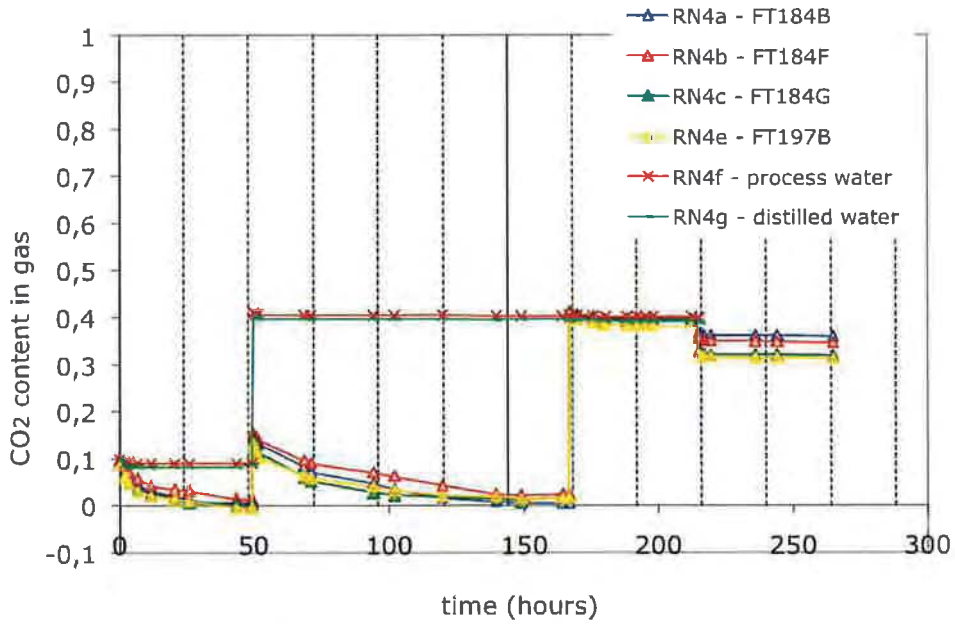


Fig. 27: Evolution of CO_2 contents in eudiometers during the series of experiments RN4.

RN5, 17/11-01/12

The RN5 series included the four slime fractions. Two grams of powder were loaded in each eudiometer with 2 g of water. The two extra eudiometers (h and g) were loaded with two slime fractions (S184B and S184F) with the same water-solid ratio but a double amount of material: 4 g of powder and 4 g of water (Appendix F). As all the samples were laid in similar containers, they all had the same contact surface with the atmosphere. The comparison of the CO_2 uptake for the 2 g and the 4 g samples should give insight about the importance of the interface between the powder and the gas in comparison with the absolute amount of available material.

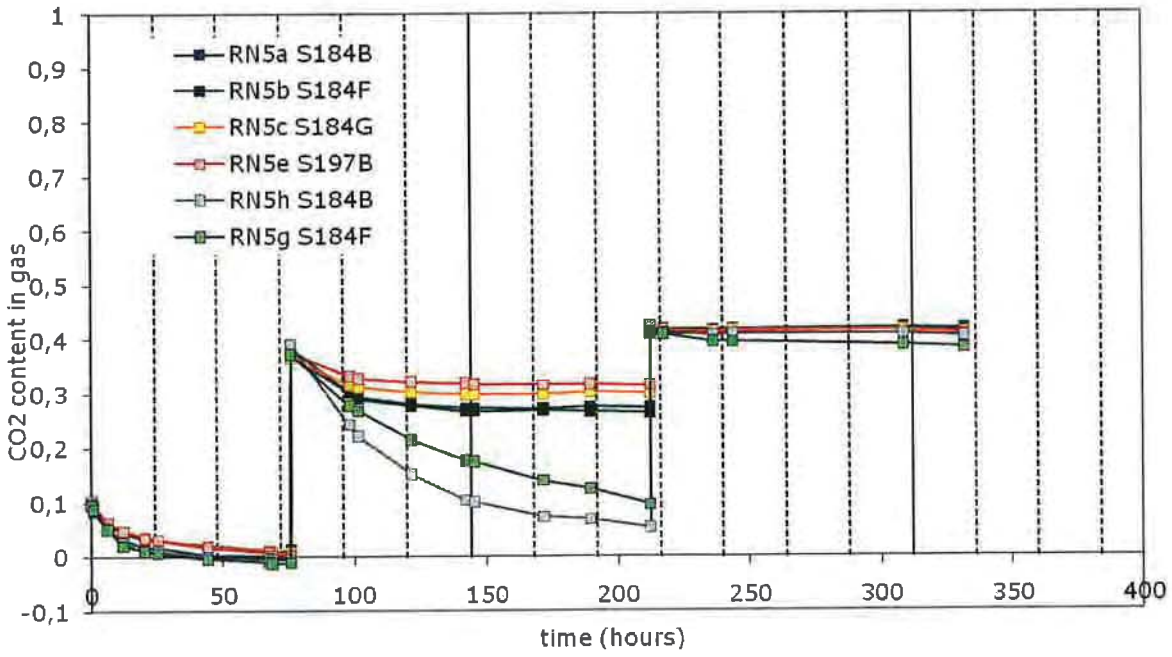


Fig. 28: Evolution of CO_2 contents in eudiometers during the series of experiments RN5.

The initial CO_2 content in gas mixture was set at 10% for all experiments. After 2 to 3 days of reaction, all the CO_2 was consumed. The apparatus containing 4 g of powder displayed a slightly higher rate of carbonation (Fig 28). After the first reinjection, the CO_2 content in the gas mixtures ranged from 37 to 39%. The difference in reaction rate and in total amount of carbonation became more distinguishable between the experiments involving 2 g of solid reactive and those involving 4 g. A third reinjection was performed on the 10th day (215 h) in order to ensure the samples had reached saturation.

RN6, 10/12 – 13/01

This series of experiments was aimed at studying the effect of temperature on the reaction rate and on the total amount of carbonation. The laboratory temperature was set at 33°C instead of 20-21°C. The three eudiometers "a", "b" and "c" received 2 g of water with 2 g of fractions F184F, ST184F and S184F. Eudiometer "e" was loaded with 2.7 g of water and 6 g of F184F. Finally the last two eudiometers ("g" and "h") were loaded, respectively, with 2 g and 6 g of sample F184F with 24 and 36 g of water (Appendix F). For these samples, the solid fraction was submerged in water.

The evolution of CO_2 contents is shown in Fig. 29. High reaction rates were expected, so the CO_2 content was set between 23 and 30% in order to obtain curves representative of CO_2 consumption. Despite this precaution, the atmosphere of eudiometer "e", that contains 6 g of reactive material, was already totally depleted of its CO_2 at the first measurement of the 2nd day (20 h). The three other eudiometers loaded with 2 g of wet samples display the usual curve of CO_2 consumption while the rate of uptake for submerged samples is lower. After reinjection of CO_2 up to 46-55% on the 5th day (91 h), it appears that wet powders were close to saturation except for the 6g sample. On the 10th day (212 h) eudiometers (a, b, c and e) were opened and the powders were humidified again with 3 g of water and left to react in gas mixtures containing 42-48% CO_2. All the powders, including RN6e-F184F (6g sample), displayed a limited reaction indicating they had reached carbon saturation. The eudiometers loaded with the submerged samples (g and h) had not been open and were left to react without interference from the 5th to the 17th day (hour 91 to 385). The samples were then left in eudiometers for a period corresponding to New Year holidays. For safety concerns, the heater was turned off and the room temperature was thus around 22°C. As they had not reached saturation, the submerged samples kept consuming CO_2. The wet samples display very stable CO_2 contents in the air mixture during this period at 22°C, which indicates that the carbonates formed at 33°C are still stable at lower temperatures.

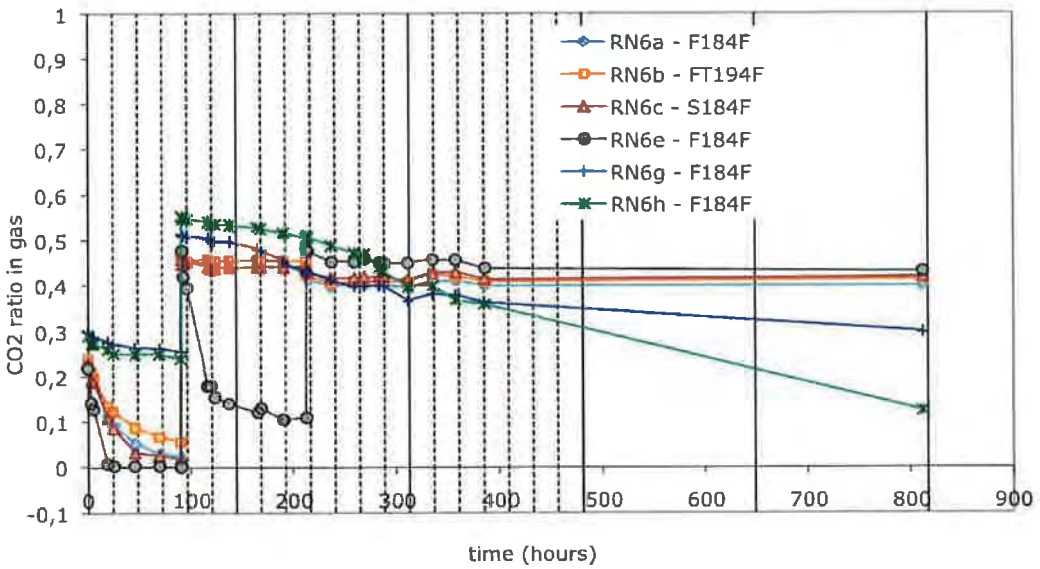


Fig. 29: Evolution of CO_2 contents in eudiometers during the series of experiments RN6.

2.12 Gas mixture with low CO_2 content

A- Protocol

The general principle of the experiments is the same than presented in the protocol of 500 mL eudiometers. Samples are left to react in air tight devices sealed by liquid glycerol and the variation of the glycerol level in a graduated column corresponds to the changes of volume of the trapped gas. One apparatus is loaded with inert material and water in order to correct for the effect of atmospheric pressure fluctuations.

Each eudiometer is composed of a 4 L container and a precisely graduated column. These devices are more sensitive to volume changes than the 500 mL apparatus. A variation as low as 0.1 mL can be detected. They are designed to study carbonation at lower CO_2 concentrations. Before they are dipped in glycerol, the eudiometers are flushed with air containing 415 ppm of CO_2. A 4 L container then contains 1.7 mL of CO_2. The samples are loaded in small Pyrex® containers that are maintained at the top of the graduated column with magnets.

As shown in Fig. 30, an additional correction is needed in these experiments. Indeed, it is not always possible to adjust the level of glycerol in the column with its external level. The traction or pressure exerted by the glycerol on the gas must therefore be corrected.

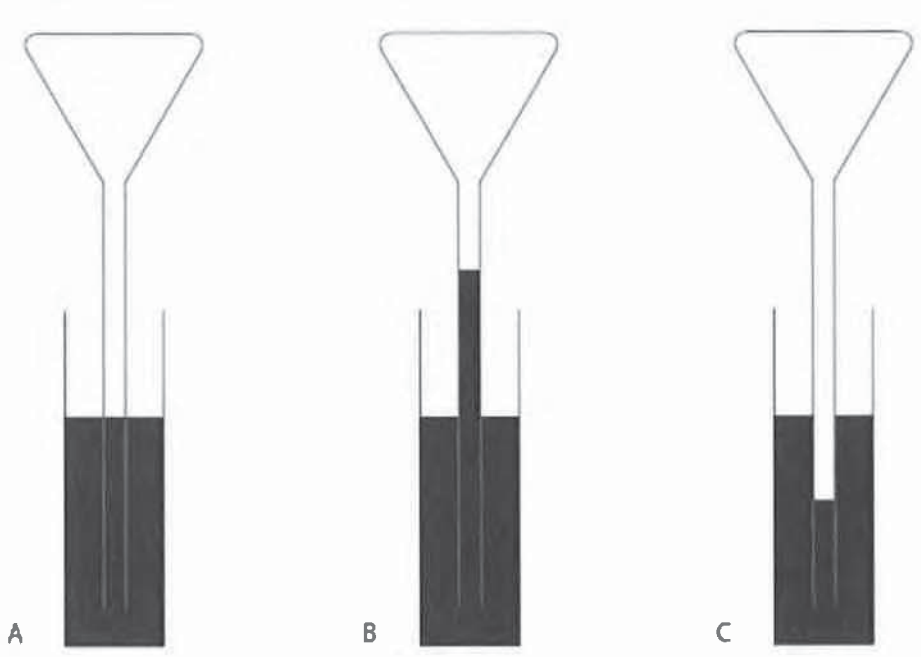


Fig. 30: Effect of the glycerol on the trapped gas. In case A, the internal and external levels are the same and there is no effect. In case B, the glycerol exerts traction equal to its weight multiplied by the height of the column it occupies (ρ*g*h). In case C, the column of glycerol exerts a pressure that can be calculated similarly.

B- Results

A very small air leak has been identified in the control apparatus, such that the variation in atmospheric pressure cannot be corrected and this renders the experimental results impossible to use for the purpose of the study. The air leak was detected after the experiments because experimental results showed suspicious values that could not be explained. Further testing demonstrated the small air leak.

The experiment will be redone in May-June 2010 and a complement to the report will be provided as soon as the results will have been processed.

2.2 Carbonation at room conditions

In order to estimate the amount of CO_2 captured by the material in a normal atmosphere over a long period of time, 20 g of each sample was laid in beakers and humidified with 50 g of distilled water (pH = 5.5). After a period of two or three days, when the powder was dry again, 20 mL of water was added. In each beaker, half of the powder was left undisturbed while the other half was crushed and stirred with a spatula before each water addition (Fig. 31). The beakers were left under a hood at 24°C for 33 days during which water has been added to the powders 14 times.

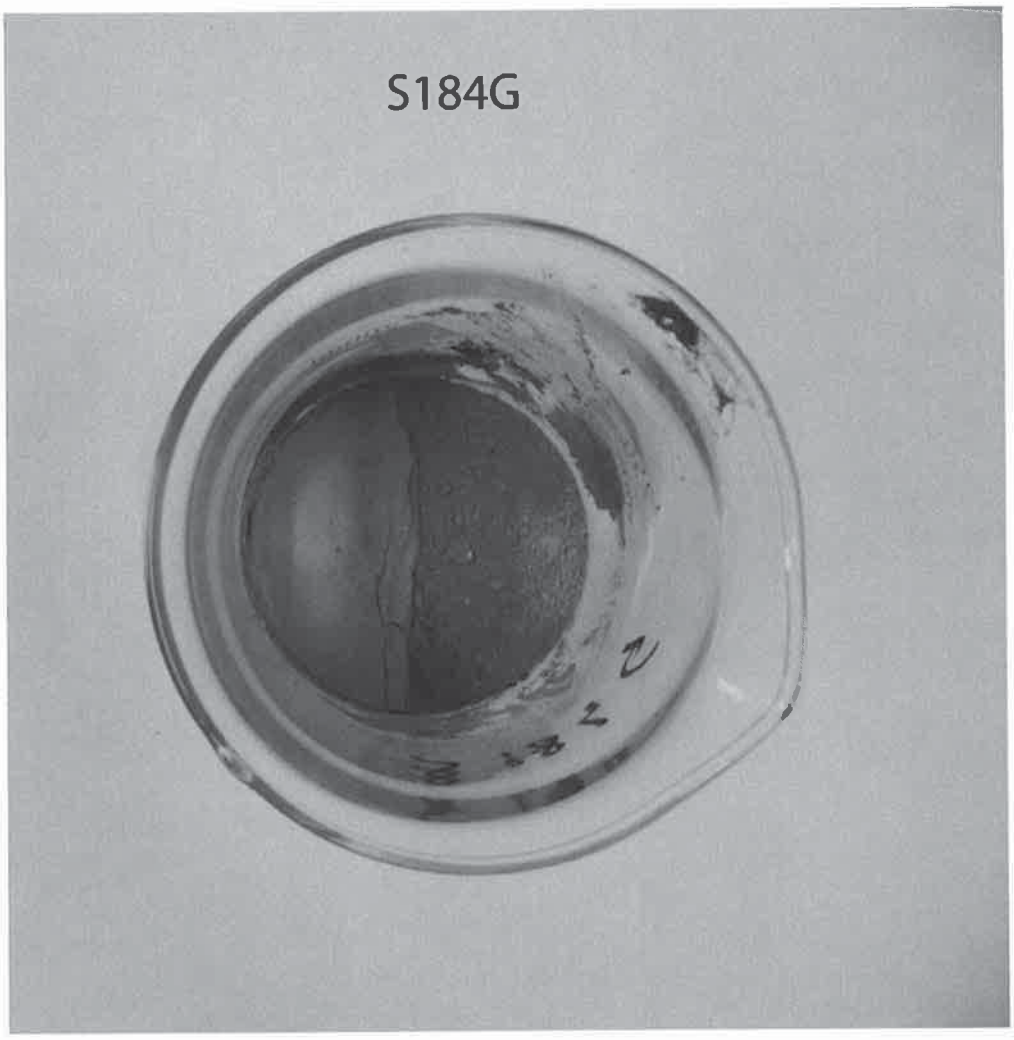


Fig. 31: Example of sample half crushed before water addition.

3 Characterization of the carbonated material

3.1 Scanning electron microscopy (SEM)

The samples have been observed with the scanning electron microscope of Université Laval. The distribution of carbonates appears heterogeneous. Even if all the samples contain carbonates, as attested by XRD and carbon content analysis, they are not always observed in the small quantity of powder that is loaded in the SEM.

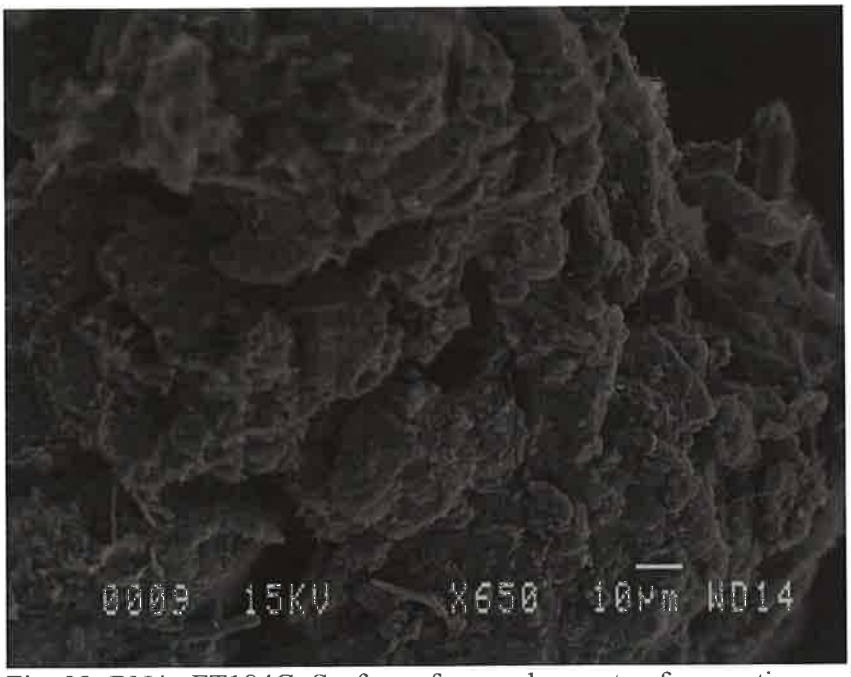


Fig. 32: RN4c-FT184G: Surface of an agglomerate of serpentine grains.

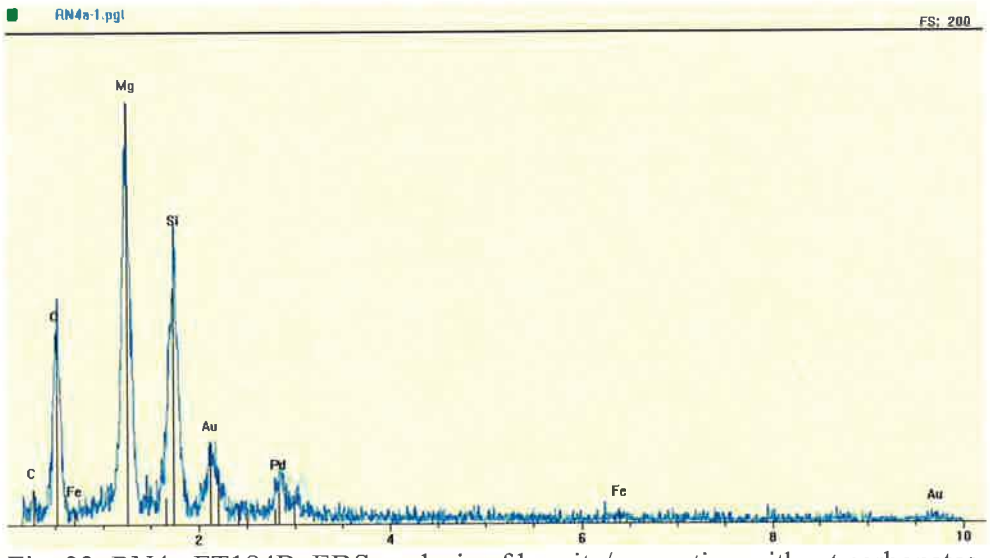


Fig. 33: RN4a-FT184B: EDS analysis of brucite/serpentine without carbonates.

Different types of carbonates have been observed in some samples. They sometimes form pale flakes at the surface of the grains or fibers of the material.

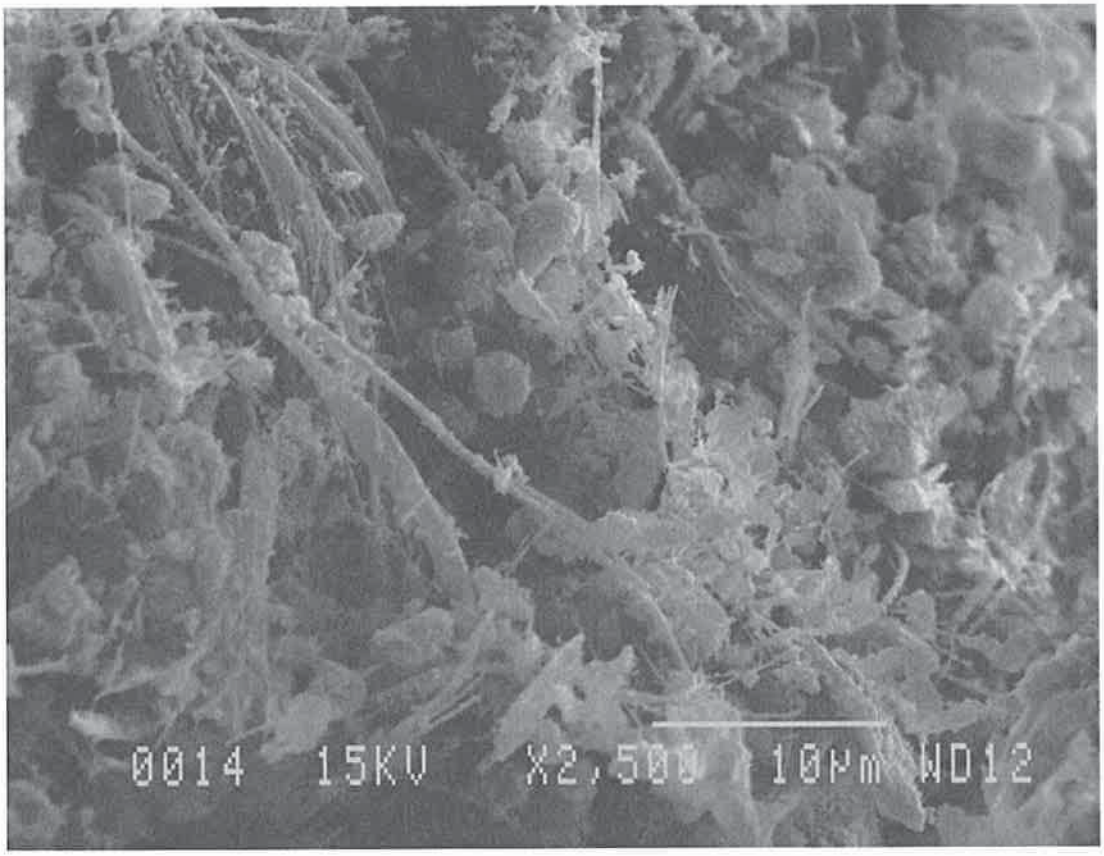


Fig. 34: RN2e-S184B: The flakes of carbonates on serpentine or brucite fibers appear light grey.

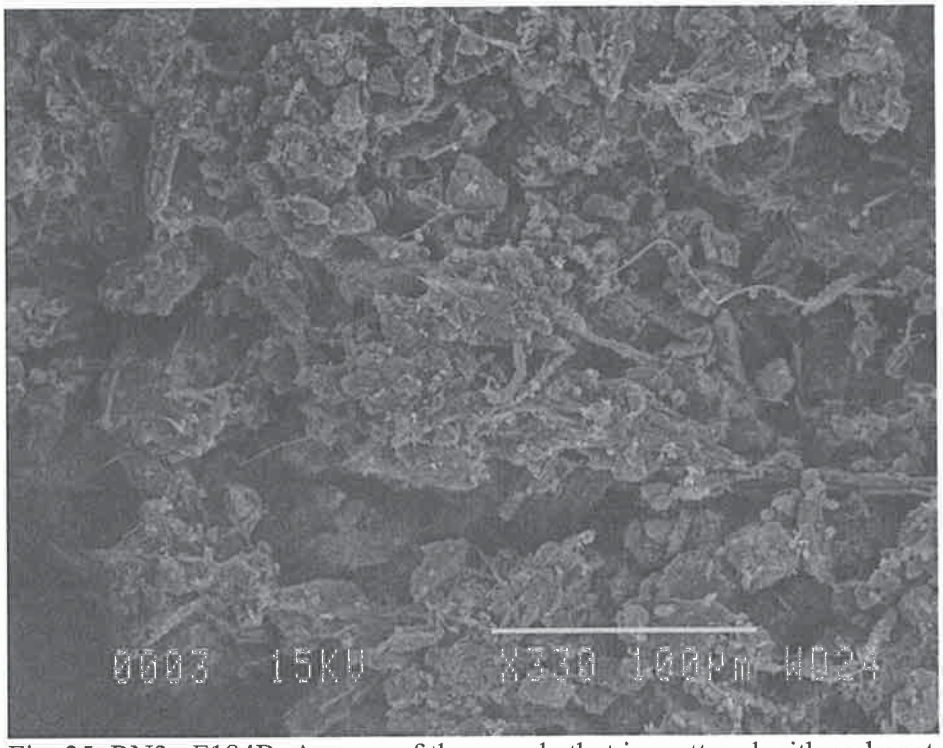


Fig. 35: RN3a-F184B: An area of the sample that is scattered with carbonates flakes.

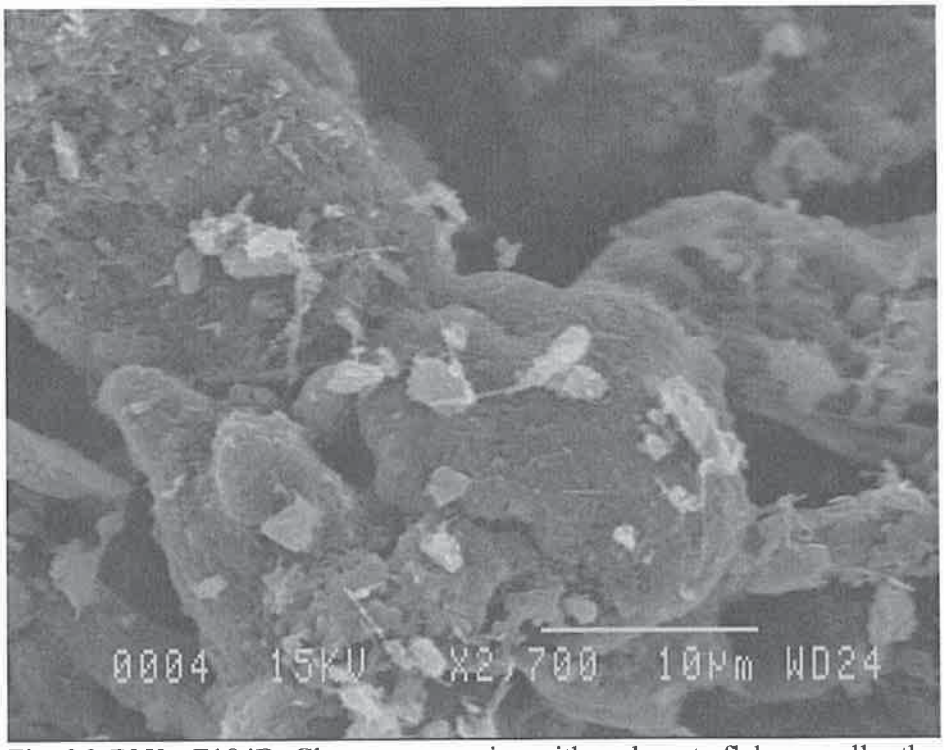


Fig. 36: RN3a-F184B: Close-up on grains with carbonate flakes smaller than 5µm.

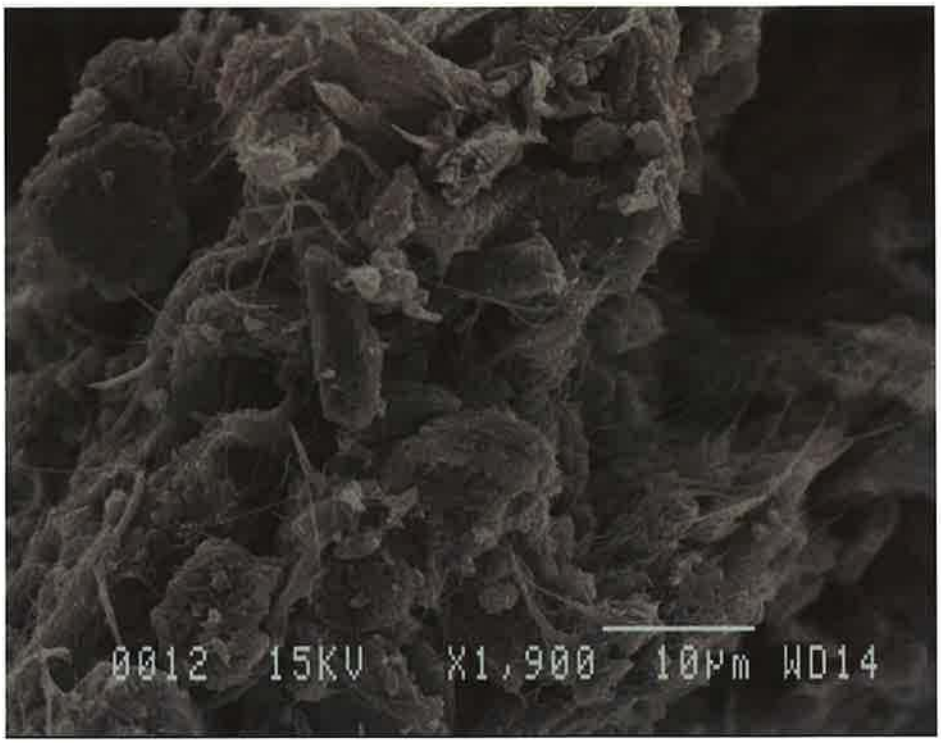


Fig. 37: RN5h-S184B: The carbonate flakes appear here in the same light grey than their serpentine substrate.

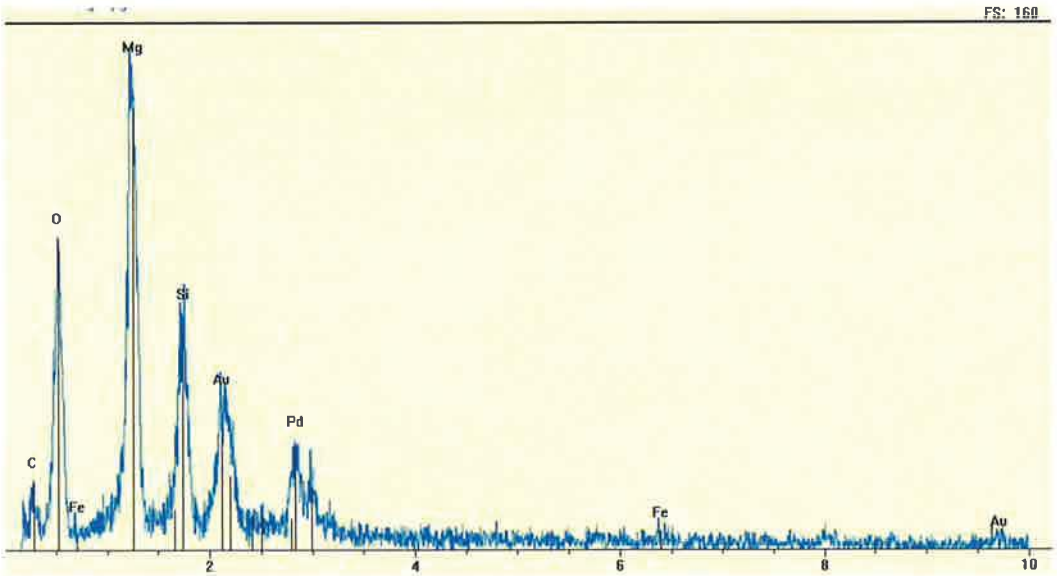


Fig. 38: RN5h-S184B : Analysis of the area corresponding to the above image. The carbon peak is higher than the usual background noise.

The carbonates can also appear as flat clusters, as illustrated in the two following pictures. These formations are composed of thin fibers and small grains agglomerated by a neoformed phase containing carbon.

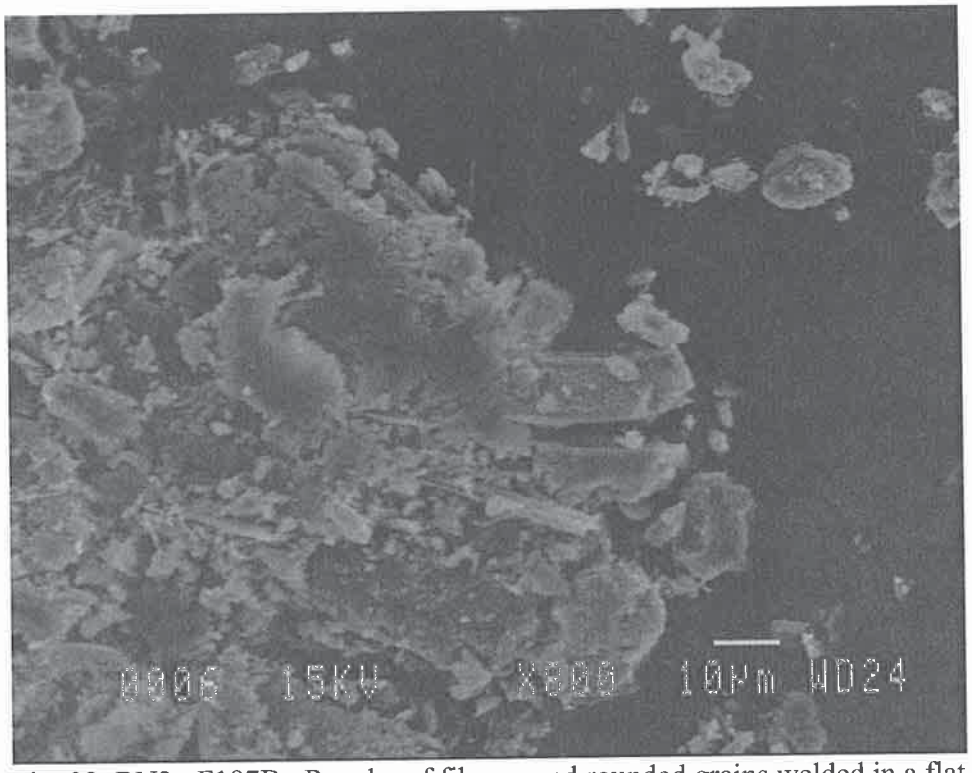


Fig. 39: RN3e-F197B : Powder of fibrous and rounded grains welded in a flat aggregate.

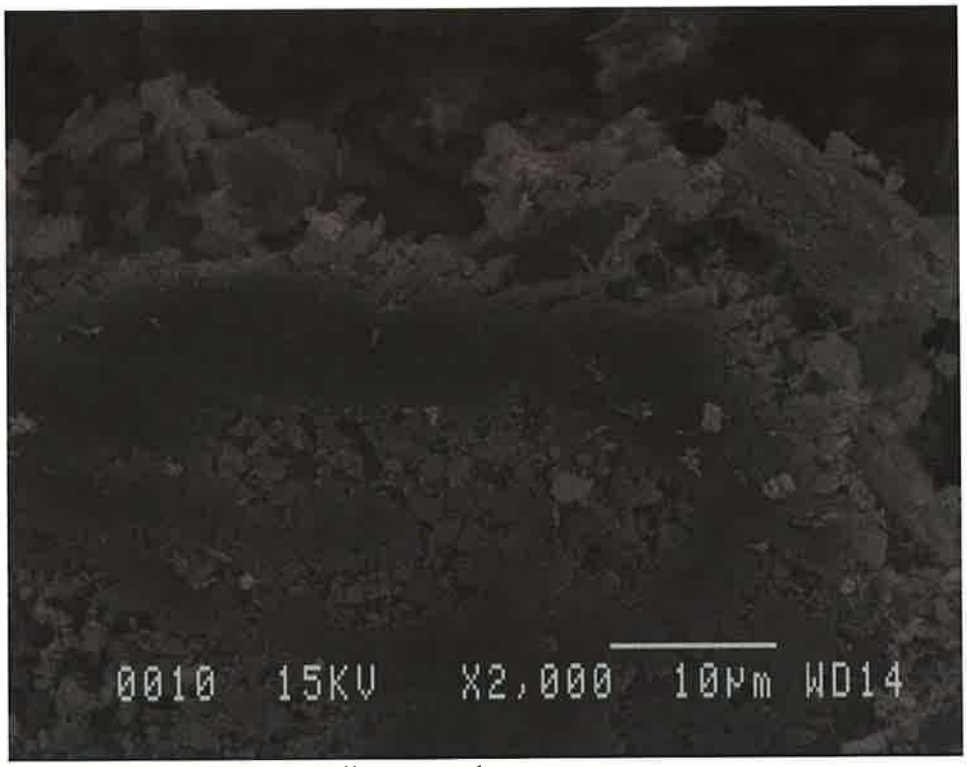


Fig. 40: RN5a S184B : Well cemented aggregate.

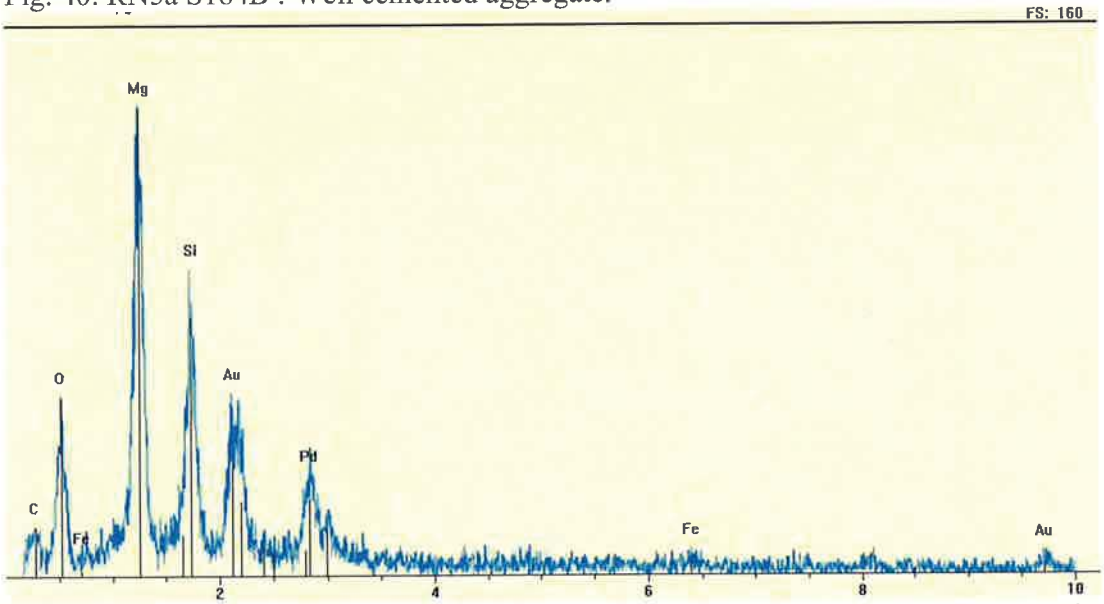


Fig. 41: RN5a S184B : These aggregate comprise a mixture of magnesium silicates and a mineral phase that contains carbon.

Less commonly, well crystallized carbonates have also been observed.

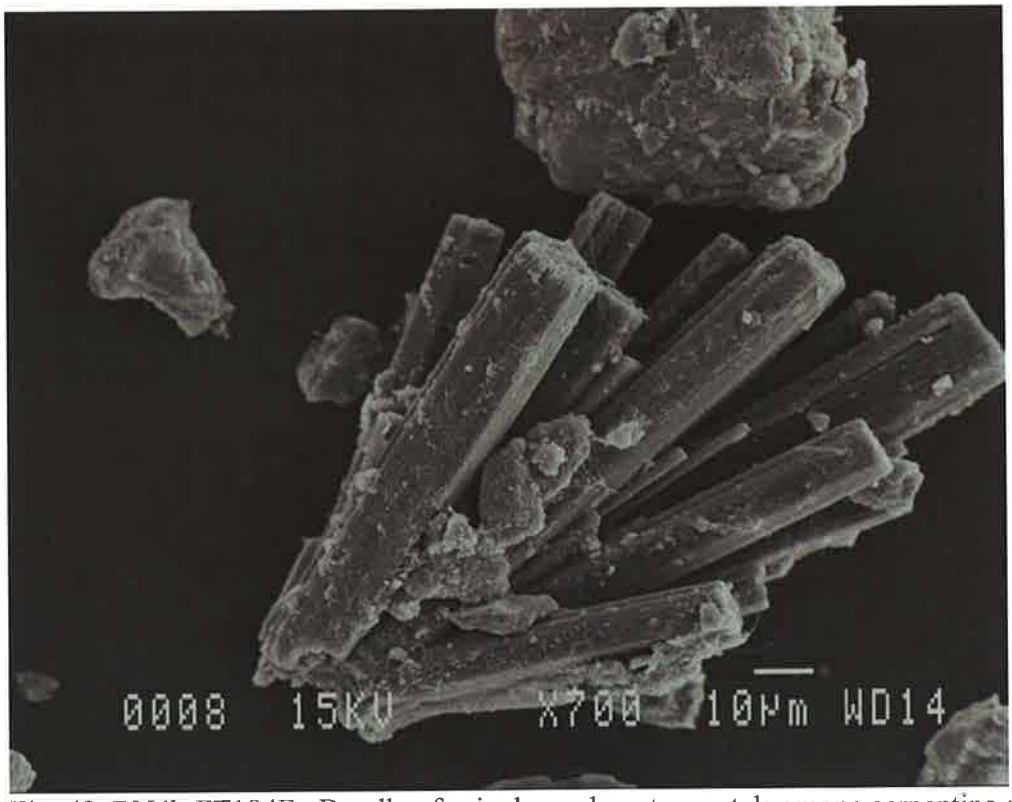


Fig. 42: RN4b-FT184F : Bundle of acicular carbonate crystals among serpentine grains.

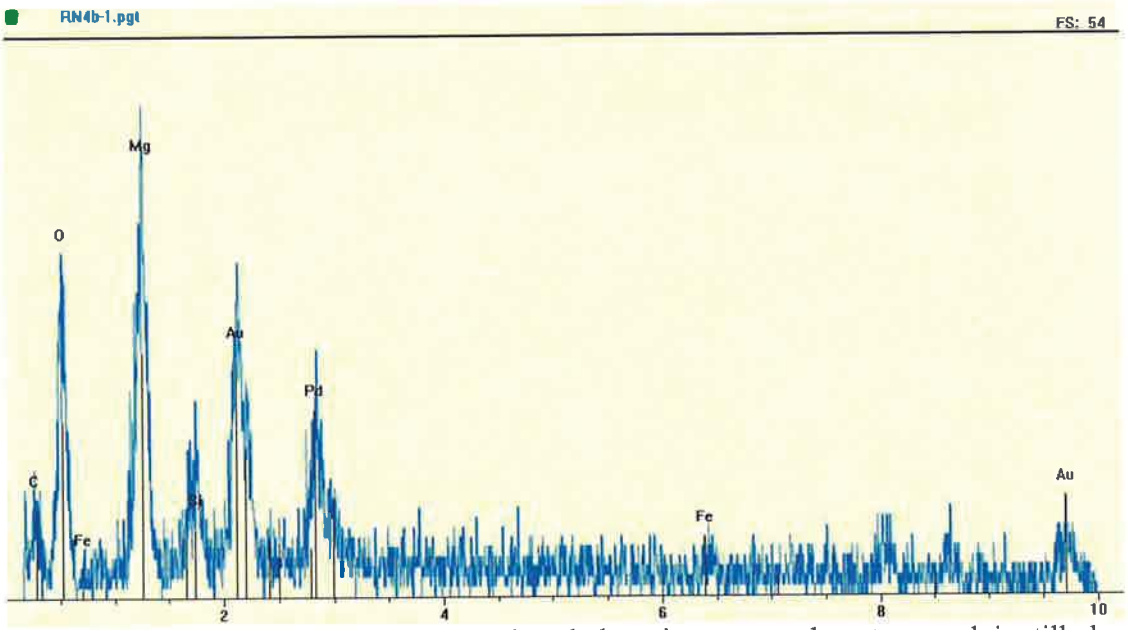


Fig. 33 : RN4b-FT184F : Even if the analyzed phase is a pure carbonate, a peak is still observed for Si because of the proximity of serpentine. The high background noise is due to the orientation of the crystal, which was not optimal compared to the position of the receptor.

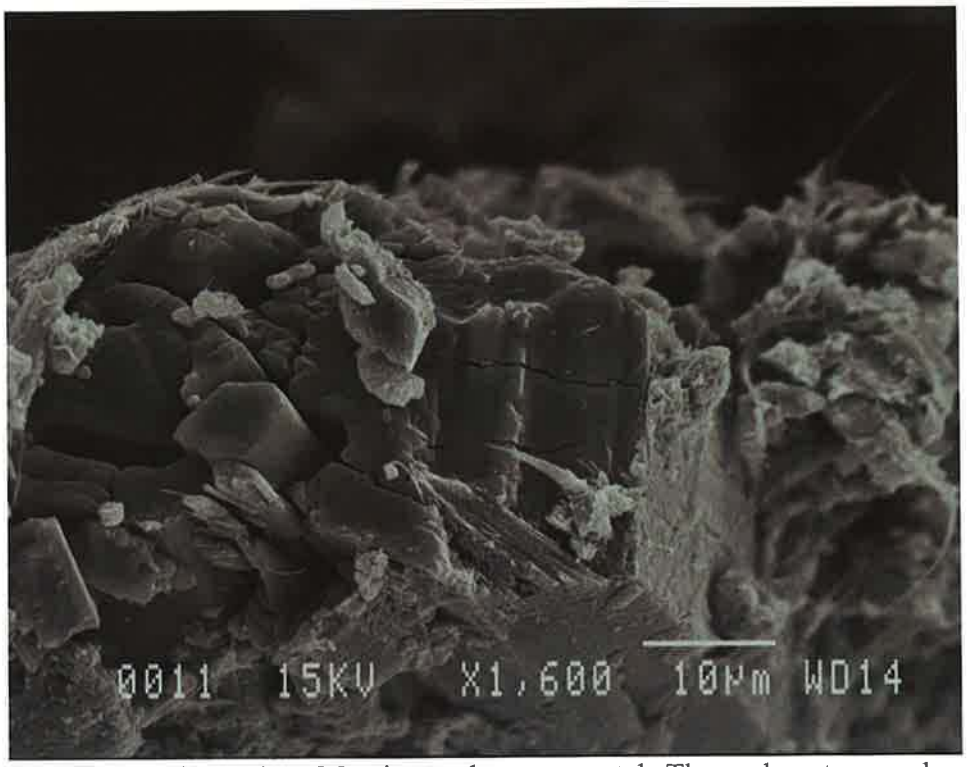


Fig. 34: RN5h-S184B : Massive carbonate crystal. The carbonate may have developed cracks during dehydration.

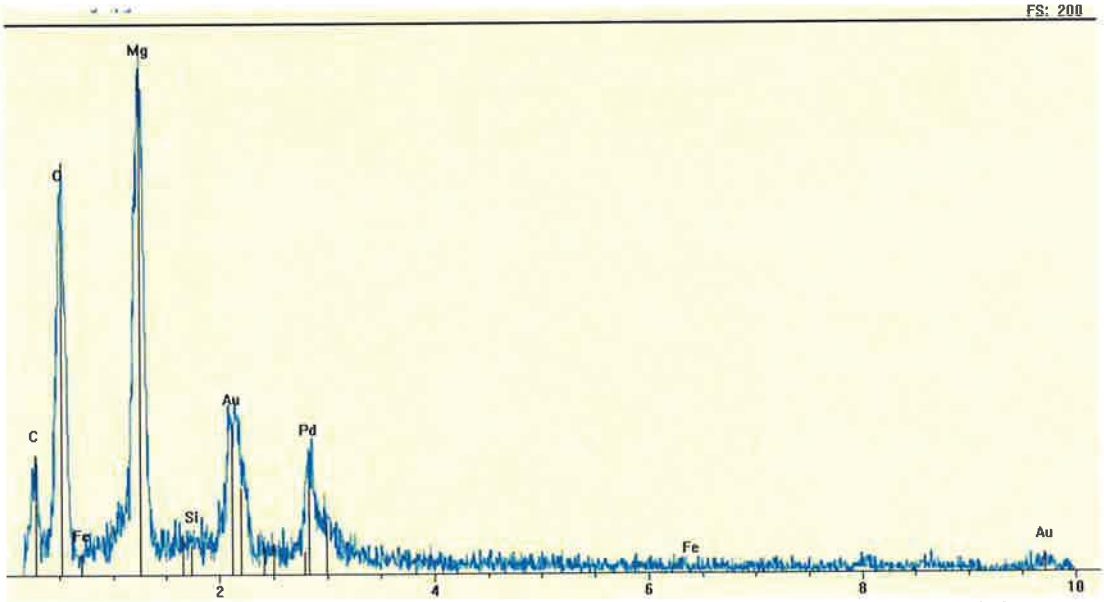


Fig. 35: RN5h-S184B : The EDS analysis reveals a magnesian carbonate containing traces of iron.

3.2 X-ray diffraction

XRD analyses have been carried out on all samples carbonated in 500 mL eudiometers. The XRD spectra are reported in appendix C and the data are summarized in Tab. 6. As discussed in section 1.3, the identified phases in non carbonated samples were serpentine (chrysotile and lizardite), brucite, chlorite and magnetite. The relative height of peaks revealed that the process fractions of sample 184B had the higher ratio of brucite over serpentine, 184F and 197B showed nearly the same proportion and samples from geological domain 184G contain less brucite than the other samples.

All the samples from the RN series contain at least a carbonated phase. The most common is nesquehonite ($Mg(HCO_3)(OH).2H_2O$) but dypingite ($Mg_5(CO_3)_4(OH)_2.5H_2O$) is also found, particularly in samples from the series RN6. Both these minerals are hydrated magnesian carbonates.

Sample RN1a-S184B displays a remarkable peak corresponding to calcite that is not detected in any other sample. It is possible that this batch of powder contained a small amount of pre-existing calcite that could have favored crystallization of this phase by providing nuclei for mineral growth during the carbonation experiment. This sample is also the only one that contains dypingite and does not belong to series RN6.

The serpentine minerals are still present in all carbonated samples but the peaks corresponding to magnetite and chlorite tend to fade out or even to disappear from the patterns. It does not necessarily mean that these phases are absent from the carbonated samples, but it is more likely that they become too minor to be detected anymore. Moreover, some peaks of dypingite interfere with the peaks of chlorite and can hinder the detection of this phase.

Brucite also becomes undetectable or minor in most carbonated samples. It is unlikely that the presence of new carbonated phases prevents the detection of this phase originally constituting 13 to 20% of the samples. Brucite is more likely consumed during the carbonation process.

Tab. 6: Summary of minerals identified by XRD analysis for carbonated samples.

RN1a	S184B	x	x	x	x		x	x	x
RN1b	S184B	x	x	x	x		x		
RN1c	FT184B	x	x		x		x		
RN1e	FT184B	x	x		x		x		
RN2a	F184B	x	x	x	x		x		
RN2b	F184F	x	x	x	x		x		
RN2c	F184G	x	x		x		x		
RN2e	S184B	x	x		x		x		
RN2f	FT184B	x	x				x		
RN3a	F184B	x	x		x		x		
RN3b	F184F	x	x		x		x		
RN3c	F184G	x	x		x		x		
RN3e	F197B	x	x		x		x		
RN3f	F184G	x	x	x	x		x		
RN3g	F197B	x	x	x	x		x		
RN4a	FT184B	x	x				x		
RN4b	FT184F	x	x		x	x	x		
RN4c	FT184G	x	x		x	x	x		
RN4e	FT197B	x	x		x	x	x		
RN5a	S184B	x	x		x	x	x		
RN5b	S184F	x	x		x	x	x		
RN5c	S184G	x	x		x	x	x		
RN5e	S197B	x	x		x	x	x		
RN5g	S184F	x	x		x	x	x		
RN5h	S184B	x	x		x	x	x		
RN6a	F184F	x	x		x	x	x		x
RN6b	FT184F	x	x		x	x	x		
RN6c	S184F	x	x		x	x	x		x
RN6e	F184F	x	x		x	x	x		x
RN6g	F184F	x	x		x				x

RN6h	F184F	x	x	x	x				x

3.3 pH of water

The eudiometers "f" and "g" of the series RN4 have been loaded respectively with filtered process water from the sample FT184G and with distilled water. During the experiment, they spent two days in air mixture containing c.a. 10% CO_2 followed by five days in atmosphere with c.a. 40% CO_2. The reduction in gas volume measured in these eudiometers was very limited compared to what has been observed for apparatus loaded with powders, but still noticeable (7.8 and 9.8 mL, which is equivalent to 0.014 and 0.018 g CO_2). As the absorption of CO_2 by water is known to make it more acid, the pH of water in these samples has been measured before and after the experiment.

Before beginning the experiments, the distilled water had a pH of 5.5, which is a normal value for pure water in equilibrium with the atmosphere. As previously shown, the process waters have basic pH because of the dissolved ions from the samples, a consequence of mineral-water reactions. The water of sample FT184G has an initial pH of 9.62. Figure 36 shows the pH evolution of the solutions during the 26 hours following the moment they have been taken out of the CO_2 enriched gas mixtures and left in a normal atmosphere. The first pH measurements gave 5.01 for the process water and 3.86 for the distilled water. Both of them have been considerably acidified by the dissolution of CO_2. When left in normal atmosphere, they tended to release the dissolved CO_2 and became less acidic. At pH lower than 6.5, CO_2 dissolved in water is dominantly present in the form of carbonic acid ions H_2CO_3.

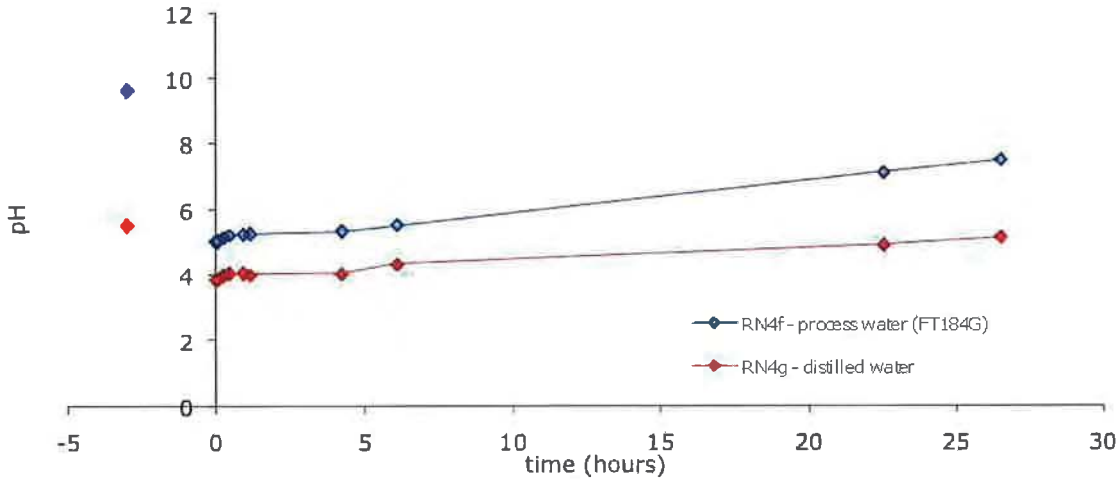


Fig. 36: Evolution of the pH for the two waters that have been kept during five days in eudiometers with an atmosphere containing 40% CO_2. Original pH for both the solutions are indicated at the left or the vertical axis.

At the beginning of the reaction the partial pressure of CO_2 in these eudiometers was close to 1000 kPa (0.01 atm). Theoretical calculations (for 25°C) indicate that water in equilibrium with this air mixture should reach a pH of 4.42. The process water yields a slightly higher value and the distilled water a slightly lower value. The dissolved CO_2 is mainly present as molecular CO_2 ($3.36 \cdot 10^{-3}$ mol/L) and carbonate ion HCO_3^- ($3.78 \cdot 10^{-5}$ mol/L).

3.4 Carbon analyses

All carbon analyses have been performed by Actlabs. Samples carbonated in open beakers have been submitted to low level carbon analysis, like the non carbonated powders previously discussed in section 1.42. As samples carbonated in eudiometers were thought to contain more than 1% C, standard infrared analyses were requested for them. Complete results of samples, standards and duplicates analysis are reported in appendix D.

3.41 Samples carbonated at room conditions

The results of carbon analysis are summarized in Tab. 7. Each beaker contained a sample split in two halves: one that has been left un-reworked during the whole experiment and another one that has been crushed and mixed up before each water addition. They have been analyzed separately. Sample fractions that have not been reworked are labeled with 1 (ex: F184B-1) and those that have been agitated with 2 (ex: F184B-2).

Tab. 7 : Results of CO_2 analysis for non carbonated samples (column A), samples carbonated without reworking (column B) and samples carbonated with frequent reworking (column C). Average values and standard deviation are given for each fraction. The three last columns present the CO_2 gain between the different series of data (A, B and C).

	A Initial CO_2%	average per fraction (S.D.)	B CO_2% in samples (1)	average per fraction (S.D.)	C CO_2% in samples (2)	average per fraction (S.D.)	B-A	C-A	C-B
F184B	0.347		1.557		1.810		1.210	1.463	0.253
F184F	0.286	0.341	1.382	1.512	1.840	1.839	1.096	1.554	0.458
F184G	0.253	(0.099)	1.330	(0.202)	1.656	(0.161)	1.077	1.403	0.326
F197B	0.478		1.777		2.048		1.300	1.571	0.271
S184B	0.461		1.447		2.081		0.987	1.621	0.634
S184F	0.424	0.488	1.664	1.698	1.950	2.003	1.240	1.526	0.286
S184G	0.429	(0.102)	1.477	(0.305)	1.671	(0.266)	1.048	1.242	0.194
S197B	0.640		2.202		2.309		1.562	1.669	0.106
FT184B	0.822		1.847		2.052		1.025	1.230	0.205
FT184F	0.832	0.878	1.909	1.914	2.063	1.999	1.077	1.231	0.154
FT184G	0.820	(0.107)	1.935	(0.05)	1.722	(0.191)	1.115	0.903	-0.213
FT197B	1.038		1.964		2.158		0.926	1.120	0.194
Total average (S.D.)	**0.569 (0.254)**		**1.708 (0.273)**		**1.947 (0.207)**		**1.139**	**1.378**	**0.239**

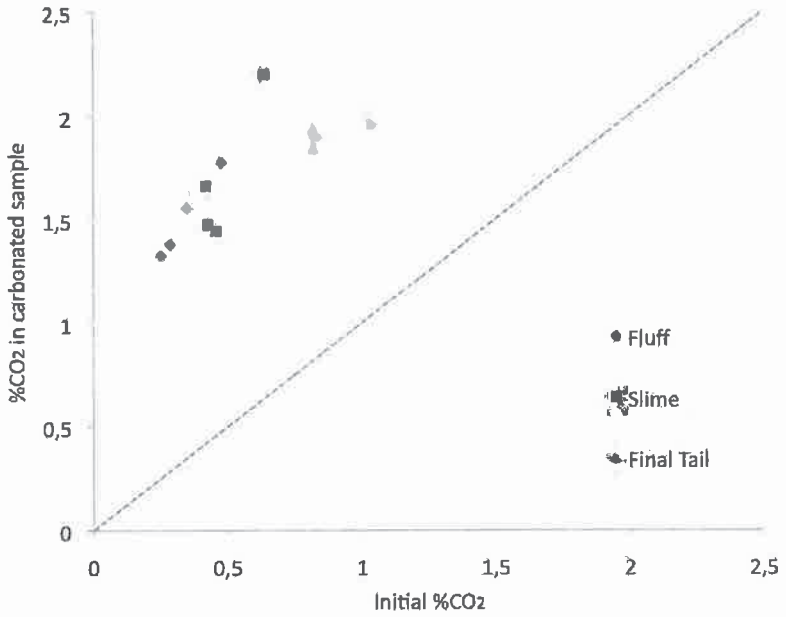


Fig. 37: CO_2 content in samples carbonated in open beakers without reworking against initial CO_2 content in powdered rocks.

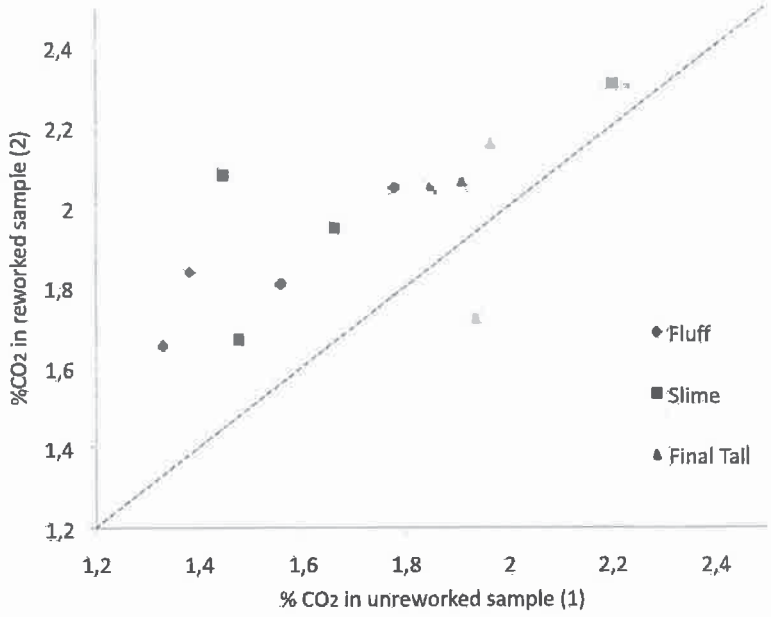


Fig. 38 : CO_2 content in regularly reworked powders vs CO_2 content in samples that have not been crushed before each addition of water.

It has been discussed in section 1.42 that the initial carbon content of the samples is slightly higher in slime than in fluff, and higher in final tail fractions. The geological domain of origin has a lesser influence for samples 184B, 184F and 184G, but samples 197B are slightly richer in carbon than the others. In Fig. 37 these initial CO_2 contents are plotted against the CO_2 content in the same powders after carbonation without reworking. The samples that contained more carbon before the carbonation have also been the most reactive during the experiment. The fluffs contain 1.51 wt % CO_2 on average (0.34 wt% before carbonation), the slime 1.68% (versus 0.49%) and the final tails 1.9% (versus 0.87%). On average, for all the samples involved, the CO_2 content has increased of 1.14 wt % during the 33 days of reaction.

Fig. 38 shows the comparison of CO_2 content for reworked and un-reworked samples. Apart in one case (FT184B), all the reworked samples are slightly more carbonated. Regular stirring yields an average increase of 0.24 wt % in the amount of CO_2.

3.42 Samples in eudiometers

All the samples carbonated in 500 mL eudiometers have been analyzed for carbon content by standard infrared (IR) analysis. The reproducibility of this method is better than 2%. The accuracy has been tested with the standard SY-4, a dioritic gneiss provided by Natural Resources Canada. The discrepancy between the measurements and the recommended value is under 15%. The results of samples analysis are summarized in Tab. 8. The study involved 25 samples distributed in 12 fluffs, 9 slimes and 8 final tails.

The results of IR analysis on the final carbonated products can be compared to the amount of assimilated carbon calculated from the CO_2 consumption derived from eudiometer measurements (Fig. 39). The two methods yield generally consistent results, but some samples display a noticeable discrepancy. An extreme example is sample RN2f-FT184B, that should contain 7% CO_2 according to the consumption observed in the eudiometer, but whose IR analysis indicates 18.4%. All the data that plot far away from the line 1:1 correspond to samples that were submerged during the carbonation. There is no systematical shift in one direction or another: IR measurements can give results that are higher, lower or similar to the values derived from eudiometers observations. High infrared CO_2 values indicate that wet samples, after being removed from the eudiometers, probably kept consuming air CO_2 during the two to four days of drying in normal indoor atmosphere.

As can be seen in Fig. 40, the samples that had consumed the highest amounts of CO_2 during the experiments are those in which carbonates became unstable (RN2e-S184B and RN6g-F184F) when left in normal atmosphere, while the samples that were far away from saturation kept consuming CO_2 during drying at room conditions. It is noticeable that these samples reached higher carbon contents than those that were left to react at room conditions during 33 days.

Tab. 8: Results of IR analysis for carbonated samples.

sample type	experiment identification	% C	% CO_2
S184B	RN1 a	1,34	4,91
S184B	RN1 b	1,37	5,02
FT184B	RN1 c	2,04	7,48
FT184B	RN1 e	2,13	7,81
F184B	RN2 a	2,08	7,62
F184F	RN2 b	2,35	8,61
F184G	RN2 c	1,42	5,20
S184B	RN2 e	2,02	7,40
FT184B	RN2 f	5,02	18,40
F184B	RN3 a	2,23	8,17
F184F	RN3 b	2,20	8,06
F184G	RN3 c	1,92	7,04
F197B	RN3 e	1,75	6,41
F184G	RN3 f	1,47	5,39
F197B	RN3 g	1,65	6,05
FT184B	RN4 a	1,87	6,85
FT184F	RN4 b	2,16	7,92
FT184G	RN4 c	1,47	5,39
FT197B	RN4 e	1,28	4,69
S184B	RN5 a	1,83	6,71
S184F	RN5 b	1,73	6,34
S184G	RN5 c	1,90	6,96
S197B	RN5 e	1,47	5,39
S184B	RN5 h	1,93	7,07
S184F	RN5 g	1,86	6,82
F84F	RN6 a	1,90	6,96
FT184F	RN6 b	1,84	6,74
S184F	RN6 c	1,87	6,85
F184F	RN6 e	2,04	7,48
F184F	RN6 g	1,16	4,25
F184F	RN6 h	1,53	5,61

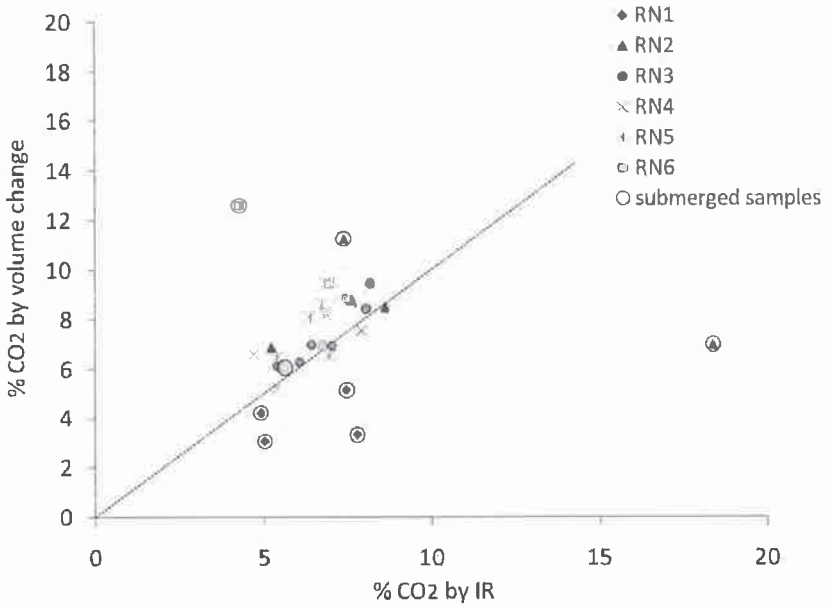


Fig. 39: Final CO_2 content in the carbonated samples calculated from the measurements of volume changes in eudiometers against IR analysis of CO_2 content in the same samples. The 1:1 line is plotted for reference. The samples are symbolized according to their experimental series and samples that were submerged by water during carbonation are circled in black.

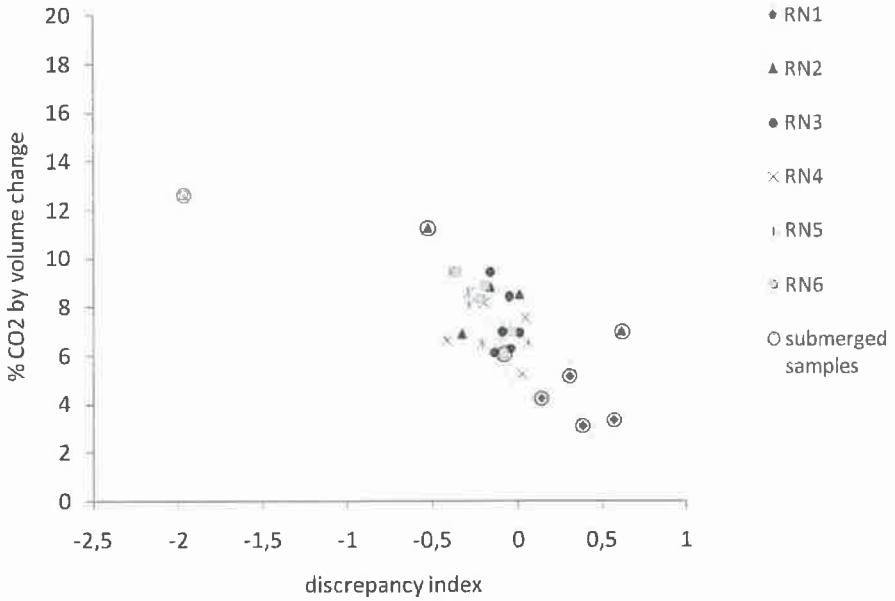


Fig. 40: Discrepancy between the two CO_2 content estimations for each sample against its content as calculated by observation of eudiometers. The discrepancy index is calculated by dividing the difference between the two measurements by the IR data. The result is positive when the IR analysis result is higher than the value based on eudiometers observations and negative in the other case.

Samples that were not submerged with water but only wet during carbonation cluster together in these diagrams. The lack of clearly defined trend suggest that the small differences between the measurements are random and due to the inherent accuracy of the methods. It is still noticeable that most of the samples display a slightly positive discrepancy index, i.e. that their CO_2 content measured by IR is lower than the content based on eudiometer observation. It could be due to the fact that samples were not totally dry when they were taken out of eudiometers and they could have evolved during a few hours. The long term stability of the carbonate phases would thus require a closer investigation.

4 Interpretations of results

4.1 Parameters influencing the total amount of carbonation

Maximal possible carbonation for all the samples has been investigated in 500 mL eudiometers. After the first stage of carbonation, generally at 10-15% CO_2, the gas mixtures have been replenished up to 30-40% CO_2 as many times as necessary to reach saturation. A period of two to three days without CO_2 consumption has been considered indicative of saturation. As a test, samples of series RN6 have been left in eudiometers after the end of CO_2 uptake and displayed neither additional consumption nor release of CO_2 during eighteen days.

Samples that were submerged during the experiments are excluded from the following discussion because they were still reactive with respect to CO_2 at the end of the experiments, as well as samples from the series RN1. The dry samples RN3f and RN3g that have been humidified only in the last stage of the experiment *h* were still reactive with respect to CO_2 and are also omitted.

Nature of the material

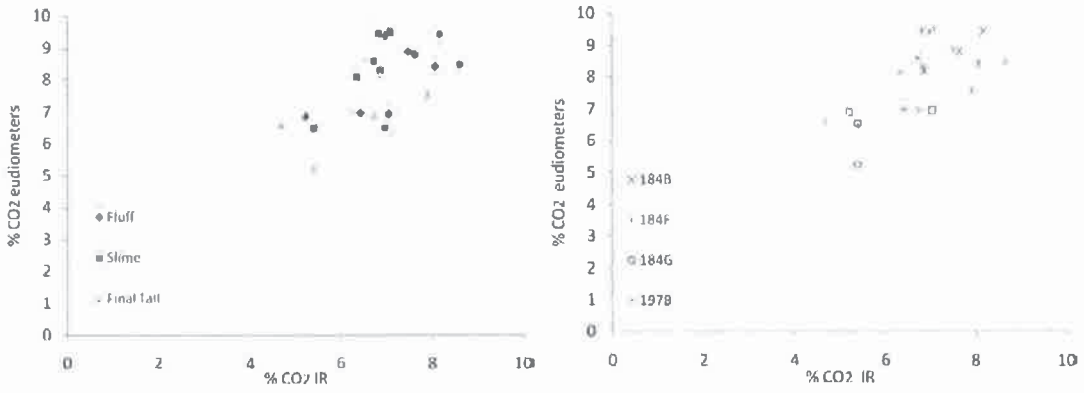


Fig. 41: Final CO_2 content in the carbonated samples calculated from the measurements of volume changes in eudiometers against infrared analysis of CO_2 content in the same samples. In Fig. 41A, samples are symbolized according to their process fraction while they are symbolized according to their geological domain in Fig. 41B.

Fig. 41 shows the final amount of carbonation reached by all the samples that had become inert with respect to CO_2, measured by observation of eudiometers and IR analysis. The final CO_2 content is comprised between ca 5 and 9 wt%. The final CO_2 content in the sample is calculated as (100 * mass of absorbed CO_2)/mass of dry sample loaded. No systematical CO2 concentration depending on the process fraction is observed. On the contrary, the geological domain exerts an influence on the potential of carbonation. Samples from domains 184B and 184F reached higher CO_2 contents than samples from domains 184G and 197B. It should be noted that the most reactive samples are those in which the brucite/serpentine ratio is the highest (see section 1.41).

If it is considered that the only carbonate formed is nesquehonite, the weight proportion of magnesium mobilized in the new carbonated phase would go from 10.2 (RN4c - FT184G) to 20.6% (RN3a - F184B). The presence of dypingite would slightly increase this proportion.

Water content

Experiments RN3f and RN3g demonstrate that dry samples do not noticeably react with gaseous CO_2. Experiments RN4f and RN4g showed that CO_2 dissolution in water does not consume remarkable amounts of carbon compared to what is observed for wet samples.

During the series of experiments RN3 and RN4, the wet samples had dried before they could reach saturation. Eudiometers have then been opened and samples have been rehydrated, which has provoked a reactivation of CO_2 uptake. Water is thus necessary to the carbonation process.

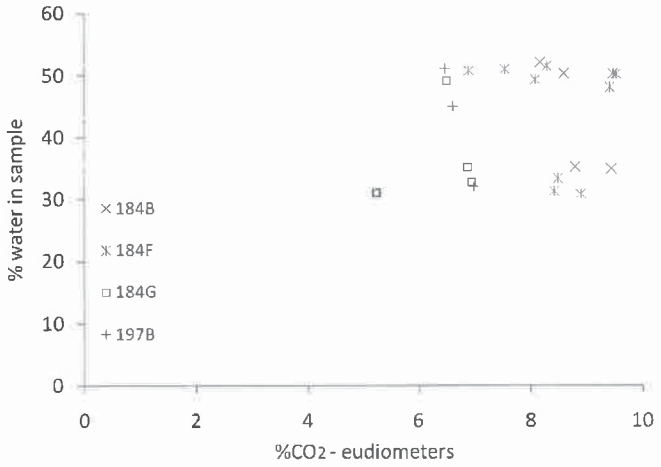


Fig. 42 : Final CO_2 content in the samples as estimated by observation of eudiometers vs initial water content in the samples at the beginning of the experiments.

For wet samples, initial water content was comprised between 31 and 52%. As shown in Fig. 42, in this range, this parameter has no effect on the ultimate amount of carbonation. It should be noted that the solid/water ratio evolves during the course of the reaction.

Partial pressure of CO_2

The initial content of CO_2 in gas mixtures was generally set around 10% but was higher for some experiments (up to 30%). As the eudiometers were refilled several times with CO_2 in the course of the experiments, the cumulative influence of this parameter has predictably no effect on the final amount of carbonation in the sample. Fig. 43 compares the total amount of carbonation of the samples with the final content of CO_2 in the air mixture that was in contact with the samples when they reached saturation. In the range of tested values (31 to 44% CO_2 in gas), no systematical influence can be recognized.

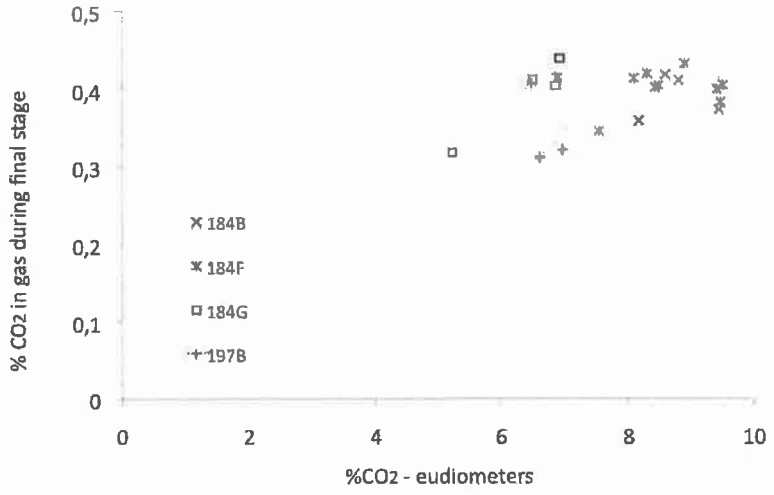


Fig. 43: CO_2 content of the samples according to observation of eudiometers against CO_2 content in the gas mixtures at the end of the experiments.

Temperature

All the series have been carbonated in a laboratory air-conditioned at 20-21°C except from series RN6 that was carried out at 33°C. Two of the samples, RN6g and RN6h, were submerged and are then excluded from this discussion. The samples were chosen in the domain 184F. As can be seen in Fig. 44, the temperature change had no effect on the total amount of carbonation.

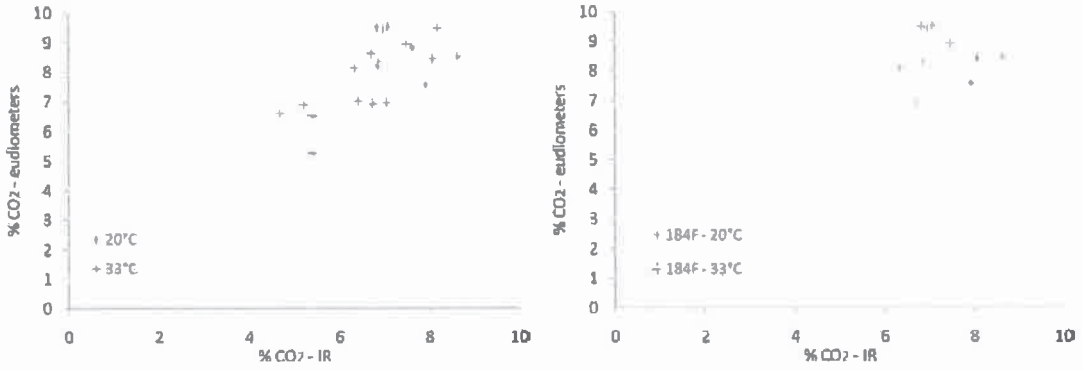


Fig. 44A: Total CO_2 content in samples estimated by IR and by observation of eudiometers in all the saturated samples (i.e that have reached a non reactive stage). Series RN6 at 33°C is highlighted in red. Fig. 44B: Only the samples originating from domain 184F are shown.

Surface of exposure

Except for the two samples that were only composed of water, the total amount of powder loaded into the eudiometers in the course of the experiments was comprised between 1.4 and 7.7 g. As the containers had identical dimensions, the upper free surface of solid material layer that is in direct contact with the gas mixture is constant, and only the height of the powder layer in the glass container varies according to the amount of sample. Fig. 45 illustrates that this parameter has no detectable influence on the total carbonation conversion, which means that the CO_2 does not react preferentially with the exposed surface but spreads in the porous material by diffusion to access all the vacoular space in the porous material layer. Natural convection due to possible temperature gradients across the sample induced by the exothermic carbonation is also possible.

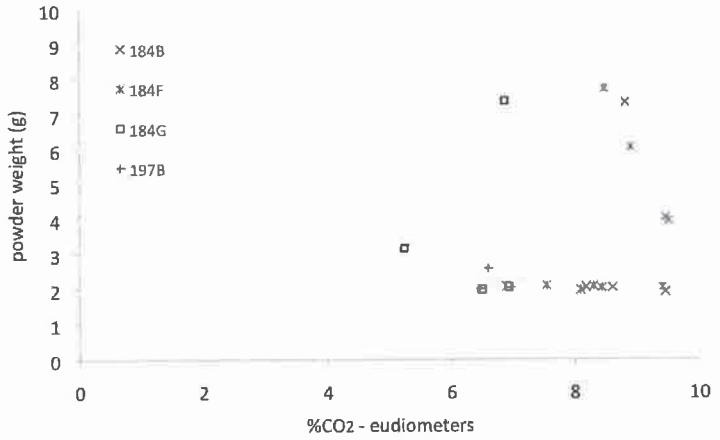


Fig. 45 : Total amount of CO_2 in samples against the weight of powder loaded in eudiometers.

4.2 Parameters determining the reaction rate

For the 500 mL eudiometers, the reaction rate is determined on the first stage of carbonation, before the first CO_2 reinjection, in order to avoid interferences with a possible saturation of the reactive surface. The integrated reaction rates after 24 and 48 hours have been calculated for each experiment (mg of consumed CO_2 / g of solid sample / h). The rates are expressed in mg of consumed CO_2/h/g of powder. The samples have kept the same relative reactivity during the first and the second day of carbonation (Fig. 46).. Most of the points plot slightly under the 1:1 line of reference, which indicates that the reaction is a bit slower at the end of the second day. The dry samples are the two un-circled symbols that are close to the origin that have slow reaction rates. The submerged samples, circled in black, generally display reaction rates among the lowests except for RN2f, whose rate is in the same range than those of the wet samples, and RN2e that displays an anomalously high reaction rate.

As can be seen in Fig. 47, the water content of the sample has no observable effect on the reaction rate in the range 31-52%. Only samples whose water proportion exceeds 70% display noticeably slow reactions. It should be noted that RN2f has a water content of 60% and was barely submerged, which can explain its reaction rate. However, RN2e is still atypical.

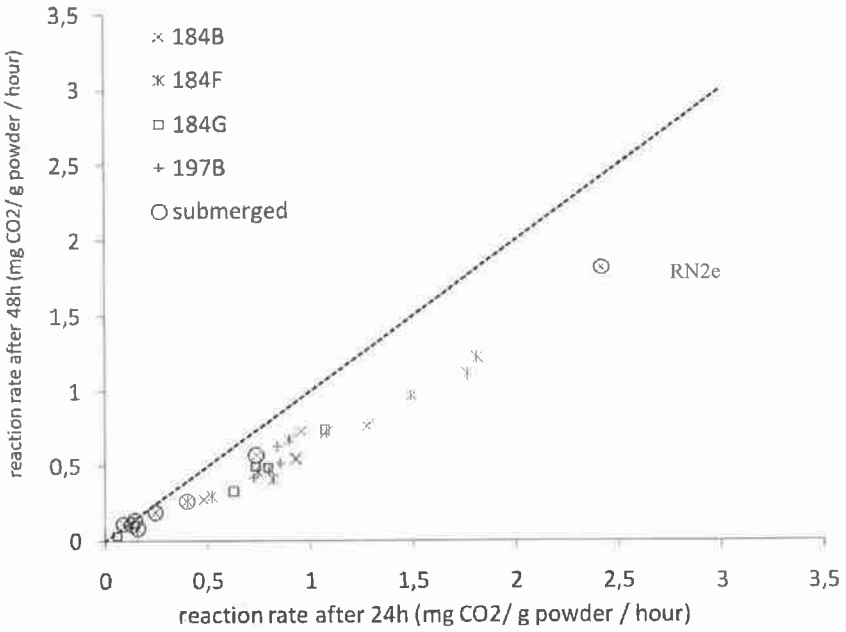


Fig. 46: Reaction rate in mg of consumed CO_2/hour/g of solid material 24 hours and 48 hours after the beginning of the experiment Samples comprised of water only are not represented.

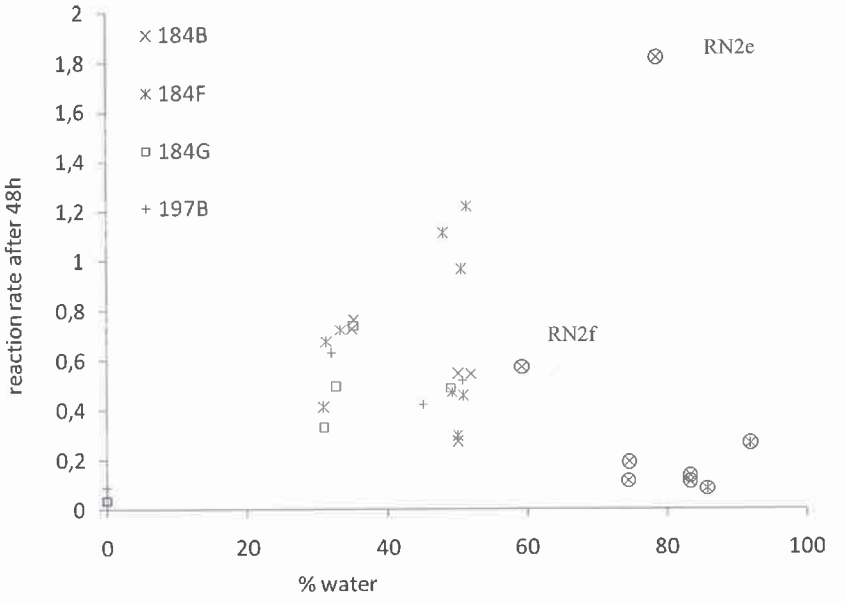


Fig. 47: Reaction rate at 48h (mg CO_2/hour/g of solid material) against the percentage of water in the sample. This parameter exerts no effect on the reaction rate of wet samples but the reaction is slowed down when the powder is submerged.

In order to assess the importance of the nature of the material on the reaction rate, the most consistent group of samples that can be used are the a, b, c and e samples from series RN3, RN4 and RN5. They were set in gas mixtures with similar CO_2 contents (8 to 12%), the same weight of powder was loaded in eudiometers and the temperature was near 20-21°C in all cases. Only RN4c is excluded because the weight of powder loaded was 3g instead of 2g.

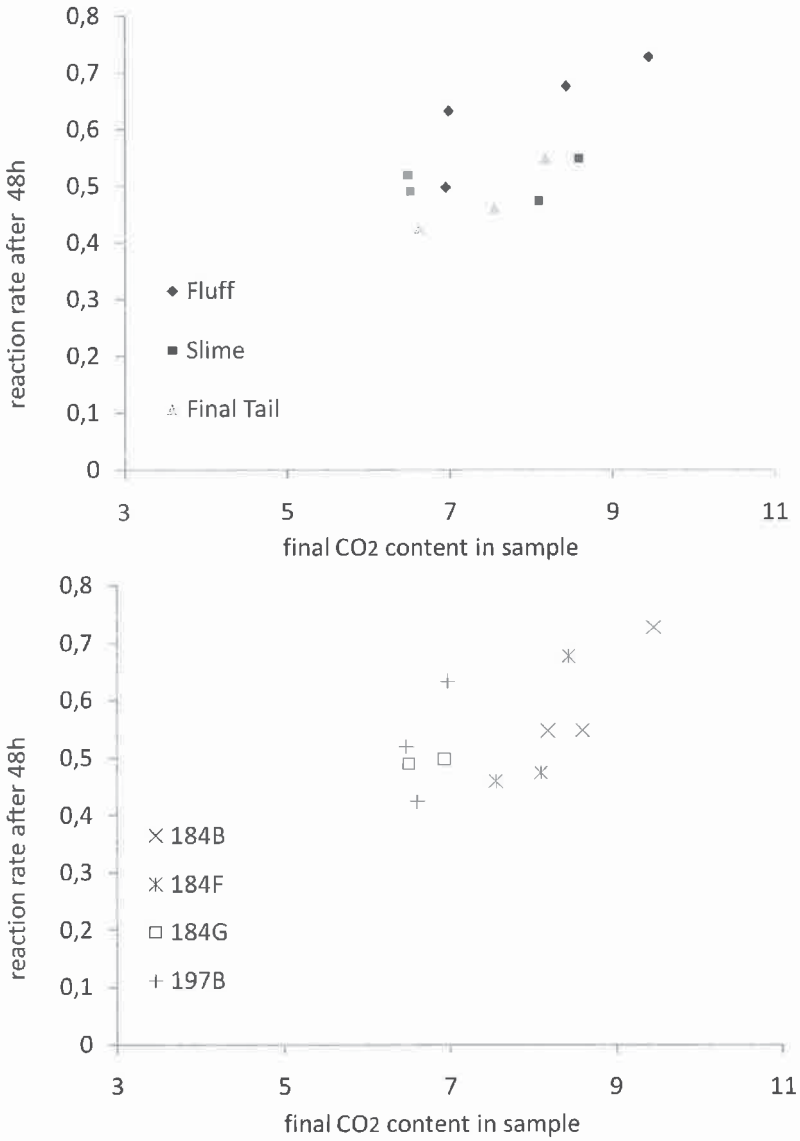


Fig. 48: Final CO_2 content in the samples against the rate of carbonation after 48 h (mg CO_2/h/g of solid material). In Fig. 48A, samples are symbolized according to their sorting fraction and in Fig. 48B, according to their geological domain of origin.

In Fig. 48 the final amount of CO_2 consumed by the samples is compared to the reaction rate after 48 h. It appears that, if the total amount of carbonation is primarily influenced by the geological domain, the reaction rate depends on the sorting fraction. The fluff fractions tend to have slightly higher carbonation rates than final tail fractions, and the slime fractions have

intermediate values. This result is counterintuitive because a finer grain size is generally associated with an enhanced reactivity. It is possible that coarser grain size favors more easily the diffusion or advection of CO_2 in the solid material, which would lead to a better reactivity in the first stage of the reaction. The lesser initial permeability of the fine grained samples would tend to lock up the lower pristine unreacted layers thus explaining a lower volume-averages reaction rate as highlighted in Figure 48.

Because all the containers are identical, the ratio between the volume of the sample and the surface that is in direct contact with the gas mixture is proportional to the absolute weight of sample loaded in the eudiometers. Series RN3, RN4 and RN5 were set in similar air mixtures and have reacted at the same temperature. The series RN2 was set in higher CO_2 content and the series RN6 reacted at higher temperature. These series of data are shown in Fig. 49.

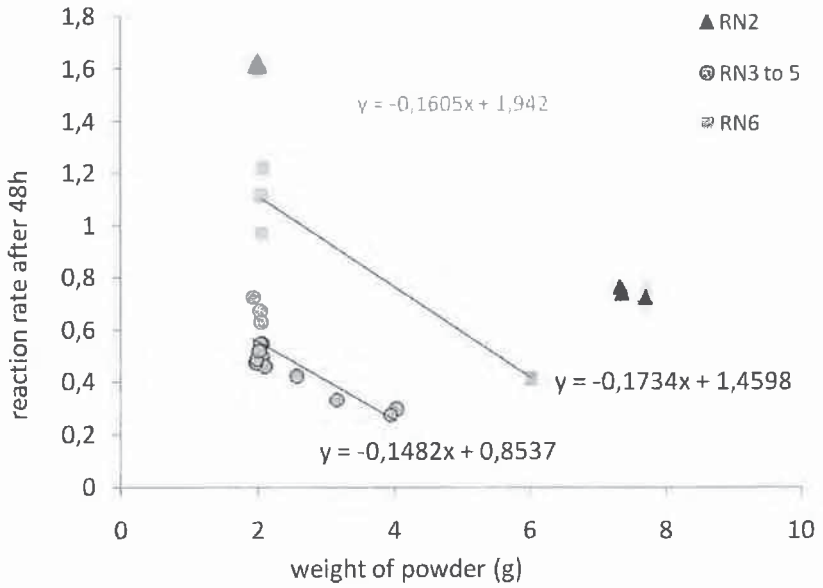


Fig. 49: Weight of sample loaded in eudiometers against reaction rate after 48 h (mg CO_2/hour/g of solid material). The samples are associated in groups that are consistent regarding the initial CO_2 content and the temperature during the experiment. The regression lines have been calculated for series RN3-5 and RN6 and have been used in order to infer the reaction rate for a 2g sample from the series RN2.

The series RN3 to RN5 and the series RN6 highlight the influence of the ratio volume/ exposed surface. This parameter does not account for the whole variability: the nature of the material (mineralogy and grain size) can explain why samples with the same weight display variable reaction rates, but two clear trends indicate that samples with a higher quantity of powder have slower reaction rates per unit of weight. As this parameter has no influence on the total amount of carbonation, the low reaction rates for samples stocked in higher piles in the containers correspond probably to the delay induced by the diffusion/advection of the gas in the powder. This effect would have been demonstrated beyond doubt had we performed tests with the same volumes but with varying the exposed upper sample areas. Series RN2 and RN6 are more reactive than series RN3 to RN5. In the case of RN2, this can be ascribed to the higher CO_2 content of the gas mixture of the experiment: 32% instead of ca. 10%. In the case of RN6, the CO_2 content was ca 23% and the temperature was higher than for other series. In

order to decipher the relative importance of these factors, we calculated the reaction rate that samples from the series RN2 would display if the eudiometers had been loaded with 2g of powder. This extrapolation is reported in Fig. 49 and 50.

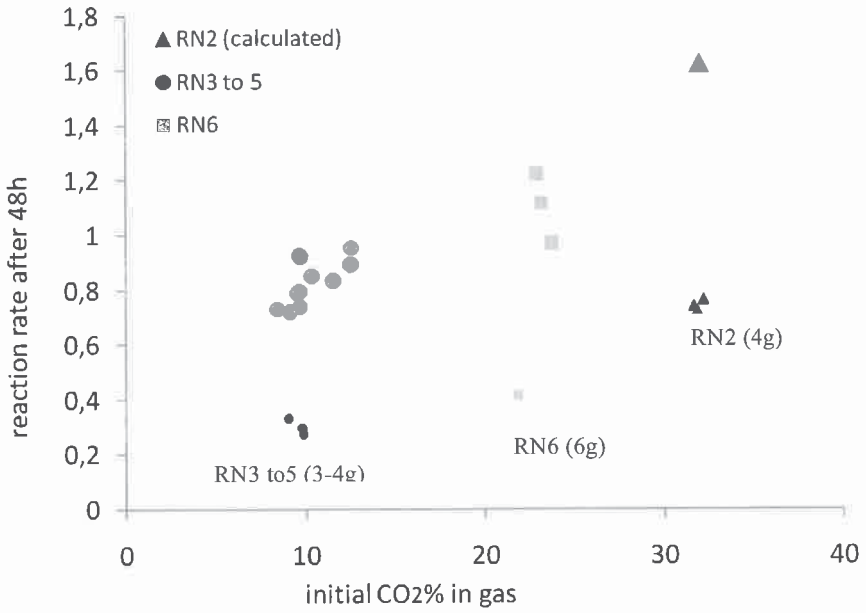


Fig. 50: Reaction rate after 48 hours against the initial CO_2 content in the gas mixture. The reaction rate for a 2g sample from the series RN2 has been calculated (see text). Data for samples with a weight of powder higher than 2g are indicated with smaller symbols.

As can be observed in Fig. 50, the reaction rate in the first stage of carbonation is directly proportional to the initial CO_2 content in the gas mixture. The series RN6, that was carbonated at higher temperature, does not display a higher rate than expected on the basis of the weight of powder and of the CO_2 content in the gas. It seems thus that, in the range tested in the experiments, this parameter does not affect the reaction rate.

Summary and conclusions

The twelve studied samples are distributed in three sorting fractions produced by the processing of rocks that belong to four different geological domains. The grain size is different for each fraction : 20 mesh for the fluffs, 100 mesh for the slimes and 150 mesh for the final tails. The mineralogy is homogeneous, with brucite and serpentine (chrysotile + lizardite) being the dominant phases whereas magnetite and chlorite are minor components. The relative ratio of serpentine and brucite varies according to the geological domain of origin. The modal proportion of brucite is close to 20% for samples 184F, 18-19% for samples 184B and in the range 13-18% for samples 184G. The modal composition of samples 197B is more difficult to assess because their high content in sulfur increases their loss on ignition, particularly for the slime fraction.

The slimes and final tails are composed of more than 90% of water. These process waters display basic pH apart from S197, presumably because of dissolved sulfur species. They contain 16-31 ppm of dissolved Mg as well as 4-62 ppm Ca, 10-27 ppm Na and 3-7 ppm K. The solid fractions contain very minor amounts of Ca, Na and K oxides (less than 0.3%) but these elements have a high solubility. On the contrary, Mg has a low solubility but its oxide accounts for more than 40 wt % of the solid samples.

All the samples were already partially carbonated before the experiments. Slimes and final tails may have reacted with the atmosphere during the few days of drying preliminary to the experiments and contained respectively 0.5 and 0.9% CO_2 on average, but the fluffs that were delivered dry were also carbonated, with 0.3% CO_2 on average. During this early stage, carbonation seems to have been influenced by the grain size of the material, the finer fractions being the most reactive. Carbonation carried out in standard indoor conditions (24°C) with regular supply of water lead to an increase in carbonate content, fluffs reaching 1.5% CO_2 on average, slimes 1.7% and final tails 1.9%. Regular stirring allows increasing the CO_2 content of 0.2 wt % on average.

Carbonation experiments in eudiometers have been performed in order to test the influence of different parameters on the total amount of carbonation as well as on the carbonation rate. The effects of temperature, CO_2 content of the gas, amount of water and surface of exposure of the samples have been studied. High carbonation contents can be reached: from 5.2 to 9.5% CO_2 for wet samples. The proportion of magnesium of the sample mobilized in newly formed carbonate is comprised between 10 and 20%. MEB observation and EDS analysis have revealed carbonates appearing as flakes, agglomerates and sometimes well crystallized minerals. They have been identified by XRD analysis as nesquehonite ($Mg(HCO_3)(OH).2H_2O$) in the general case, and dypingite also occurs ($Mg_5(CO_3)_4(OH)_2.5H_2O$) in the samples carbonated at 33°C instead of 20°C. Brucite becomes less abundant in carbonated samples that in the initial powdered samples, or can even disappear, which suggests that this phase is easily consumed by the reaction.

The final amount of CO_2 in the reacted samples depends primarily on the geological domain of origin of the sample. On average, samples 184G and 197B reach 6-7% CO_2 while samples 184B and 184F reach 8-9% CO_2. Samples richer in brucite are more reactive. Other parameters do not exert a major influence on the maximal potential of carbonation.

The reaction rate, studied during the first two days of carbonation is influenced by different factors. Firstly, the rates vary according to the sorting fraction, the coarser being more reactive, and according to the ratio volume/exposed surface. These factors probably impact the reaction rate by affecting the diffusion and advection of CO_2 in the sample pore space. As the gas does not pervade immediately to the bottom of the column of residues, the reaction is delayed for this part of the sample and the amount of CO_2 consumed by unit of weight is lowered proportionally to the height of the pile. A fine grain-size hinders diffusion and advection of gas in pore space, such that this parameter also influences the reaction rates during this early stage of carbonation.

The kinetics of a chemical reaction is generally enhanced by a high concentration in reactive components and by a higher temperature, as both these parameters affect the probability of interaction between molecules. Samples set up in gas mixtures with high CO_2 content display indeed higher reaction rates, but the temperature, in the range tested (20 and 33°C), does not affect the rate of reaction.

Experiments carried out on dry powders and on pure water demonstrated that water is necessary to the reaction but is not the compound that absorbs CO_2. XRD analysis revealed that the main products of the reaction are hydrated carbonates: hydroxyl groups OH are then required to form the final stable products. It is also probable that the solid compounds (serpentine and/or brucite) are not able to react directly with CO_2 in its gaseous form. Water would be required to dissolve CO_2 which then would react with dissolved components in solution.

In the range 30-50 %, the water content of the sample has no noticeable effect on the carbonation. However, some samples had water contents higher than 70% and were submerged during the experiments. This characteristic modifies the slows the carbonation reaction, presumably because of the processes of dissolution and diffusion of CO_2 in water. Water kept in equilibrium with high CO_2 gas content becomes acidic, which favors the dissolution of cations but hinders the precipitation of carbonates. The estimation of the final amount of carbonation displayed by submerged samples according to the variations of gas volume in eudiometers can be very different from the infra red analysis performed later on the dried powders. This discrepancy has been asserted to the evolution of the samples after they were taken out of the eudiometers. The carbonates crystallized in the samples that had consumed the highest amounts of CO_2 were unstable in normal atmosphere and, on the contrary, submerged samples that had consumed lower amount of CO_2 kept reacting with the atmosphere to form new carbonates. It should be noted that these samples have higher CO_2 contents than the powders that were left to react during 33 days with the atmosphere.

Acknowledgments

The authors thank Jovette Marois for communications about the flow sheets of the process. Martin Plante and Joniel Tremblay are acknowledged respectively for their involvement in the development of carbonation in eudiometers and in the realization of the experiments.

Appendix

Appendix A (p68)
Images by scanning electron microscopy and analysis by dispersive X-ray spectroscopy.

Appendix B (p83)
X-ray diffraction patterns.

Appendix C (p104)
Major element composition of the powders analyzed by X-ray fluorescence.

Appendix D (p105)
Carbon analysis for natural and carbonated samples.

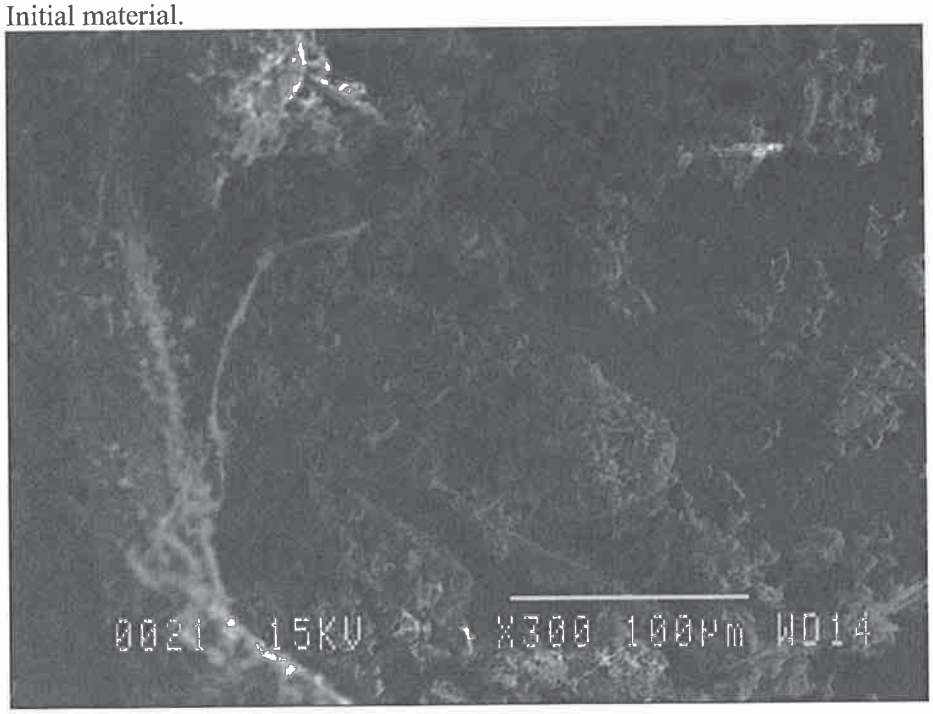
Appendix E (p110)
Process water : composition and pH.

Appendix F (p112)
Synthesis tables of the carbonation experiments.

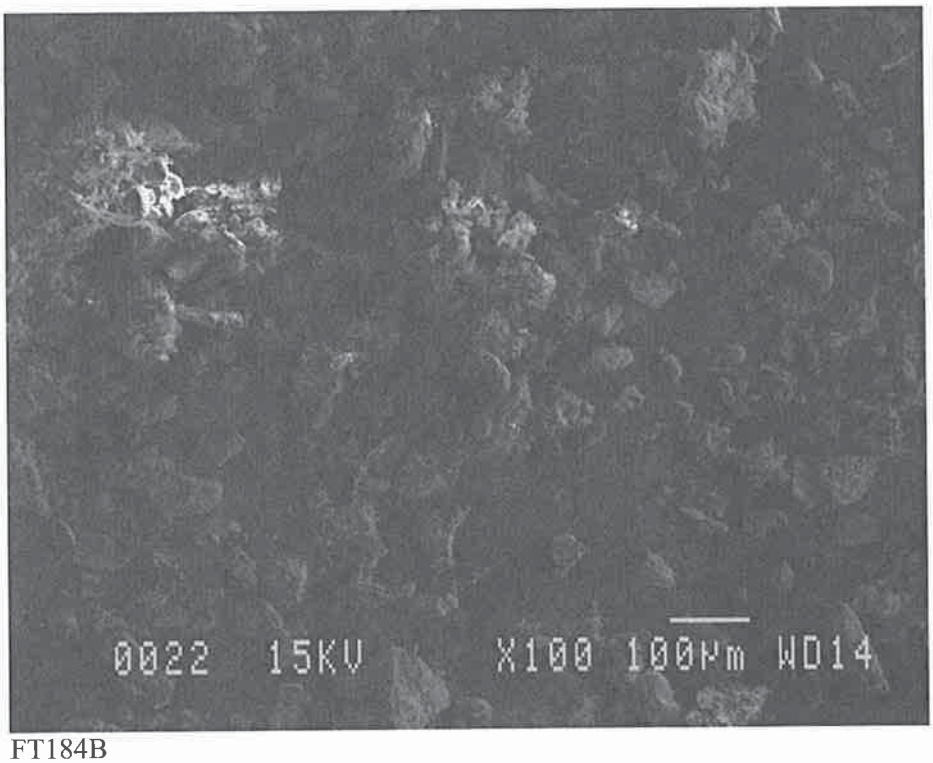
Appendix A

Images by scanning electron microscopy and analysis by dispersive X-ray spectroscopy (Laval university).

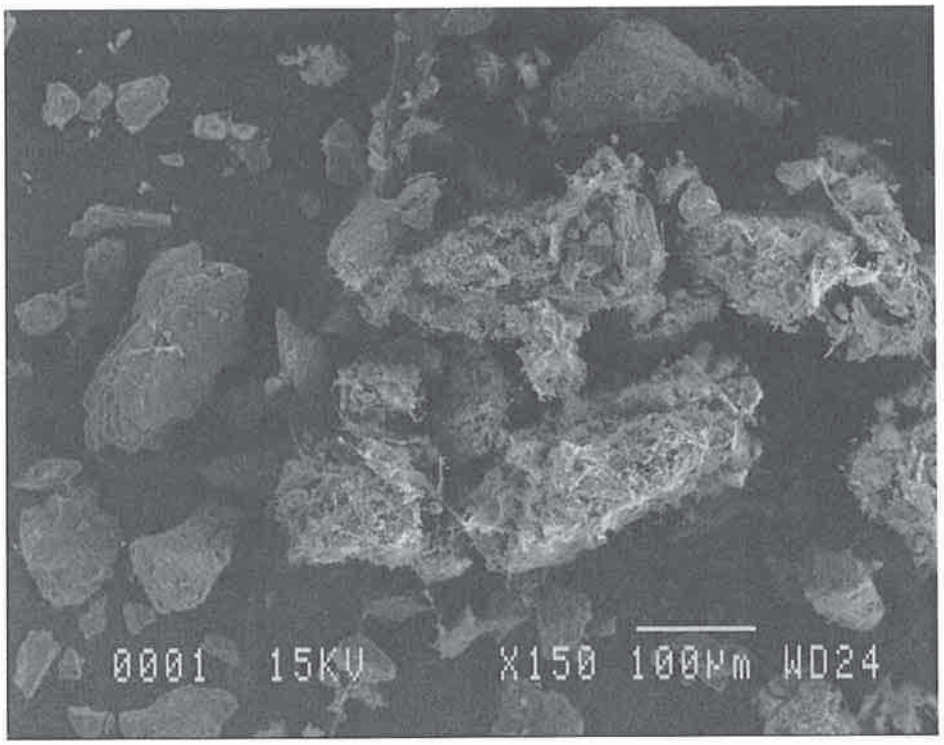
Initial material.



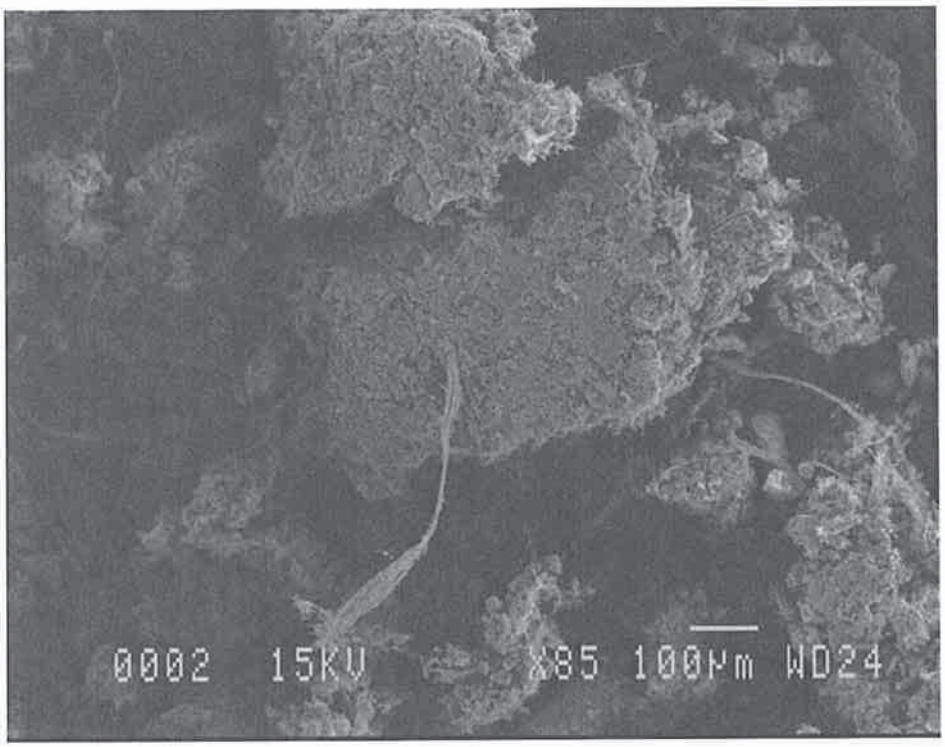
F197B



FT184B

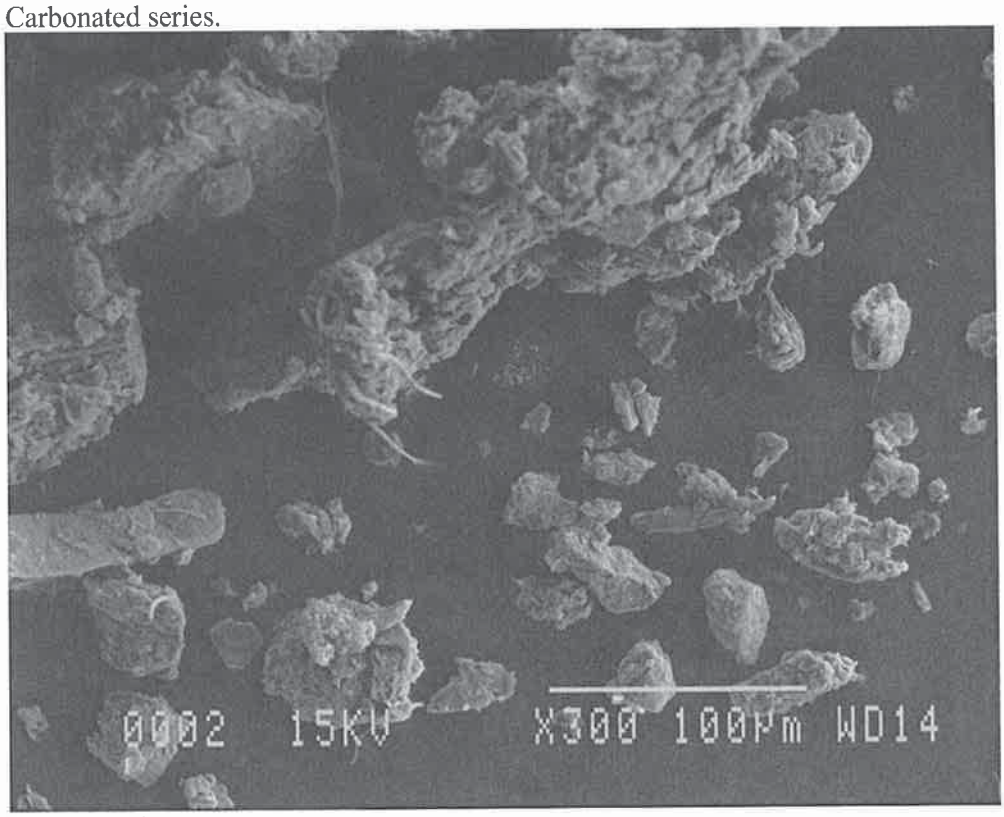


S184B

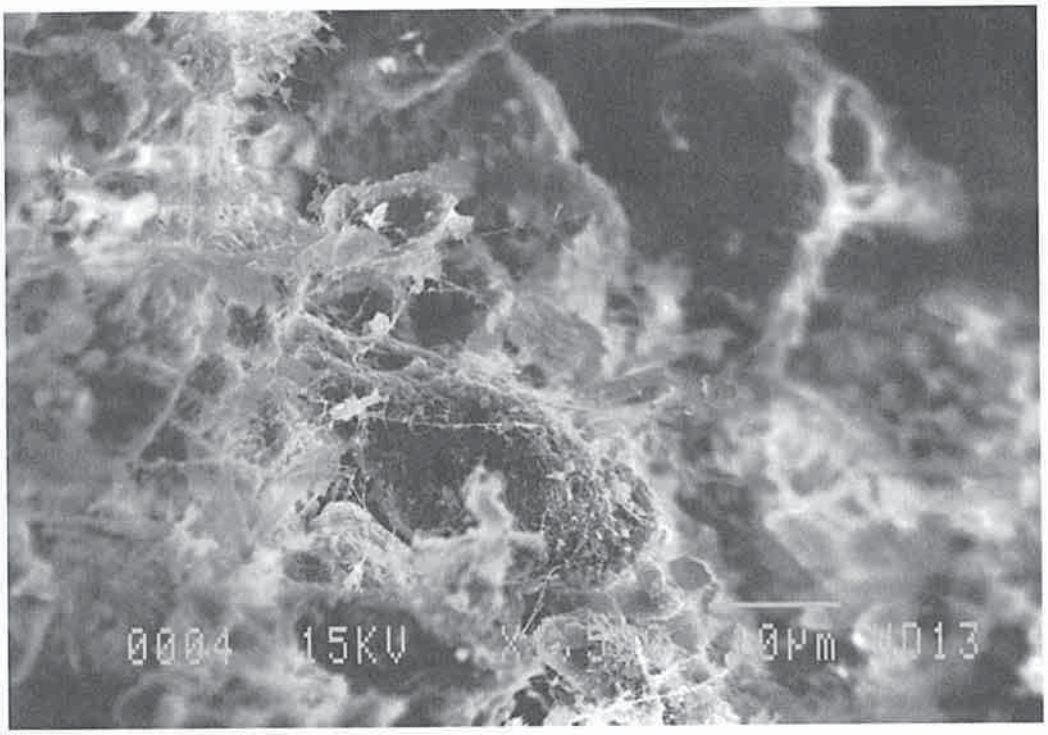


S184B

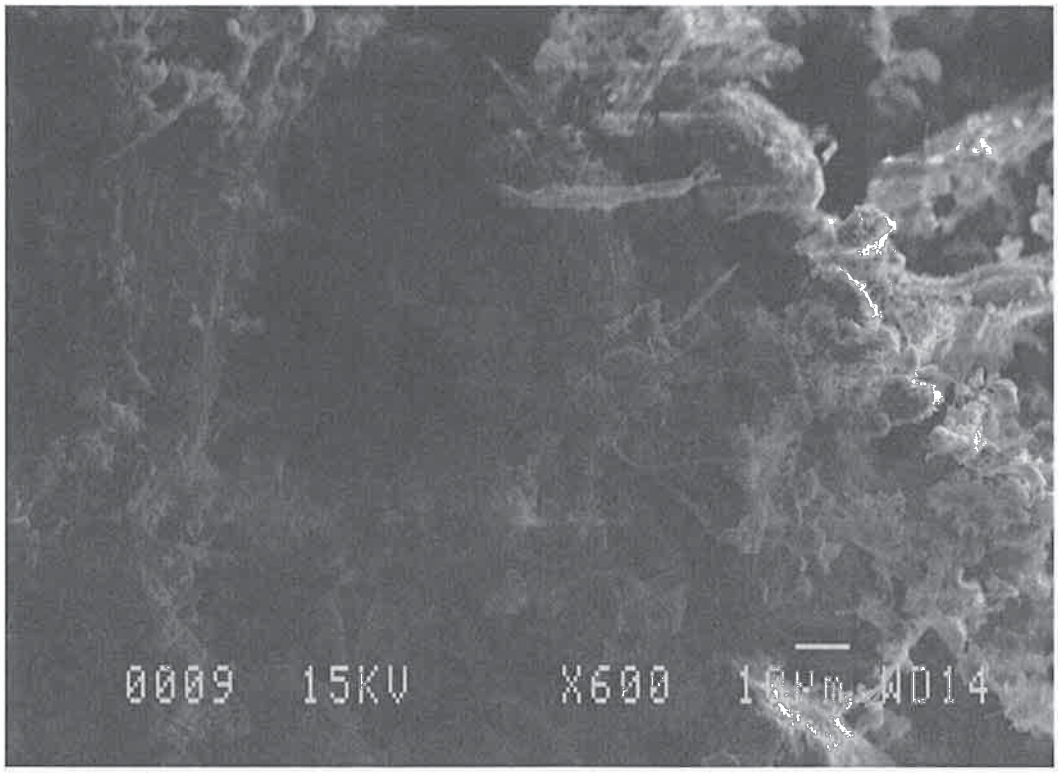
Carbonated series.



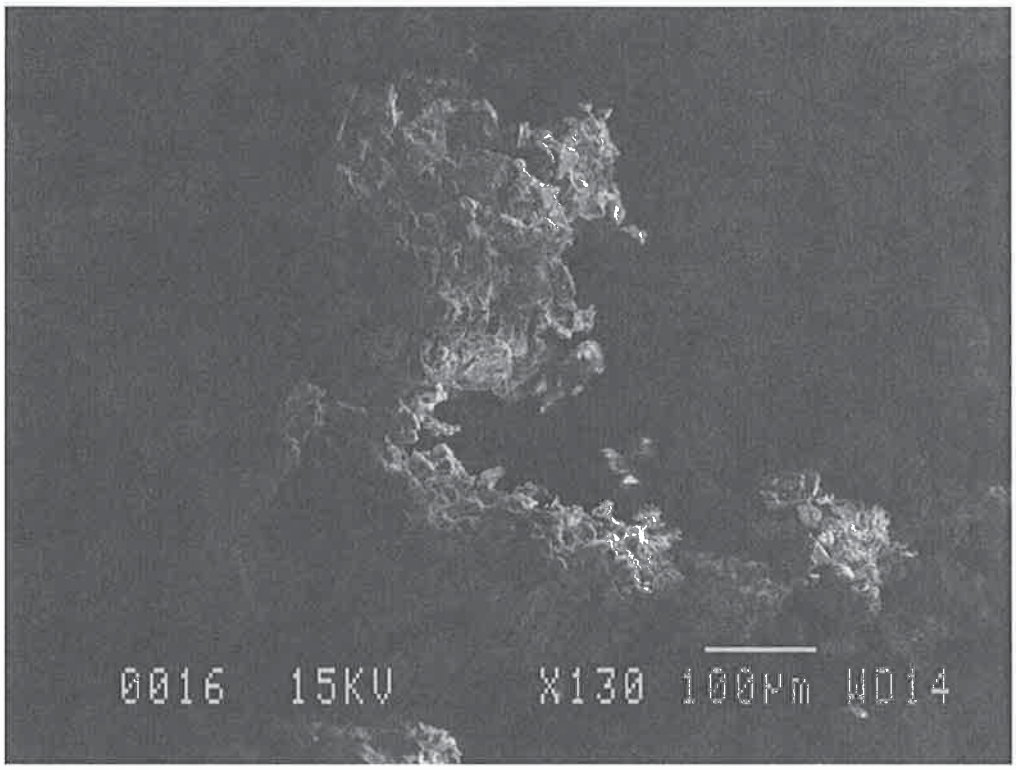
RN1a-S184B



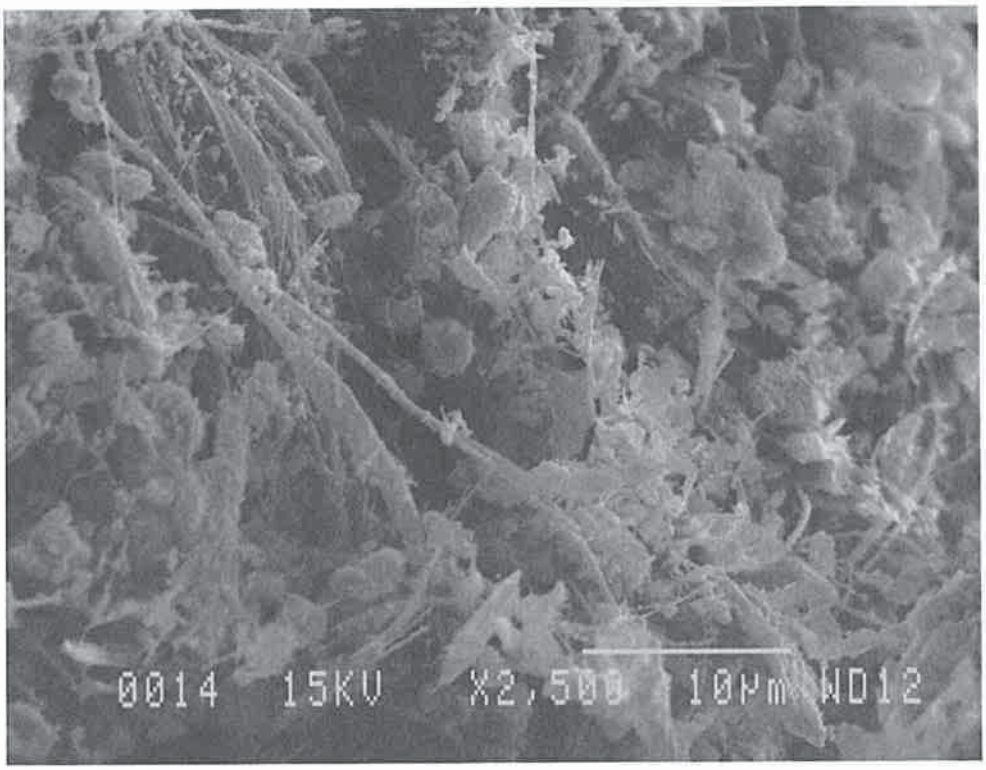
RN1c-FT184B



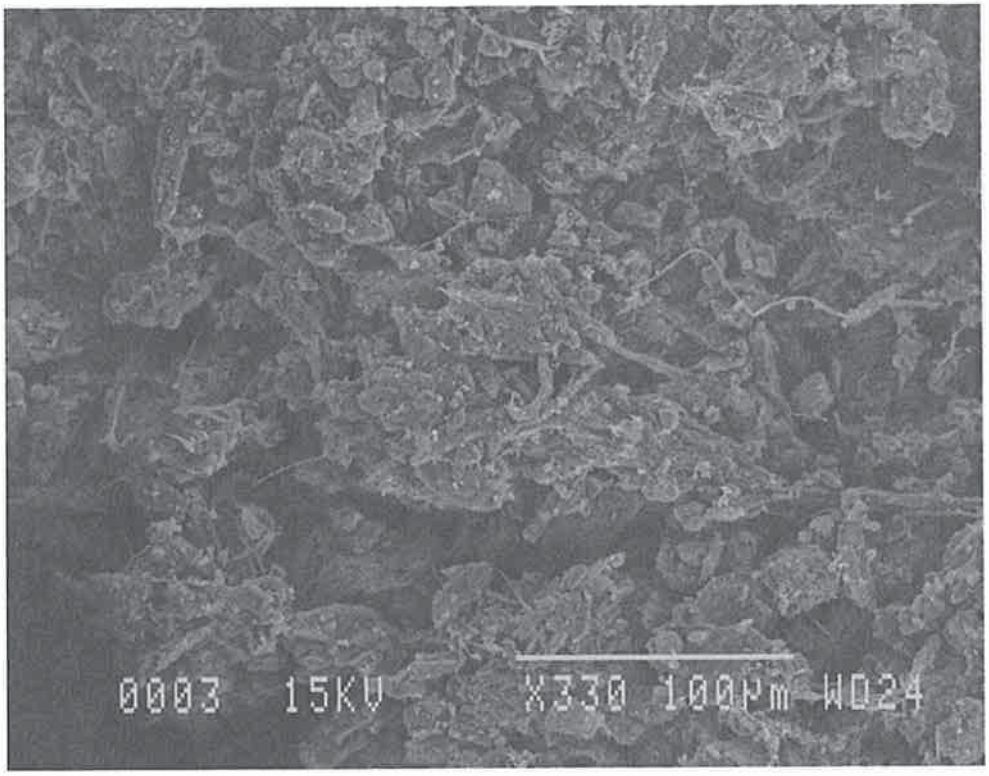
RN2A-F184B



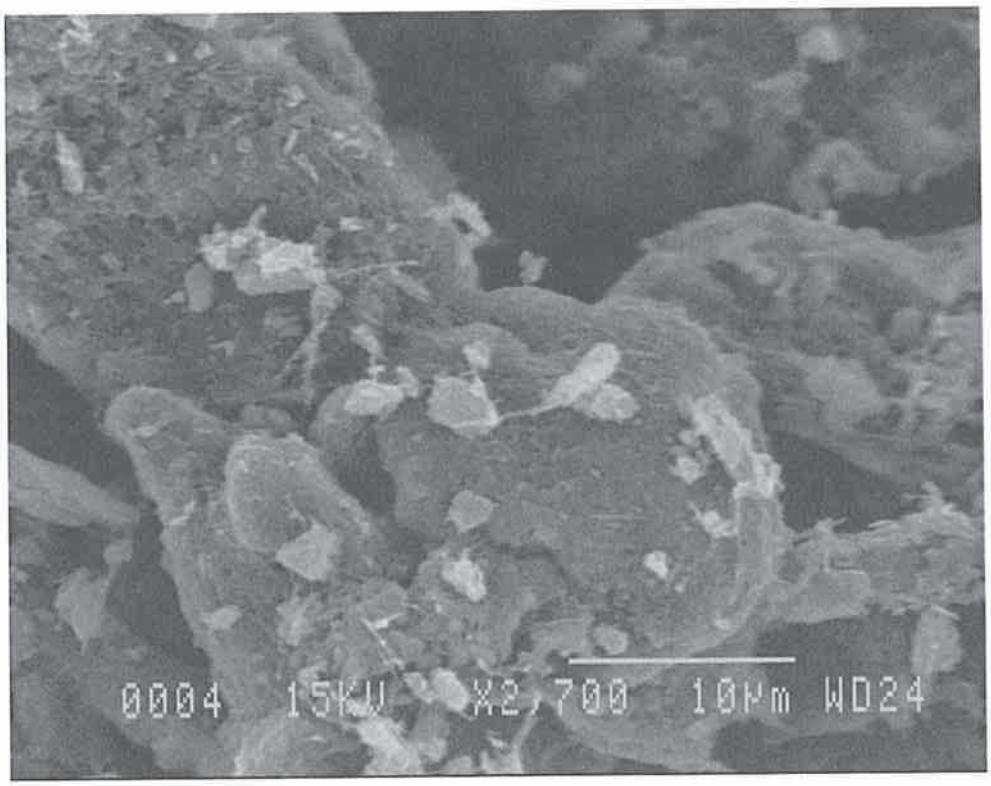
RN2e-S184B



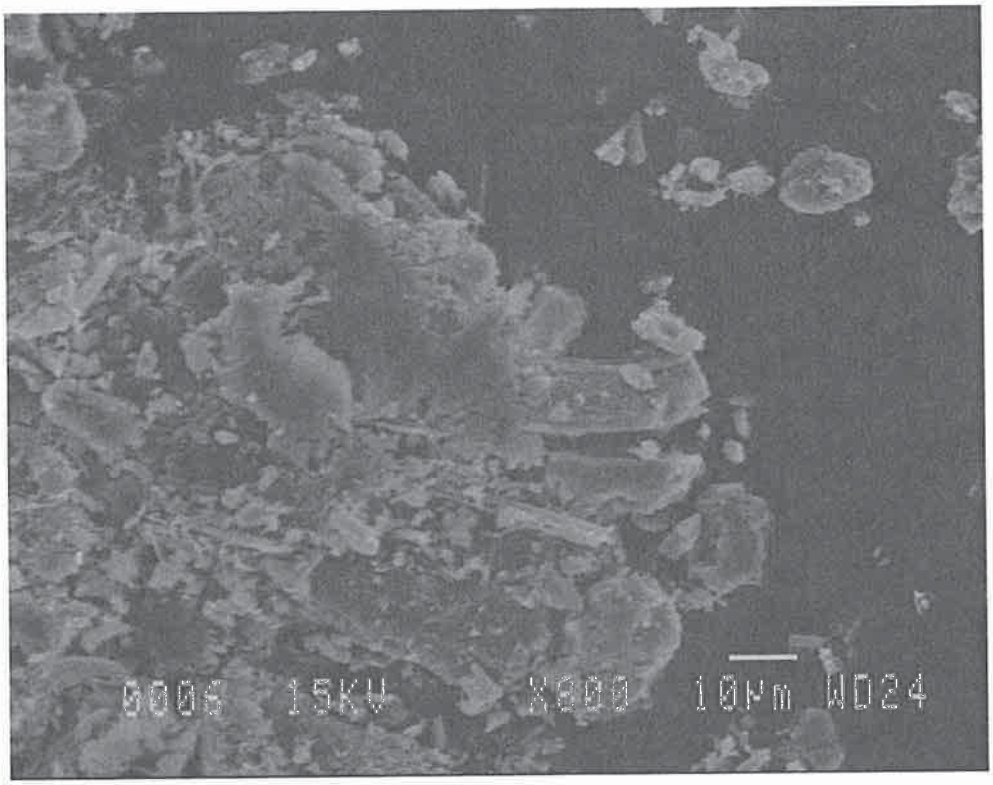
RN2e-S184B



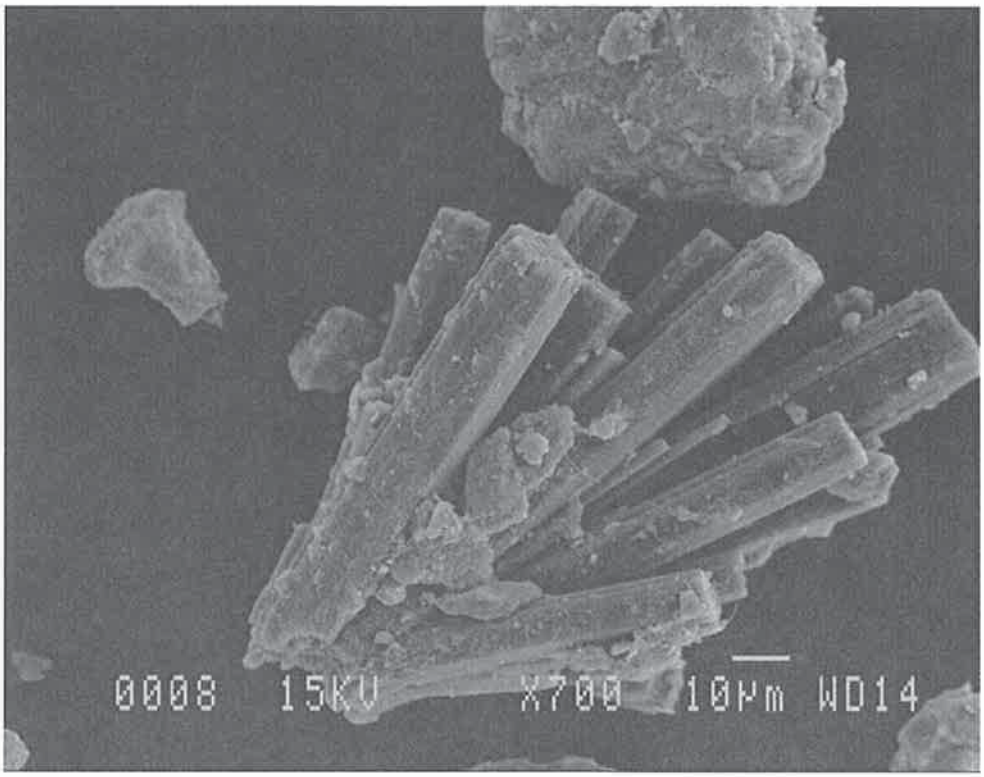
RN3a-F184B



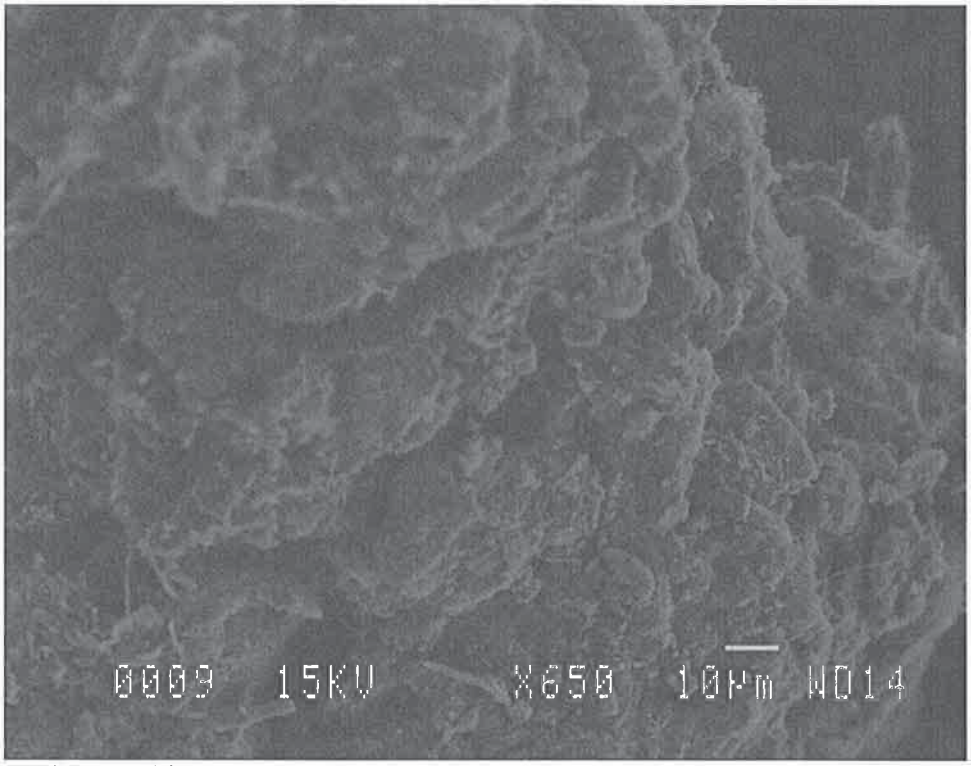
RN3a-F184B



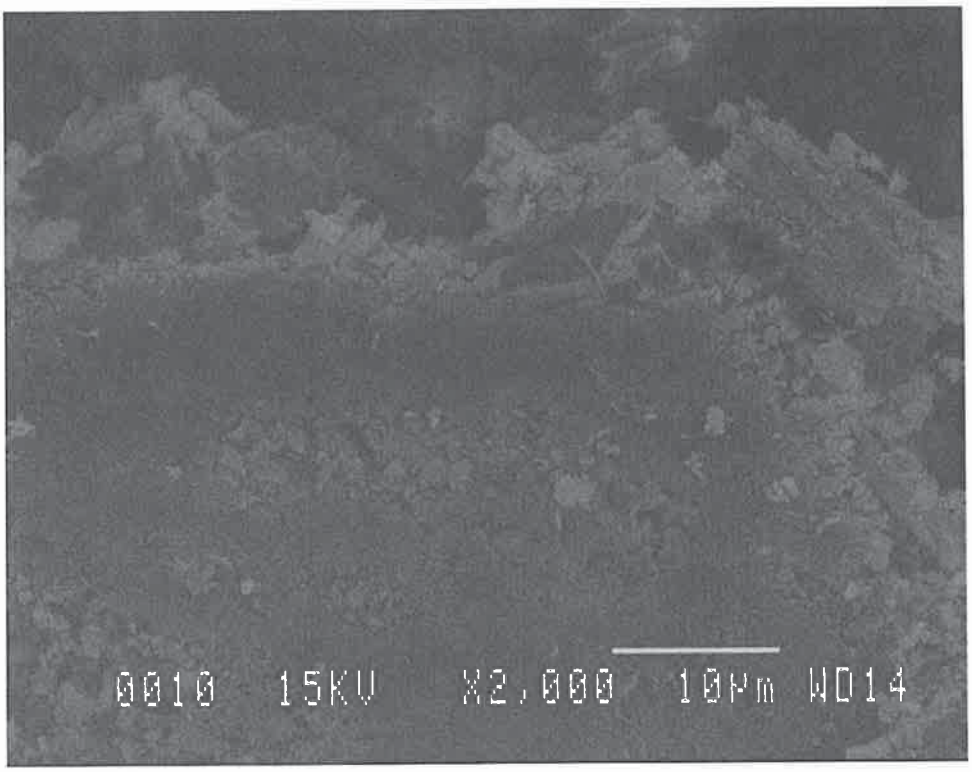
RN3e-F197B



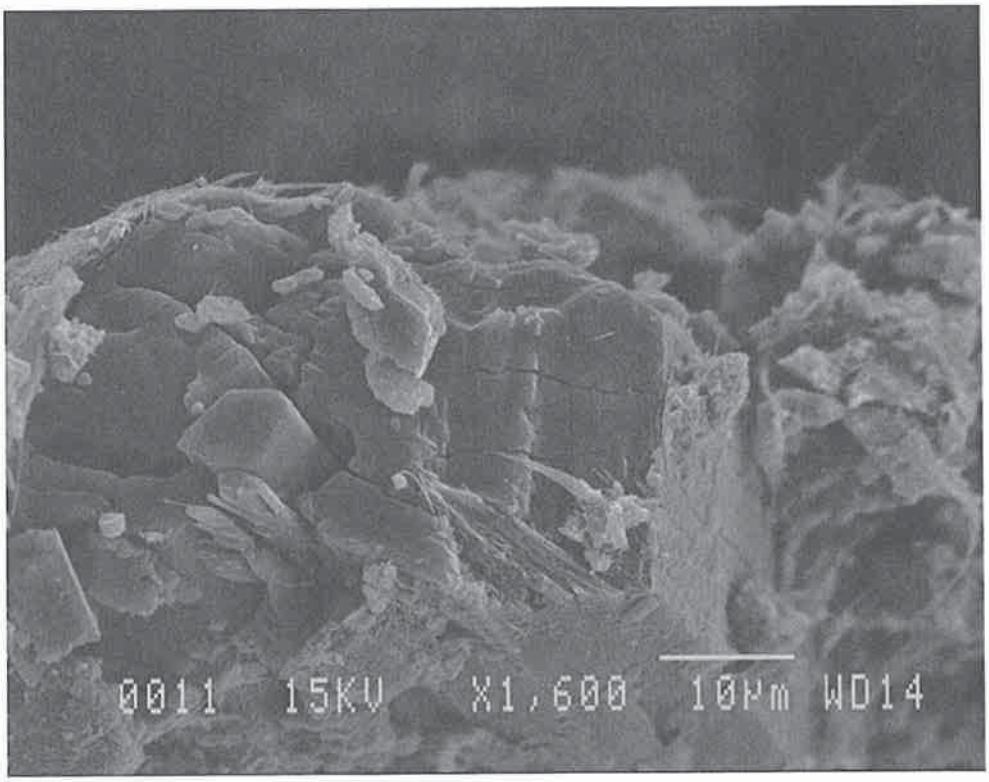
RN4b-FT184F



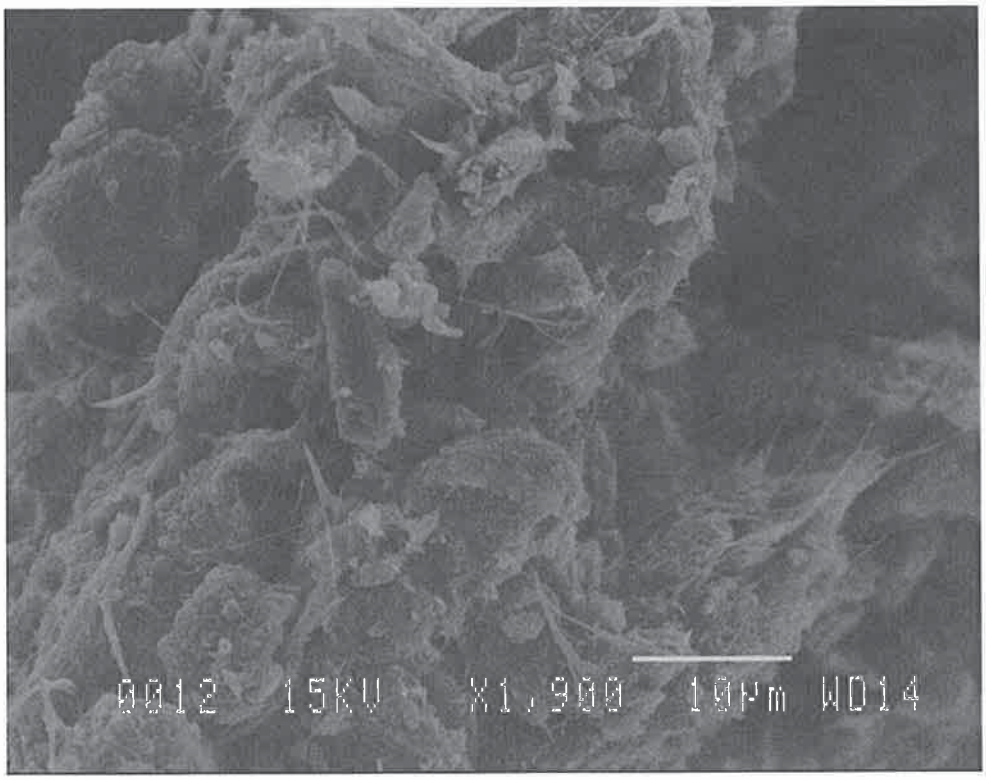
RN4c-FT184G



RN5a-S184B

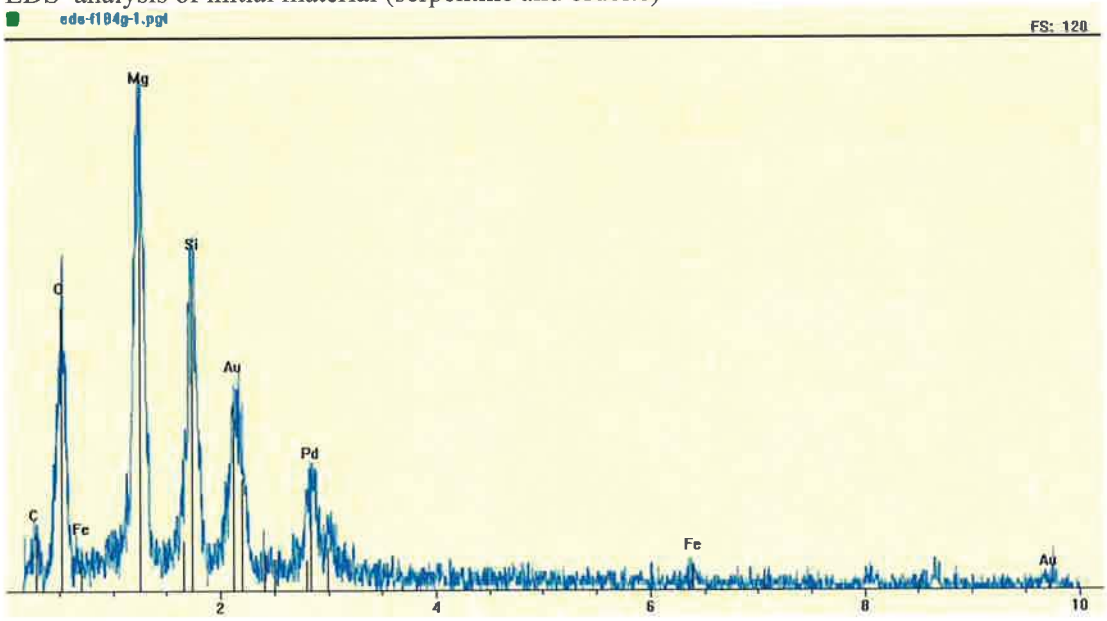


RN5h-S184B

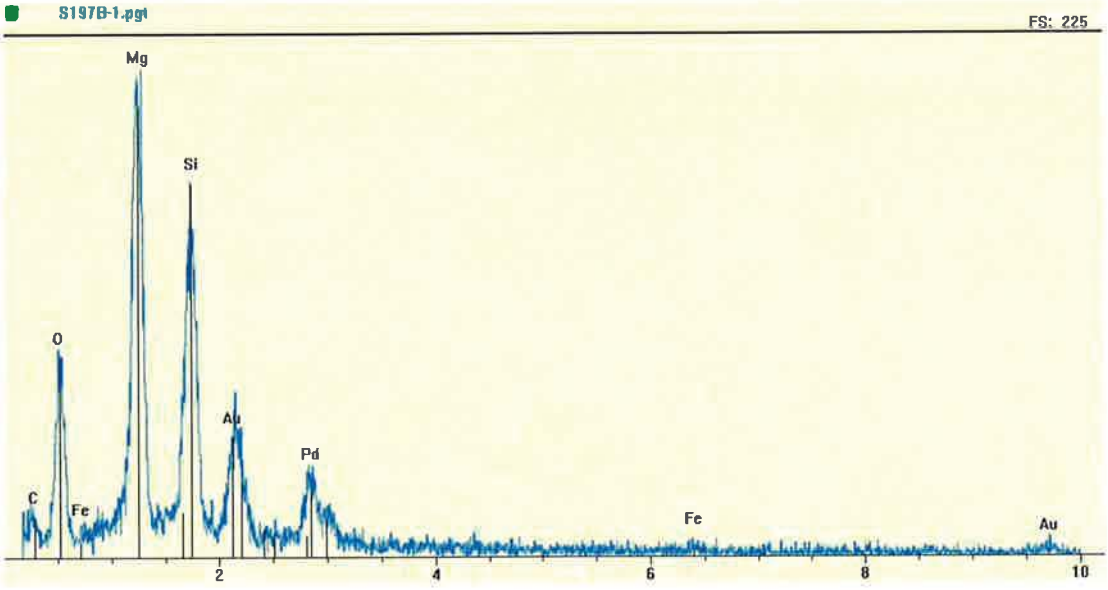


RN5h-S184B

EDS analysis of initial material (serpentine and brucite)

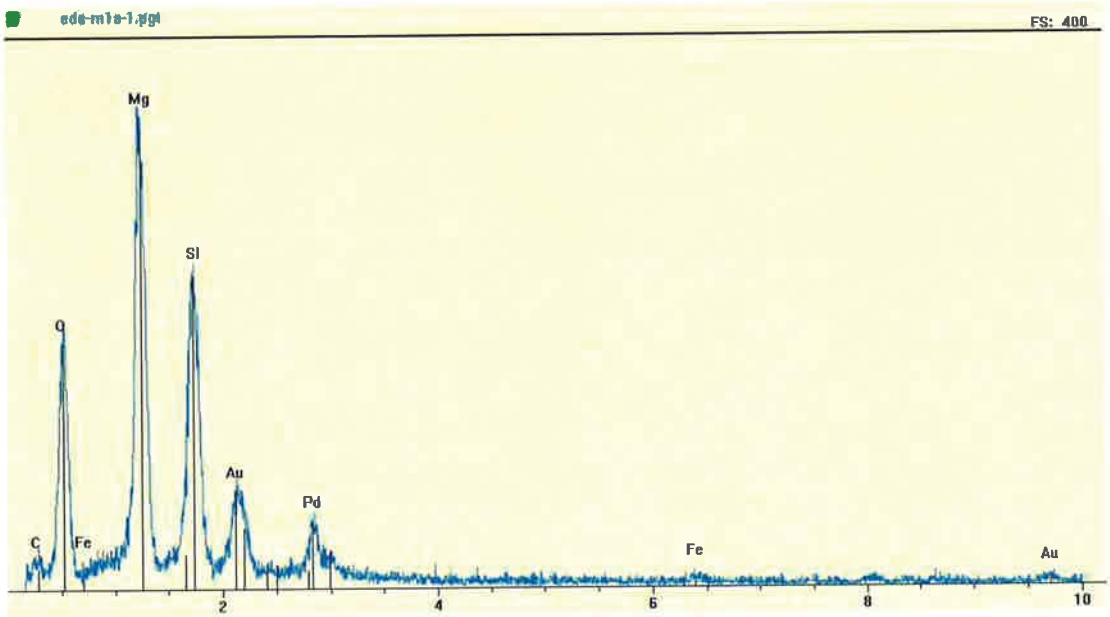


F184G

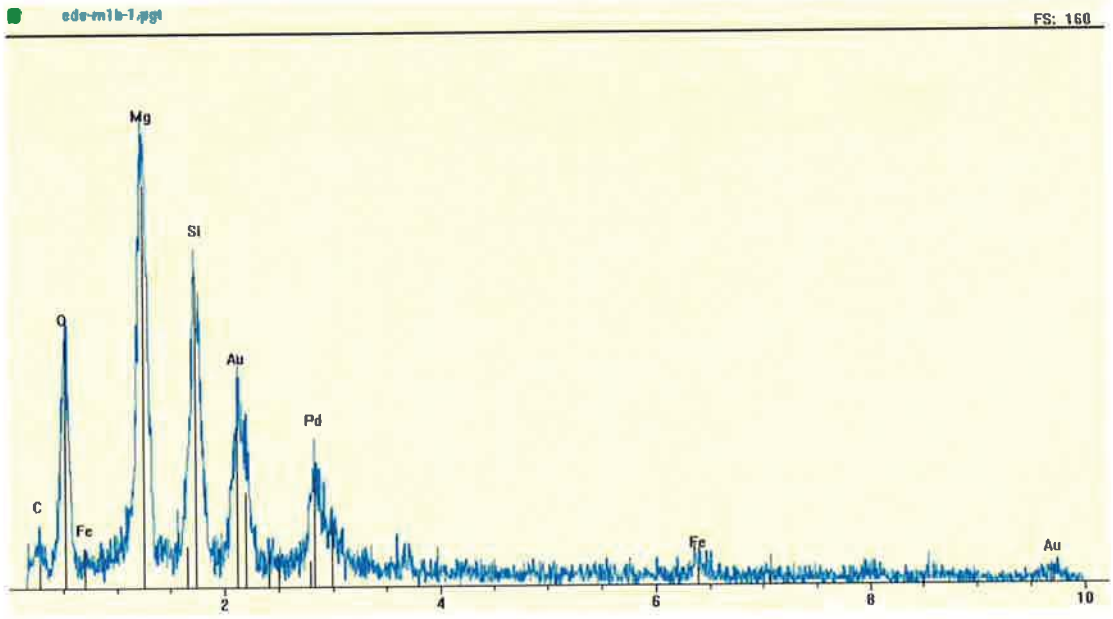


S197B

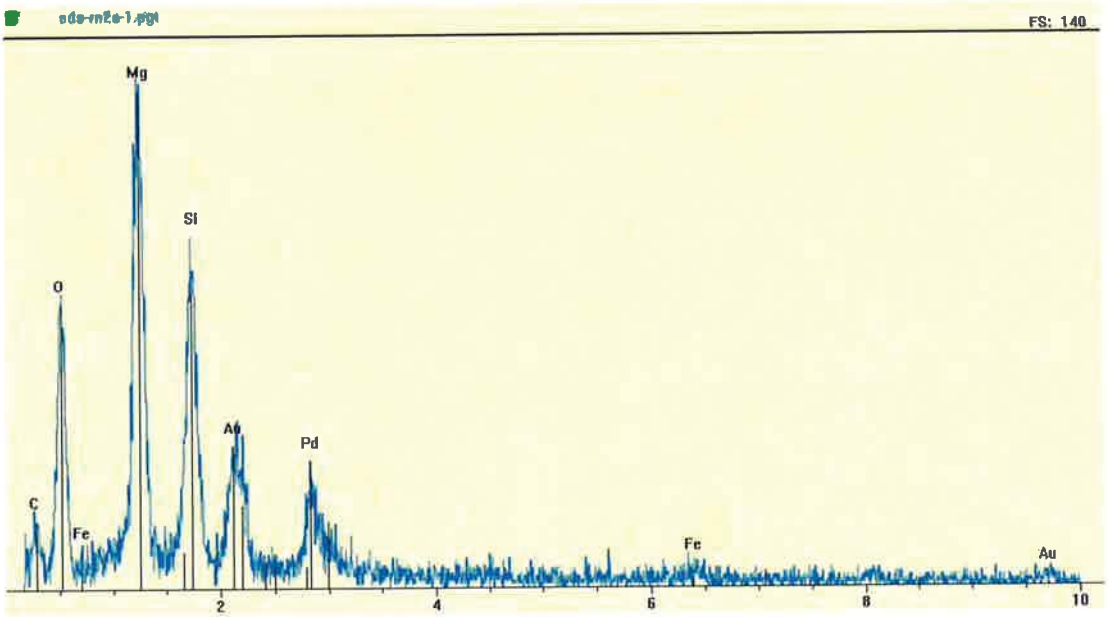
Carbonated samples (the analyzed phases are not all carbonates).



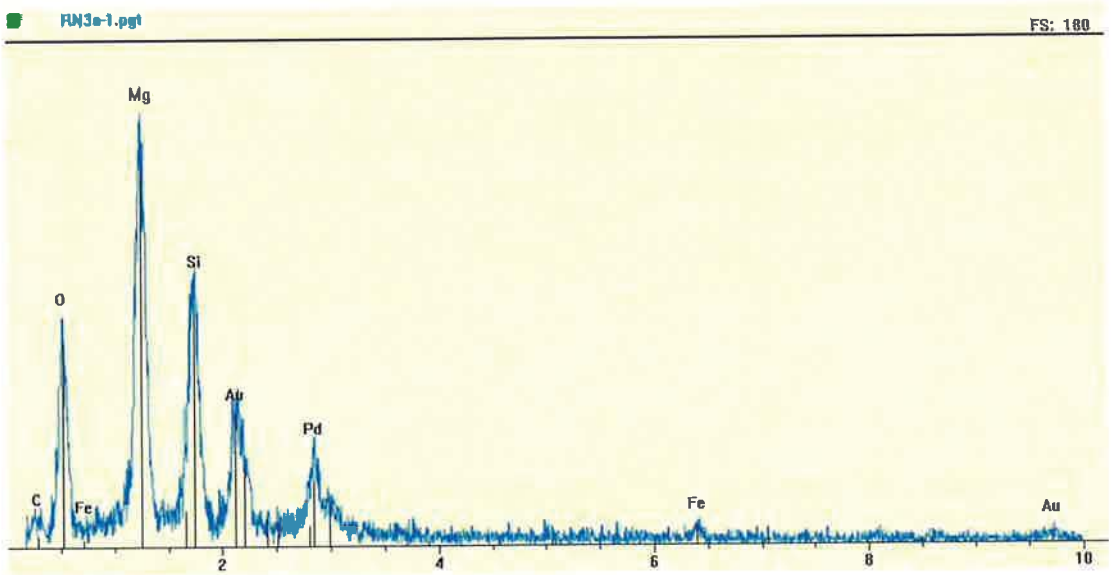
RN1a-S184B



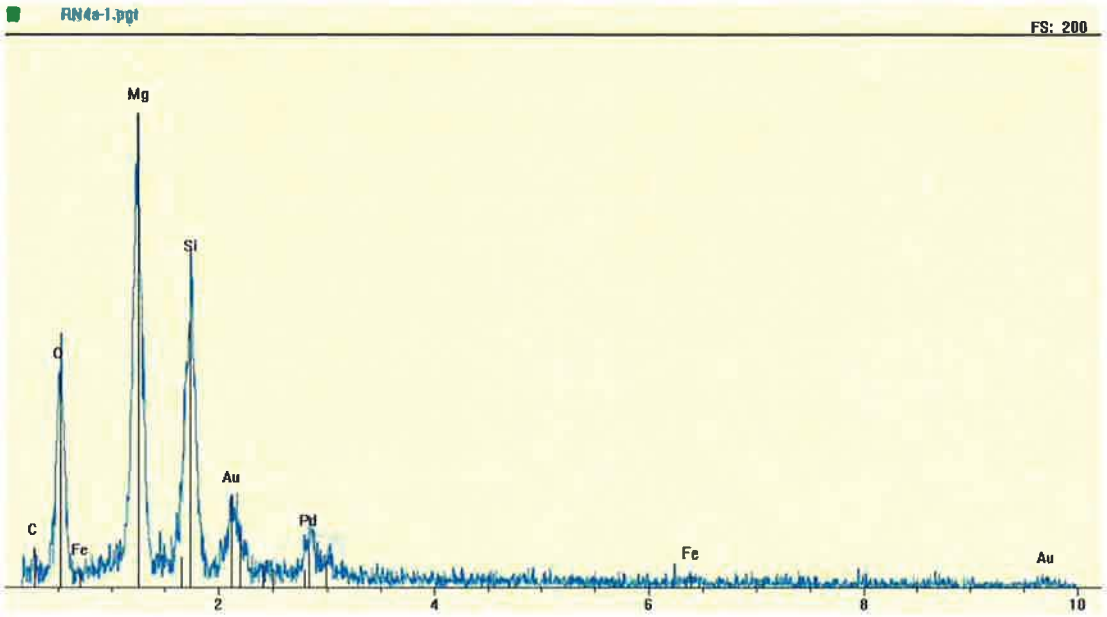
RN1B-S184B



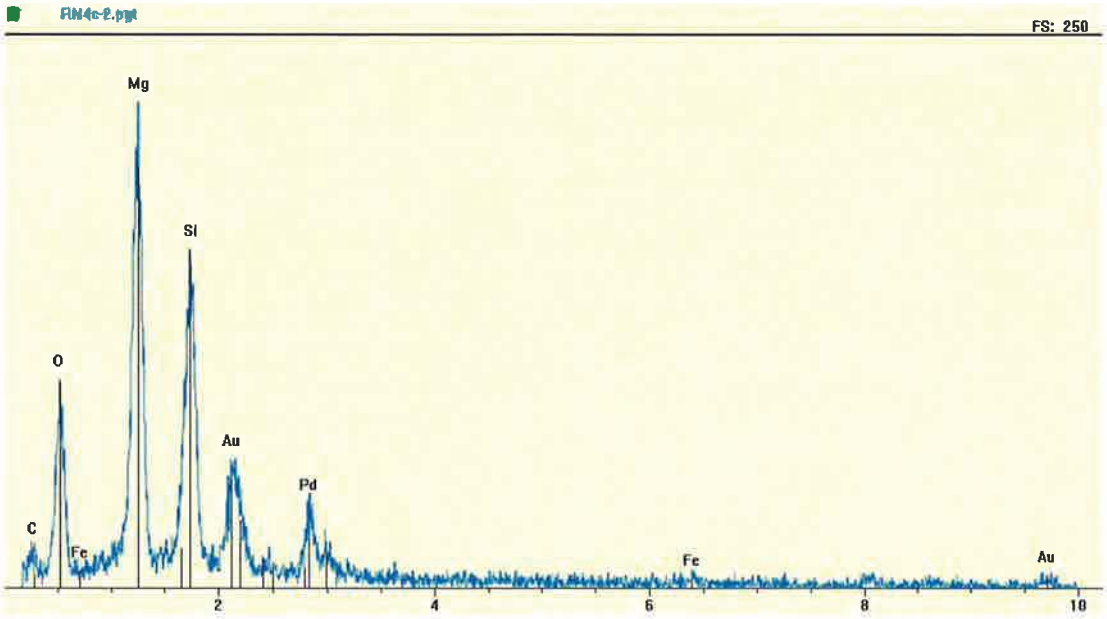
RN2a-F184B



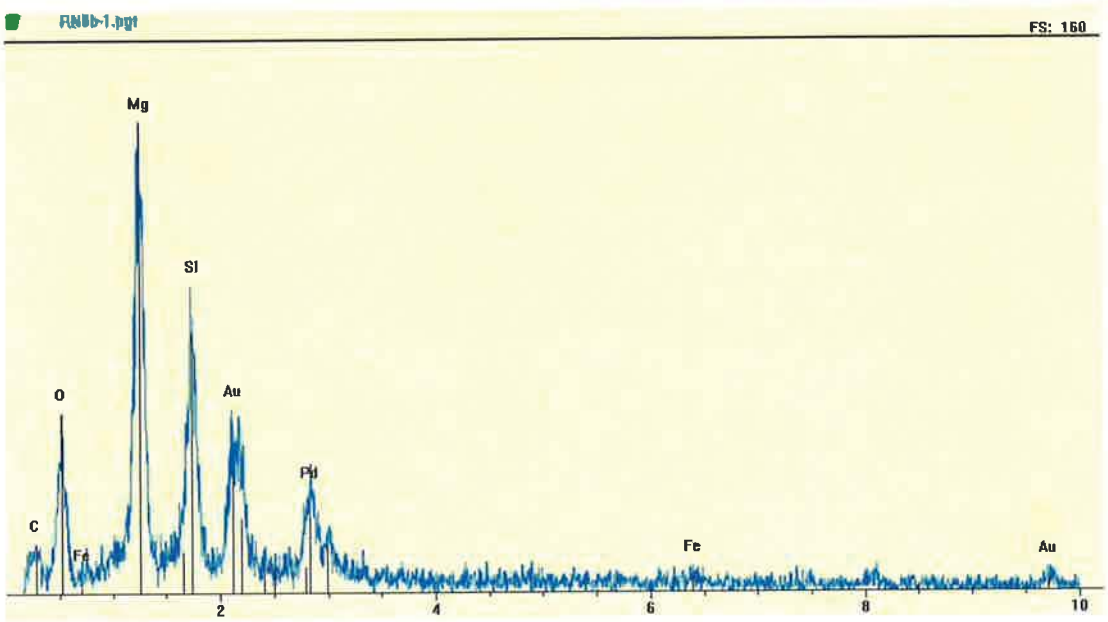
RN3a-F184B



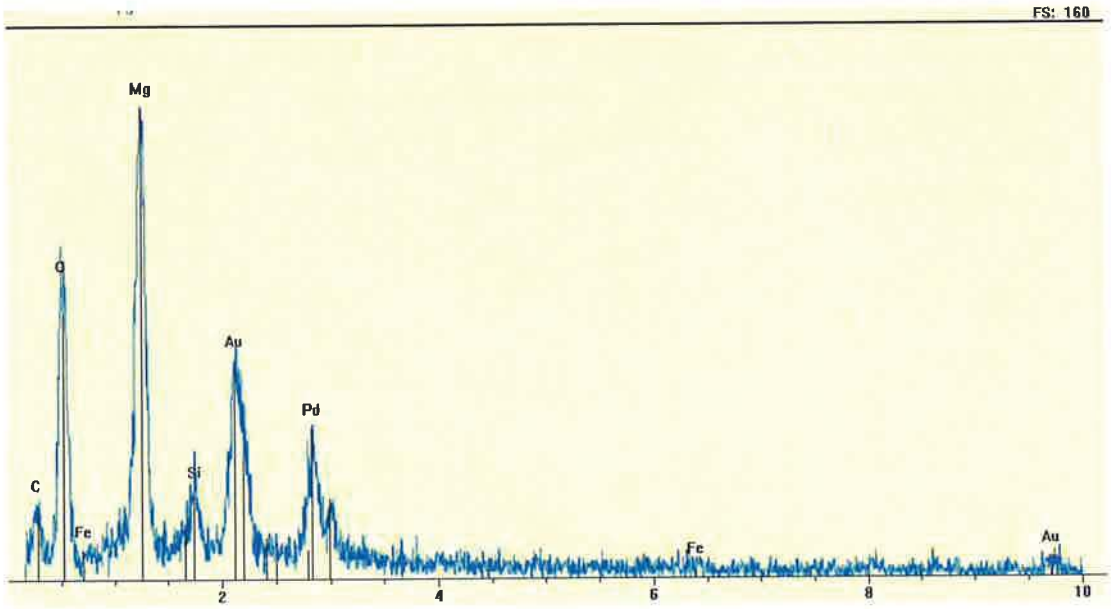
RN4a-FT184B



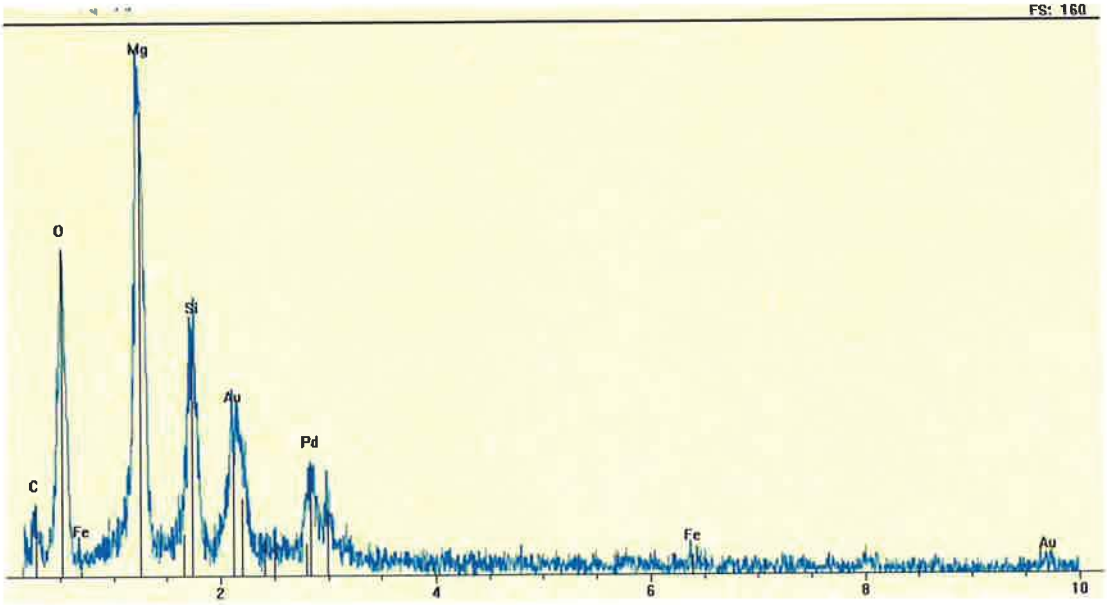
RN4b-FT184F



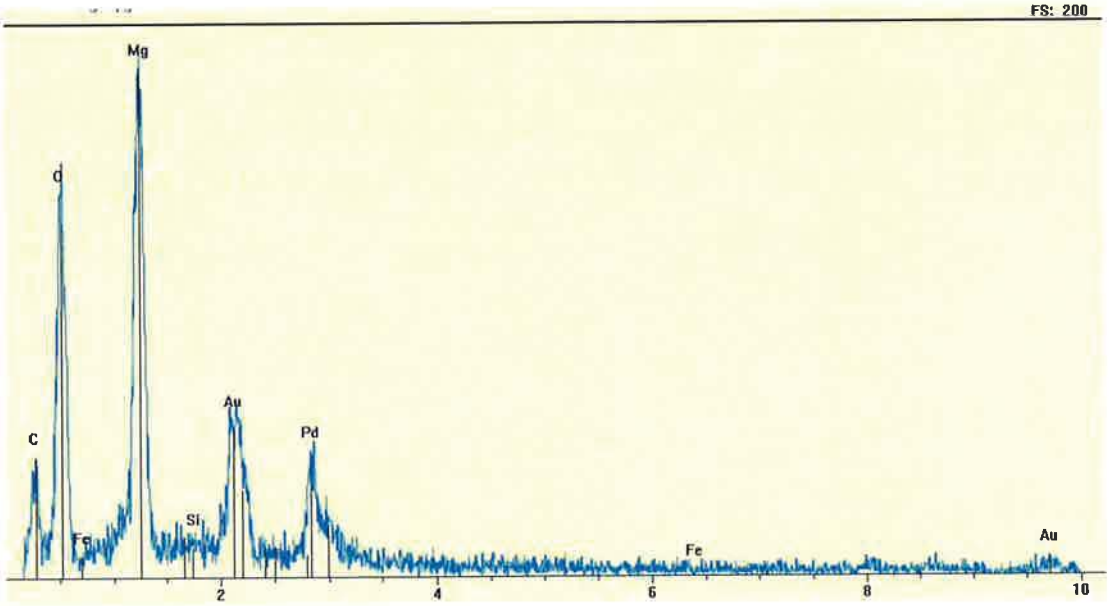
RN5a-S184B



RN5c-S184G



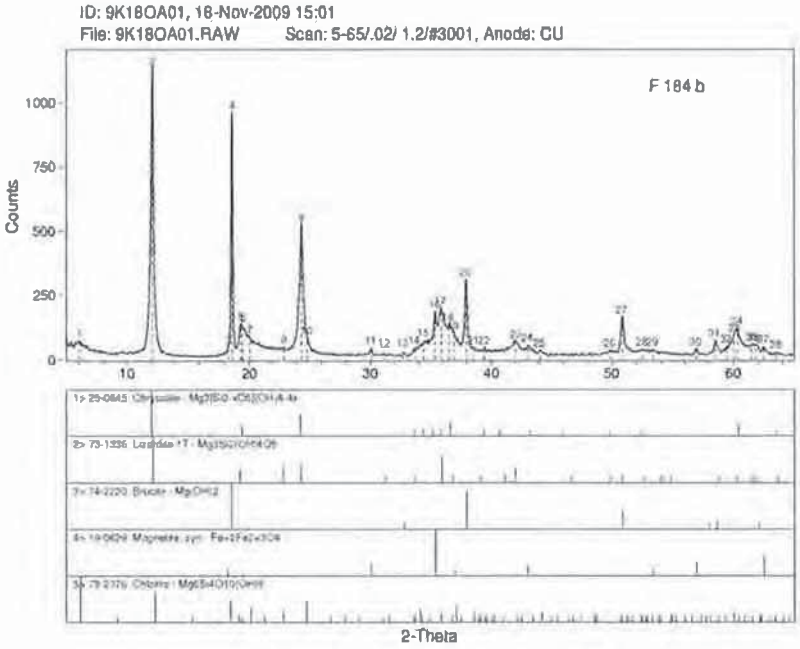
RN5h-S184B

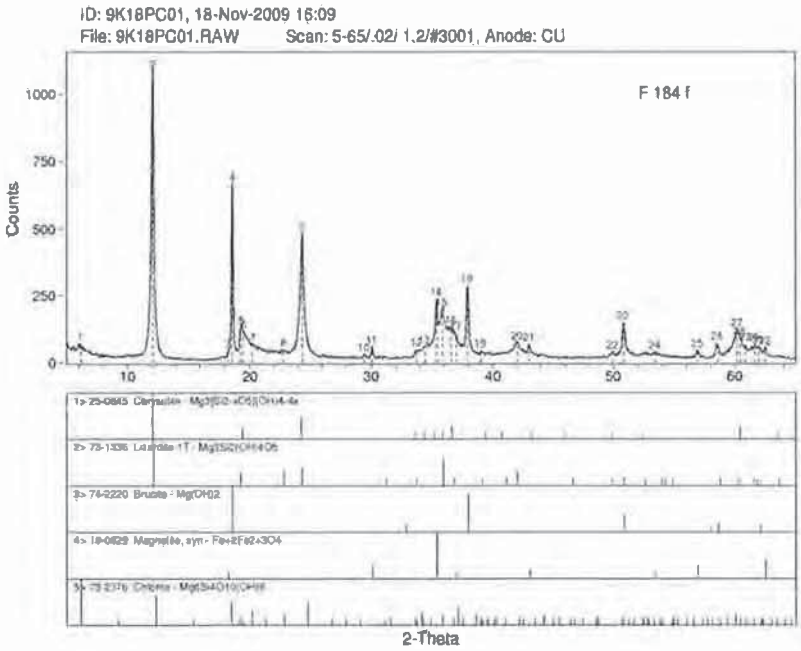


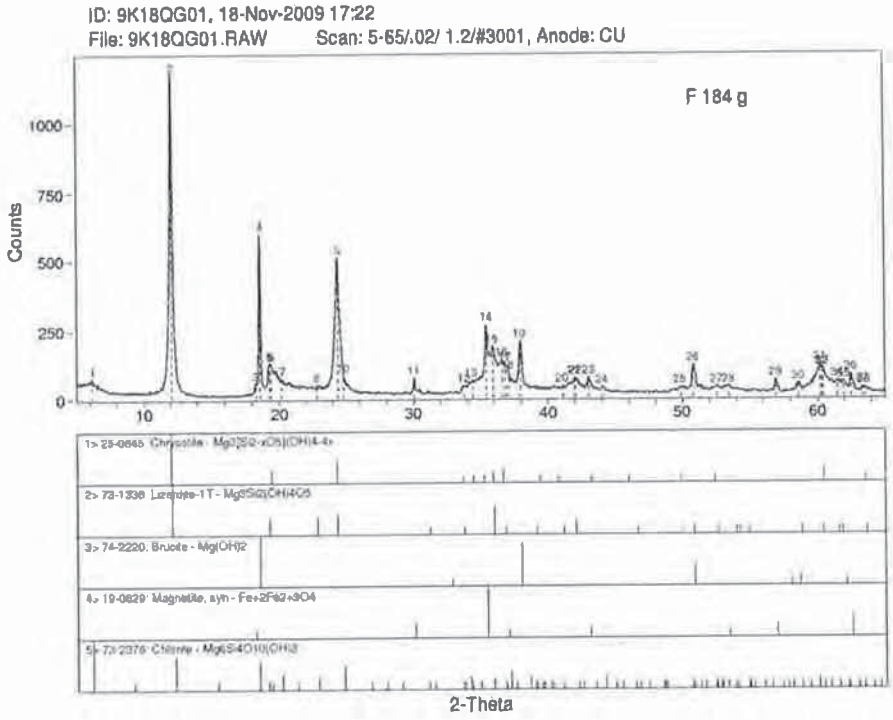
RN5h-S184B

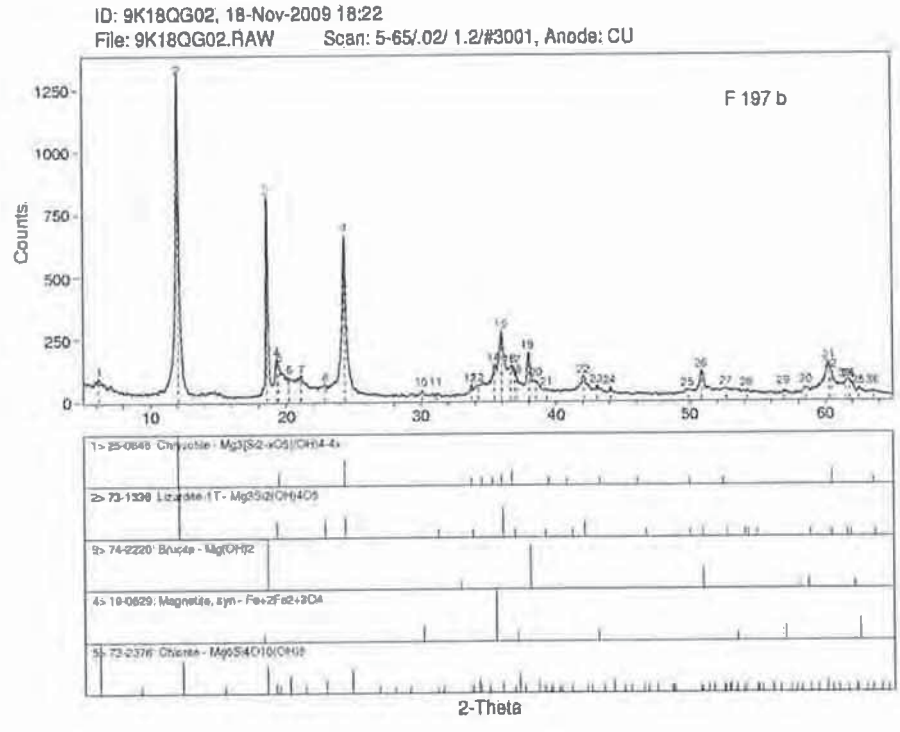
Appendix B
X ray diffraction patterns (Laval university)

Initial material - Fluffs

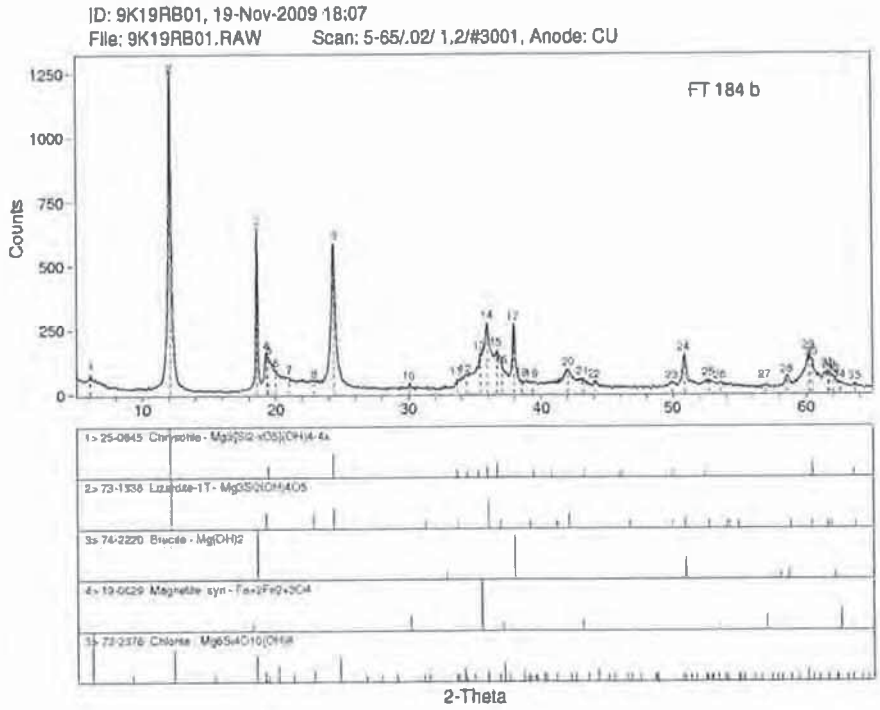


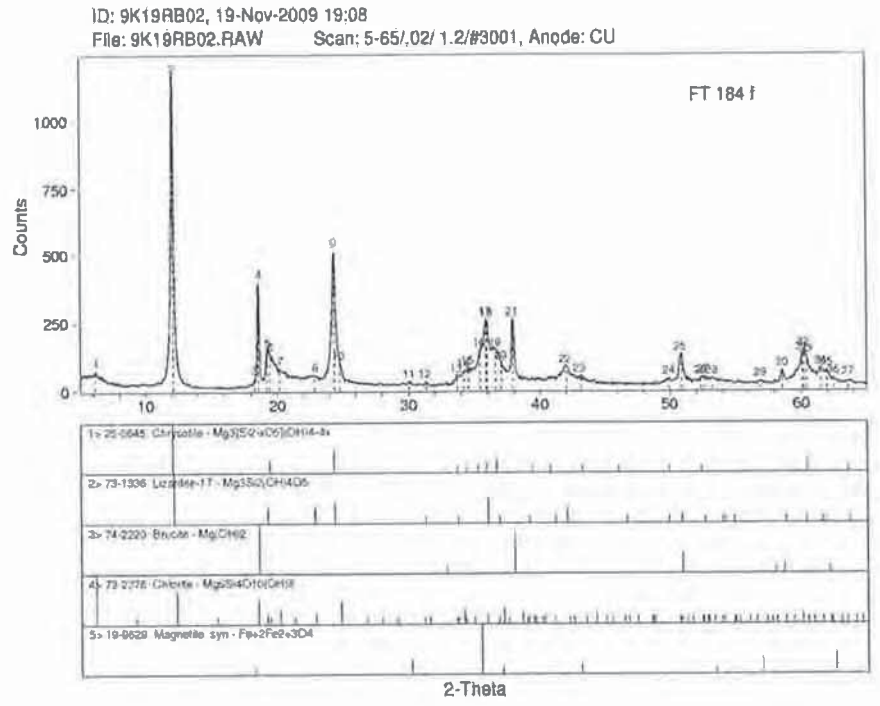


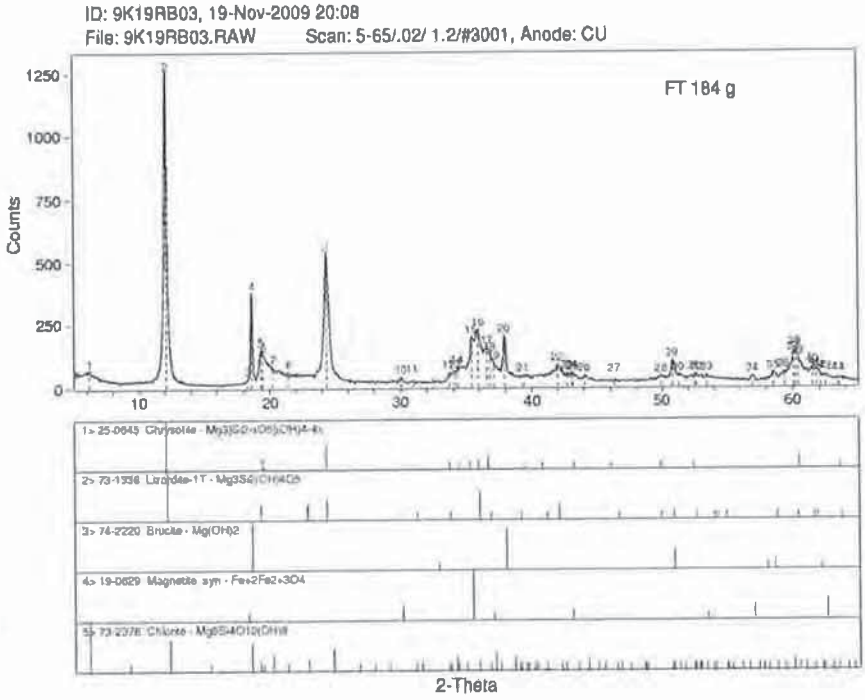

ID: 9K18QG01, 18-Nov-2009 17:22
File: 9K18QG01.RAW Scan: 5-65/.02/ 1.2/#3001, Anode: CU
F 184 g
Counts
2-Theta

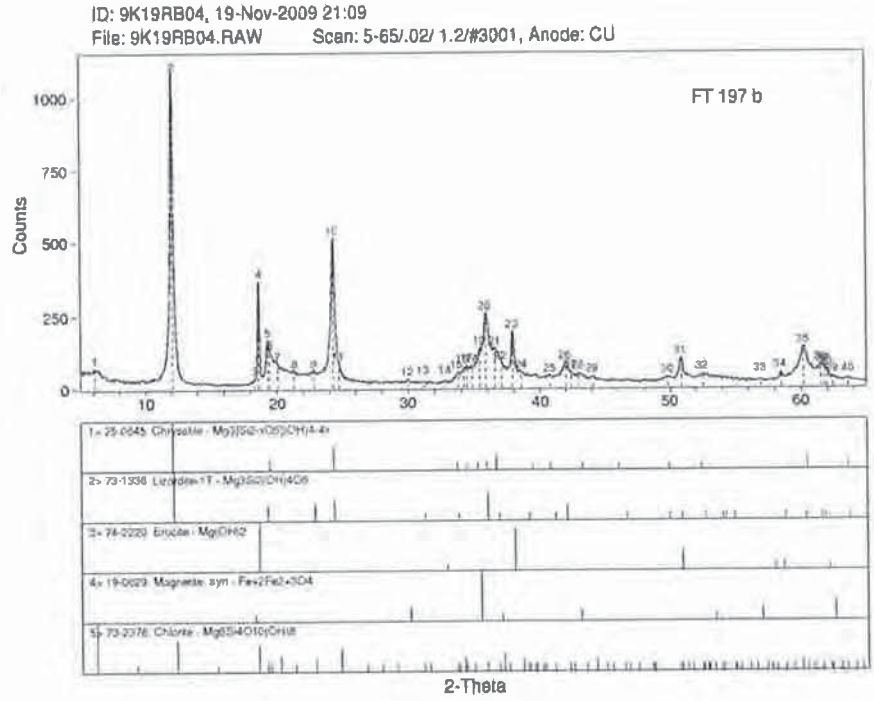

ID: 9K18QG02, 18-Nov-2009 18:22
File: 9K18QG02.RAW Scan: 5-65/.02/ 1.2/#3001, Anode: CU
F 197 b
Counts
2-Theta

Initial material - Final tails

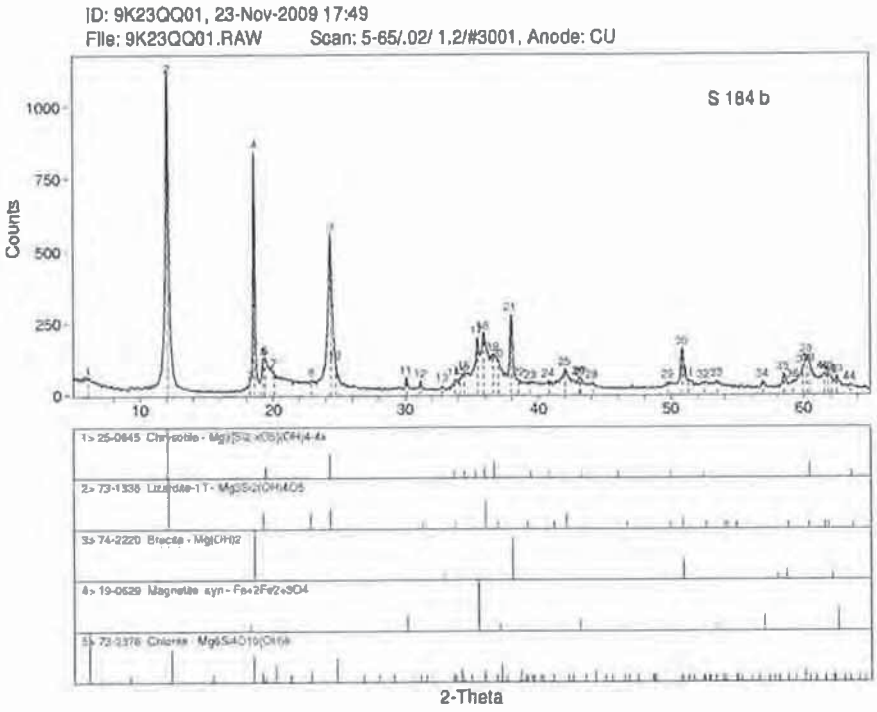


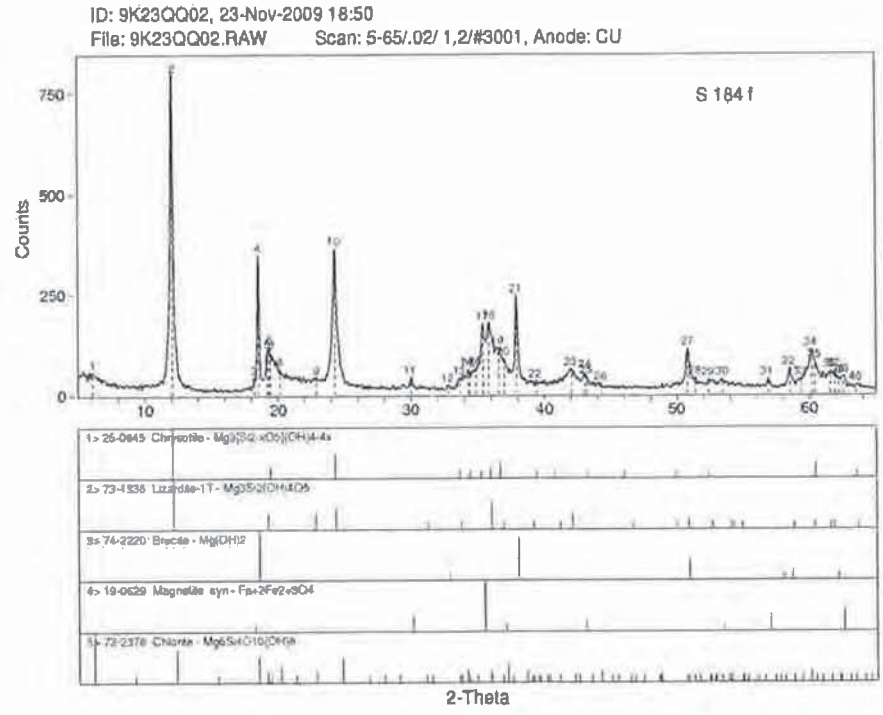



ID: 9K19RB03, 19-Nov-2009 20:08
File: 9K19RB03.RAW Scan: 5-65/.02/ 1.2/#3001, Anode: CU
FT 184 g
Counts
2-Theta
1> 25-0645 Chrysotile - Mg3(Si2O5)(OH)4
2> 73-1336 Lizardite-1T - Mg3Si2O5(OH)4
3> 74-2220 Brucite - Mg(OH)2
4> 19-0629 Magnetite syn - Fe+2Fe2+3O4
5> 73-2376 Chlorite - Mg5Si4O10(OH)8

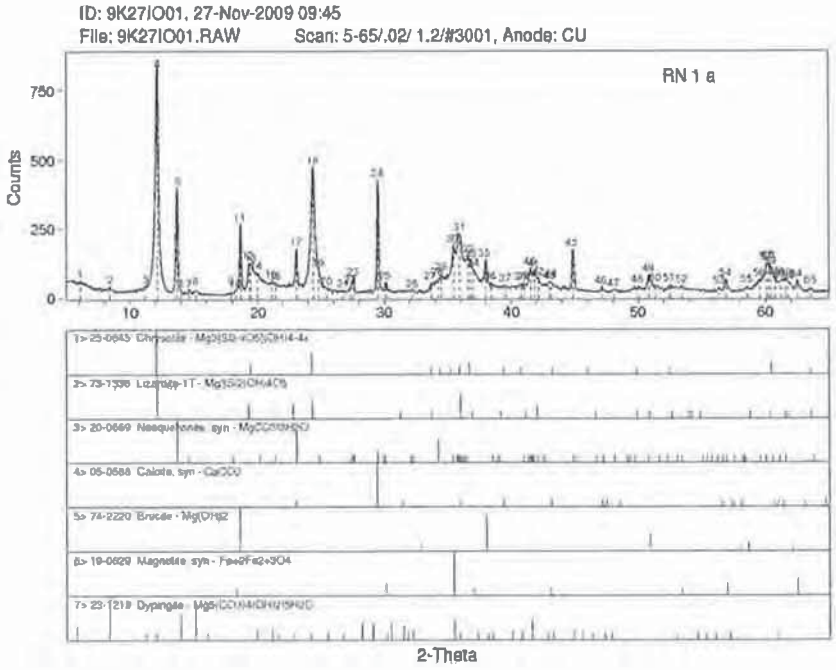

ID: 9K19RB04, 19-Nov-2009 21:09
File: 9K19RB04.RAW Scan: 5-65/.02/ 1.2/#3001, Anode: CU
FT 197 b
Counts
2-Theta
1> 25-0645 Chrysotile - Mg3(Si2O5)(OH)4
2> 73-1336 Lizardite-1T - Mg3Si2O5(OH)4
3> 74-2220 Brucite - Mg(OH)2
4> 19-0629 Magnetite syn - Fe+2Fe2+3O4
5> 73-2376 Chlorite - Mg5Si4O10(OH)8

Initial material - Slimes

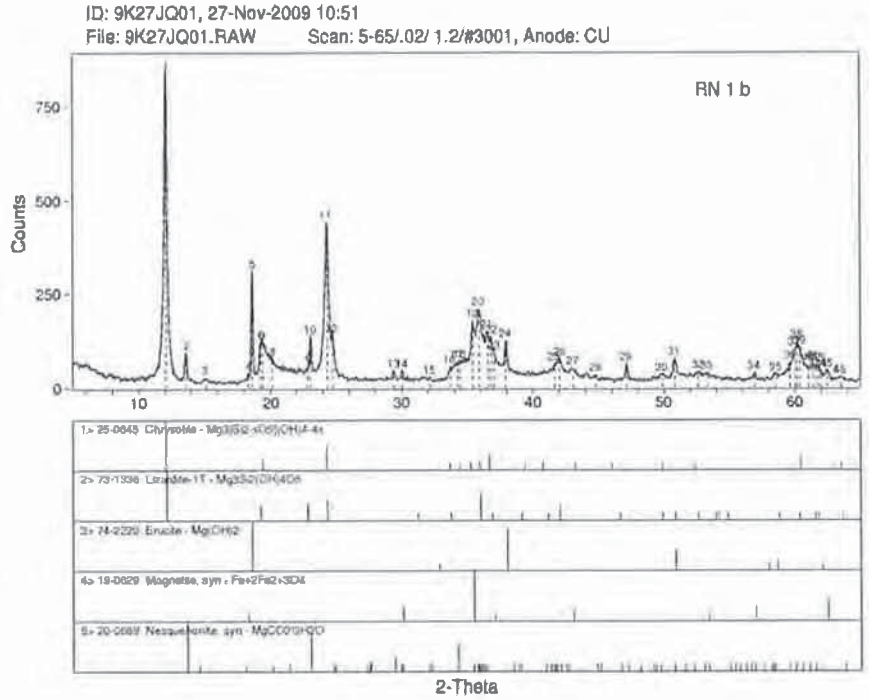




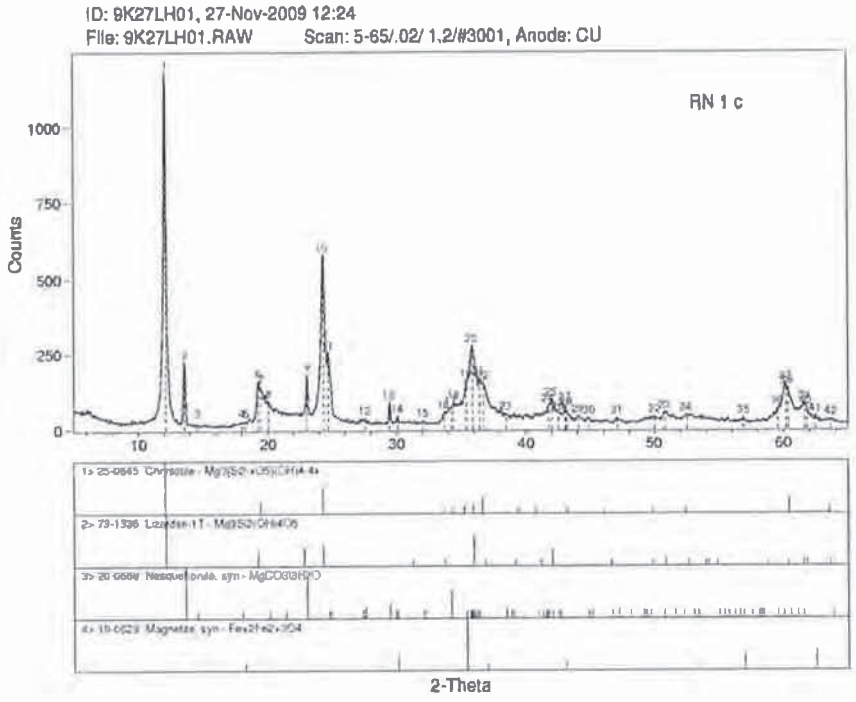
Carbonated samples
RN1a S184B



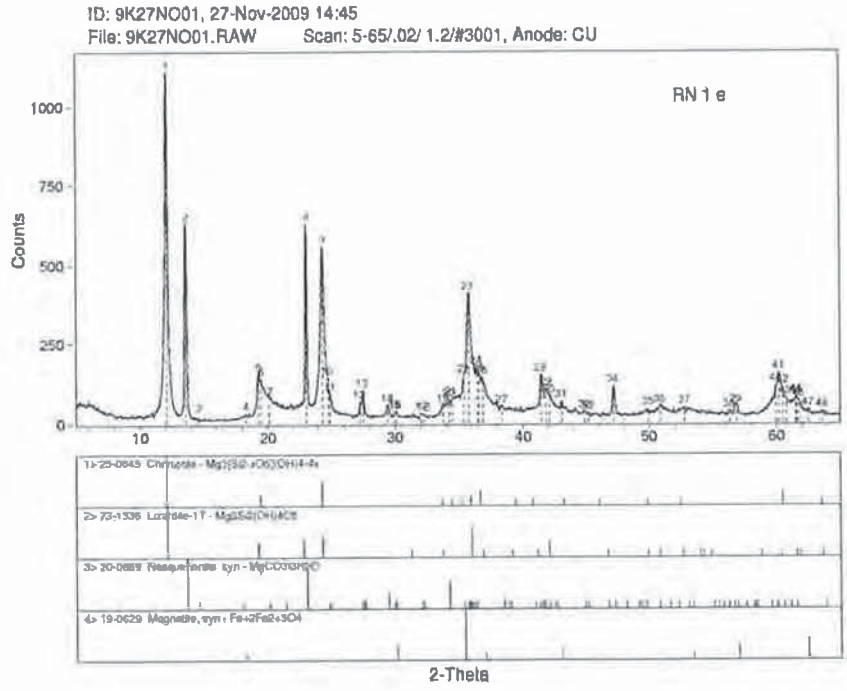
RN1b S184B



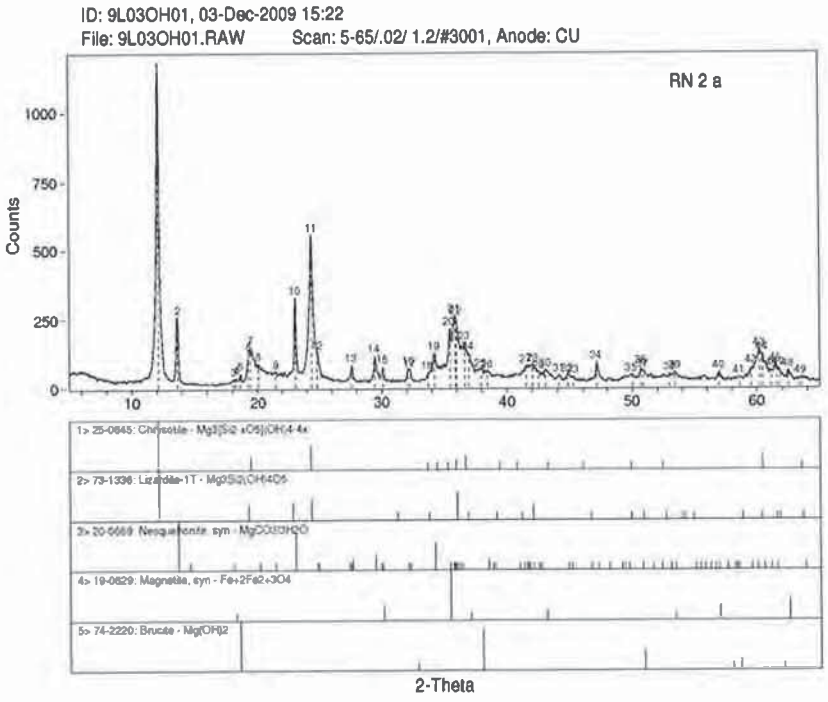
RN1c FT184B



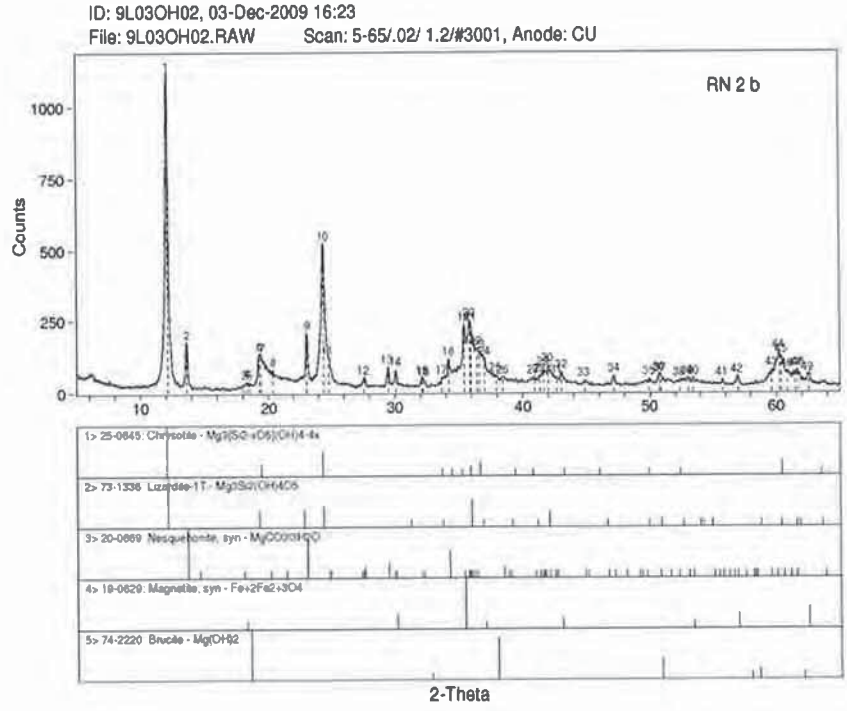
RN1e FT 184B



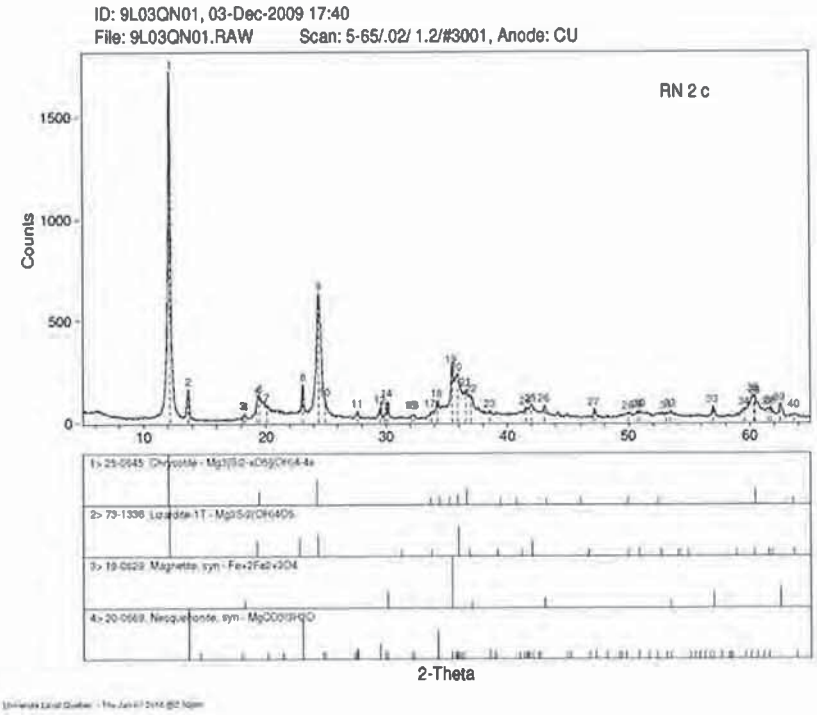
RN2a F184B



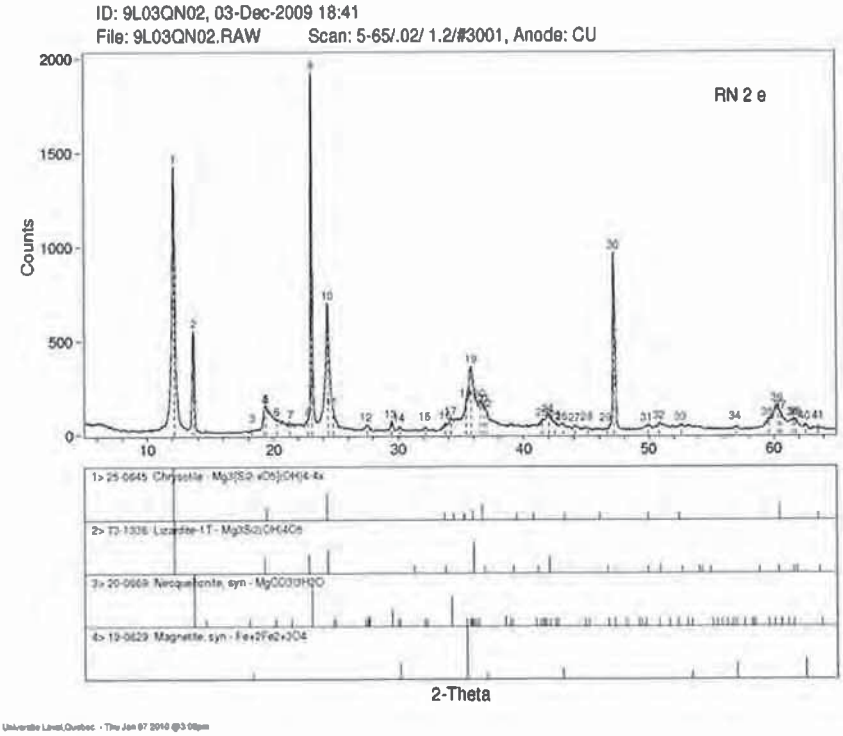
RN2b F184F



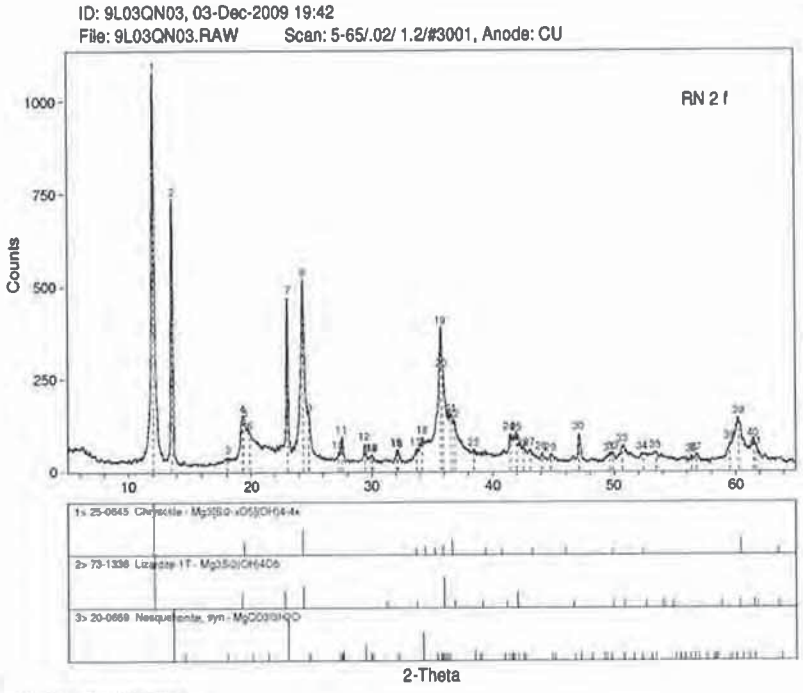
RN2c F184G



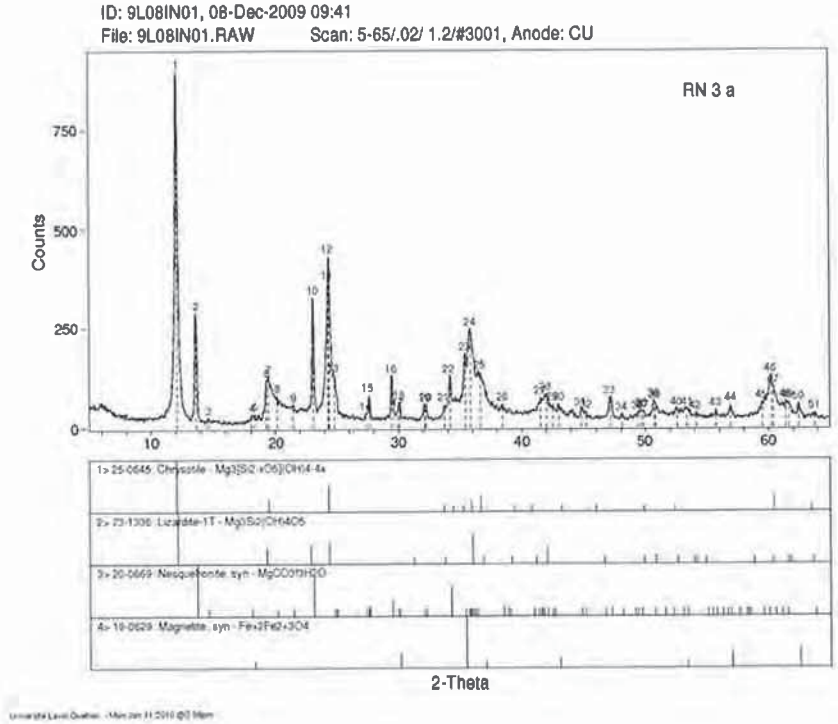
RN2e S184B



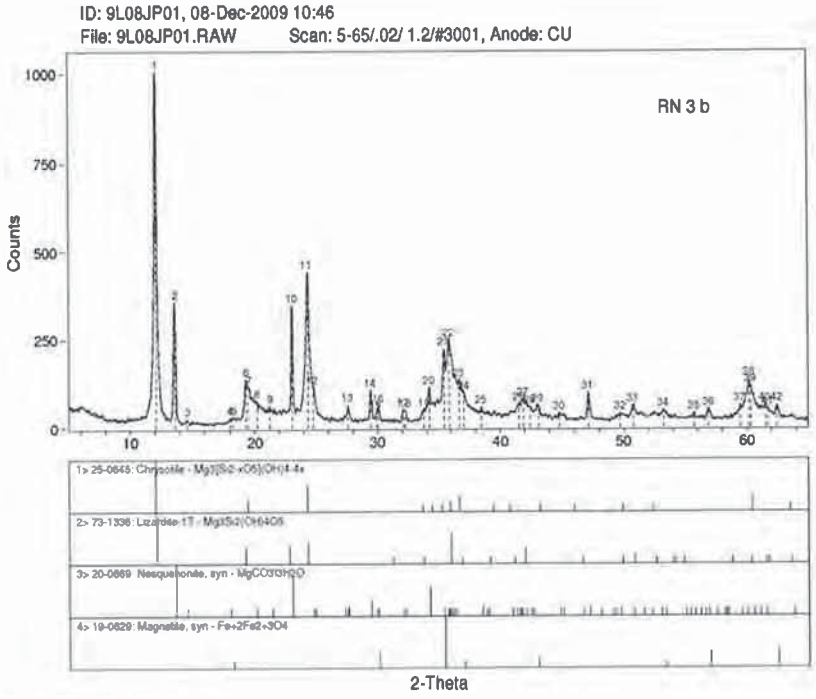
RN2f FT184B



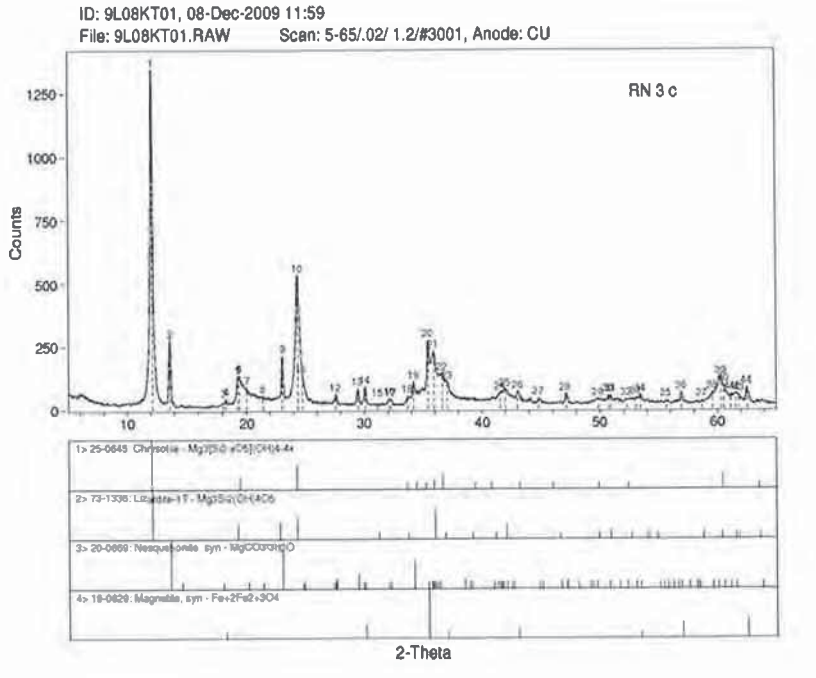
RN3a F184B



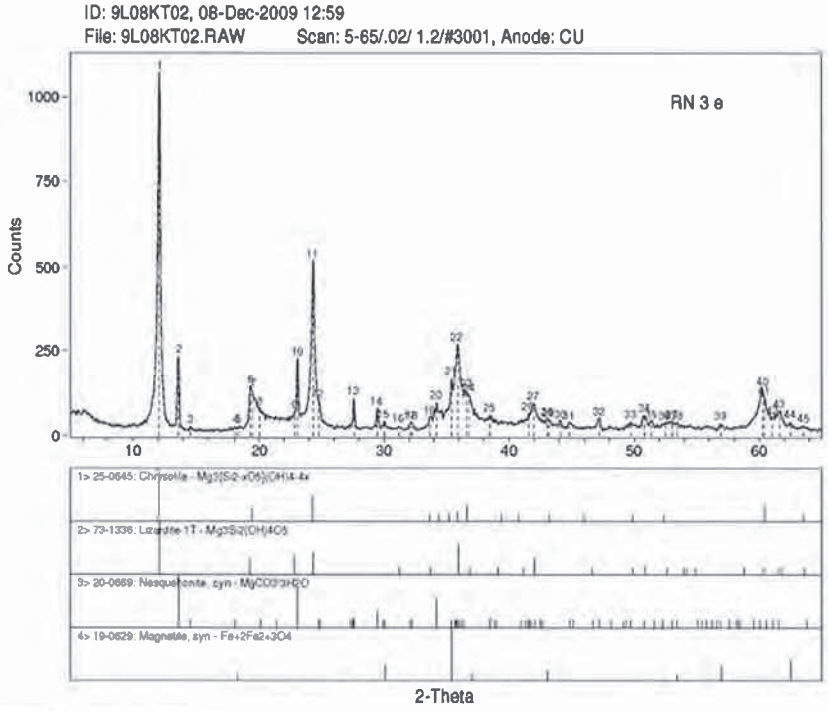
RN3b F84F



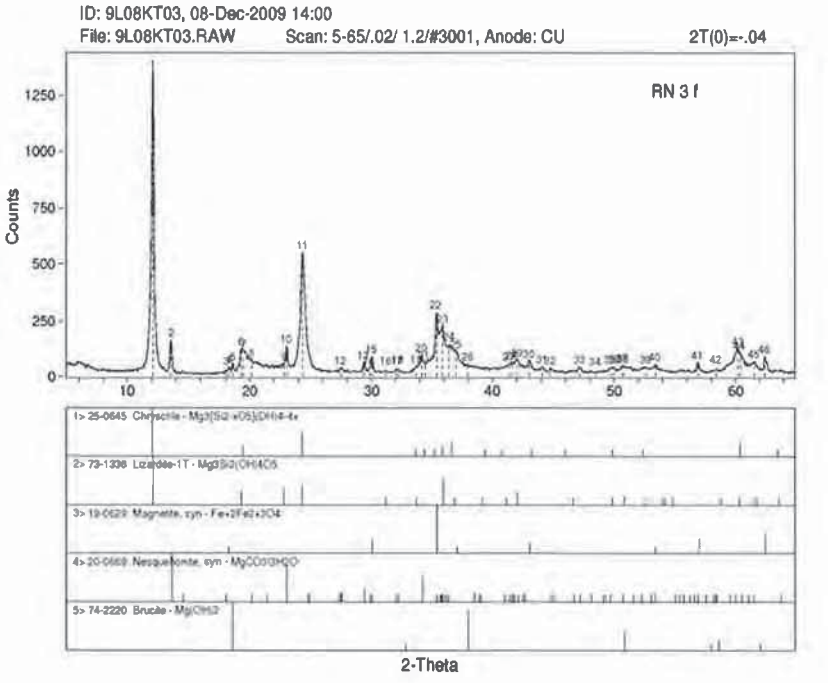
RN3c F184G



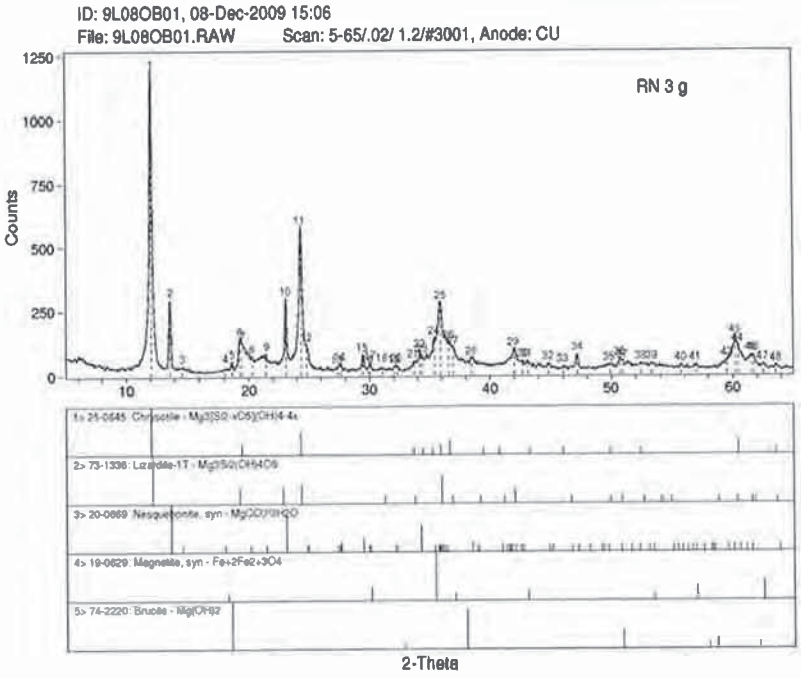
RN3e F197B



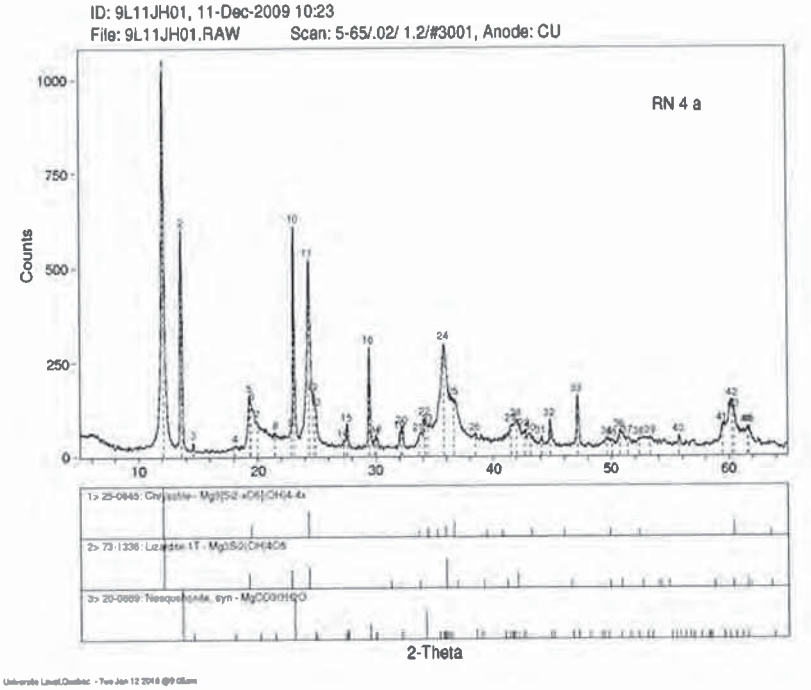
RN3f F184G



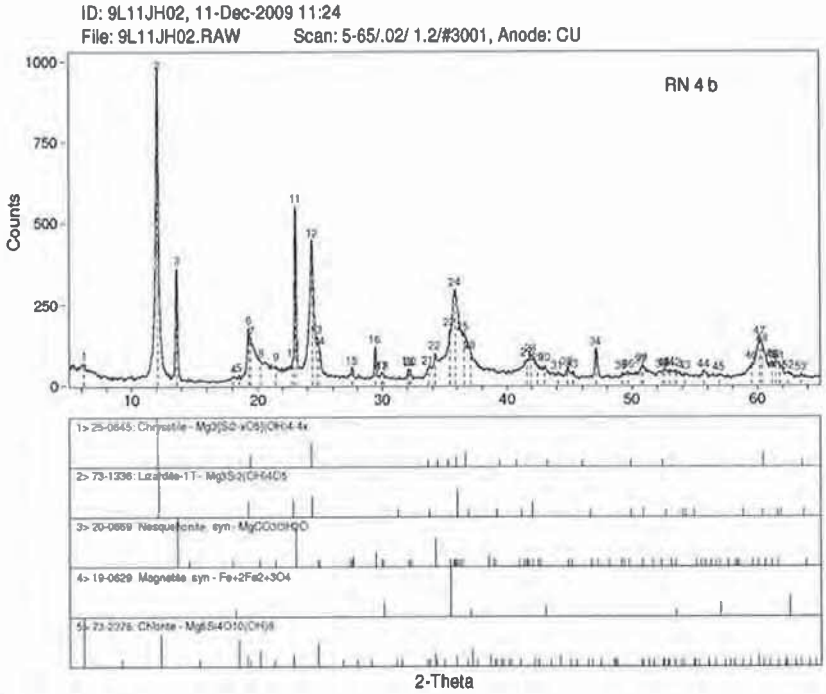
RN3g F197B



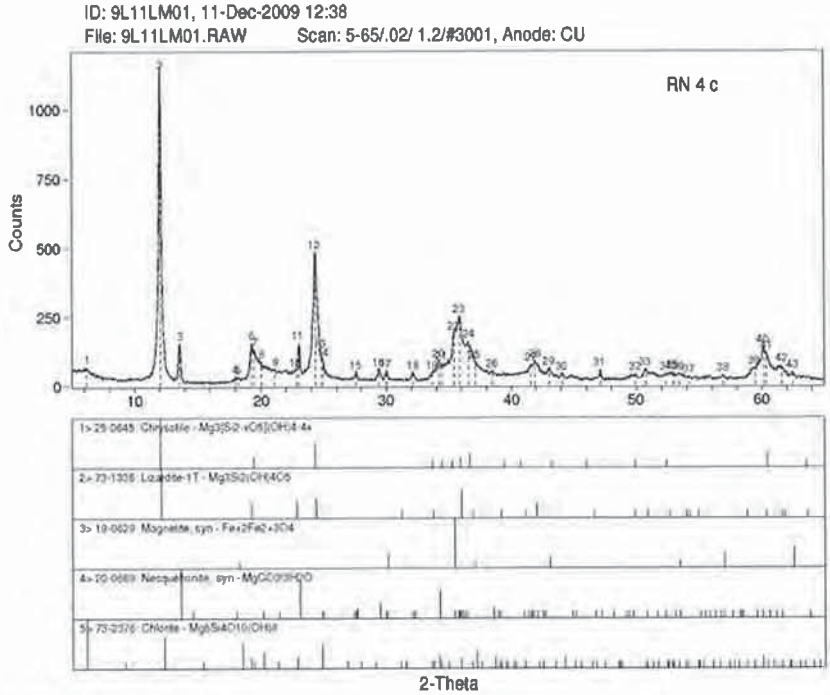
RN4a FT184B



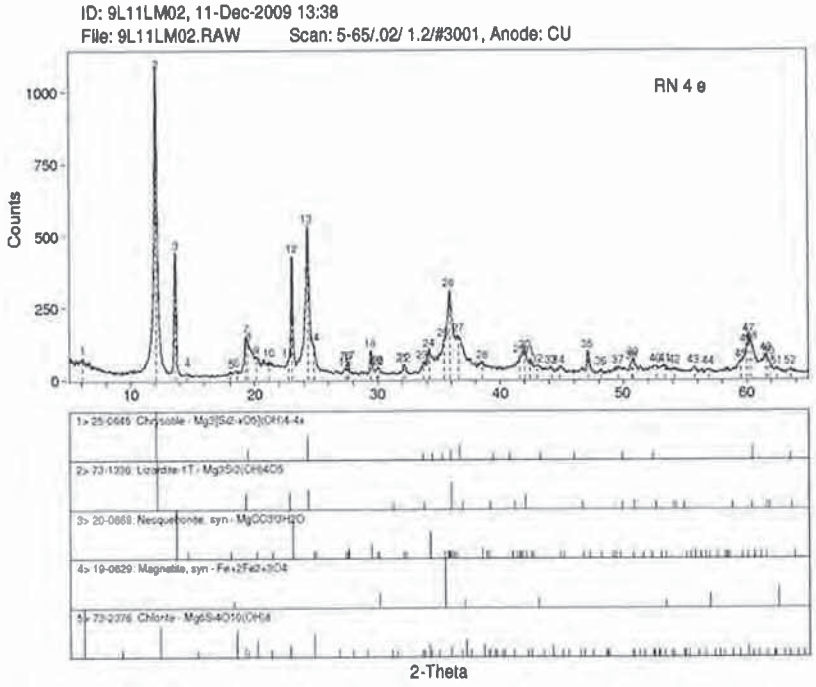
RN4b FT184F



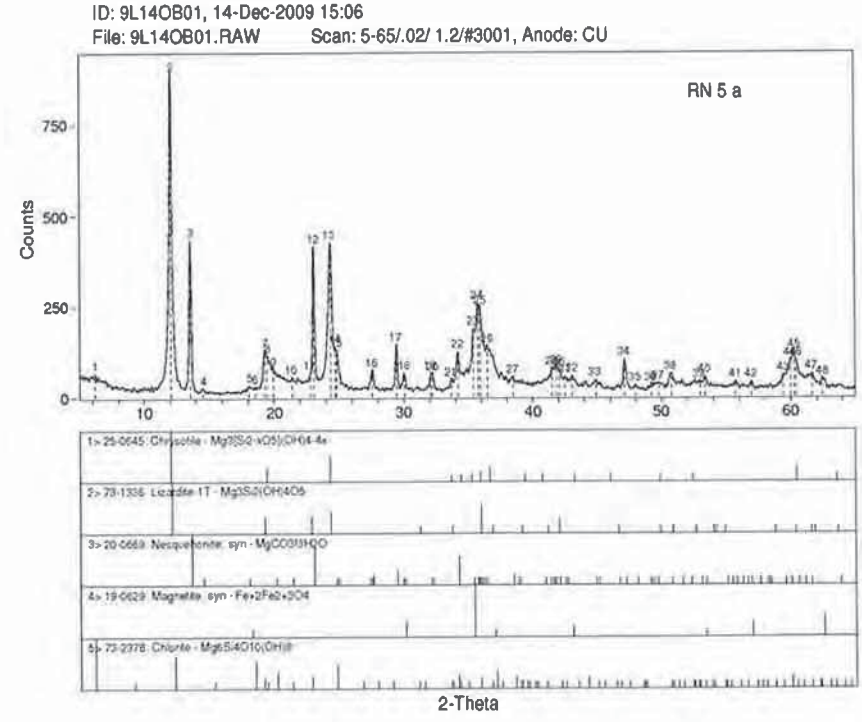
RN4c FT184G



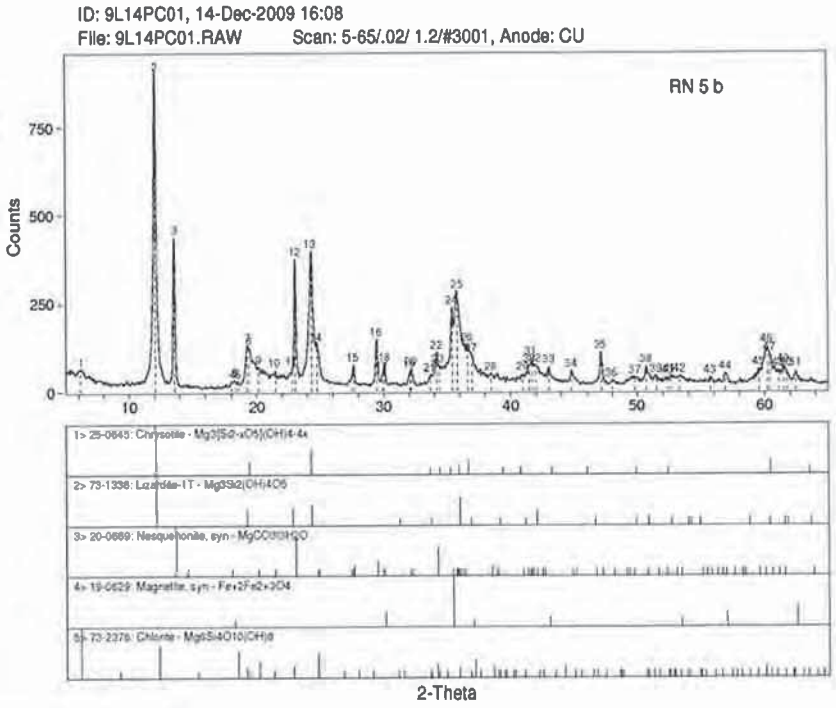
RN4e FT197B



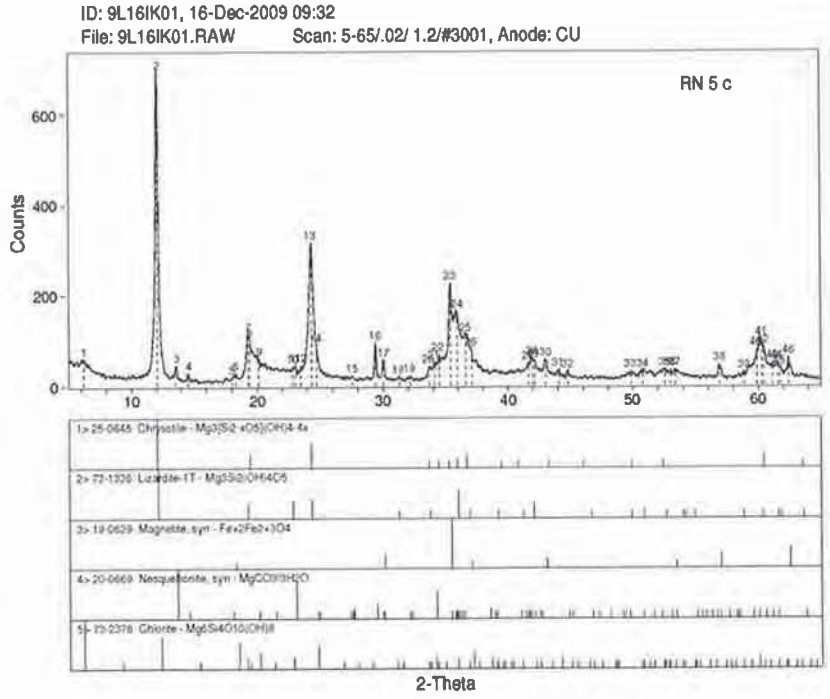
RN5a S184B



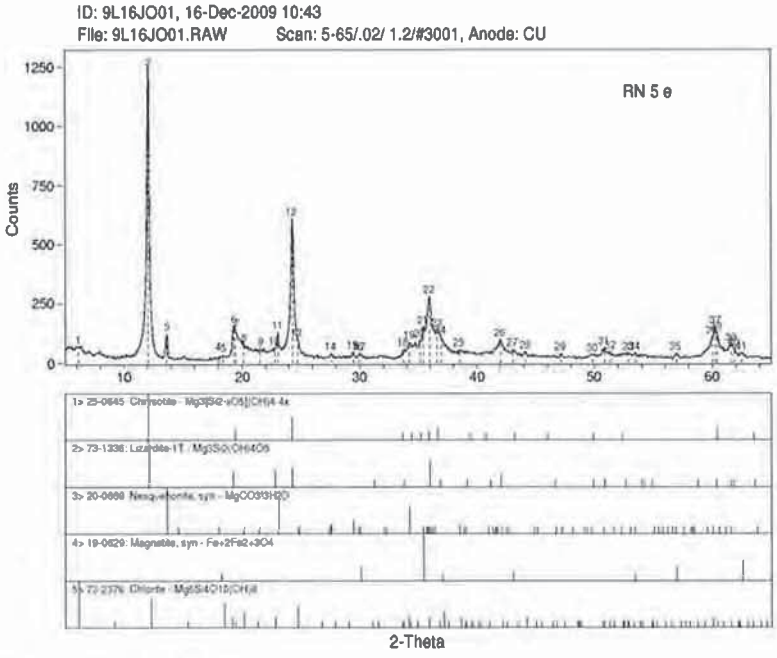
RN5b S184F



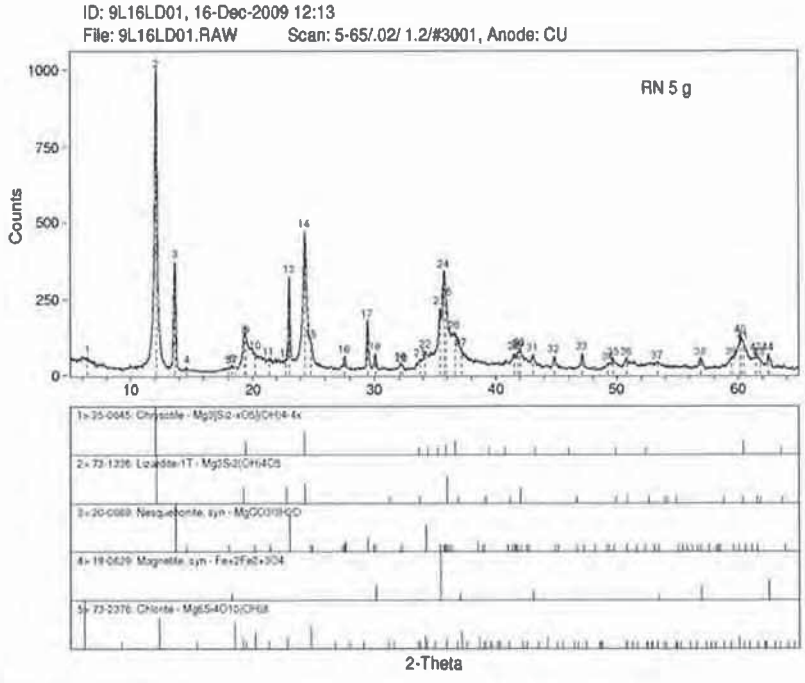
RN5c S184G



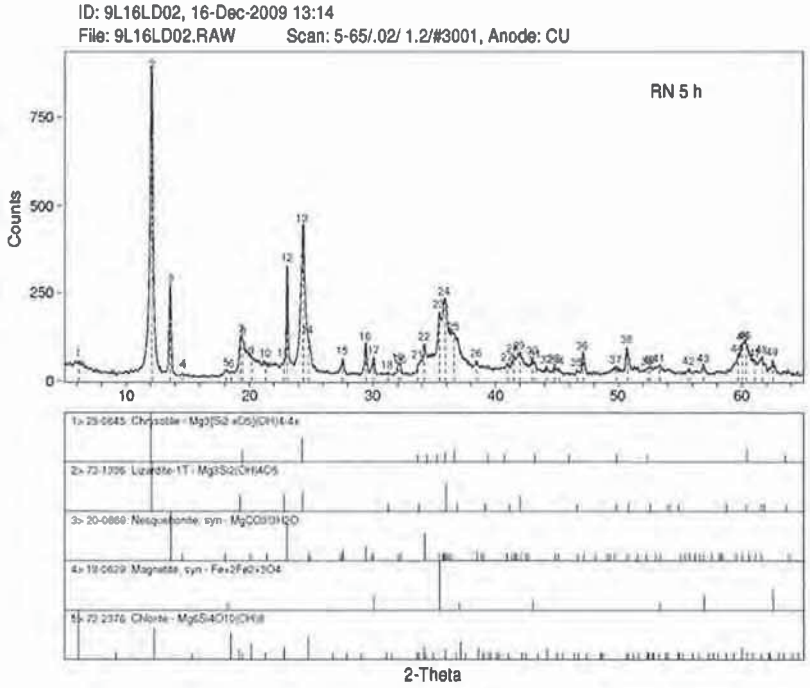
RN5e S197B



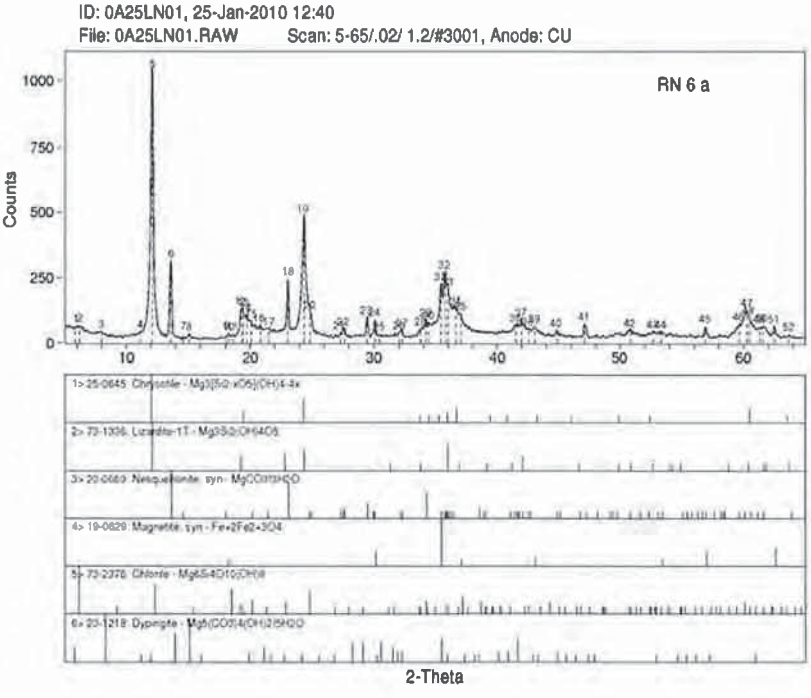
RN5g S184F



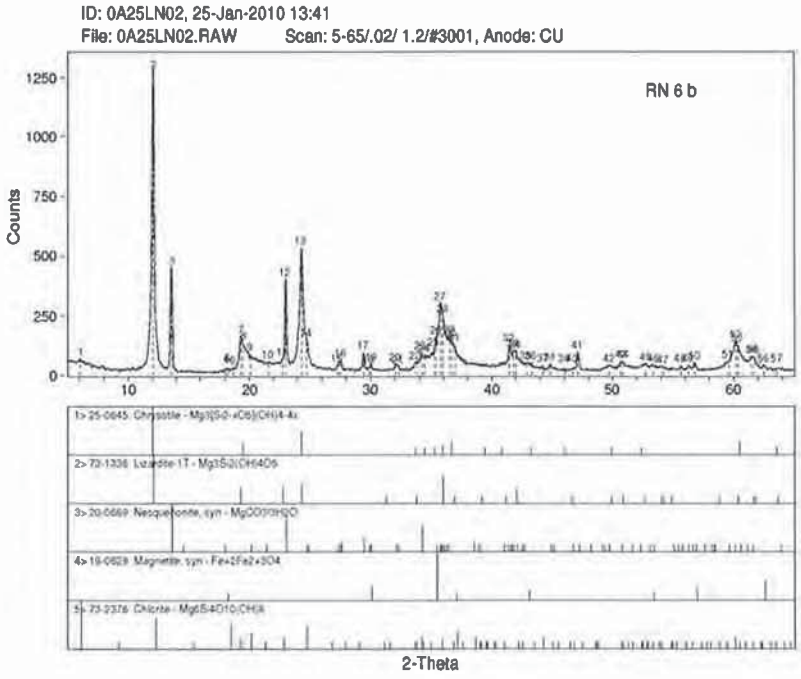
RN5h S184B



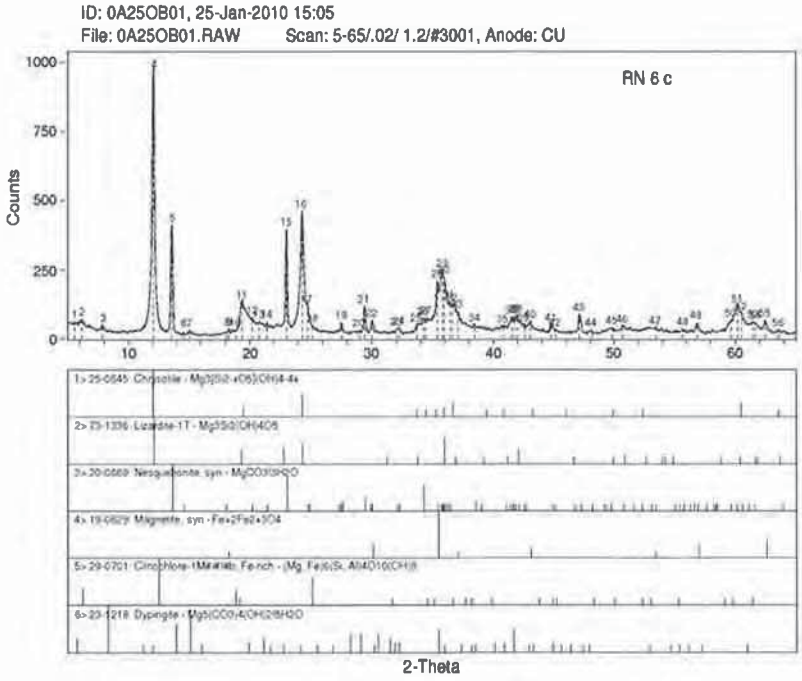
RN6a F184F



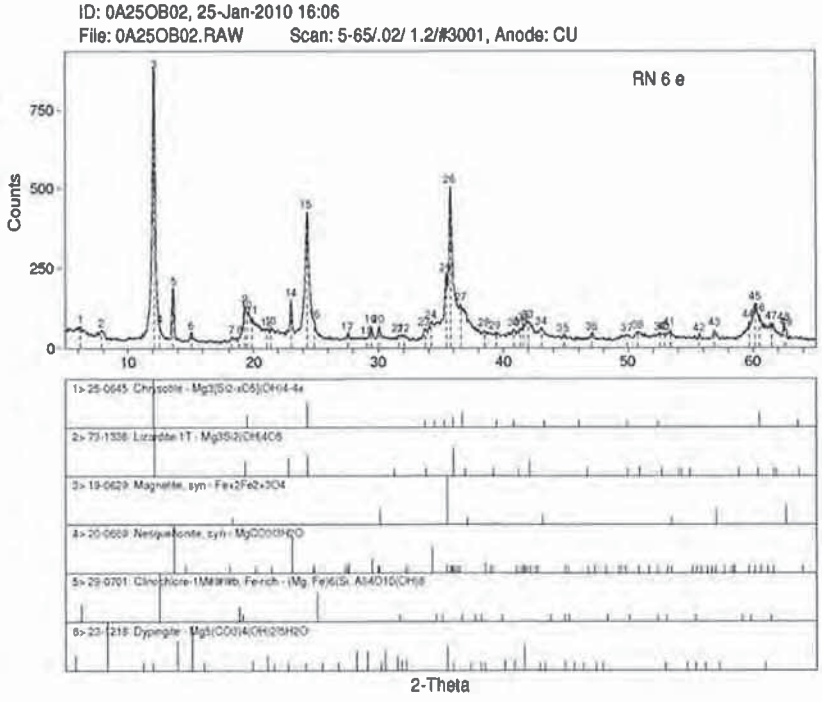
RN6b FT184F



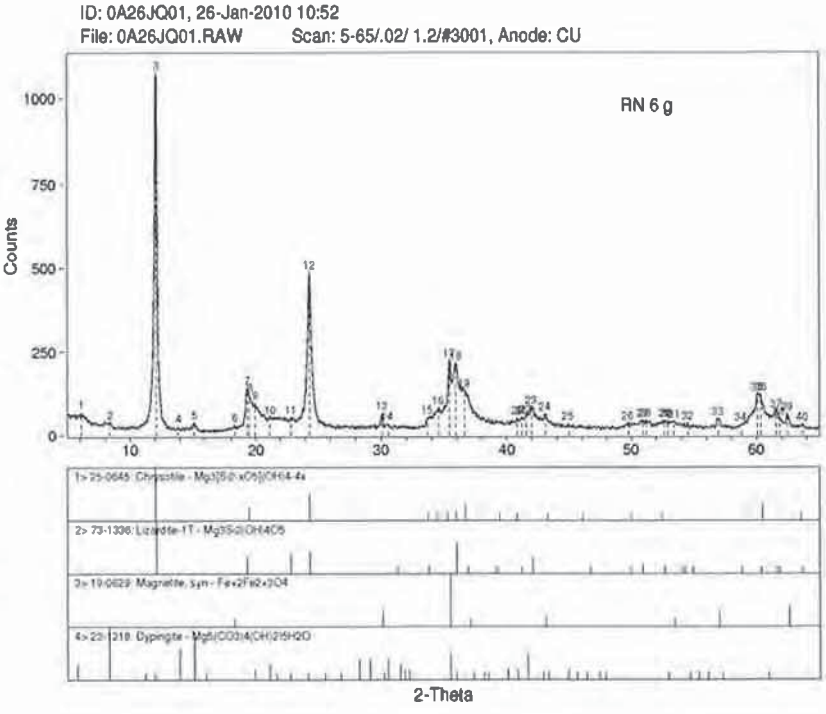
RN6c S184F



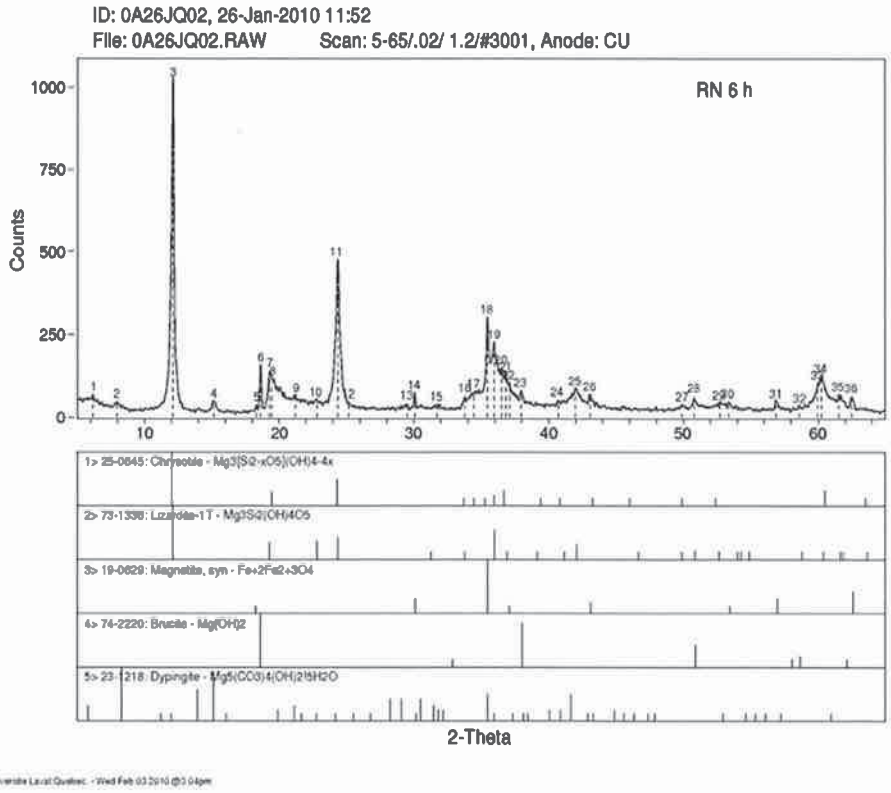
RN6e F184F



RN6g F184F



RN6h F184F


ID: 0A26JQ02, 26-Jan-2010 11:52
File: 0A26JQ02.RAW Scan: 5-65/.02/ 1.2/#3001, Anode: CU
RN 6 h
Counts
2-Theta
1> 25-0645: Chrysotile - Mg3(Si2-xO5)(OH)4-4x
2> 73-1398: Lizardite-1T - Mg3Si2(OH)4O5
3> 19-0629: Magnetite, syn - Fe+2Fe2+3O4
4> 74-2220: Brucite - Mg(OH)2
5> 23-1218: Dypingite - Mg5(CO3)4(OH)2·5H2O

Appendix C

Major elements X-ray fluorescence analysis of uncarbonated samples by Actlabs.

Ideal composition calculated for the pure phases identified in the samples (lizardite and chrysotile = serpentine).

Appendix D

Carbon analysis by Actlabs.

Samples have been analyzed in four groups:

1) Initial material have been sent in triplicate with three standards UB-N for low level carbon analysis. FT and S fractions had been dried under a hood before shipment.
2) Series RN1 to RN5 carbonated in eudiometers have been sent with three standards SY-4 for standard infrared analysis.
3) Samples carbonated in beakers at room conditions have been submitted to low level carbon analysis with standards UB-N and SY-4.
4) Series RN6 carbonated at 33°C has been sent with standard SY-4 for standard analysis.

The laboratory systematically realizes quality controls. Blank measurements are always under the detection limit. One or two samples are also chosen for duplicate analysis.

For additionnal control, standards are added to the series of samples. UB-N is a serpentine provided by the Service d'Analyse des Roches et Minéraux (Nancy, France). SY-4 is a dioritic gneiss provided by Natural Resources Canada.

Reference values for standards.

N.B : $CO_2 = C * 0.27289$

Group 1 – Uncarbonated material (23/12/2009 – folder A09-7160)

Quality control

			Reproducibility	Accuracy

order of analysis	sample name	%C	% C average	% CO_2 average	Relative standard deviation
1	UB-N	0,139	0,135	0,496	0,041
14	UB-N	0,129			
27	UB-N	0,138			
10	F184B	0,091	0,095	0,347	0,037
23	F184B	0,098			
36	F184B	0,095			
11	F184F	0,076	0,078	0,286	0,026
24	F184F	0,080			
37	F184F	0,078			
12	F184G	0,067	0,069	0,253	0,029
25	F184G	0,071			
38	F184G	0,069			
13	F197B	0,134	0,130	0,478	0,025
26	F197B	0,129			
39	F197B	0,128			
6	S184B	0,123	0,126	0,461	0,059
19	S184B	0,134			
32	S184B	0,120			
7	S184F	0,112	0,116	0,424	0,041
20	S184F	0,121			
33	S184F	0,114			
8	S184G	0,114	0,117	0,429	0,037
21	S184G	0,122			
34	S184G	0,115			
9	S197B	0,162	0,175	0,640	0,067
22	S197B	0,177			
35	S197B	0,185			
2	FT184B	0,223	0,224	0,822	0,01
15	FT184B	0,223			
28	FT184B	0,227			
3	FT184F	0,223	0,227	0,832	0,016
16	FT184F	0,230			
29	FT184F	0,228			
4	FT184G	0,218	0,224	0,820	0,030
17	FT184G	0,222			
30	FT184G	0,231			
5	FT197B	0,281	0,283	1,038	0,009
18	FT197B	0,283			
31	FT197B	0,286			

Group 2 – Series carbonated at 20°C (22/12/2009 - folder A09-7347)

Quality control

	% C	% CO_2	Reproducibility % difference max (absolute value)	Accuracy % difference to reference value
Duplicates				
RN2 E Orig	2,00	7,33	2,0	
RN2 E Dup	2,04	7,48		
RN4 B Orig	2,17	7,95	0,9	
RN4 B Dup	2,15	7,88		
Standard				
SY-4	1,10	4,03	1,8	13,1
SY-4	1,08	3,96		12,0
SY-4	1,09	3,99		13,1

Sample analysis

sample type	experiment identification	% C	% CO_2
S184	RN1 a	1,34	4,91
S184B	RN1 b	1,37	5,02
FT184B	RN1 c	2,04	7,48
FT184B	RN1 e	2,13	7,81
F184B	RN2 a	2,08	7,62
F184F	RN2 b	2,35	8,61
F184G	RN2 c	1,42	5,20
S184B	RN2 e	2,02	7,40
FT184B	RN2 f	5,02	18,40
F184B	RN3 a	2,23	8,17
F184F	RN3 b	2,20	8,06
F184G	RN3 c	1,92	7,04
F197B	RN3 e	1,75	6,41
F184G	RN3 f	1,47	5,39
F197B	RN3 g	1,65	6,05
FT184B	RN4 a	1,87	6,85
FT184F	RN4 b	2,16	7,92
FT184G	RN4 c	1,47	5,39
FT197B	RN4 e	1,28	4,69
S184B	RN5 a	1,83	6,71
S184F	RN5 b	1,73	6,34
S184G	RN5 c	1,90	6,96
S197B	RN5 e	1,47	5,39
S184B	RN5 h	1,93	7,07
S184F	RN5 g	1,86	6,82

Group 3 – Samples carbonated at room temperature (29/12/2009 – folder A09-7606)

Quality control

	% C	% CO_2	Reproducibility % difference max (absolute value)	Accuracy % difference to reference value
Duplicates				
SY-4 Orig	1,080	3,958	0,9	
SY-4 Dup	1,070	3,921		
Standards				
UB-N	0,163	0,597	14,1	53,2
UB-N	0,147	0,539		38,1
UB-N	0,140	0,513		31,5
SY-4	1,080	3,958	0,9	13,1
SY-4	1,070	3,921		12,0
SY-4	1,080	3,958		13,1

Sample-1 : not reworked Sample-2 : reworked at each water addition

samples	% C	% CO_2
F184B-1	0,425	1,557
F184B-2	0,494	1,810
F184F-1	0,377	1,382
F184F-2	0,502	1,840
F184G-1	0,363	1,330
F184G-2	0,452	1,656
F197B-1	0,485	1,777
F197B-2	0,559	2,048
FT184B-1	0,504	1,847
FT184B-2	0,560	2,052
FT184F-1	0,521	1,909
FT184F-2	0,563	2,063
FT184G-1	0,528	1,935
FT184G-2	0,470	1,722
FT197B-1	0,536	1,964
FT197B-2	0,589	2,158
S184B-1	0,395	1,447
S184B-2	0,568	2,081
S184F-1	0,454	1,664
S184F-2	0,532	1,950
S184G-1	0,403	1,477
S184G-2	0,456	1,671
S197B-1	0,601	2,202
S197B-2	0,630	2,309

Group 4 - Series RN6 carbonated at 30°C (28/01/2010 – folder 5D-0252)

Quality control

	% C	% CO_2	Reproductibility % difference max (absolute value)	Accuracy % difference to reference value
Duplicates				
RN2 F Orig	5,04	18,47	2,0	
RN2 F Dup	4,94	18,10		
Standards				
SY-4	1,06	3,88	0	11,0
SY-4	1,06	3,88		11,0

Samples analysis

sample type	experiment identification	% C	% CO_2
F84F	RN6 a	1,90	6,96
FT184F	RN6 b	1,84	6,74
S184F	RN6 c	1,87	6,85
F184F	RN6 e	2,04	7,48
F184F	RN6 g	1,16	4,25
F184F	RN6 h	1,53	5,61

Appendix E

Data concerning the process water. Chemical compositions have been obtained by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry at the laboratory Exova (Québec).

Water content of the wet samples.

	wet sample (g)	dry sample (g)	% water
S184B	62,0040	0,6087	99,02
S184F	59,4286	1,8516	96,88
S184G	60,0222	1,9046	96,83
S197B	64,7835	3,7827	94,16
FT184B	55,9581	1,3637	97,56
FT184F	63,5851	2,8587	95,50
FT184G	61,1224	4,4675	92,69
FT197B	65,0153	1,4679	97,74

PH measurements.

	pH
S184B	8,38
S184F	8,80
S184G	9,17
S197B	6,18
FT184B	9,64
FT184F	9,61
FT184G	9,62
FT197B	9,66

Chemical composition of the process waters and distilled waters. The standard analysis and its actual composition are given in the last two columns.

Zn	Zinc	0.05	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.04	0

Appendix F

Synthesis tables for the carbonation experiments in 500 mL eudiometers.

500 mL eudiom.	date of beginning/end	sample name	solid material g	water mL	% water	air mmol	CO2 mmol P	initial CO_2% in gas	final CO_2% in sample	saturation reached	comments
RN1 a	11/28 sept	FT184B	5,4336	15,8534	74	12,47	6,18	33	4,2		submerged
RN1 b	11/28 sept	S184B	3,2338	16,1405	83	16,48	2,31	12	3,1		submerged
RN1 c	11/28 sept	FT184B	4,4515	13,1134	75	12,79	6,42	33	5,2		submerged
RN1 e	11/28 sept	S184B	3,6194	18,0563	83	15,96	2,80	15	3,3		submerged
RN2 a	29 sept/15 oct	F184B	7,3318	3,9941	35	12,18	5,78	32	8,8	x	
RN2b	29 sept/15 oct	F184F	7,7081	3,8603	33	12,37	5,78	32	8,5	x	
RN2 c	29 sept/15 oct	F184G	7,3592	3,9957	35	12,83	5,94	32	6,9	x	
RN2 e	29 sept/15 oct	S184B	1,4833	5,4799	79	12,22	6,18	34	11,3	x	submerged
RN2 f	29 sept/15 oct	FT184B	1,6044	2,3464	59	15,57	2,00	11	7,0	x	submerged
RN3 a	16 oct/2 nov	F184B	1,9401	1,0435	35	10,92	1,55	12	9,4	x	
RN3 b	16 oct/2 nov	F184F	2,0374	0,9282	31	11,25	1,59	12	8,4	x	
RN3 c	16 oct/2 nov	F184G	2,0669	1,0046	33	12,00	1,11	8	6,9	x	
RN3 e	16 oct/2 nov	F197B	2,0521	0,9685	32	11,05	1,43	11	7,0	x	
RN3 f	16 oct/2 nov	F184G	2,0976	0,0000	0	10,86	1,51	12	6,1		initially dry
RN3 g	16 oct/2 nov	F197B	2,1151	0,0000	0	11,17	1,31	11	6,3		initially dry
RN4 a	3/14 nov	FT184B	2,0672	2,2431	52	11,33	1,22	10	8,2	x	
RN4 b	3/14 nov	FT184F	2,1069	2,1903	51	11,38	1,22	10	7,5	x	
RN4 c	3/14 nov	FT184G	3,1668	1,4237	31	12,32	1,22	9	5,2	x	
RN4 e	3/14 nov	FT197B	2,5774	2,1211	45	11,34	1,14	9	6,6	x	
RN4 f	3/12 nov	water	0	10,1943	100	11,06	1,22	10	0,2	x	process w
RN4 g	3/12 nov	water	0	10,1840	100	11,30	1,22	10	0,2	x	distilled w
RN5 a	17 nov/1 dec	S184B	2,0491	2,0661	50	11,61	1,24	10	8,6	x	
RN5 b	17 nov/1 dec	S184F	1,9790	1,9219	49	11,60	1,24	10	8,1	x	
RN5 c	17 nov/1 dec	S184G	1,9935	1,9219	49	12,19	1,28	10	6,5	x	
RN5 e	17 nov/1 dec	S197B	2,0296	2,0931	51	11,48	1,32	10	6,5	x	
RN5 h	17 nov/1 dec	S184B	3,9481	3,9683	50	10,59	1,16	10	9,5	x	
RN5 g	17 nov/1 dec	S184F	4,0374	4,0628	50	11,46	1,24	10	9,5	x	

RN6 a	10 déc/13 jan	F184F	2,0572	1,9047	48	9,89	2,99	23	9,4	x	
RN6 b	10 déc/13 jan	FT184F	2,064	2,1214	51	9,82	3,06	24	6,9	x	
RN6 c	10 déc/13 jan	S184F	2,0794	2,2074	51	10,28	3,06	23	8,3	x	
RN6 e	10 déc/13 jan	F184F	6,0302	2,6965	31	9,71	2,72	22	8,9	x	
RN6 g	10 déc/13 jan	F184F	2,075	23,5337	92	8,33	3,56	30	12,6	x	submerged

ANNEXE II

Final report on Identification and Quantification of Chrysotile using Differential Thermal Analysis

xstrata
process support

Tel +1 705 699 3400
Fax +1 705 699 3431
Email abarnes@xstrataps.ca
Web www.myxps.ca

Address Xstrata Process Support
6 Edison Road
Falconbridge, ON
Canada

Date 21st January 2013
Address

Michelle Sciortino
Royal Nickel Corp
220 Bay St, Suite 1200
Toronto , ON M5J 2W4

Your Ref TGA Chrysotile
Our Ref 3012808.00

Dear Michelle,

Please find enclosed a copy of the XPS report titled "Final Report of Identification and Quantification of Chrysotile using Differential Thermal Analysis", dated January 21st, 2013.

If you have any questions please do not hesitate to contact Arthur Barnes who is your primary XPS contact for this project.

Yours

Arthur Barnes
Principal Consultant
Extractive Metallurgy
abarnes@xstrataps.ca
+1 705 699 3400 x3483

Sandra Kuula
Technologist
Extractive Metallurgy
skuula@strataps.ca
+1 705 699 3400 x3426

xstrata
process support

Final report on Identification and Quantification of Chrysotile using Differential Thermal Analysis

Finals Report (Phase Ib)

Prepared For: **Royal Nickel.**
Michelle Sciorontino

CC:

Revision	Draft
Project Number	3012811.00
Submitted on:	Monday, 21 January 2013

XPS – extractive metallurgy





Summary

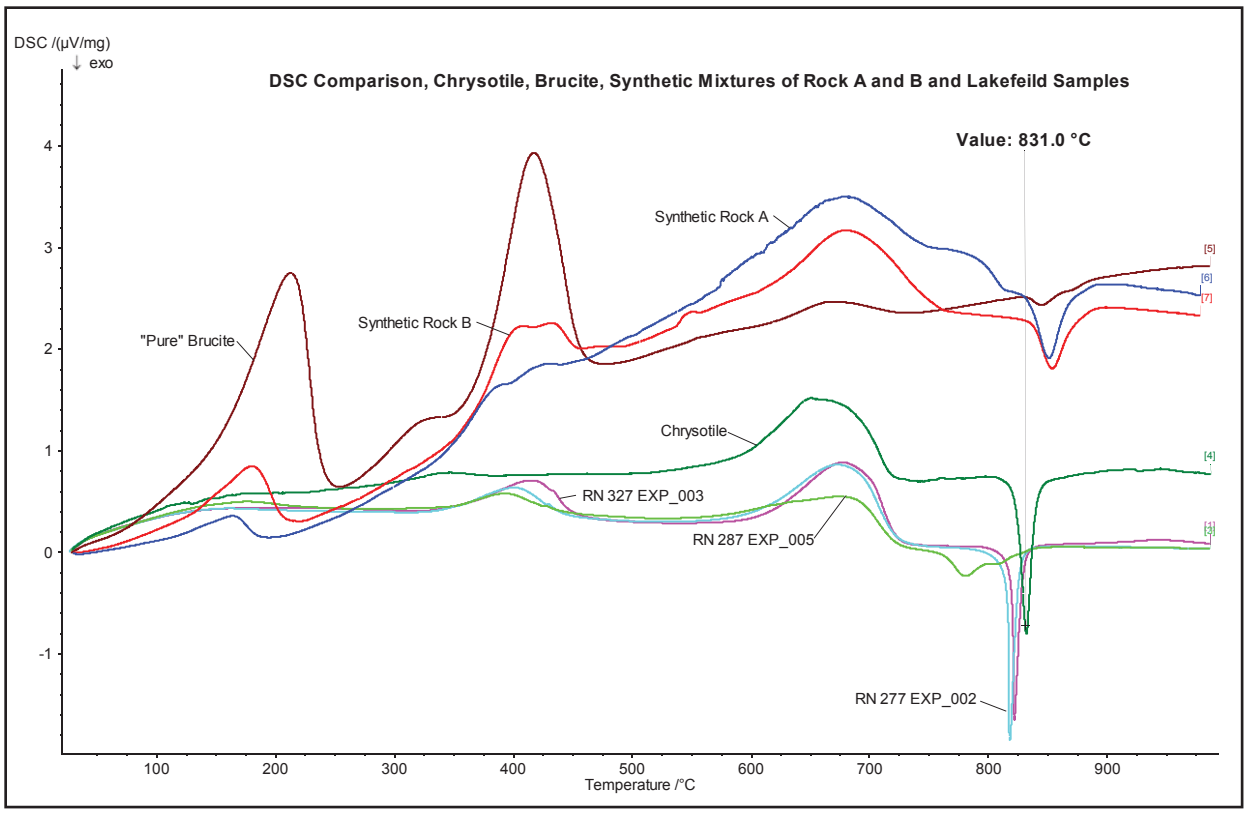
This report covers the findings of the thermal analysis work performed in attempting to use DTA techniques to quantify the amount of clino-chrysotile in Royal Nickel ores. The initial concept was based on a paper indicating that DTA could be used to distinguish clino-chrysotile from other serpentine minerals (antigorite and lizardite).

Initially a sample of pure clino-chrysotile was procured by XPS' mineralogy group, and subjected to Thermal Analysis. Characteristic peaks associated with thermal transformations were obtained, consistent with theoretical expectations. Dilution of the chrysotile with alumina permitted the production of 10% and 50% chrysotile reference samples, following the technique developed in the published paper..

However, when three samples of micronized ore from Royal Nickel were similarly subjected to the same thermal analysis conditions as the reference samples, the results were very discouraging, as the DTA traces showed either well over 100% chrysotile present (clearly impossible) or that other extremely hydrated species were present. At this stage it was concluded that while the technique demonstrated promise in that a sample of alumina spiked with10% chrysotile clearly showed the presence of chrysotile at that level, the client samples contained very large amounts of, at the time, unidentified hydrated minerals which resulted in much larger mass changes and water evolution than anticipated. As a result of this unexpected result, phase 2 (quantification of the amount of chrysotile present in RN ore) was deferred until the minerals causing the large amounts of water evolution could be identified.

X-ray diffraction analysis indicated that substantial quantities of brucite and coalingite were present in the RN ore, in addition to lizardite and antigorite. XPS's Mineral Science department embarked on a search of their mineral specimen supply network to obtain pure reference samples of these minerals. After many frustrating attempts and frequent deliveries of mis-identified specimens, samples of supposedly relatively pure brucite, coalingite, antigorite and lizardite were obtained, and characteristic DTA traces for each of these minerals was obtained.

Comparison of these "pure" samples with the traces from the RN ores showed very poor correlations of reactions with temperature, and it was hypothesised that the presence of active MgO (from brucite de-hydration) resulted in a shift of reaction temperatures due to a secondary recrystallisation reaction occurring with the freshly hydrated Mg- silicate. To confirm this hypothesis, synthetic mixtures of "brucite" and chrysotile were blended in the proportions apparently present in RN ore. The mixtures were subjected to DTA analysis and the traces compared with those obtained for the ores. The results, while reasonably similar, were not sufficiently close to the natural traces to be able to predict the mineral composition with any degree of certainty.



An attempt was made at quantifying the total low Fe serpentine content of the samples submitted, and these results are shown compared with the mineralogical assessments made.

Estimated Mineralogy of Royal Nickel samples examined

Sample	Mineralogy Serpentine %	Thermal Serpentine %	Mineral Brucite %	Thermal Brucite %	High Fe Serp %	Hi Fe Serp Thermal %	Other Mineralogy %	Other Thermal %
Sample 002	89	82	3	11	4	4	3	3
Sample 003	69	63	2	11	9	9	17	17
Sample 005	81	75	6	13	5	5	7	7
Rock A	64	24	16	30	1	30	17	17
Rock B	48	35	43	43	4	21	4	4

The study did confirm that in every case examined, the thermal analysis resulted in an increase in the estimate of the amount of brucite/ coalingite present and an appropriate downward adjustment in the amount of asbestiform mineral present

It was concluded that the extremely complex nature of the RN ores prevented simple quantification of the chrysotile content as originally envisaged and that phase 2 (the "routine" analysis of ores by TGA) should not proceed, especially given the inability to discriminate between lizardite and chrysotile, and the absence of a suitable brucite reference standard.

It is recommended that before further work continues, pure reference samples be acquired.



Table of Contents

Summary i
Introduction 1
Testwork Summary 2
1.0 Background 2
2.0 Methodology 2
2.1 Thermal Analysis 2
2.2 Thermo Gravimetric Analysis (TGA) 3
2.3 TGA with Mass Spectrometry (TGA-MS) 3
2.4 TGA/ MS with Differential scanning Calorimetry / Differential Thermal Analysis (DSC/ DTA) 3
2.5 Phase 1: Technique development 5
3 Results 7
3.1 Pure Chrysotile Reference Sample 7
3.1.1 Quantitative Confirmation 7
3.2 Client specimens 9
3.3 Other reference samples 12
3.4 Royal Nickel Rock A and B samples 20
3.5 SEM Identification of Minerals 24
3.5 Synthetic Mixtures 24
Discussion 27
Conclusions 31
Recommendations 32

Introduction

Royal Nickel are the owners of the Dumont Nickel Project, a large, low grade nickel deposit in Western Quebec. The ore body is highly serpentinised and contains a substantial amount of asbestiform fibres tentatively identified as clino-chrysotile (white asbestos). (Termed simply chrysotile from here on in this report). The presence of Chrysotile raises health concerns as it has historically been associated with respiratory diseases like asbestosis. Following extensive mineralogical investigations, attempts to quantify the amount of chrysotile present in the ore by conventional mineralogical techniques had proven unsuccessful. An article published in 2011 showed that Spanish investigators had successfully distinguished chrysotile from the serpentine minerals antigorite and lizardite and had successfully quantified the amount of chrysotile present in the ores by means of differential thermal analysis. (DTA)

Because the Extractive Metallurgy (EM) group at Xstrata Process Support (XPS) had extensive experience in the use of DTA for a variety of extractive metallurgy applications, and possessed a state-of-the-art Netsch Differential Scanning Calorimeter coupled to a Mass Spectrometer, the Mineral Science (MS) group of XPS suggested the client request some exploratory work from EM using the published method.

Following a review of the Spanish work, the EM group were confident that the technique was sound and that the same technique could be adopted for the Royal Nickel ore.

A diligent search by XPS's mineralogists resulted in obtaining a pure sample of chrysotile and the first stage of the investigation commenced. DTA traces of the pure chrysotile were produced, and diluted samples showed good correlations between peak intensities and concentration of chrysotile. An interim report was issued on 15 August 2012 covering the results to date and suggesting the route for the next phase of the investigation.

This report includes information from the progress report as well as the subsequent results on minerals other than chrysotile

Testwork Summary

1.0 Background

The process of weathering of igneous rocks results in the conversion of the original alumino-silicate minerals into a variety of oxidised and hydrated alumino-silicates including clays, talcs, and serpentines, ranging from bauxite (aluminium hydroxide)and kaolinite (fireclay) to a large number of chemically similar, but mineralogically distinctive silicates, including those with a needle-like fibrous habit ("Asbestiform"- the term used for crystals which have a large length to diameter ratio). One of the common asbestiform minerals is chrysotile or white asbestos, which was a very popular material for thermal insulation for many years until it was clearly linked to a variety of respiratory diseases, and subsequently fell into disuse.

The presence of asbestos in an ore gives cause for concern with respect to the health of workers involved in ore processing, and places stringent reporting requirements on the owner. A clear difficulty arises however, in that many other minerals have a similar asbestiform appearance, but are not designated substances, including lizardite and antigorite, which have a similar habit and almost identical chemistry.

Sophisticated mineralogical techniques like electron probe micro analysis (EPMA) are unable to distinguish between the various asbestiform minerals because they have very similar bulk chemistries , in that the Si-Mg ratios are almost identical, by virtue of their origin, and they only differ in the amount of hydration, and X-ray techniques are unable to detect hydrogen and oxygen with sufficient accuracy. X-ray diffraction can distinguish clearly between various minerals, because it is based on the unique crystal structure, but it is not sufficiently sensitive to permit quantification of a few percent chrysotile in ore.

Differential Thermal Analysis is based on a completely different approach, and in essence used the hydration differences to distinguish between various minerals. The technique is explained in more detail in the following section.

2.0 Methodology

2.1 Thermal Analysis

Since Thermal Analysis, of which Differential Thermal Analysis (also known by the alternative name of Differential scanning Calorimetry) is a sub set, some background on the various modes and typical equipment used for Thermal Analysis are given below.

Thermal Analysis is a frequently applied technique in those fields where the physical and chemical changes taking place as a result of thermal modification are important, and covers a wide field from characterisation of waxes to evaluation of heats of reaction during ore extraction. Because of the value of this technique to extractive metallurgy and chemical engineering in particular, the technique has been in use by XPS and its predecessors

Falconbridge Technology Centre and Noranda Technology Centre for many years, using state-of-the art equipment throughout.

Since every physical and chemical change taking place in a material is associated with some or other energy change, the technique at heart makes use of this principal to characterise the changes in the form of temperature, mass or energy differences. Typical transformations that are routinely monitored include- melting and solidification, recrystallisation, calcination, dehydration, phase transformations and all chemical reactions.

2.2 Thermo Gravimetric Analysis (TGA)

The most common application of thermal analysis is Thermogravimetric Analysis (TGA), and as the name suggests it uses the mass changes associated with chemical reactions to quantify not only the mass change associated with a given reaction, but also the temperatures at which the reactions commence and cease. The test normally involves heating a known mass of the substance to be examined, loaded on a micro-balance and enclosed in the heater in a controlled atmosphere and heated at a controlled rate. As chemical reactions occur between the sample and the atmosphere, the sample mass changes and this is recorded by the balance.
.

2.3 TGA with Mass Spectrometry (TGA-MS)

A popular refinement of basic TGA is to couple the system to a mass spectrometer (MS) in order to identify the gaseous product associated with the chemical reaction taking place within the furnace enclosure.

2.4 TGA/ MS with Differential scanning Calorimetry / Differential Thermal Analysis (DSC/ DTA)

The most comprehensive form of thermal analysis (and also the most delicate to perform) TGA/ DTA (Differential Thermal Analysis)/MS or TGA/DSC (Differential Scanning Calorimetry)/MS utilises both the sample to be tested and an inert reference sample, both of which are mounted on the balance and enclosed in the furnace. Similarly to TGA-MS, the samples are heated at a controlled rate, and mass changes and gaseous product evolution are monitored, but in addition, sensitive thermocouples connected to each of the samples measure small differences in heat content between the sample undergoing testing and the reference sample, and the differential in temperature associated with these minute temperature changes are recorded as a differential temperature between the two materials. With careful monitoring of these differences, actual calorimetric measurements associated with specific changes can be measured.

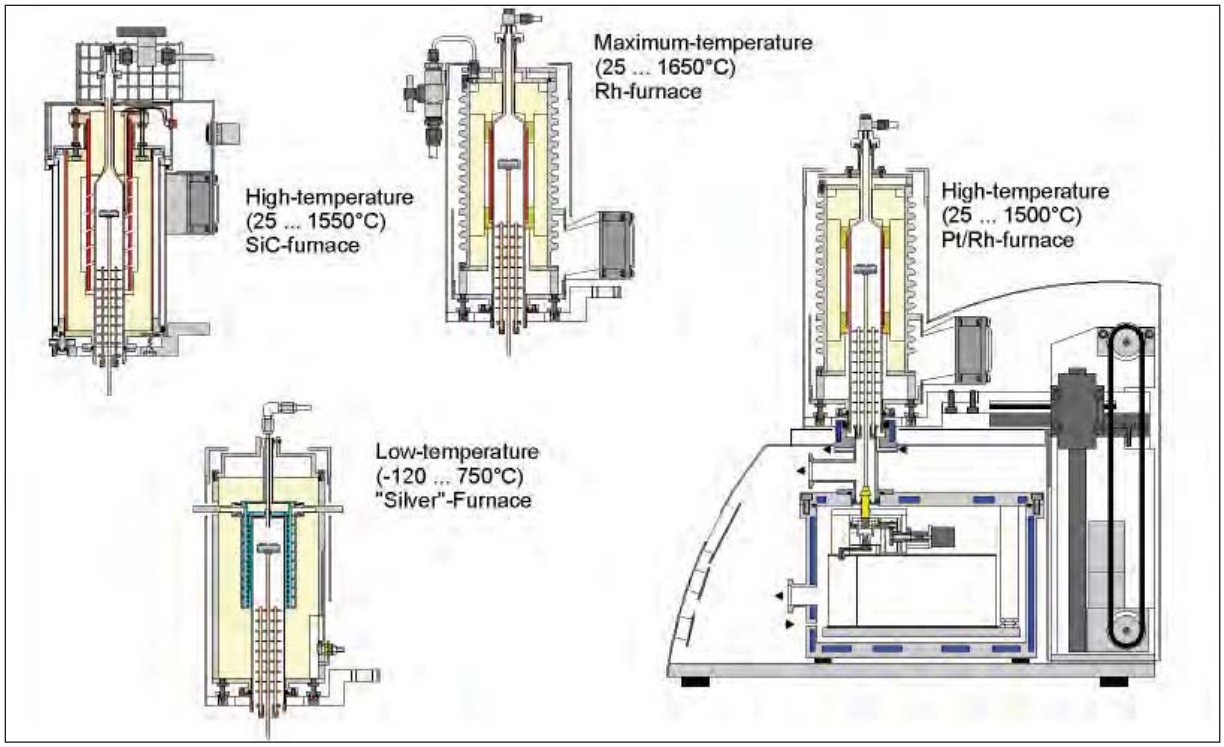


Figure 1: Various Thermal Analysis configurations

Figure 1 above shows the conceptual differences in the various modes of operation.



Figure 2: The Netzsch Jupiter STA 449C Thermal Analyser (open position) and the Netzsch Aeolos 403C Mass Spectrometer.

Figure 2 above shows the Netzsch combination TGA/DTA/MS apparatus in use at XPS, without its associated support equipment (vacuum pumps and furnace controllers).

2.5 Phase 1: Technique development

Based on provisional information provided by Royal Nickel, the focus of this first phase of work was on developing a reliable technique to quantify the amount of chrysotile present in a serpentinised rock. The expected range of chrysotile content was up to 10%.

Chrysotile, in its pure form is an asbestiform hydrated magnesium silicate, with a theoretical composition $Mg_4(Si_2O_5(OH)_4$ which on heating will undergo dehydration to initially form $Mg_3Si_2O_7$ and $2H_2O$ with an associated mass loss of 36/277.1 or around 13.0%. The dehydration and simultaneous restructuring of the asbestos into a meta-stable silicate will produce a distinctive mass loss peak, a water peak and an endothermic energy peak. Further heating will lead to the ultimate conversion of the magnesium silicate into forsterite and silica, but with no mass change or gas product detected, only a modest energy peak.

A rock sample with 10% chrysotile will be expected to show a mass loss of 1.3% during heating, (assuming no other hydrated minerals are present!) while a sample with only 1% chrysotile will be expected to show a mass change of 0.13% and a water peak on the MS of $1/10^{th}$ the intensity of the higher concentration sample. Since the dehydration reaction is not in essence a chemical reaction so much as a thermal transformation, the peak heights and intensities will not be influenced by the carrier gas, and a gas appropriate for avoiding fragments close to the molecular mass of water (MM=18) can be selected.

Using the Thermal Analysis equipment in combination TGA/DSC/MS mode, XPS believed that with 4 samples, sufficient "proof of concept" work on the technique could be performed to allow the client to make an informed decision as to whether the technique developed satisfactorily provides a sufficiently accurate estimate of the percentage of chrysotile present in the sample.

The method was therefore designed to follow the method outlined by Viti et al[(1)], whose DTA outputs are shown in figure 3 below.

It was noted in their paper that the method proved more reliable for Chrysotile in Lizardite than for Chrysotile in Antigorite. No other hydrated minerals were noted as being present in ther paper. At this stage of the XPS investigation the proportion of serpentine minerals and their relative abundance were unknown in the Royal Nickel ores, although it was noted that beside serpentinite, dunite and brucite were also present.

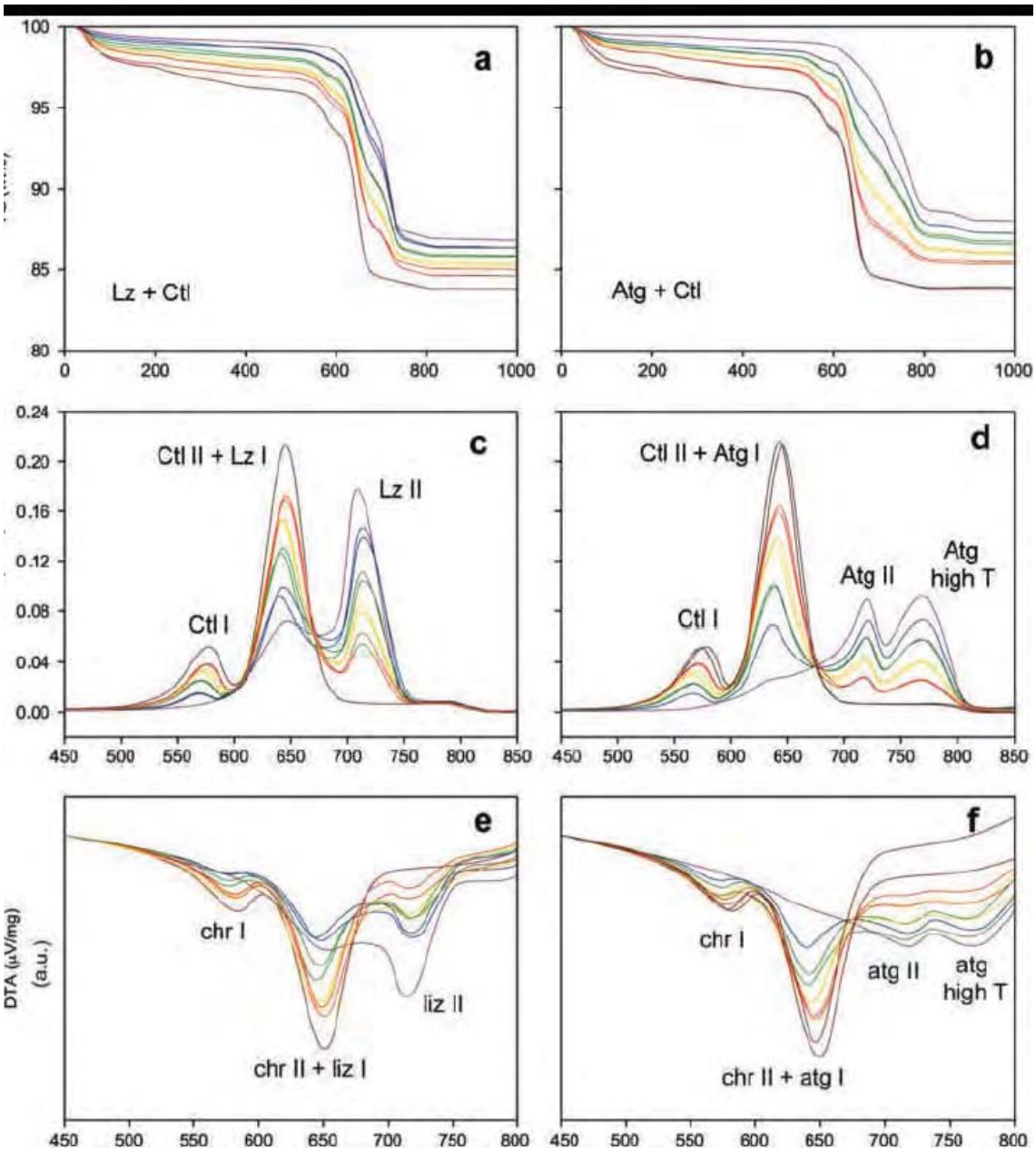


Figure 3: TGA/ DTA results obtained by Viti et al.[1]

Note that the supposedly "pure" chrysotile in these figures shows in the top 2 (a and b) figures a total mass loss of almost 17% (4% more than the theoretical, and that almost 4% mass loss is noted below 500°C. (refer to the lower, dark brown curve in both figures.) In c and d this lower temperature portion of the mass loss is not displayed.

3 Results

3.1 Pure Chrysotile Reference Sample

3.1.1 Quantitative Confirmation

In order to establish the relative accuracy of the technique, XPS obtained a sample of pure chrysotile. Confirmation of its purity was obtained by X-ray diffraction. The XRD trace is given in figure 4 below. The specimen obtained is clearly of very high purity. The significance of this will be referred to in more detail in the discussion.

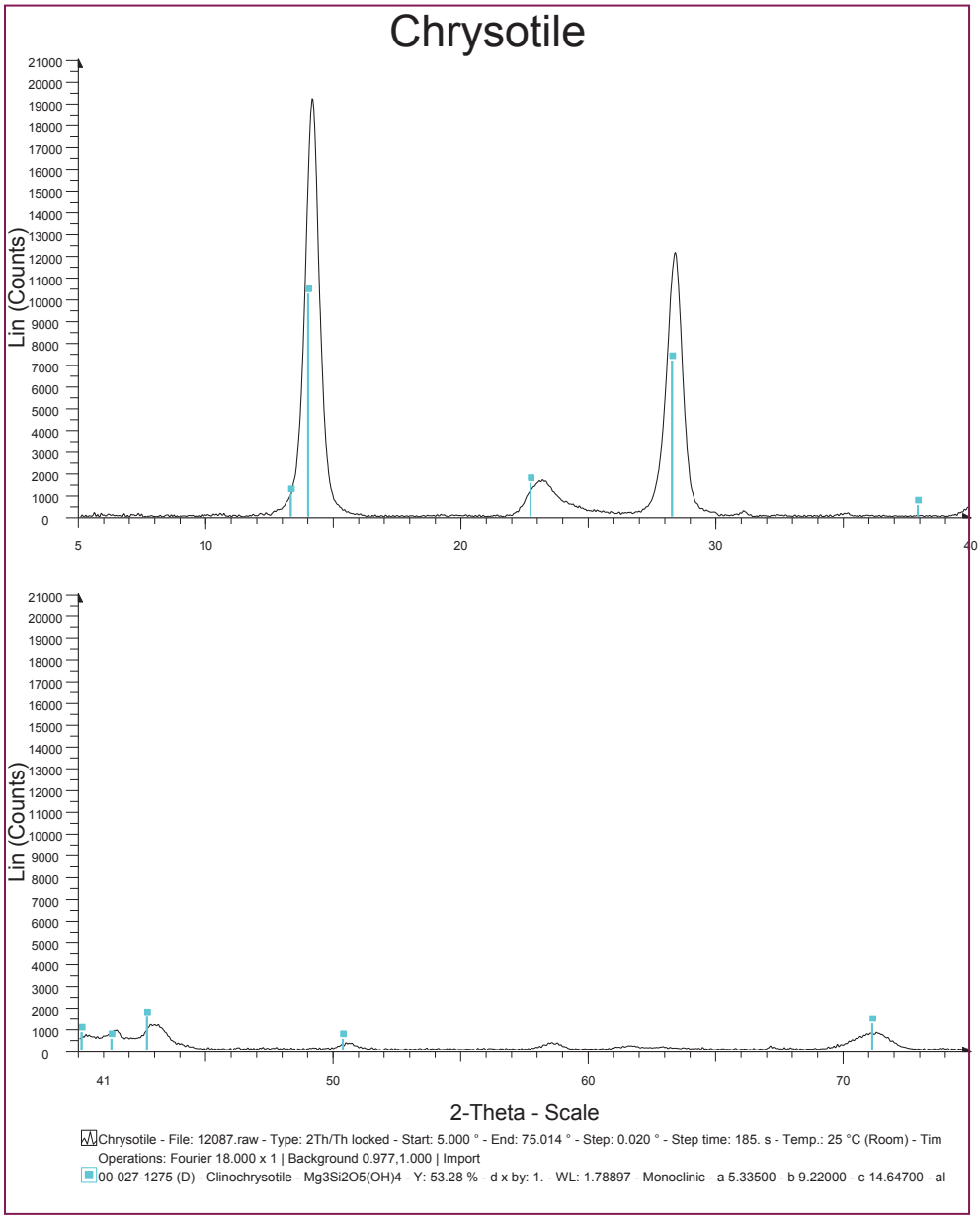


Figure 4: XRD Trace of Clino-chrysotile sample.

A small sample of the pure chrysotile was subjected to DTA as described above. A second specimen was created by blending 10% chrysotile with 90% alumina, known to be inert, yet of similar composition to the host rock. A third sample at a 50/50 blend was also tested to establish the linearity of the peak heights and areas in order to provide a calibration value for quantification. The 3 DTA traces are shown in figure 5 below:

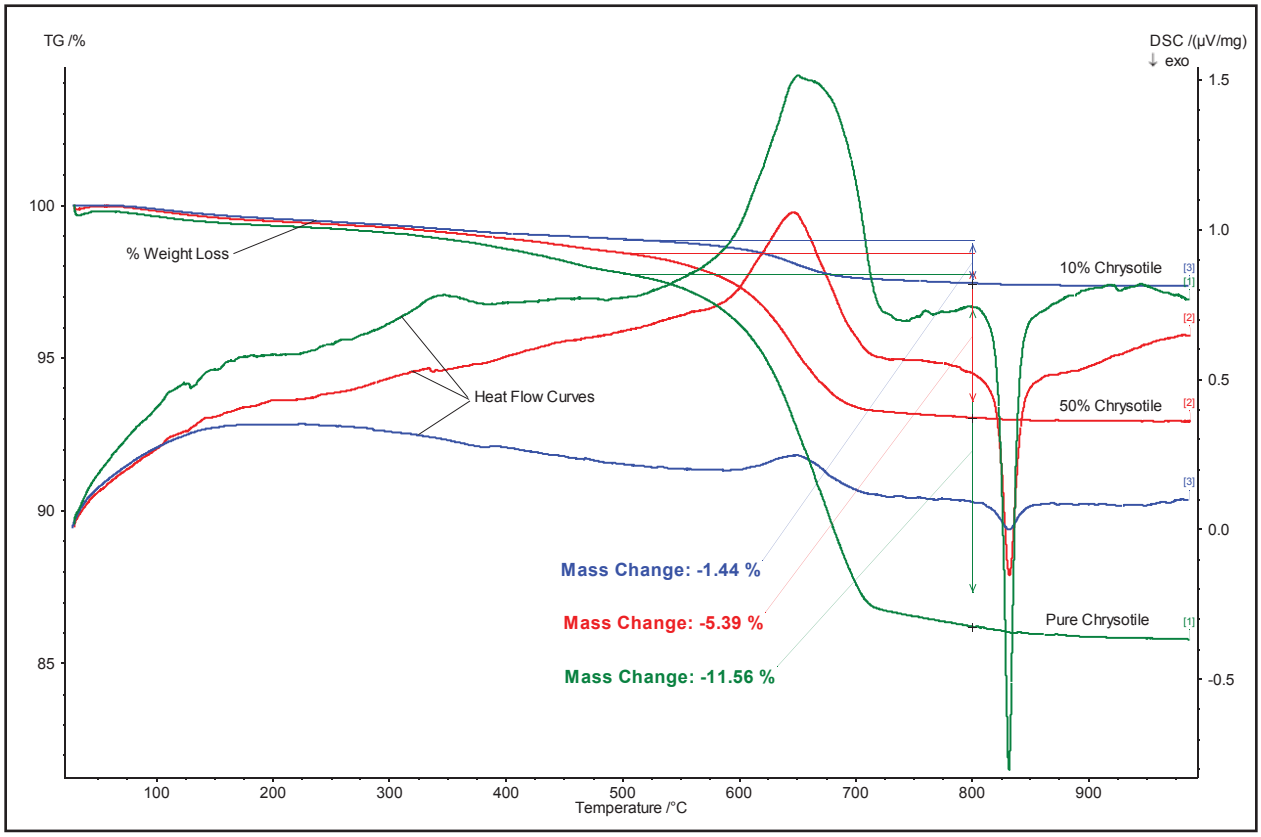


Figure 5: DTA Traces of pure reference samples

These 3 traces clearly indicated that the DTA is able to identify the presence of chrysotile at concentrations around 10%, and that dilution merely dampens the magnitude of the changes identified with the thermal decomposition of chrysotile. Note that in the above figure the vertical axes are kept the same for comparison, but for concentrations below 10% the sensitivity of the scale can be adjusted to provide accurate estimations of the amount of chrysotile present in the 0-10% range.

The mass loss obtained is very much closer to the theoretical value than the values obtained in the Viti publication, and it is worth noting that almost no mass loss was obtained below 500°C in contrast to the Viti sample, which made mention in the text of moisture absorption. The XPS sample was thoroughly dried before analysis. No energy peaks are evident below 500°C and the major endothermic peak is associated with mass loss and water evolution at 640°C. A very strong and sharp exothermic peak is seen at 825°C which is assumed to be associated with the formation of forsterite. This peak is not identified in the Viti publication.

3.2 Client specimens

Following these encouraging results, the technique was applied to 3 samples of Royal Nickel ore identified as: 11-RN-287-EXP005, 11-RN-327-EXP003 and 11-RN-277-EXP002. The mineralogy of the samples, as supplied by the client is shown in table 1 below

TABLE 1: Royal Nickel Sample Mineralogy.

SAMPLE	Pentladite %	Hazelwoodite %	Awaurite %	Olivine %	Magnetite %	Tot Mg,Fe Serpentine %	Brucite %	Coalingite %	OPX %	CPX	Low Fe-Serpentine %	High Fe-Serpentine	Talc %
EXP_599	0.000827	0.409225	0.001654	0.08785	5.363593	86.927224	6.4515	0.024875	0.004	0.300915	11.535405	5.210085	0.005685
11-RN-277-EXP002	0.016992	0.008968	0.172615	0.02388	2.403182	93.759232	2.6007	0.104893	0	0.01456	13.579124	4.729725	0.001545
11-RN-287-EXP005	0.81474	0	0.022425	13.9694	1.699454	78.484527	0.8708	0.721831	0	0.207311	6.998064	9.272269	0.00164
11-RN-327-EXP003	0.814387	0.019757	0.005311	0.00388	6.087127	86.720042	5.7038	0.048437	0	0.00939	20.761251	5.121561	0

This data, while not of much direct value to the DTA testing, does indicate the large variability in mineral content, with sample 5 being high in olivine and sample 3 high in magnetite and brucite (magnesium hydroxide- $Mg(OH)_2$). Sample 5 also showed a higher amount of coalingite ($Mg_{10}Fe^{3+}{}_2(CO_3)(OH)_{24}\bullet 2(H_2O)$) than the other 2 samples. Both of these minerals will exhibit substantial mass loss and water evolution on heating.(37.3%and 29.3% respectively, based on a) $Mg(OH)_2 = MgO + H_2O$ and b) $Mg_{10}Fe^{3+}{}_2(CO_3)(OH)_{24}\bullet 2(H_2O) = 10MgO + Fe_2O_3 + CO_2 + 14H_2O$).

Based on the reported mineralogy, the samples would be expected to exhibit mass losses approximating those calculated below:

TABLE 2: Calculated mass loss based on mineral content

Sample	% Serpentine	Mass loss from serpentine*	% Brucite	Mass loss from brucite	% Coalingite	Mass loss from coalingite	Total Calculated mass loss
Exp 599	86.9	11.3	6.45	2.4	0.025	0.007	13.7
EXP 002	93.8	12.2	2.60	0.97	0.105	0.031	13.2
EXP 005	78.5	10.2	0.87	0.32	0.722	0.211	10.7
EXP 003	86.7	11.3	5.70	2.13	0.048	0.014	13.4

*Note: Assuming all the serpentine is chrysotile!

Sample 599 was not available, but TGAs on the other 3 samples showed mass losses of approximately 80% of what would be expected if all the serpentine identified was chrysotile. The mass losses at low temperature suggest that the quantity of brucite present is being underestimated by about 50% in the mineralogical examination.

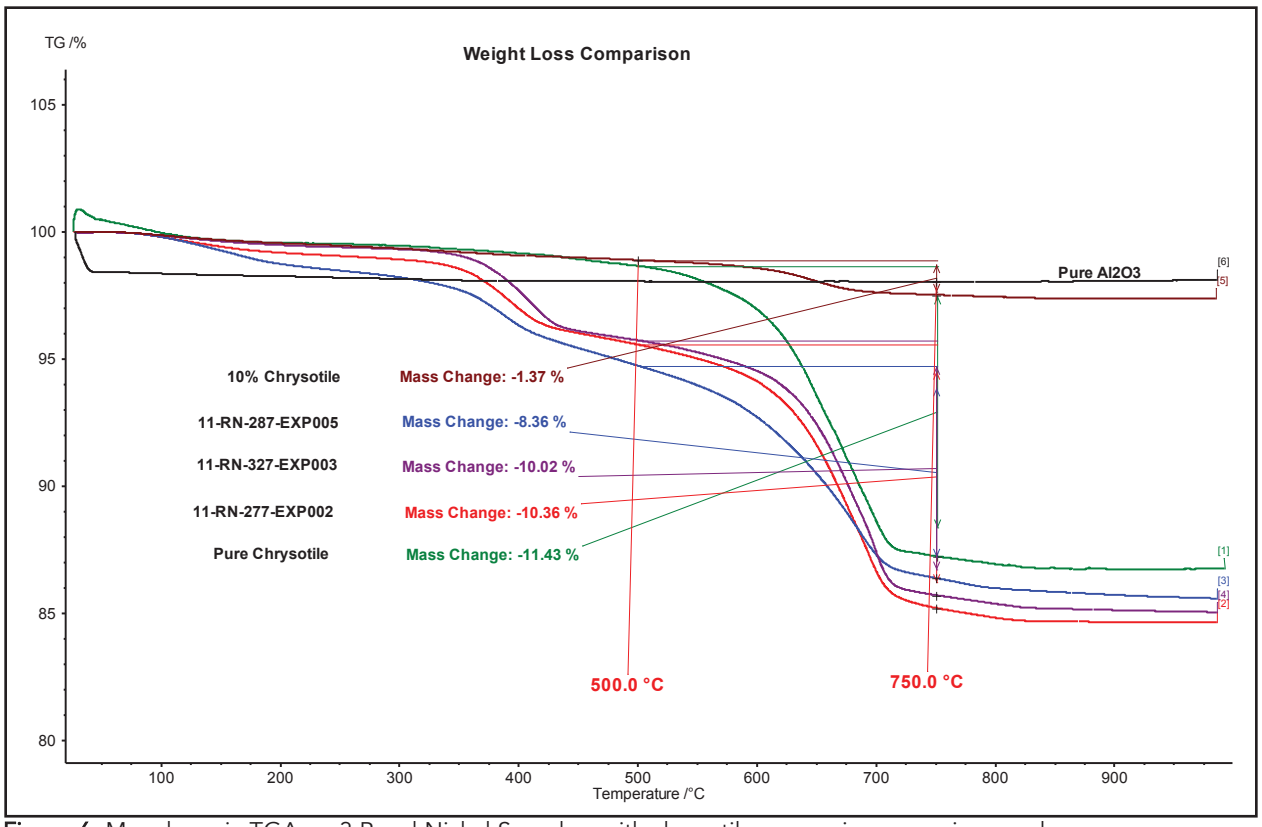


Figure 6: Mass loss via TGA on 3 Royal Nickel Samples, with chrysotile comparison superimposed.

As expected, the TGA results shown above are unable to give a complete quantification on their own. The mass loss on all 3 samples at 350°C is consistent with the thermal decomposition of brucite according to published data, and the amount of mass loss associated with brucite is close to that estimated from the mineralogy. The loss of the crystal water from the coalingite occurs at lower temperature. (Hence more water at lower temperatures is expected for #5, and is seen in the blue line in figure 6) .
Coalingite will be expected to loss mass in 3 ways- crystal water, hydroxide decomposition and carbon dioxide, all at different temperatures, and sample 5 does confirm coalingite, but more than is estimated by mineralogy.

Switching attention to the Mass Spectrometer results in figure 7 provides further confirmation of the behaviour observed.

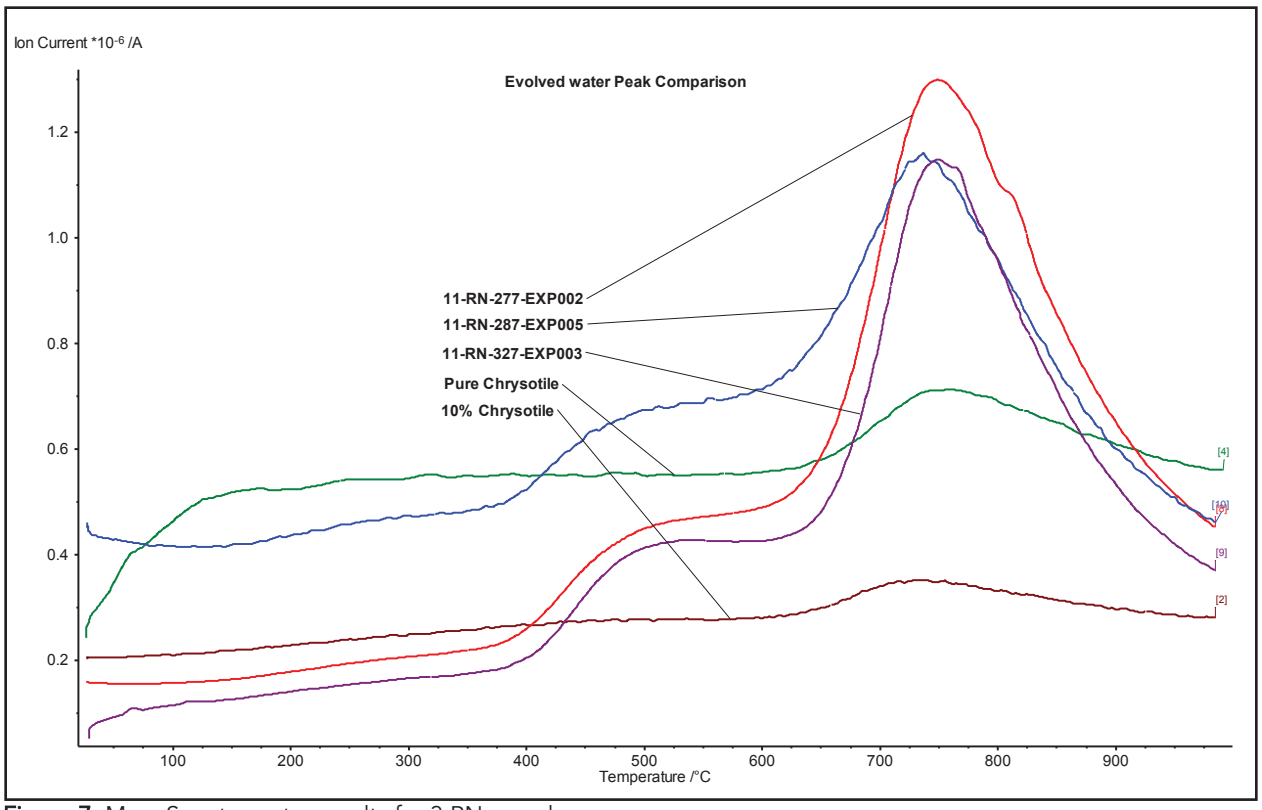


Figure 7: Mass Spectrometer results for 3 RN samples.

In this curve the water peaks during heating are displayed. The peaks for the three Royal Nickel samples are much higher because a 50 mg sample was used for the tests. A 7.5 mg sample was used for the pure chrysotile test and an equivalent amount of chrysotile mixed with Al_2O3 was used for the 10% test.

The 3 water evolution shoulders identified at temperatures between 400 and 600°C in all 3 Royal Nickel samples are not present in pure chrysotile, and suggest that different serpentinised minerals are responsible for the very substantial mass losses and water evolution observed in the critical (from a diagnostic perspective) temperature zone 500-750°C. Clearly the brucite and possibly coalingite complicate the diagnostics compared to an assumption of chrysotile in inert host rock.

Finally the Heat flow, as determined by the differential scanning Calorimetry, as shown in figure 8 below, provides further diagnostic insight.

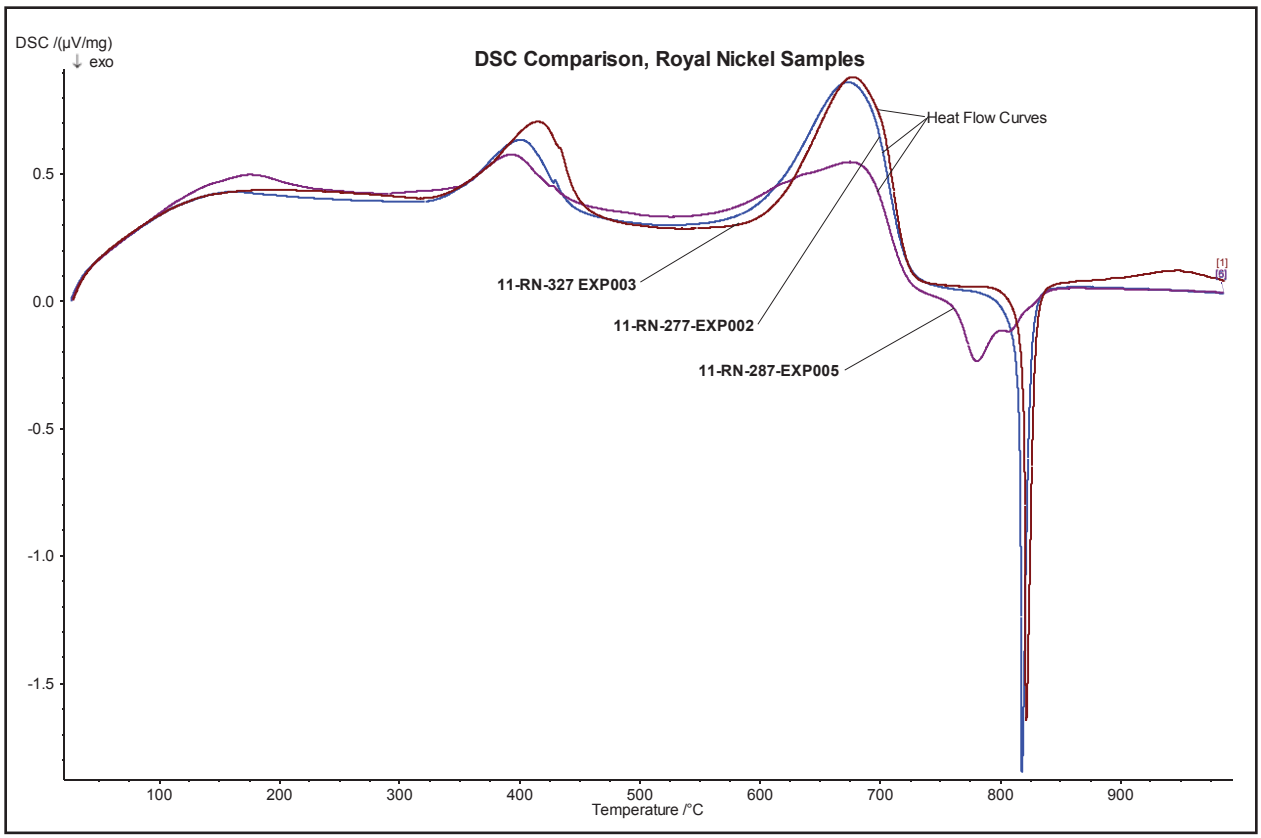


Figure 8: Heat flow by Differential Scanning Calorimetry (DSC)

Figure 8 shows endothermic peaks in the 350-400°C range, consistent with Brucite decomposition. It also shows strong endotherms in the same region as those for chrysotile (600-700°C) but of even higher magnitude than pure chrysotile. The exotherms believed to be associated with forsterite formation occur at a slightly lower temperature than pure chrysotile. Sample 5 shows a very sluggish endotherm around 650°C but a minor exotherm at 780°C, a lower temperature than the forsterite formation reaction.

Since at this stage of the project we were unable to complete the quantitative estimation of the chrysotile content of the Royal Nickel samples, and interim report on the findings to date was issued and among its recommendations was the need to obtain TGA traces of other serpentine minerals (Antigorite and Lizardite) as well as Brucite and Coalingite, in order to compare them with the traces obtained on the RN samples.

3.3 Other reference samples

Following the recommendation in the interim report that pure samples of Antigorite, Lizardite, Brucite and Coalingite be examined using TGA to determine their characteristic patterns and hopefully in this way identify the presence of chrysotile by a process of elimination of the contribution of other minerals of the TGA traces obtained in the RN samples. The XPS Mineral science group began a process of contacting their network of North American mineralogists for pure reference specimens of the above mentioned minerals.

This proved much more difficult than expected, and X-ray powder diffraction analysis of many of the specimens submitted showed them to have been completely mis-identified. In other cases specimens of the desired minerals had other minerals intergrown with the desired mineral, and even with care in selecting the portion of the specimen to be analysed a single high purity reference specimen could not be obtained. Eventually after months of frustrating and time-consuming specimen hunting it was decided to use the best of the specimens obtained and to try to adjust the traces for the presence of the contaminants. This was acknowledged as not being ideal but seemed the only option to progressing the investigation. To illustrate the problem the following figures contain the XRD pattern and thermal Analysis trace for the principal mineral present in the specimen.

3.3.1 Antigorite

The sample below, labelled "Antigorite" is illustrative of the difficulties mentioned- in spite of repeated promises by suppliers that the sample was indeed what it was stated to be, the diagnostics from the XRD regularly showed either complete misidentification or at best contamination. The ease with which macro specimens are so frequently misidentified by "experts" is a measure of the complexity of the original problem- Simply identifying a mineral on the basis of its habit is unsatisfactory.

The sample below does at least contain some antigorite, whereas the other specimen turned out to be high purity ferro-actinolite.

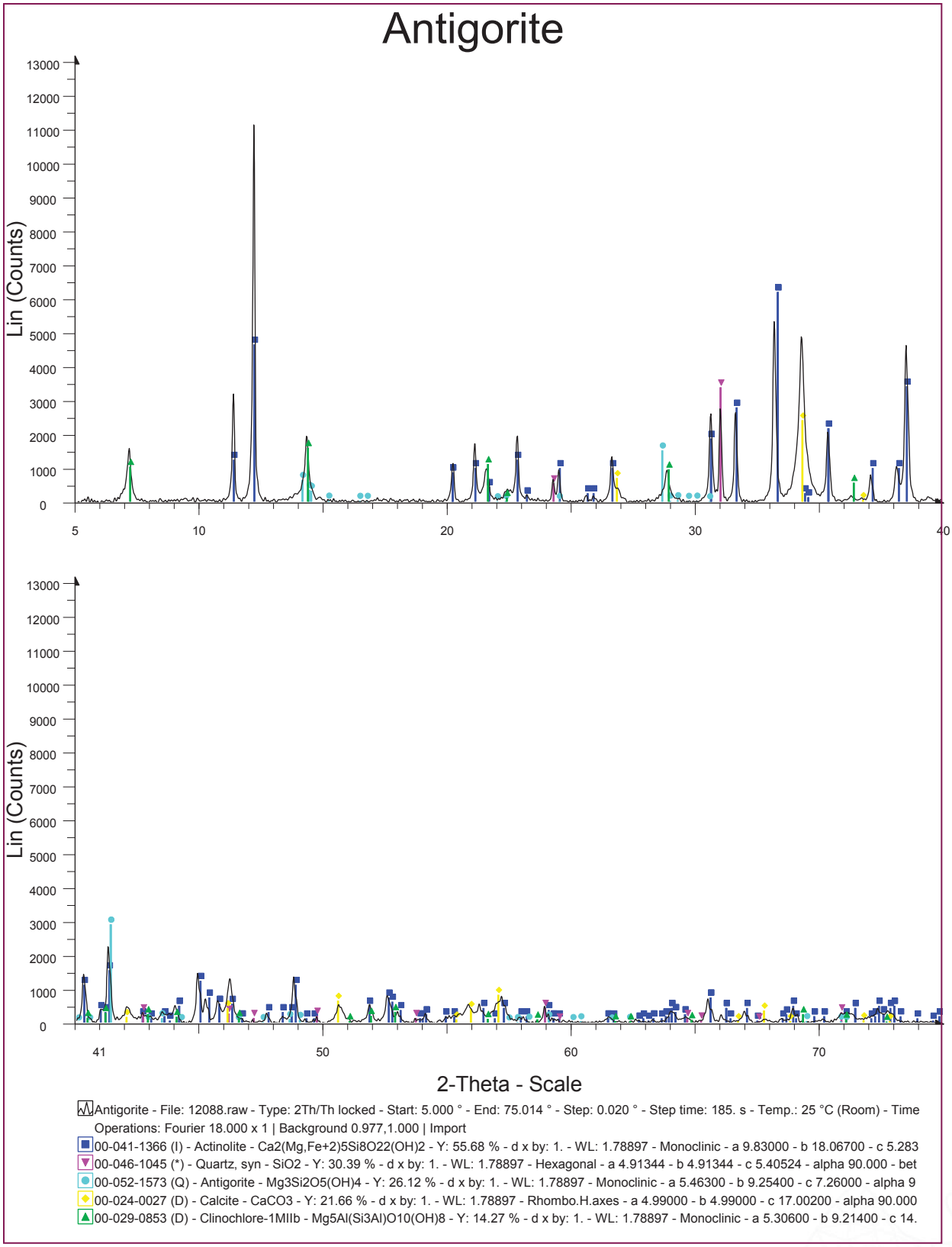
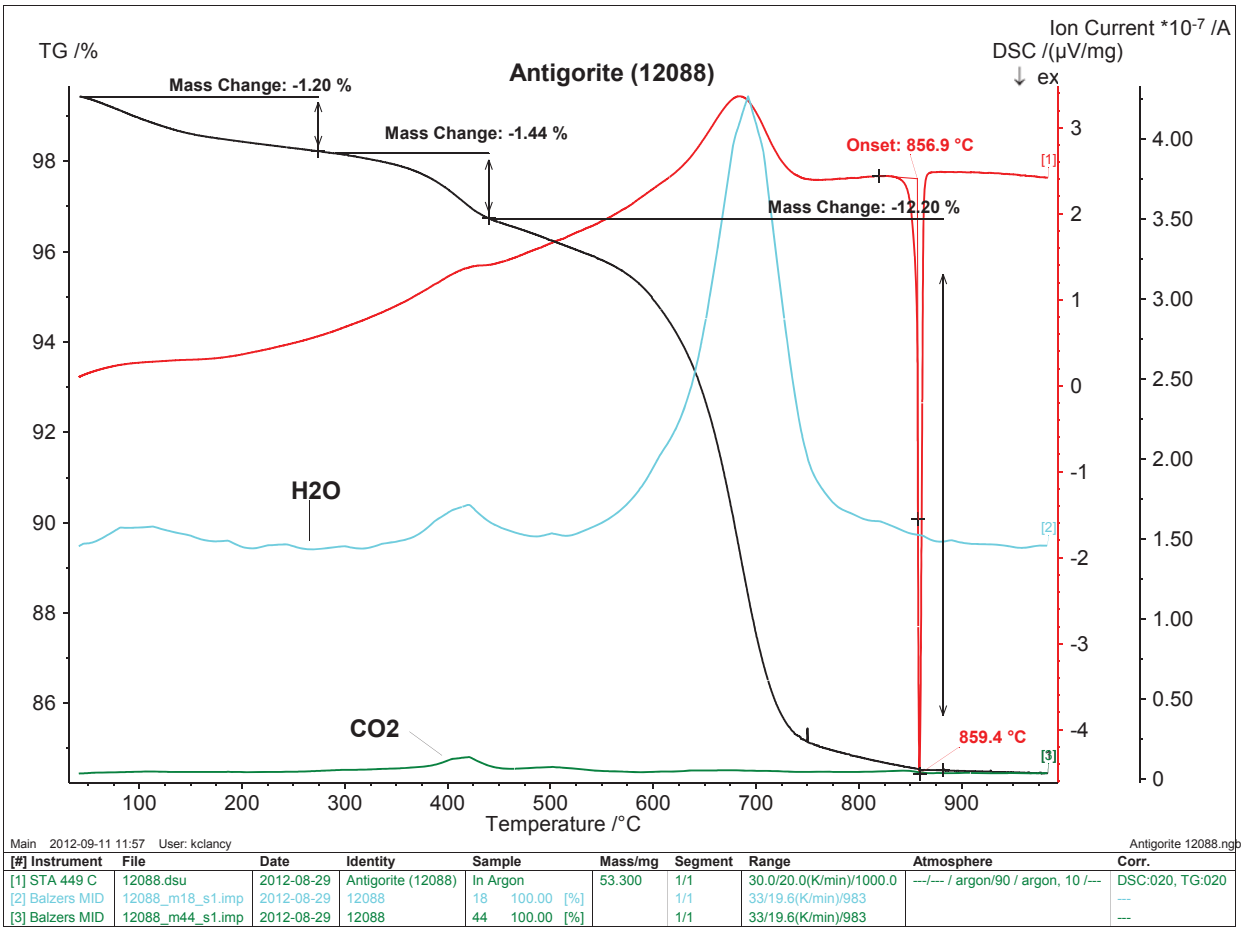


Figure 9: "Antigorite." 12088 (Provisionally visually identified as Antigorite), shown by XRD to be mainly **actinolite**, with some calcite, a small amount of antigorite and some clinochlore.



[#] Instrument	File	Date	Identity	Sample	Mass/mg	Segment	Range	Atmosphere	Corr.
[1] STA 449 C	12088.dsu	2012-08-29	Antigorite (12088)	In Argon	53.300	1/1	30.0/20.0(K/min)/1000.0	---/--- / argon/90 / argon, 10 /---	DSC:020, TG:020
[2] Balzers MID	12088_m18_s1.imp	2012-08-29	12088	18 100.00 [%]		1/1	33/19.6(K/min)/983		---
[3] Balzers MID	12088_m44_s1.imp	2012-08-29	12088	44 100.00 [%]		1/1	33/19.6(K/min)/983		---

Figure 10: TGA Trace of supposed Antigorite (12088) actually a mixture of mainly actinolite with calcite and a small amount of antigorite.

This TGA trace, performed in good faith on a sample of "high purity antigorite" shows the presence of at least one carbonate and two hydroxide containing species. Subsequent XRD analysis showed it to be mainly actinolite.

To date no satisfactory reference sample for antigorite has been uncovered.

3.3.2 Lizardite

The specimen of lizardite associated with the XRD pattern in figure 11 below is at least mainly lizardite. It is unfortunately associated with intergrown dolomite, which would be expected to alter the high temperature TGA results.

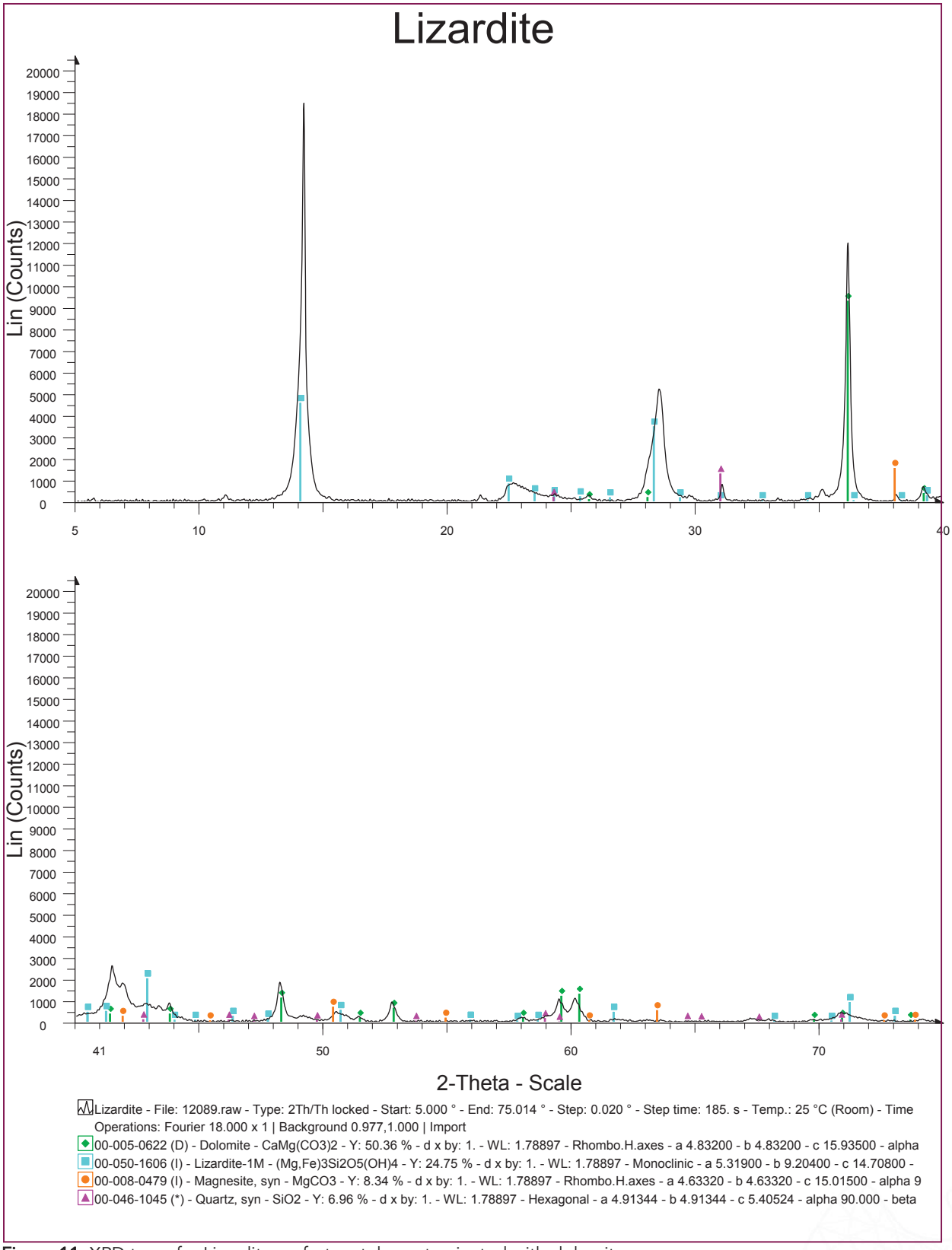


Figure 11: XRD trace for Lizardite, unfortunately contaminated with dolomite.

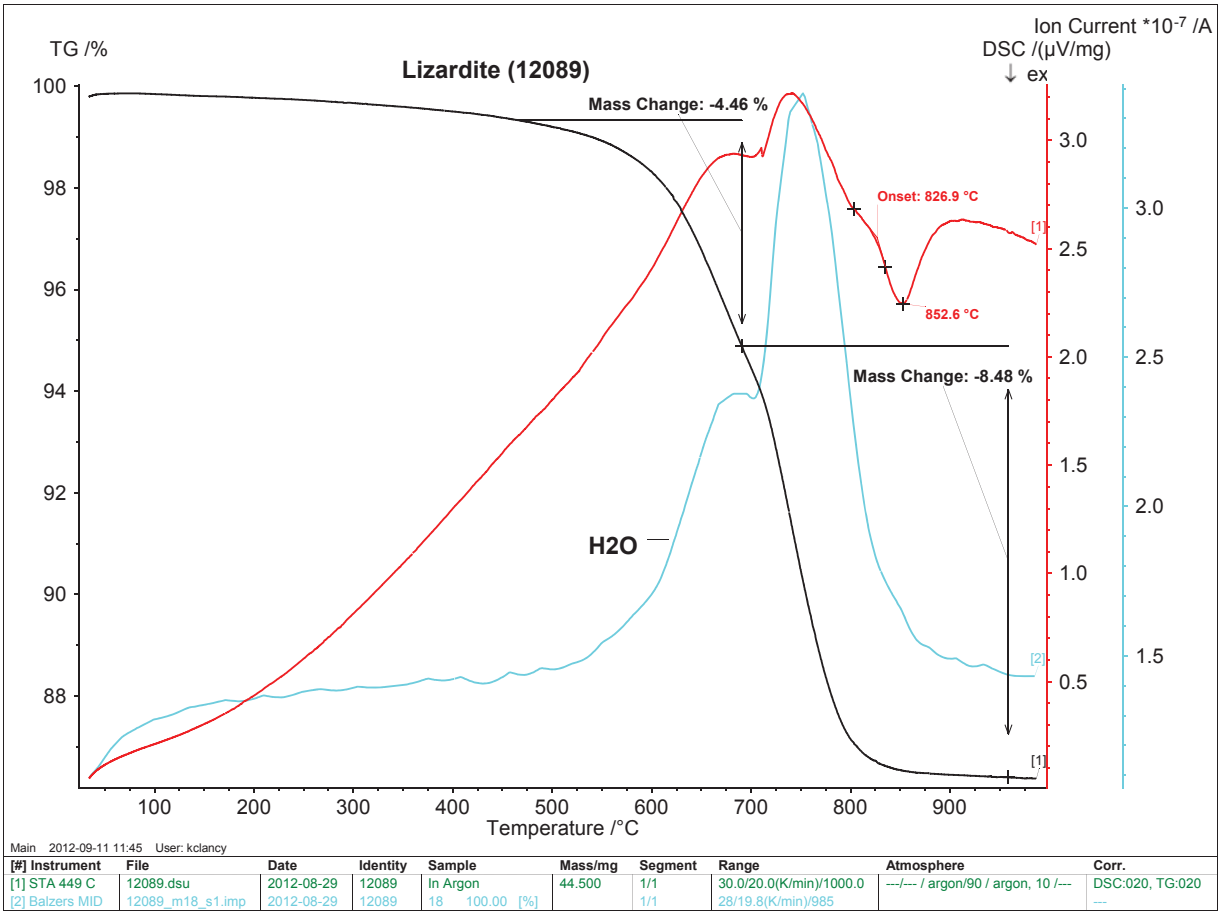


Figure 12: TGA Trace for Lizardite

The shape of the TGA energy curve at high temperature is very similar to what is seen in RN sample 005. The TGA trace shows water evolution only occurring above 600°C

3.3.3 Brucite

Sadly brucite was the most frequently mis-identified mineral amongst those requested. The first 3 samples of supposed brucite turned out to be contaminated pyroaurite (similar to coalingite, but with a higher moisture content.)

Since Brucite is the mineral likely to have the most significant influence on the Royal Nickel TGA results, it was very important that a reference sample be obtained.

Although no sample of brucite was obtained, the sample, shown below, from Black Lake, Quebec, identified as a mix of clino-chrysotile, pyroaurite and magnesioferrite was analysed by TGA, and the pattern obtained is remarkably similar to that obtained for the Royal Nickel TGA's, as will be shown later.

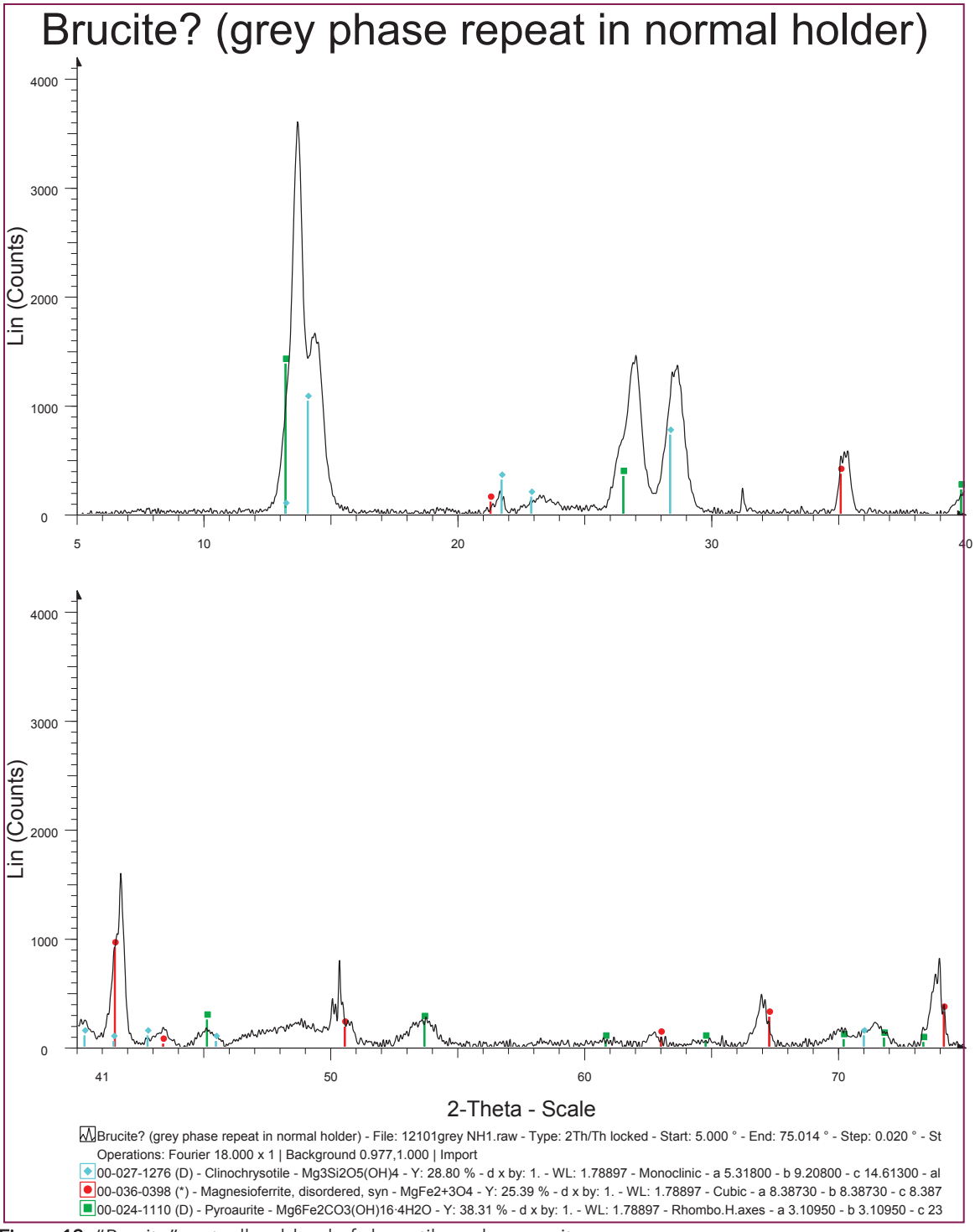


Figure 13: "Brucite"- actually a blend of chrysotile and pyroaurite.

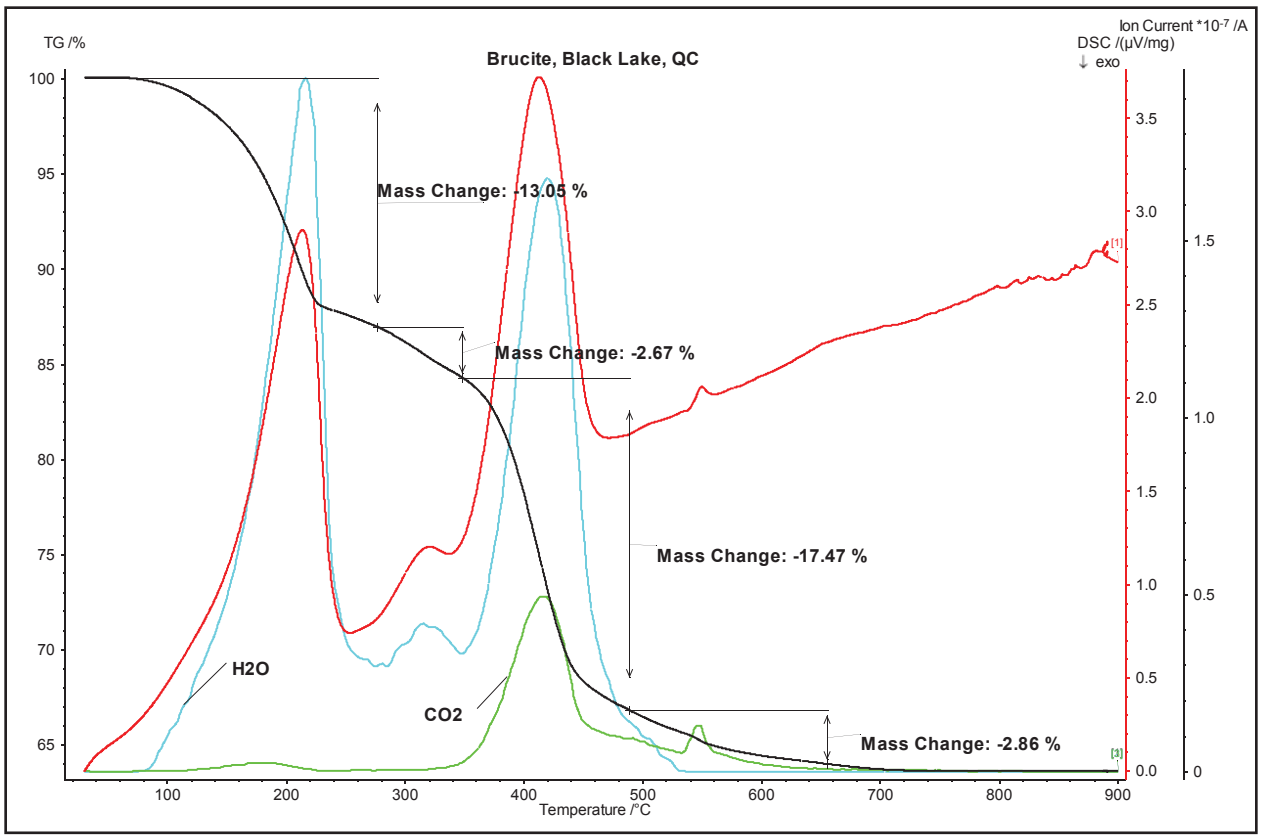


Figure 14: TGA trace of mis-identified Brucite, actually a chrysotile-pyroaurite mix.

Since brucite is magnesium hydroxide, and this specimen shows not only 3 water evolution peaks but also 3 carbon dioxide peaks it cannot be brucite. The low temperature water peak is indicative of crystal water and its 13% mass change at low temperature is consistent with a substantial amount of pyroaurite, and relatively little chrysotile, since none of the high temperature peaks associated with chrysotile are present.

3.3.4 Coalingite.

Coalingite is in sense a blend of brucite, magnesite, siderite and goethite, and is expected to decompose readily at very low temperatures, with crystal water, the hydrated water and finally carbon dioxide following, and no exotherm due to a recrystallisation reaction expected at higher temperatures, since magnesium and iron oxide are mutually soluble. No suitable specimen of coalingite could be sourced.

Pyroaurite is a similar more highly weathered version of the same blend: $MgCO_3$. $5Mg(OH)_2$. $Fe_2(OH)_6.4H2O$ which will yield more water at low temperature, and show a higher mass loss in TGA overall The mass loss expected on heating pure pyroaurite is calculated to be a total of 37.8%. The water is expected to evolve in 3 stages and the CO_2 should be the last to evolve.
The predicted mass changes are 11%;8.1%; 13.6% and 6.7%. The actual losses from fig 14 are: 12%;9% and 19% (water and CO_2 combined) to give an overall 37% mass loss, very close to the theoretical value. The decomposition of the magnesium hydroxide in pyroaurite is expected to be at a similar temperature to the brucite decomposition- around 350°C, and 8% mass loss. The reason for providing this fairly detailed breakdown of the pyroaurite

decomposition is because this is the material initially incorrectly identified as brucite and used in the subsequent attempts to reproduce brucite-chrysotile mixtures.

3.4 Royal Nickel Rock A and B samples

Following the difficulties in reconciling the mineral content of the pulverised rock samples, two larger pieces of Royal Nickel ore were submitted, labelled Rock A and Rock B, shown in figures 15 and 16 below

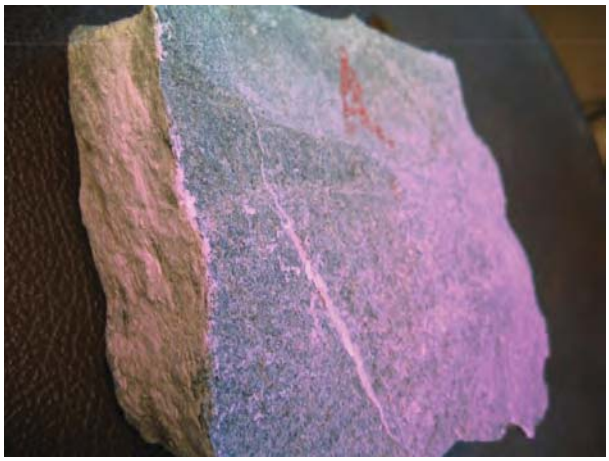


Figure 15: "Rock A"



Figure 16: Area sampled in Rock A

Scrapings taken off the surface of the rock were analysed by TGA resulting in the traces shown

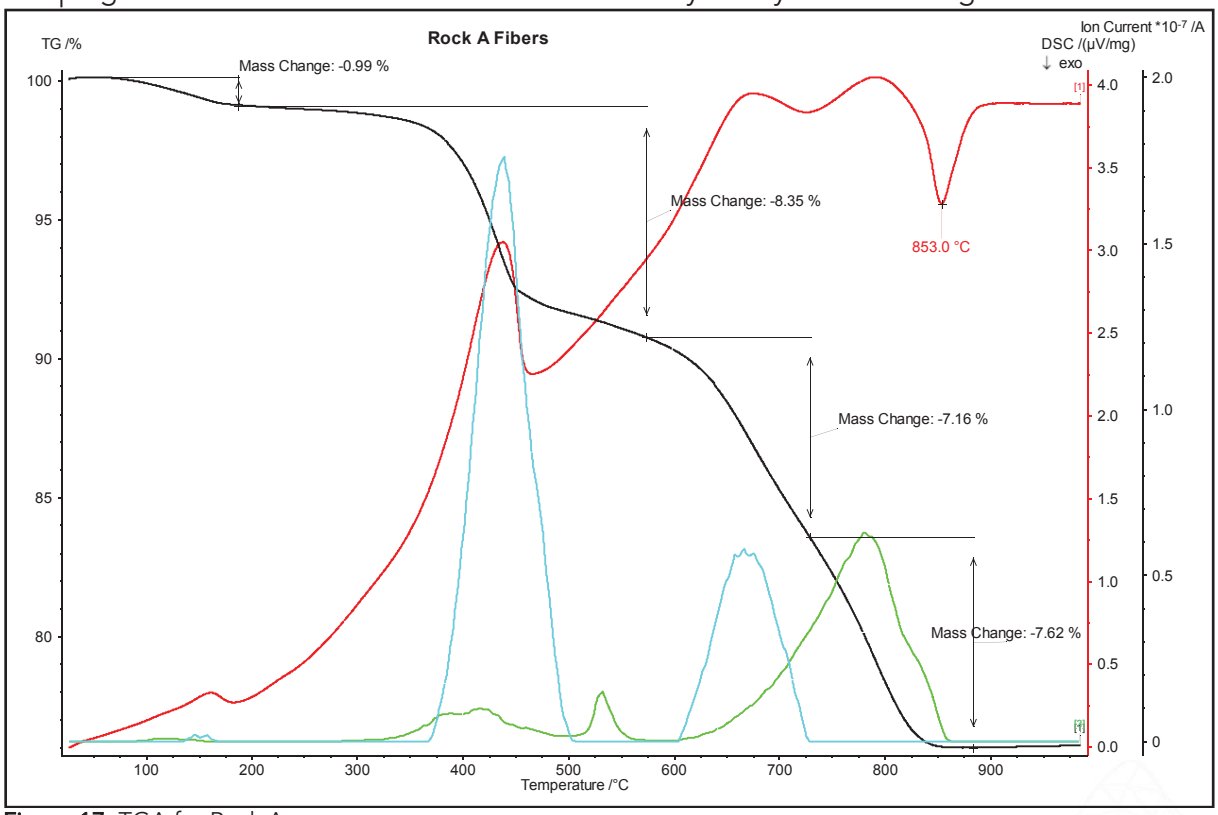


Figure 17: TGA for Rock A.

The trace for rock A shows firstly a 25% mass loss, and of this 8.35% is at very low temperature and could be assigned to brucite- 27% brucite. In addition there is about 10% associated with CO_2 evolution, which cannot be ascribed to asbestos minerals.

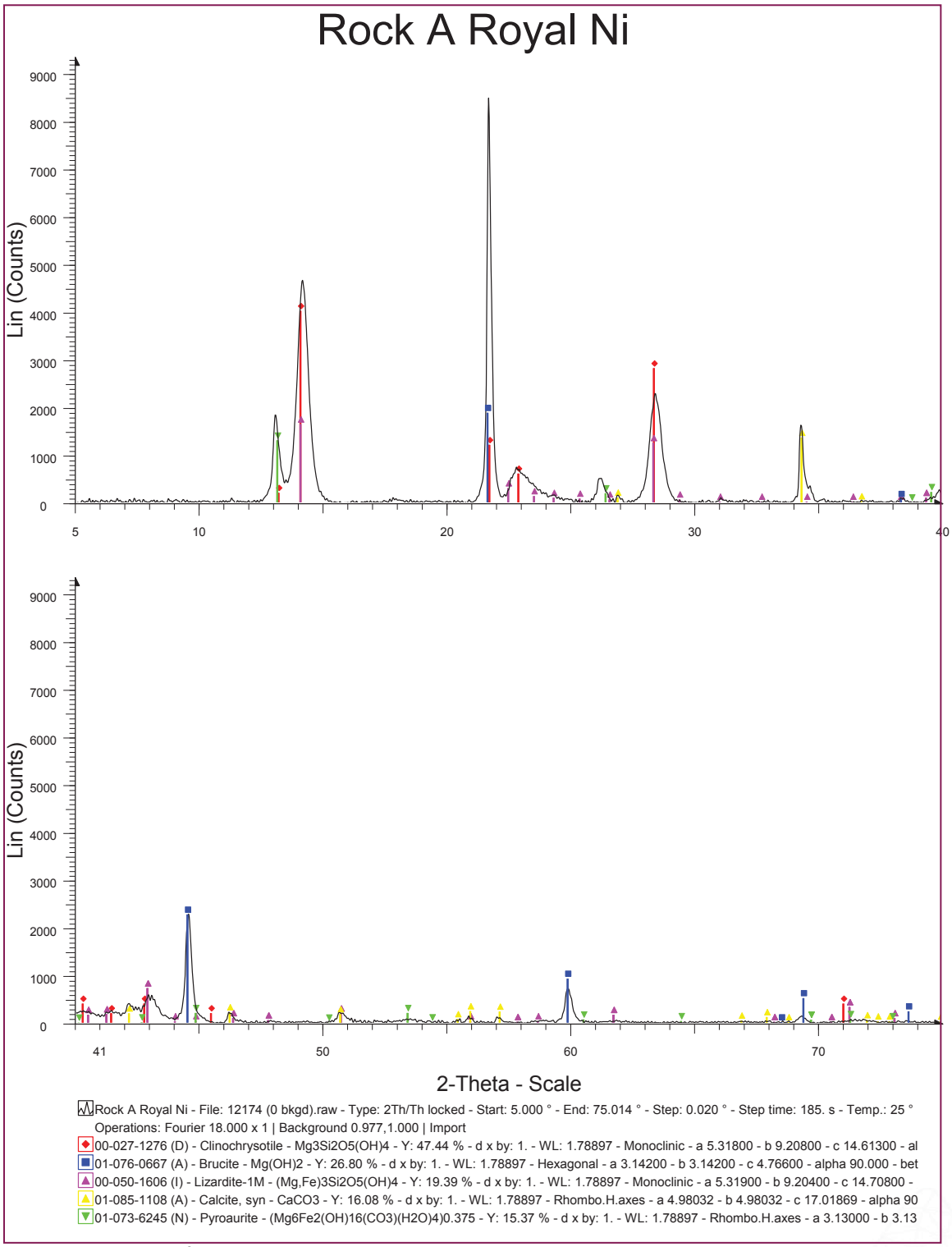


Figure 18 XRD trace for rock A

(Note: The peaks for Lizardite and Chrysotile overlap, except for a peak at 21.7° which overlaps with brucite so distinguishing between chrysotile and lizardite in the presence of brucite by XRD is not possible.)

The lower temperature CO_2 peak is likely coalingite, whilst the higher temperature peak probably denotes magnesite or calcite (Subsequently identified as calcite in the SEM)(About 7%). The remaining 7.16% mass loss occurring between 600 and 700°C could well be asbestos, but whether chrysotile or lizardite is impossible to say. Based on mass loss the asbestos content could be around 54%. The fact that there is a double endotherm at high temperature, with the higher temperature peak most likely associated with antigorite (based on Viti data, and being larger, suggests that there is not likely to be more than about 24% chrysotile present in the Rock A scrapings (which were from the most fibrous asbestiform area)

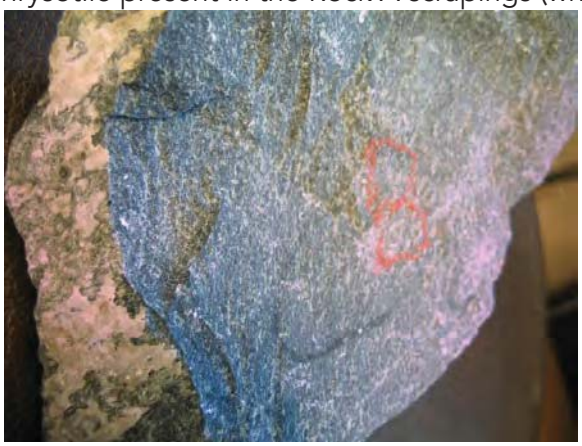


Figure 19: Rock B



Figure 20: Area sampled in Rock B

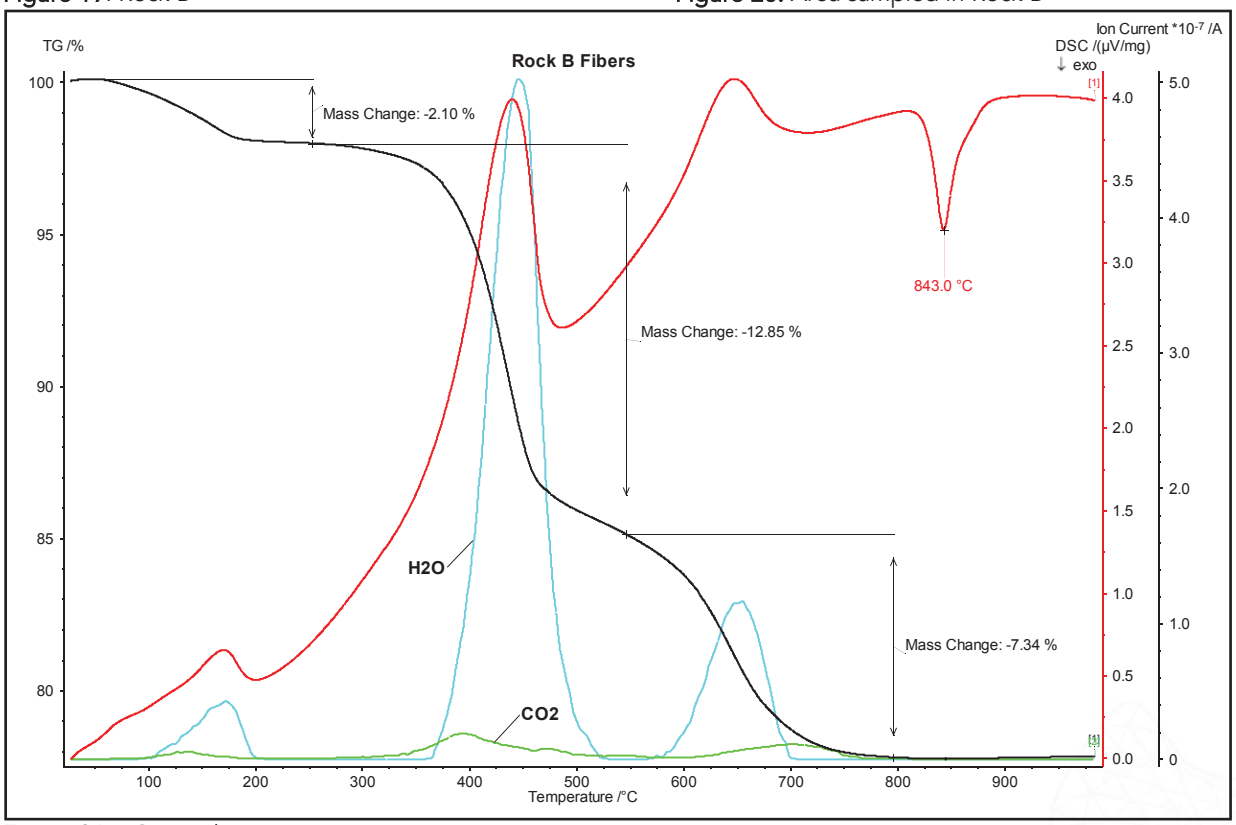


Figure 21: TGA Rock B.

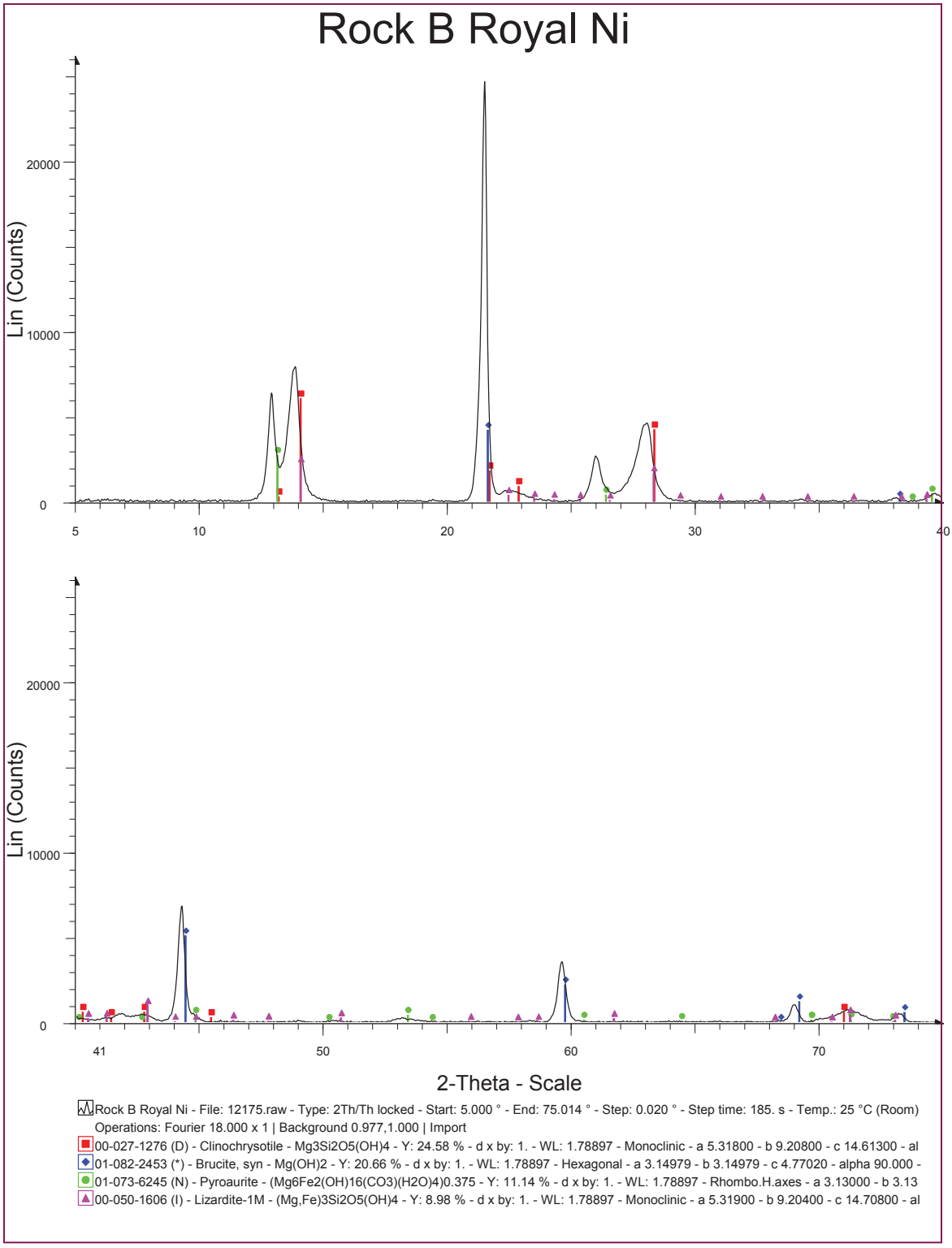


Figure 22: TGA trace for Rock B.

The TGA trace yields an overall 23% mass loss, made up of 2.1% below 300°C; 12.9% between 300 and 550, and 7.3% above 550. A small amount of CO_2 evolution is evident, but mostly at lower temperatures, suggesting a small amount of coalingite (about 5%). The brucite content is

estimated at 42% If the mass loss above 550 is ascribed to asbestos, the asbestos content can be estimated at 56%. Although this also shows a double peak, the lower temperature peak is larger, suggesting that a greater proportion of the "asbestos" is low Fe. The maximum chrysotile content is therefore estimated by DTA at around 35%.

3.5 SEM Identification of Minerals

The problems associated with attempts to obtain pure reference samples and the often conflicting results of XRD patterns with TGA traces led to a request for some assistance from the Mineral Science department to examine some of the more relevant and therefore interesting samples using the microprobe. It was noted by the mineralogist performing the examination that inaccuracies in carbon measurements made dircrimination between brucite and coalingite difficult, so these two minerals were grouped. The results are tabulated in the table below:

Table 3: SEM Measurements of Royal Nickel and other samples.

Antigorite Ropes Mine		Brucite - Black Lack		Royal Nickel - White Scrapings	Rock A	Rock B
Mineral	Wt%	Mineral	Wt%	Mineral	Wt%	Wt%
Pentlandite	0.01	Low Fe Serpentine	1.82	Pentlandite	0.01	0.05
Heazlewoodite	0.07	Serpentine	6.71	Heazlewoodite	0.04	0.01
Low Fe Serpentine	77.67	Magnetite	5.48	Pyrrhotite	0.01	0.05
Chromite/CrFeSpine	1.15	Brucite - Coalingite V. High Fe	52.49	Brucite - Coalingite (High Fe)	1.69	2.57
Magnetite	3.01	Brucite - Coalingite Mod-High Fe	33.45	Brucite - Coalingite (Low Fe)	3.49	9.86
Magnesite (Low Fe)	16.73	Other	0.04	Brucite - Coalingite (No Fe)	10.40	31.05
Dolomite	1.03			Low Fe Serpentine	63.81	47.86
Other	0.32			Serpentine	1.01	3.78
				Magnetite	0.62	0.47
				Calcite	13.87	2.51
				Dolomite	4.44	1.41
				Other	0.60	0.40

These results were interesting: Firstly, the results on the Black Lake sample suggested that what the XRD had identified as Pyroaurite plus chrysotile was a coalingite- magnetite chrysotile blend (he coalingite identification rather than brucite is based on the CO_2 evolution noted in the TGA trace in figure 14, during the writing of this report. At the time, however it was believed that the SEM had confirmed the Black Lake sample was brucite, and used as "brucite" in subsequent blend tests. The presence of a substantial amount of calcite in the RN rock A sample explained the high temperature CO_2 evolution.

3.5 Synthetic Mixtures

In order to try to confirm the estimates made in the previous section, mixtures of (supposedly) brucite calcite and chrysotile were blended apprproriatelyand submitted for TGA analysis.

The Red line in the figure below is a mixture of Chrysotile 47.9 mg + Brucite 43.5 mg and 2.5 mg of Calcite (Synthetic Rock B fibers). The blue line is a mixture of Chrysotile 63.8 mg + Brucite 15.6 mg and 13.9 mg of Calcite (Synthetic Rock A fibers). These mixtures were made up based on the SEM analysis.

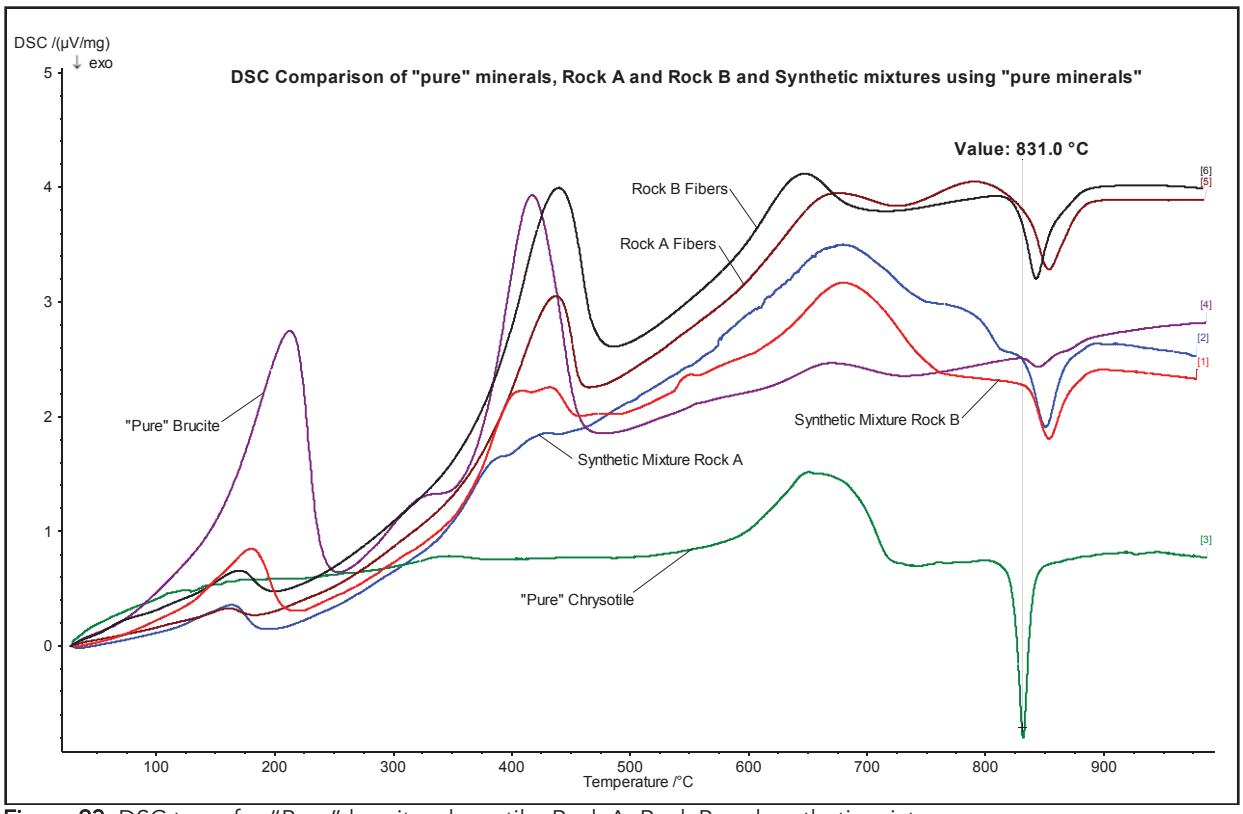


Figure 23: DSC trace for "Pure" brucite, chrysotile, Rock A, Rock B and synthetic mixtures

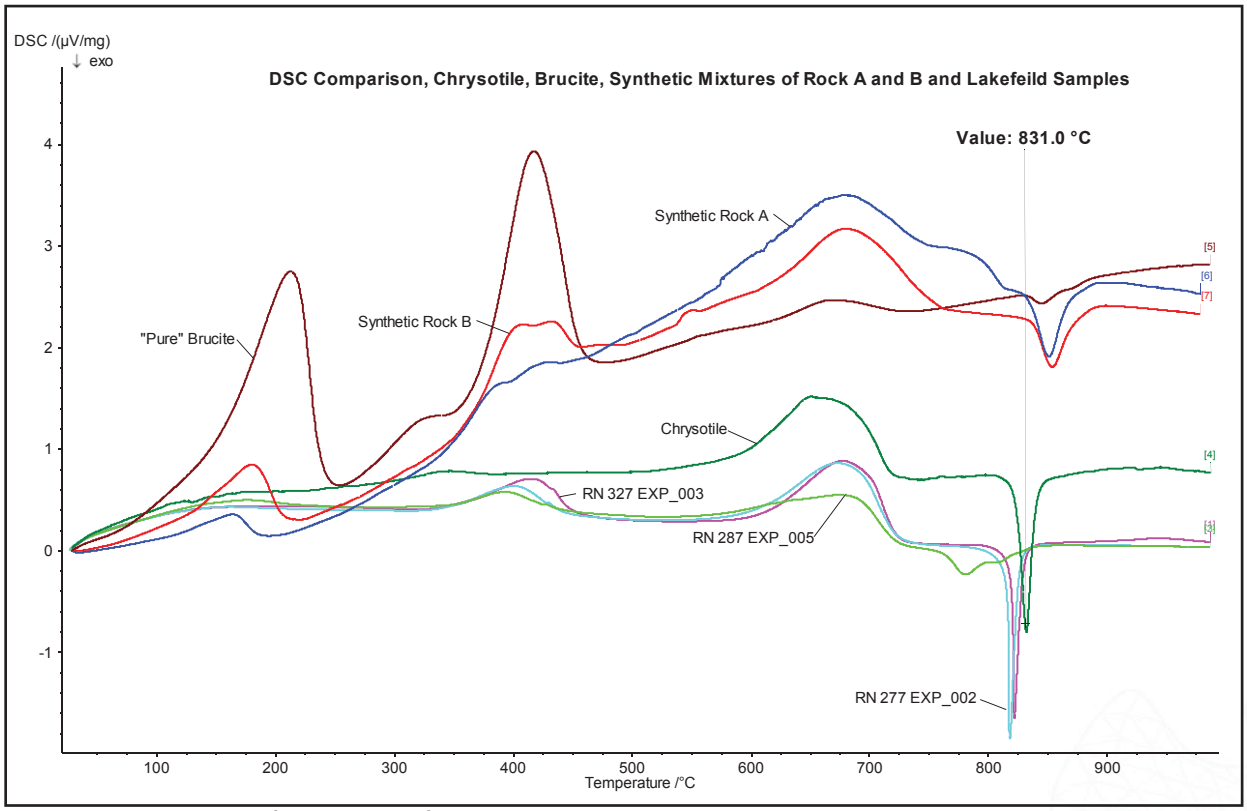


Figure 24: Comparison of DSC traces of all RN samples versus synthetic mixtures.

When these results did not fully explain the observed DSC results, it was suggested that since brucite is highly alkaline, washing with weak acid would dissolve the brucite, leaving the chrysotile unaltered and a TGA on this material would yield a "Crysotile only" trace.
This result is shown in figure 25 below:

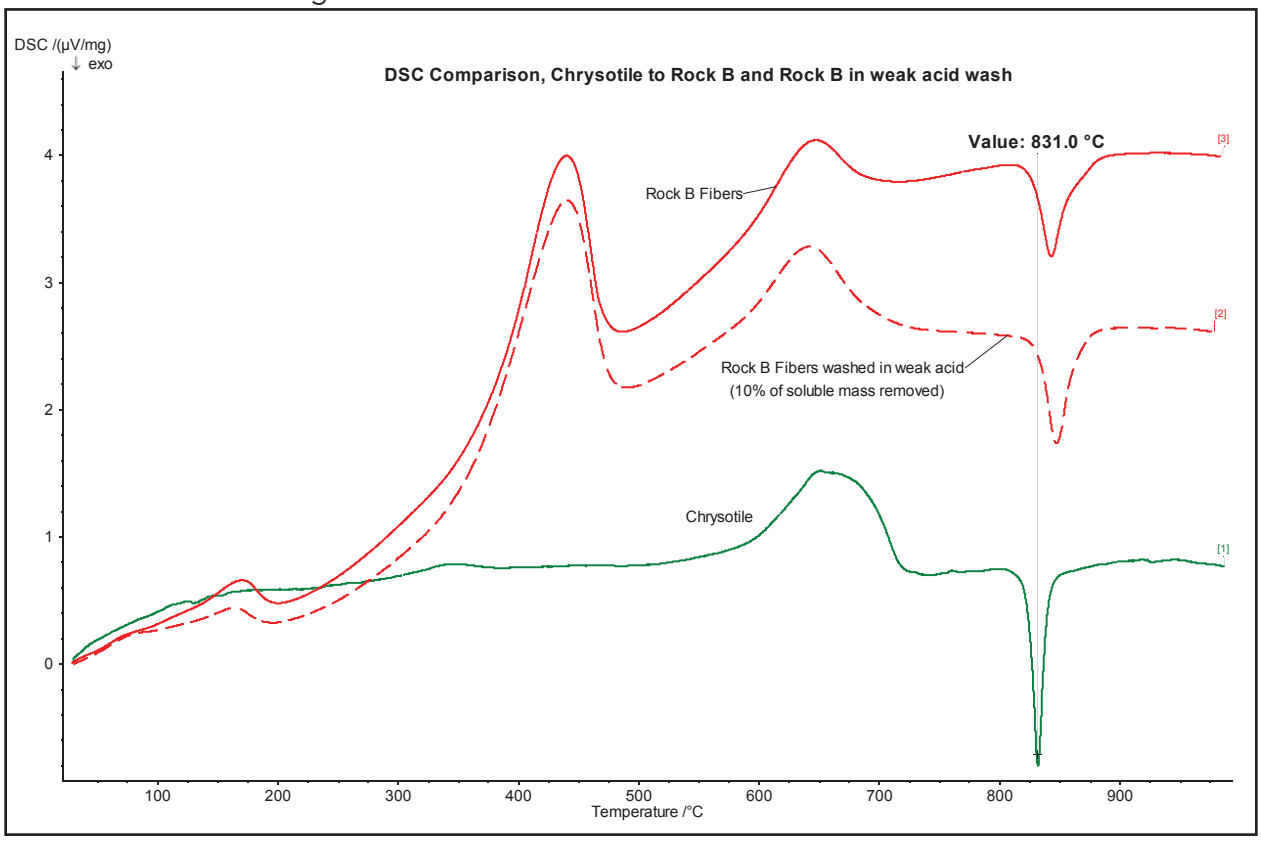


Figure 25: TGA on acid washed rock fibres.

Clearly from the results of figure 25, the residue which causes the water related endotherms seen just above 400°C are not from brucite, and a low temperature (150°C) endotherm suggests crystal water. A key question remaining unresolved at this stage is whether mineralogical examination is able to distinguish between brucite and coalingite. Unfortunately the Mass Spectrograph results, which would show CO_2evolution, are not available at this stage.

Following the frequent frustration at the lack of pure reference materials, the confusion caused by conflicts between SEM and XRD diagnostics, the doubts raised about the applicability of the Vito work to this complex material and the general lack of proof that thermal analysis would be able to provide a quantitative measure of chrysotile content, it was decided to end the study without performing the planned "production" analyses, and to report the findings in order to reassess the project objectives as a whole.

Discussion

While the results of the TGA/MS/ DSC traces for the pure, 50% and 10% chrysotile samples were very encouraging, the results of the testing of the 3 Royal Nickel samples were not as straightforward to interpret as the samples clearly contained far more thermally unstable components than just chrysotile.

The lack of a completely pure sample of lizardite prevents an accurate comparison between the thermal patterns for chrysotile and lizardite. Rereading the Vito paper revelas that their method relied heavily on selective absorption of water by chrysotile for the quantification of chrysotile in chrysotile-lizardite mixtures.

The presence of brucite-coalingite minerals in the Royal Nickel ores complicates the quantification of chrysotile in a number of ways: Firstly the very high percentage mass loss associated with brucite/ coalingite/ pyroaurite minerals overwhelms the TGA trace. Secondly, the presence of a very active basic oxide like MgO results in a change in the temperature at which forsterite forms

Clearly the presence of Brucite/ coalingite produces strong mass changes in the 350°C range, consistent with the decomposition of magnesium hydroxide (confirmed by reference to the CRC Handbook of Chemistry and Physics). Coalingite and pyroaurite can be described as hydrated blends of brucite with goethite and magnesite, and will therefore be expected to show similar water peaks in the brucite decomposition range as well as low temperature (150°C) peaks associated with loss of crystal water, and some mass loss associated with CO_2evolution).

Difficulties associated with accurate determination of carbon in electron probe microanalysis make brucite/ coalingite discrimination difficult. Thermal analysis can however provide resolution of this issue.

The needle-like specimens extracted from the Royal Nickel samples submitted show a tendency to underestimate the "Brucite" content by visual means, possibly because the more highly weathered minerals have replaced the original serpentine minerals and mimic their appearance. The total mass losses obtained by thermal analysis consistently confirm that the original mineralogical examinations consistently overestimate the serpentine content at the expense of brucite/ coalingite. Very simply stated, mass losses in the range of 25% on heating can only we obtained by 50% brucite and 50% low Fe serpentine

Mathematically expressed , for x=fraction of serpentine, and y = fraction of "brucite", then

$$13x + 37y=25,$$

where 13 and 37 are the mass losses in percent for serpentine and brucite respectively, and 25 is the percentage mass loss measured in the unknown rock sample. Assuming the rock only consists of serpentine and brucite and solving for:

$$x+ y=1$$

gives the result shown above. Deductions for inert minerals leads to even higher estimates of "brucite" content.

While the thermal analysis technique as originally applied is not able to measure chrysotile content by the relative height of the 640°C peak, it does provide additional information not obtainable by mineralogical techniques..

There is a very distinctive difference between sample 5 and the other 2, most clearly revealed by a small but distinct exotherm at 780°C, definitely not associated with chrysotile and which is probably linked to antigorite

In the absence of pure samples of lizardite and antigorite, data extracted from Vito's paper for the rate of moisture removal is reproduced in figure 26 and adapted for the appropriate temperature scale displayed. The brucite peak which would be expected to result from a pure specimen is included for comparison

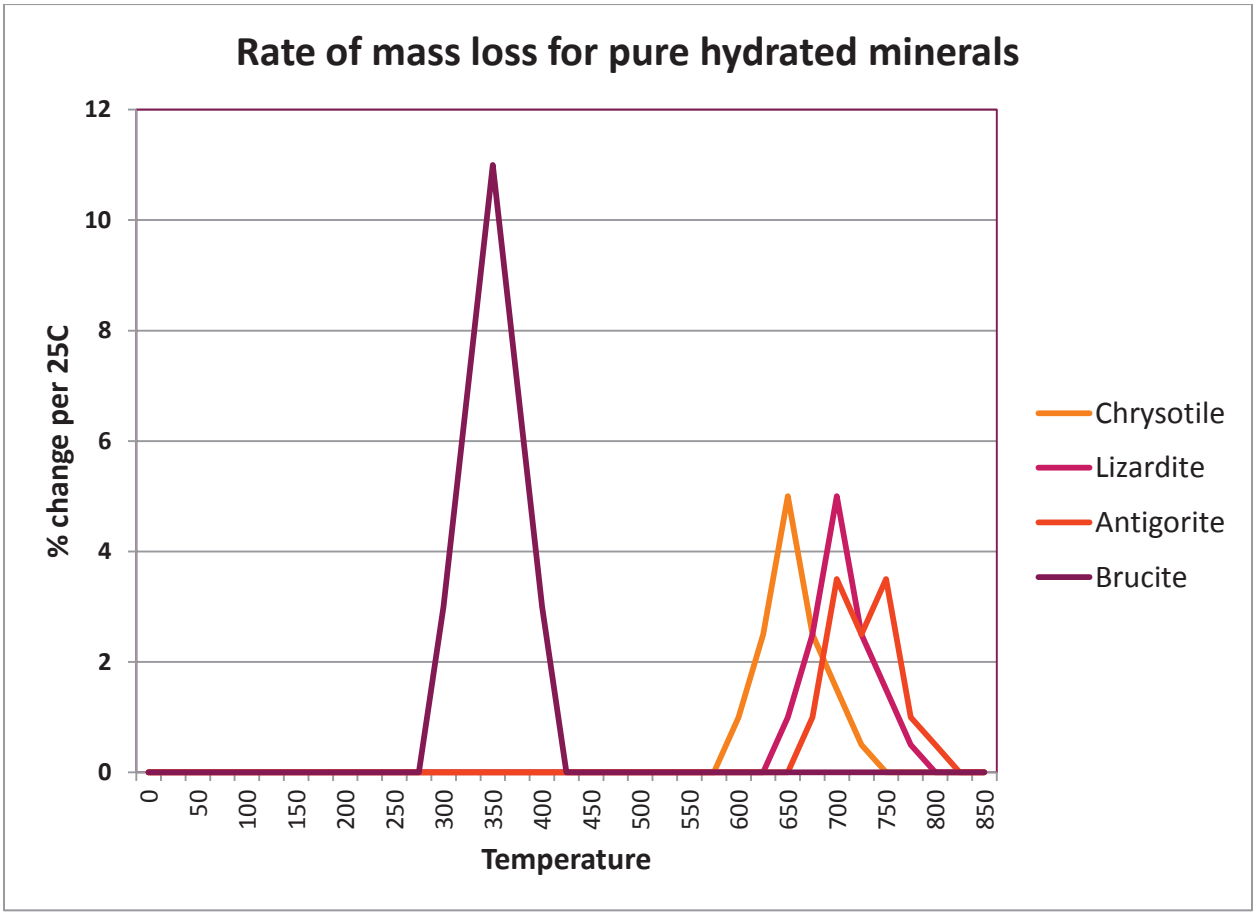


Figure 26: Reproducion of moisture removal rate from Vito et al.

The low temperature mass loss for sample 3, based on the 5.7% Brucite content reported is consistent with the calculated value of 3.3% mass loss. The value obtained for sample 5 however is much larger than the 1.52% calculated by Brucite decomposition alone. The moisture loss at low temperature for sample 5 is also much larger than the 4.2% of the mass of coalingite reported.

Re-reading of the Vito *et al* [1]paper indicates that their chrysotile sample had incurred a substantial amount of water adsorption, (as much as 4% by mass) permitting a total mass loss considerably in excess of the theoretical amount possible for pure, air-dried chrysotile. This makes direct comparison of the XPS results with those of Vito *et al* difficult. It also suggests that care should be exercised regarding humidity control for the standards.

Based on their graphs however it appears as if their primary rate of mass loss peak (where the differential dm/dT is a maximum) agrees perfectly with the value obtained by XPS, at 660°C. The very minor peak obtained at 330°C by XPS was not observed by Vito, who detected a peak at around 575°C instead. This may require additional investigation.

The "pure" reference lizardite sample in Vito's paper showed a major mass loss peak at 660 and a second at 710°C. This was what made determination of chrysotile in lizardite difficult for them. The "Antigorite" showed no peaks until 720 and 760°C.

The very sharp exotherms observed in the XPS samples at 825°C were not noted in the Vito work.

Since Vito et al reported the derivative values as part of their diagnostics, the equivalent XPS curves are shown in figure 27 below.

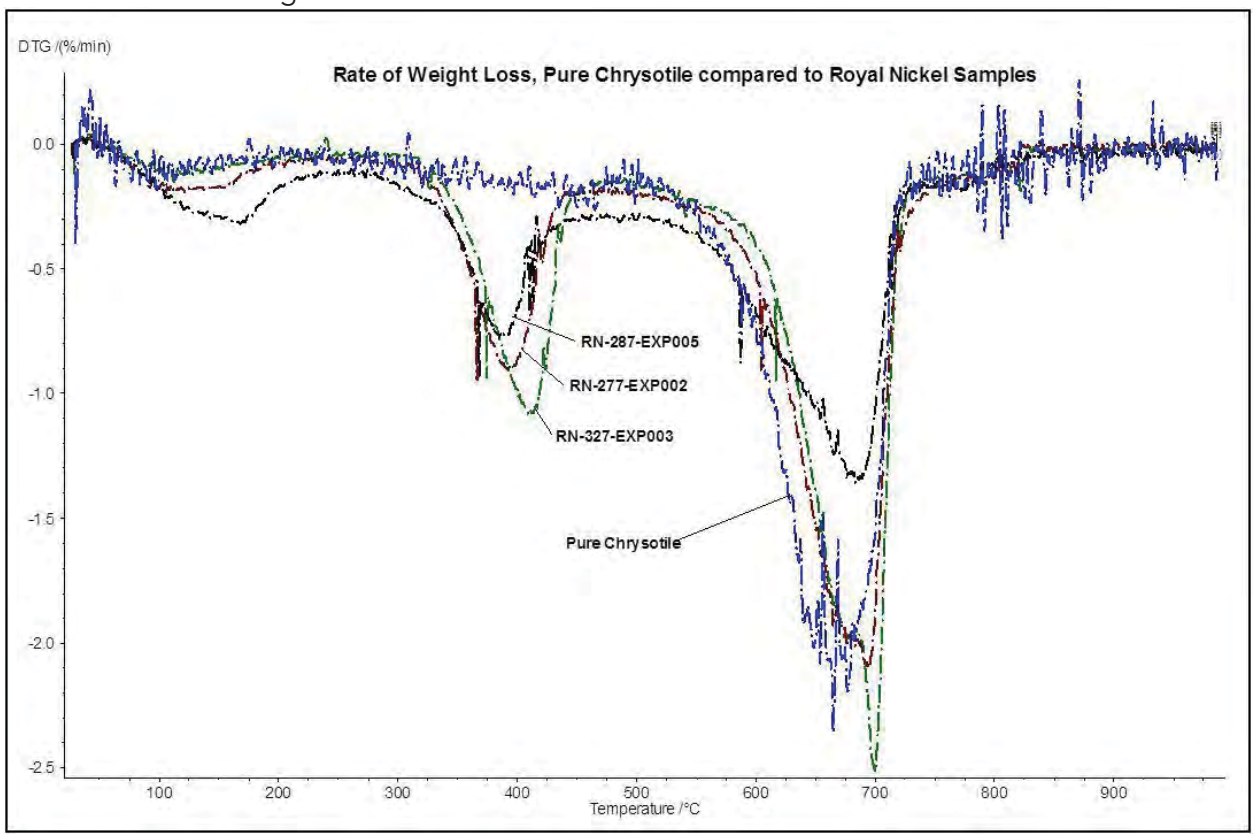


Figure 27: First differential of rate mass loss. (dm/dt)

This figure reinforces the conclusion that the mass losses observed in the 3 Royal Nickel samples are largely due to the the presence of larger amounts of brucite-coalignite than

reported by mineralogy and consequently there is much less chrysotile present than indicated by mineralogy.

The decomposition of brucite at 350-360°C is clearly seen. The highly active magnesia (MgO) resulting from this decomposition could result in a somewhat more vigorous forsterite formation reaction at a slightly lower temperature than would be the case for the same reaction from dehydrated chrysotile. Samples 2 and 3 are similar, but sample 5 has a different mineral deportment. The loss of crystal water at 150°C for sample 5 is also evident. (Associated with the presence of a larger quantity of coalingite than 2 and 3.) The difference at high temperature may well be associated with the presence of antigorite, but in the absence of a reliable antigorite reference, this cannot be confirmed.

Conclusions

1 Thermal analysis of blends of pure chrysotile with inert diluent alumina yield excellent diagnostic peaks from reference samples.

2 The complex nature of the Royal Nickel ore samples made chrysotile quantification, along the lines originally envisaged, extremely difficult.

3 The identical chemistry and similar structure of chrysotile and lizardite makes distinguishing of these two minerals using thermal analysis extremely difficult.

4 The presence of large quantities of brucite in the RN ore, and the generation of very active MgO during heating leads to a high temperature reaction between this MgO and the magnesium silicate generated by calcination of low Fe serpentines. This results in peak shifts for what would otherwise be a possibly useful diagnostic tool for distinguishing between lizardite and chrysotile.

5 The thermal analyses performed do tend to indicate that brucite in Royal Nickel ores is under-reported and serpentine over-reported.

6 The technique does indicate an ability to distinguish antigorite (high Fe serpentine) from low Fe serpentines (lizardite and chrysotile), but final quantification is limited by a lack of availability of high purity reference materials.

7 The alternative technique used by Viti et al, namely doping blended standards of chrysotile- lizardite with water and relying on the assumption that chrysotile will absorb a fixed percentage of water is not suitable for more complex weathered ores containing large amounts of other highly water absorbent substances like brucite and coalingite. Without this technique, distinction between chrysotile and lizardite is near to impossible.

8 The tentative assessments of the 5 Royal Nickel samples submitted are tabled below, comparing the thermal analysis results to the mineralogical results.

TABLE 4: Quantification of Royal Nickel Rock Samples

Sample	Mineralogy Serpentine %	Thermal Serpentine %	Mineral Brucite %	Thermal Brucite %	High Fe Serp %	Hi Fe Serp Thermal %	Other Mineralogy %	Other Thermal %
Sample 002	89	82	3	11	4	4	3	3
Sample 003	69	63	2	11	9	9	17	17
Sample 005	81	75	6	13	5	5	7	7
Rock A	64	24	16	30	1	30	17	17
Rock B	48	35	43	43	4	21	4	4

Based on these estimates, thermal analysis can provide a comparative check on the mineralogy of the weathered minerals, and the major difference between the two techniques is that mineralogical examination tends to underestimate brucite/ coalingite and overestimate low Fe serpentine as a result. The comparative analyses of the rock scrapings highlight this difference. Thermal analysis can help to correct these estimates particularly if more highly weathered minerals replace serpentine while retaining the apparent asbestiform habit.

Recommendations

1 The combination TGA MS DSC technique can be used to quantify the overall asbestiform mineralisation in weathered rocks The thermal analysis technique is in principle able to adjust initial mineralogical estimates, so this method can be applied where such adjustments are warranted.

2 The technique as tested is unable to distinguish between lizardite and chrysotile in the presence of brucite or coalingite, and cannot be used at this stage to perform this distinction. Since lizardite is not a designated substance, while clino-chrysotile is, any technique which claims to be able to reliably distinguish between these two allotropes should be regarded as questionable.

3 Antigorite does appear to be measurable, but a sample of pure antigorite is required before this can be confirmed. Should quantification of antigorite be regarded as important and necessary using thermal analysis, obtaining a pure reference sample should be regarded as a priority.

4 If the results obtained in this study on the 5 Royal Nickel samples submitted are considered satisfactory, further production samples can be analysed using the same techniques and assumptions, but the analysis of the results is definitely more complex than a simple calculation of mass loss, and will be more expensive than originally estimated.

ANNEXE III

Méthodes de quantification du chrysotile

Royal Nickel Corporation

Méthodes de quantification du chrysotile

2013

Projet Dumont, Amos, Qc

V. 1.4

26 Avril, 2013

Table des matières

1) Objectif 1

2) Introduction 1

3) Vue d'ensemble 1

4) Méthodes 3

i) Réseaux de chrysotile 3

Méthode de la mesure de l'épaisseur des réseaux de chrysotile 3

Méthode de l'histogramme des réseaux de chrysotile par Photoshop® 6

Échantillons utilisés pour la caractérisation de l'environnement «Réseaux de chrysotile» 9

Ajout de données supplémentaires 17

ii) Chrysotile dans les zones hautement fragmentées 20

Échantillons utilisés pour la caractérisation de l'environnement «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées» 20

Ajout de données supplémentaires 29

Vérification interne des zones hautement fragmentées 33

iii) Chrysotile dans les veines/fractures 34

5) Discussion de la surestimation dans les environnements de chrysotile 35

6) Chrysotile dans les zones de carotte de forage non récupérées 36

7) Discussion 37

Table des images

Image 1: Section du trou de forage 11-RN-309 boite #57 avec un niveau de réseaux de chrysotile modérées. Les mesures ont été prises au long des lignes jaunes perpendiculairement au réseau de chrysotile. 4
Image 2: Section du trou de forage 11-RN-309 boite #88 avec un niveau de réseaux de chrysotile intense. Les mesures ont été prises au long des lignes rouges perpendiculairement au réseau de chrysotile. 5
Image 3: Photo du réseau de chrysotile de la catégorisé Intense importée dans Photoshop®. 6
Image 4: Manipulation de la luminosité et du contraste de la photo de l'échantillon. 7
Image 5: Redéfinition des pixels de couleurs sur la photo de l'échantillon. 7
Image 6: Obtenir le pourcentage de chrysotile de la photo. 8
Image 7: Échantillon de la catégorie d'intensité Faible après manipulation dans Photoshop®. 9
Image 8: Échantillon de la catégorie d'intensité Faible après manipulation dans Photoshop®. 9
Image 9: Échantillon de la catégorie d'intensité Faible après manipulation dans Photoshop®. 10
Image 10: Échantillon de la catégorie d'intensité Faible après manipulation dans Photoshop®. 10
Image 11: Échantillon de la catégorie d'intensité Faible après manipulation dans Photoshop®. 11
Image 12: Échantillon de la catégorie d'intensité Modérée après manipulation dans Photoshop®. 11
Image 13: Échantillon de la catégorie d'intensité Modérée après manipulation dans Photoshop®. 12
Image 14: Échantillon de la catégorie d'intensité Modérée après manipulation dans Photoshop®. 12
Image 15: Échantillon de la catégorie d'intensité Modérée après manipulation dans Photoshop®. 13
Image 16: Échantillon de la catégorie d'intensité Modérée après manipulation dans Photoshop®. 13
Image 17: Échantillon de la catégorie d'intensité Élevée après manipulation dans Photoshop®. 14
Image 18: Échantillon de la catégorie d'intensité Élevée après manipulation dans Photoshop®. 14
Image 19: Échantillon de la catégorie d'intensité Élevée après manipulation dans Photoshop®. 15
Image 20: Échantillon de la catégorie d'intensité Élevée après manipulation dans Photoshop®. 15
Image 21: Échantillon de la catégorie d'intensité Intense après manipulation dans Photoshop®. 16
Image 22: Échantillon de la catégorie d'intensité Intense après manipulation dans Photoshop®. 16
Image 23: Échantillon de la catégorie d'intensité Intense après manipulation dans Photoshop®. 17
Image 24: Échantillon de la catégorie d'intensité Élevée sur la carotte de forage 18
Image 25: Échantillon de la catégorie d'intensité Élevée sur la carotte de forage 18
Image 26: Échantillon de la catégorie d'intensité Élevée sur la carotte de forage 19
Image 27: Zone hautement fragmentée de la Boite #61 (289.90-290.40m) 21
Image 28: Zone hautement fragmentée de la Boite #61 (290.40-291.00m) 21
Image 29: Zone hautement fragmentées de la Boite #35 (178.20-178.50m). 22
Image 30: Zone hautement fragmentée de la Boite #114 (518.85- 519.10m). 22
Image 31: Zone hautement fragmentée de la Boite #115 (521.50-522.00m). 23
Image 32: Zone hautement fragmentée de la Boite #80 (369.60-370.30m). 23
Image 33: Zone hautement fragmentée de la Boite #34 (172.35-172.75m). 24
Image 34: Zone hautement fragmentée de la Boite #49 (236.50-237.00m). 24
Image 35: Zone hautement fragmentée de la Boite #115 (521.00-521.50m). 25
Image 36: Zone hautement fragmentée de la Boite #80 (370.30-370.80m). 25
Image 37: Zone hautement fragmentée de la Boite #97 (445.80-446.20m). 26
Image 38: Zone hautement fragmentée de la Boite #104 (474.15-474.75m). 26
Image 39: Zone hautement fragmentée de la Boite #24 (131.40-131.95m) 27
Image 40: Zone hautement fragmentée de la Boite #26 (139.75-140.35m). 27
Image 41: Zone hautement fragmentée de la Boite #97 (446.20-446.80m). 28
Image 42: Zone hautement fragmentée de la Boite #63 (299.20-299.50m) 28
Image 43: Zone hautement fragmentée de la Boite #67 du trou 11-RN-334 (312.38-313.00m) 30
Image 44: Zone hautement fragmentée de la Boite #3 du trou 11-RN-296 (63.49-63.97m) 30
Image 45: Zone hautement fragmentée de la Boite #47 du trou 08-RN-94 (209.10-209.45m) 31
Image 46: Zone hautement fragmentée de la Boite #4 du trou 11-RN-252 (43.10-43.32m) 31
Image 47: Zone hautement fragmentée de la Boite #47 du trou 08-RN-94 (208.5-208.65m) 32
Image 48: Zone hautement fragmentée de la Boite #18 du trou 11-RN-300 (115.03-115.11m) 32
Image 49: Veine de chrysotile coupant à travers l'axe de la carotte de forage séparée en segments de 4.5cm 34
Image 50: Veine coupant le diamètre de la carotte de forage à un angle faible. 35

Tableaux

Tableau 1: Valeurs assignées pour les catégories d'intensités de chaque environnements de chrysotile 2
Tableau 2: Valeurs assignées pour les catégories d'intensités de l'environnements «Réseaux de chrysotile» avant les ajustements 8
Tableau 3: Valeurs assignées pour les catégories d'intensités de l'environnements «Réseaux de chrysotile» après les ajustement 17
Tableau 4: Valeurs assignées pour les catégories d'intensités de l'environnements «Chrysotile dans les zones hautment fragmentées» avant les ajustements. 20
Tableau 5: Valeurs assignées pour les catégories d'intensités de l'environnements «Chrysotile dans les zones hautment fragmentées» après les ajustement 29

1) Objectif

L'objectif de ce programme est de mettre en place un système qui permettra la quantification du chrysotile dans la dunite et la péridotite. Plusieurs trous représentatifs de la fosse planifiée pourra ainsi être choisis pour être évalués rapidement et de manière systématique pour une évaluation du pourcentage de chrysotile dans la fosse.

2) Introduction

Le chrysotile est un minéral qui fait partie de la famille de l'amiante et, bien que considéré comme l'un des moins dangereux, constitue un danger pour la santé d'un individu s'il est respiré pendant de longues périodes de temps. Il est donc nécessaire de démontrer la quantité de chrysotile dans la roche ultramafique de la future mine.

Les méthodes de laboratoire, tel que le XRD, pour quantifier le chrysotile se sont avérées problématiques, car les signaux entre le chrysotile et la serpentine sont très semblables et ne peuvent être distingués. Le comptage de points est une autre méthode qui a été utilisée par certains scientifiques, mais cette méthode prend beaucoup de temps et a le problème d'introduire un biais et une subjectivité dans l'analyse.

L'objectif était donc de trouver un moyen de quantifier le chrysotile en évaluant plusieurs trous représentatifs dans différentes régions de la fosse planifiée. Plusieurs méthodes ont été testées et les méthodes qui ont produit les meilleurs résultats ont été choisies. Ce document décrit ces méthodes.

3) Vue d'ensemble

Le filon-couche de Dumont est encaissé dans les laves et roches volcanoclastiques du Groupe d'Amos. Considéré comme une intrusion litée mafique-ultramafique, le filon-couche comprend une zone ultramafique inférieure et une zone mafique supérieure. La zone ultramafique est subdivisée en sous-zones: péridotite inférieure, dunite et péridotite supérieure. La zone mafique regroupe trois sous-zones qui sont, de la base vers le sommet, la clinopyroxénite, le gabbro et le gabbro à quartz. Le chrysotile est connu pour se développer dans la zone ultramafique en fonction des divers degrés de serpentinisation.

Pour caractériser objectivement chaque environnement de chrysotile et pour une gestion de temps efficace, des niveaux d'intensités furent créés. Ils réfèrent chacun à une teneur en pourcentage de chrysotile présent dans la carotte. Pour se faire, les géologues de RNC ont utilisé un trou de forage en référence (11-RN-309) qui fut choisi pour ces variations de textures dans les environnements de chrysotile.

Il y a trois environnements géologiques où le chrysotile a été identifié dans la roche ultramafique récupérée en forage et où l'estimation de celui-ci a besoin d'être évaluée séparément. Ces environnements sont:

- **Réseaux de chrysotile**:
  Autour des grains et dans les petites veines (omniprésentes dans la roche)
- **Chrysotile dans les zones hautement fragmentées** (Failles)
- **Chrysotile dans les veines/Fractures** (ouvertes ou fermées)

Pour chaque environnement différent, des catégories d'intensités, qui se rapportent à des pourcentages assignés de chrysotile présent, ont été créées suite aux méthodes mises sur pied. Ces pourcentages assignés sont utilisés comme facteur de multiplication pour tout convertir en millimètres de chrysotile sur un intervalle d'échantillonnage de 3m et donnant ainsi un pourcentage total de chrysotile sur l'intervalle de 3m. Pour faire une analyse plus objective, des exemples visuels des catégories d'intensités sont présentés ci-dessous, ainsi que la manière dont les géologues de RNC sont arrivés au résultat des pourcentages assignés. Un aperçu des résultats finaux se trouve dans le Tableau 1 ci-dessous.

Tableau 1: Valeurs assignées pour les catégories d'intensités de chaque environnements de chrysotile

Environnements de chrysotile	Catégories d'intensités (Gamme de pourcentage)	Valeurs assignées aux catégories d'intensités
Réseaux de chrysotile	Aucun (0 à 0.1%)	0%
	Faible (0.1 à 1%)	0.75%
	Modérée (1 à 2.5%)	1.75%
	Élevée (2.5 à 4.5%)	3.50%
	Intense (4.5 à 7%)	6%
Chrysotile dans les zones hautement fragmentées	Faible (1 à 10%)	3%
	Modérée (10 à 25%)	15%
	Élevée (25 à 45%)	35%
	Intense (45 à 70%)	55%
Chrysotile dans les veines/fractures	70 à 100% chrysotile	100%

4) Méthodes

Cette section montre les différentes méthodes approchées pour quantifier le chrysotile dans les trois types d'environnements évalués pour finalement atteindre une technique de procédure pour le journal de sondage du chrysotile.

i) Réseaux de chrysotile

Pour estimer la teneur de chrysotile dans les réseaux, les géologues de RNC ont premièrement séparé l'analyse en quatre catégories d'intensité. Des étendues de variation d'intensité en pourcentage de chrysotile furent attribuées à chaque catégorie d'intensité afin de faire une distinction entre chaque catégorie.

Ces étendues sont:

Intense (5-8%),
Élevée (3-5%),
Modérée (1-3%),
Faible (0.1%-1%).

Pour attribuer une teneur en pourcentage de chrysotile à chaque catégorie, deux méthodes furent testées.

Méthode de la mesure de l'épaisseur des réseaux de chrysotile

La première méthode expérimentée était de mesurer l'épaisseur de chrysotile dans les petites veines et autour des grains pour chaque catégorie d'intensité à travers des lignes perpendiculaires sur la surface coupée de la carotte dans un intervalle donné. Les mesures furent additionnées, puis divisées par la longueur de l'intervalle testé pour donner un pourcentage de chrysotile sur un plan.

Cette méthode a généré un écart significatif entre les résultats des cinq géologues attitrés à cette tâche. Les pourcentages mesurés ne correspondaient pas à leur estimation visuelle. Cette divergence était due à une surévaluation de l'épaisseur des petites veines de chrysotile (plus petite que 1mm) mesurées avec une règle traditionnelle.

Pour expérimenter cette méthode, cinq intervalles ont été sélectionnés pour chaque catégorie d'intensité de l'environnement «Réseaux de chrysotile» à partir d'une estimation visuelle des étendues attribuées. Chaque intervalle fut mesuré par cinq géologues et les données furent compilées au final pour donner un pourcentage de chrysotile pour chaque intervalle. Deux exemples (image 1 et 2) de cette méthode sont démontrés ci-dessous:



Image 1: **Section du trou de forage 11-RN-309 boite #57 avec un niveau de réseaux de chrysotile modérées. Les mesures ont été prises au long des lignes jaunes perpendiculairement au réseau de chrysotile.**

Mesures de l'image 1

1er ligne: 5.5cm de longueur

Géologue 1	(0.6mm/55mm)*100 =	1.1%
Géologue 2	(1.6mm/55mm)*100 =	2.9%
Géologue 3	(1.3mm/55mm)*100 =	2.4%
Géologue 4	(1.0mm/55mm)*100 =	1.8%
Géologue 5	(1.1mm/55mm)*100 =	2%
	Moyenne =	2% (Modérée)

2ième ligne: 6.0cm de longueur

Géologue 1	(0.6mm/60mm)*100 =	1%
Géologue 2	(1.1mm/60mm)*100 =	1.8%
Géologue 3	(1.3mm/60mm)*100 =	2.2%
Géologue 4	(0.5mm/60mm)*100 =	0.8%
Géologue 5	(1.1mm/60mm)*100 =	1.8%
	Moyenne =	1.5% (Modérée)



Image 2: **Section du trou de forage 11-RN-309 boite #88 avec un niveau de réseaux de chrysotile intense. Les mesures ont été prises au long des lignes rouges perpendiculairement au réseau de chrysotile.**

Mesures de l'image 2

1er ligne: 4.7cm de longueur

Géologue 1	(1.8mm/47mm)*100 =	3.8%
Géologue 2	(5.6mm/47mm)*100 =	12.0%
Géologue 3	(6.5mm/47mm)*100 =	14.0%
Géologue 4	(5.4mm/47mm)*100 =	11.5%
Géologue 5	(2mm/47mm)*100 =	4.3%
	Moyenne =	9.12% (Intense)

Tel que le démontrent les deux exemples précédents, les mesures prisent parmi les géologues ont des écarts importants donnant des résultats très divergeant. De plus, cette première expérimentation pour quantifier les réseaux de chrysotile donnent des pourcentages de chrysotile mesurés qui ne coïncident pas avec une estimation visuelle. Cette méthode fut abandonnée.

Méthode de l'histogramme des réseaux de chrysotile par Photoshop®

Les géologues de RNC ont par la suite mis au point une nouvelle méthode utilisant Photoshop®. En premier lieu, des photos furent prises pour chaque catégorie d'intensité sur la surface coupée de la demie carotte. En coupant la photo dans Photoshop®, les sections de réseaux de chrysotile furent isolées de sorte que seulement ceux-ci soient présents. En comparant avec la roche, le contraste et la luminosité furent ajustés pour faire en sorte que seulement (ou principalement) les réseaux de chrysotile apparaissent en blanc ou en couleurs claires et que le reste apparaisse en couleurs foncées. Par la suite, Photoshop® a calculé le pourcentage de pixels clairs par rapport aux pixels foncés présents en utilisant la fonction «Histogramme». Ainsi, les géologues de RNC obtinrent un pourcentage pour les différentes catégories de réseaux de chrysotile. Cette méthode est reproductible et donne des valeurs qui concordent avec l'estimation visuelle des géologues de RNC.

Pour expérimenter cette méthode, un échantillon de l'environnement «Réseaux de chrysotile» de la catégorie d'intensité «Intense» fut pris en photo. Les étapes suivantes montrent les procédures utilisées pour cette méthode étape par étape. Cette méthode fut par la suite appliquée pour définir le pourcentage de chrysotile pour chaque catégorie d'intensité de l'environnement «Réseaux de chrysotile».

1er étape*:* Une photo de l'échantillon est prise et importée dans Photoshop®.

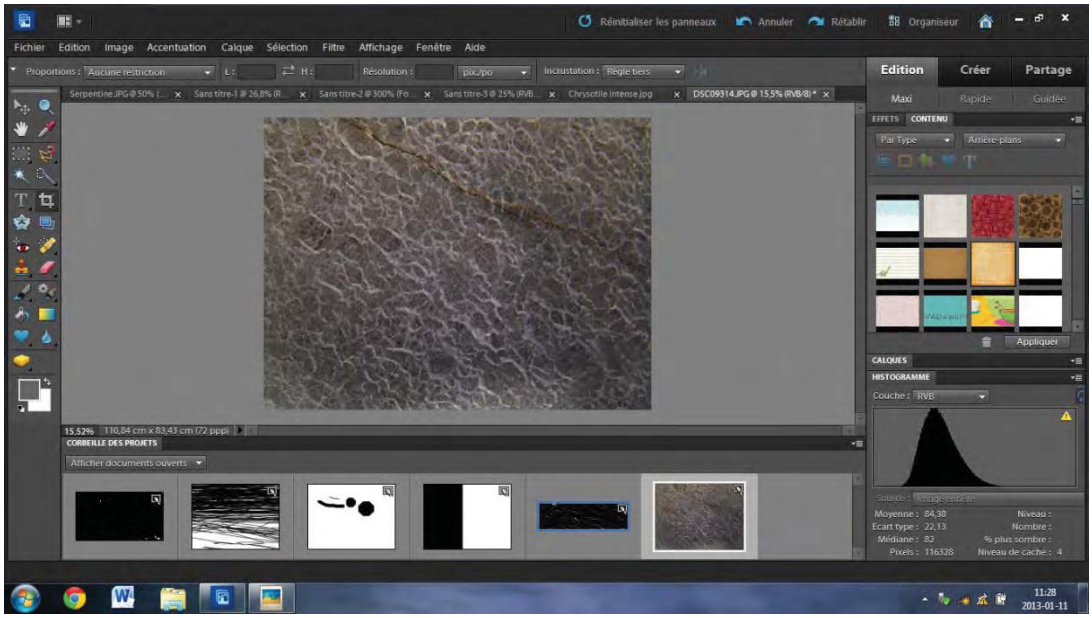


Image 3: **Photo du réseau de chrysotile de la catégorisé Intense importée dans Photoshop®.**

2ième Étape: Le contraste et la luminosité sont ajustés de façon à avoir seulement (ou principalement) le chrysotile affiché en pixels clairs.

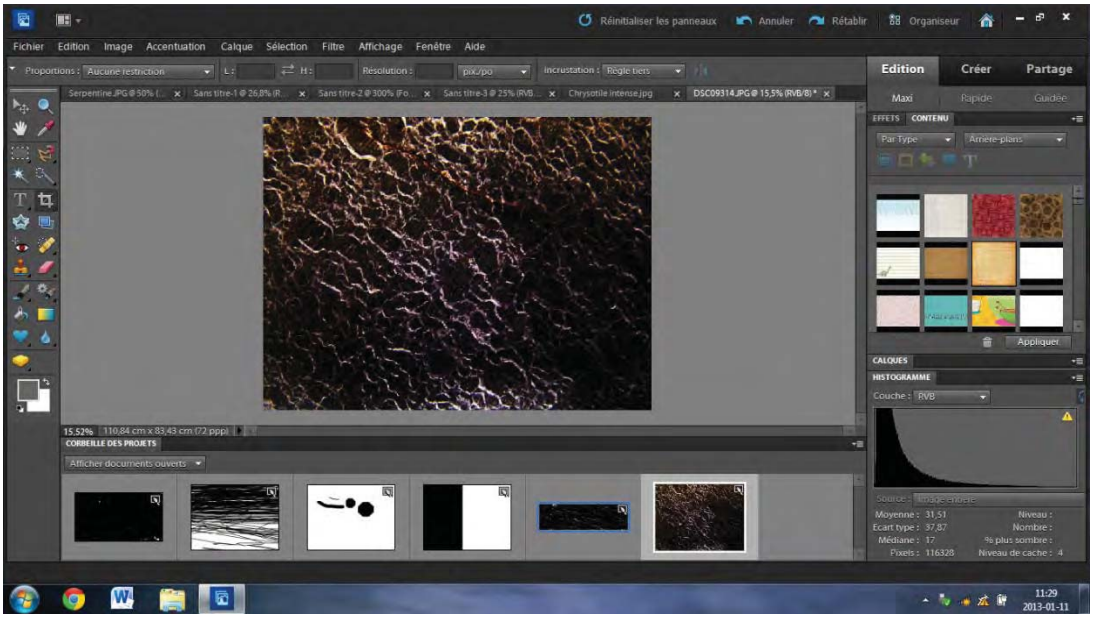


Image 4: **Manipulation de la luminosité et du contraste de la photo de l'échantillon.**

3ième étape: Le chrysotile identifié de couleur gris foncé est redéfini comme étant des pixels clairs pour représenter tous le chrysotile dans l'échantillon.

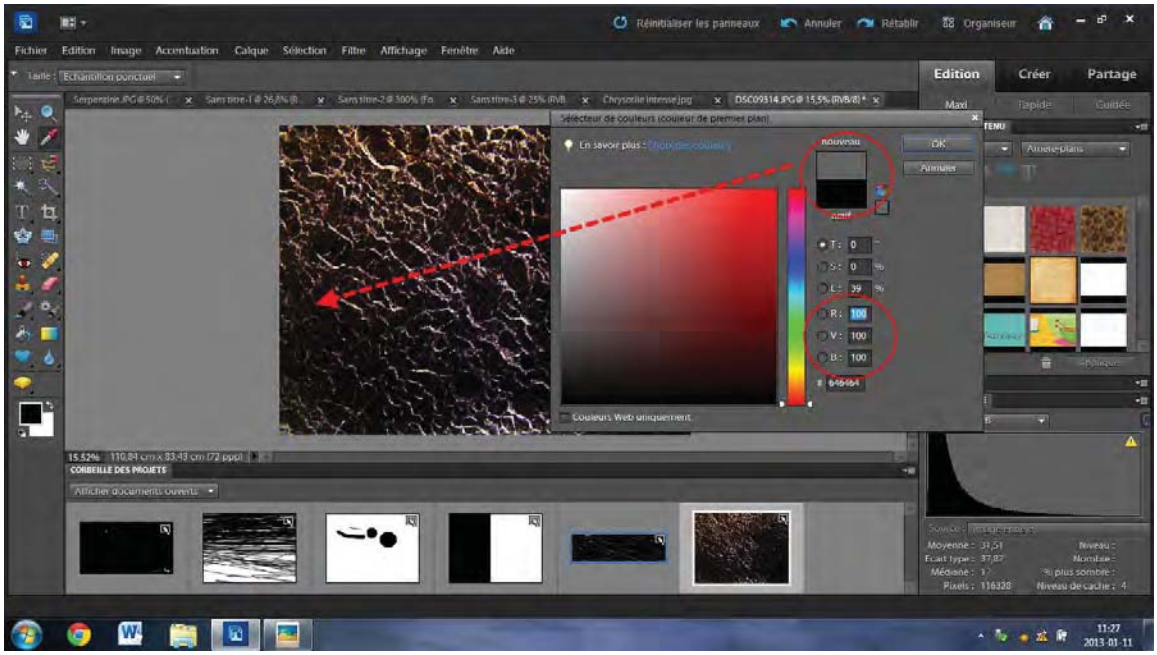


Image 5: **Redéfinition des pixels de couleurs sur la photo de l'échantillon.**

Étape 4: La fonction Histogramme montre le pourcentage de pixels qui sont plus foncés qu'une valeur donnée. Dans ce cas-ci, la valeur donnée représente la couleur limite attribuée à la chrysotile, soit 100 dans l'exemple.

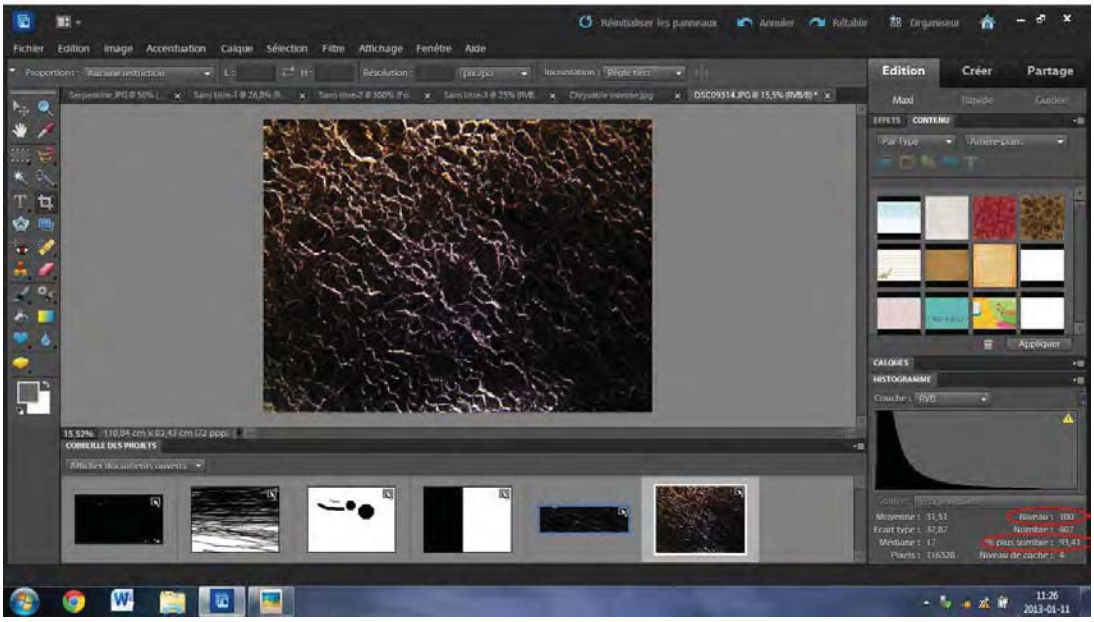


Image 6: **Obtenir le pourcentage de chrysotile de la photo.**

Avec cinq photos représentatives des catégories d'intensité Faible et Modérée, quatre photos représentatives de la catégorie d'intensité Élevée et trois photos représentatives de la catégorie d'intensité Intense, une valeur moyenne a été obtenue pour chaque catégorie en utilisant la méthode de Photoshop® pour les Réseaux de chrysotile. Ces valeurs ont été par la suite arrondies au supérieur pour donner une surestimation artificielle dans le but de rester conservateur, donnant ainsi une valeur assignée pour chaque catégorie d'intensité pour l'environnement «Réseaux de chrysotile».

Par la suite, des nouvelles gammes de valeurs de pourcentage possible furent assignées à chaque catégorie d'intensité. Ces valeurs sont montrées dans le *tableau 2* ci-dessous:

Tableau 2: Valeurs assignées pour les catégories d'intensités de l'environnements «Réseaux de chrysotile» avant les ajustements

Catégories d'intensité de l'environnement «Réseaux de chrysotile»	Nombre de photo utilisée	Valeurs assignées	Gammes de pourcentage assignées
Aucun	-	0%	0% à 0.1%
Faible	5	0.75%	0.1% à 1%
Modérée	5	1.75%	1% à 2.5%
Élevée	4	3.50%	2.5% à 4.5%
Intense	3	6%	4.5% à 7%

Échantillons utilisés pour la caractérisation de l'environnement «Réseaux de chrysotile»

Toutes les photos utilisées pour déterminer la valeur assignée de chaque catégorie d'intensité sont illustrées ci-dessous (Image 7 à 23):

Catégorie d'intensité: Faible
Pourcentage de chrysotile: 0.23%

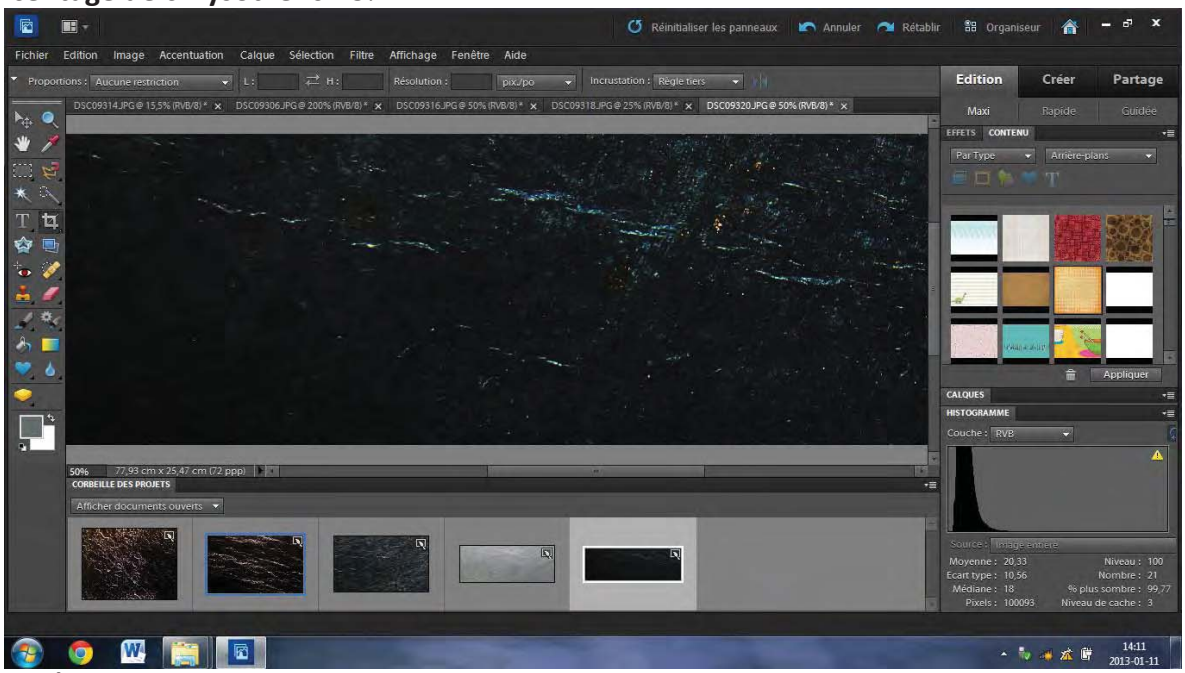


Image 7: **Échantillon de la catégorie d'intensité Faible après manipulation dans Photoshop®.**

Catégorie d'intensité: Faible
Pourcentage de chrysotile: 0.74%

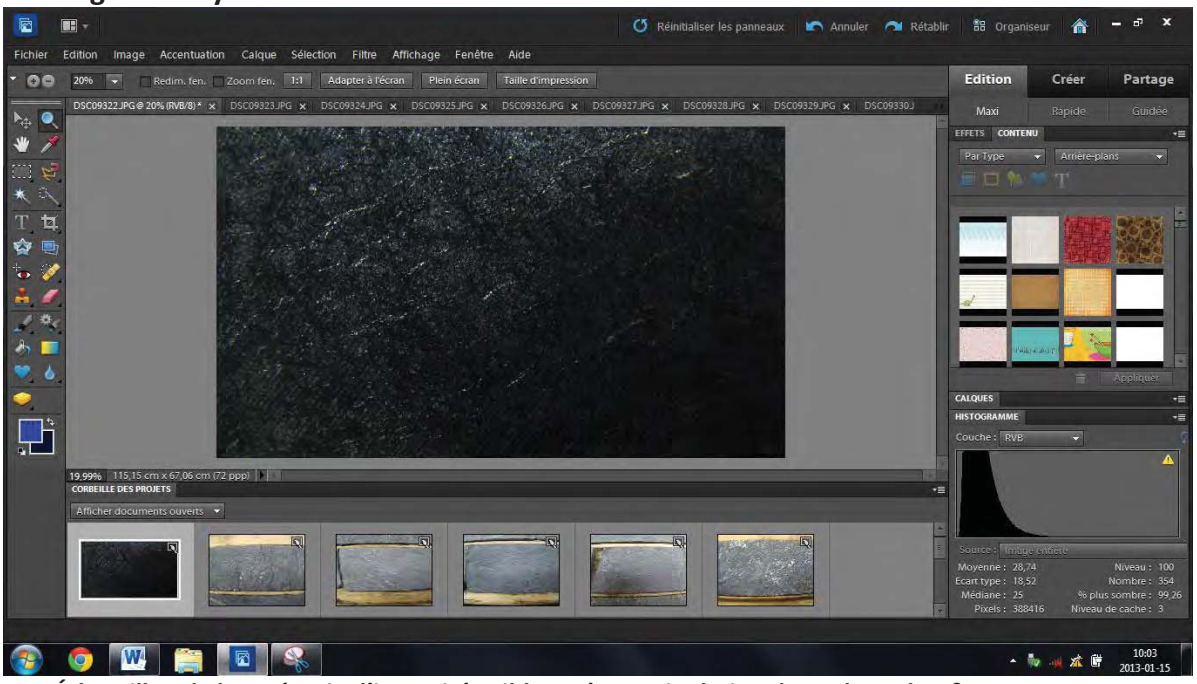


Image 8: **Échantillon de la catégorie d'intensité Faible après manipulation dans Photoshop®.**

Catégorie d'intensité: Faible
Pourcentage de chrysotile: 0.96%

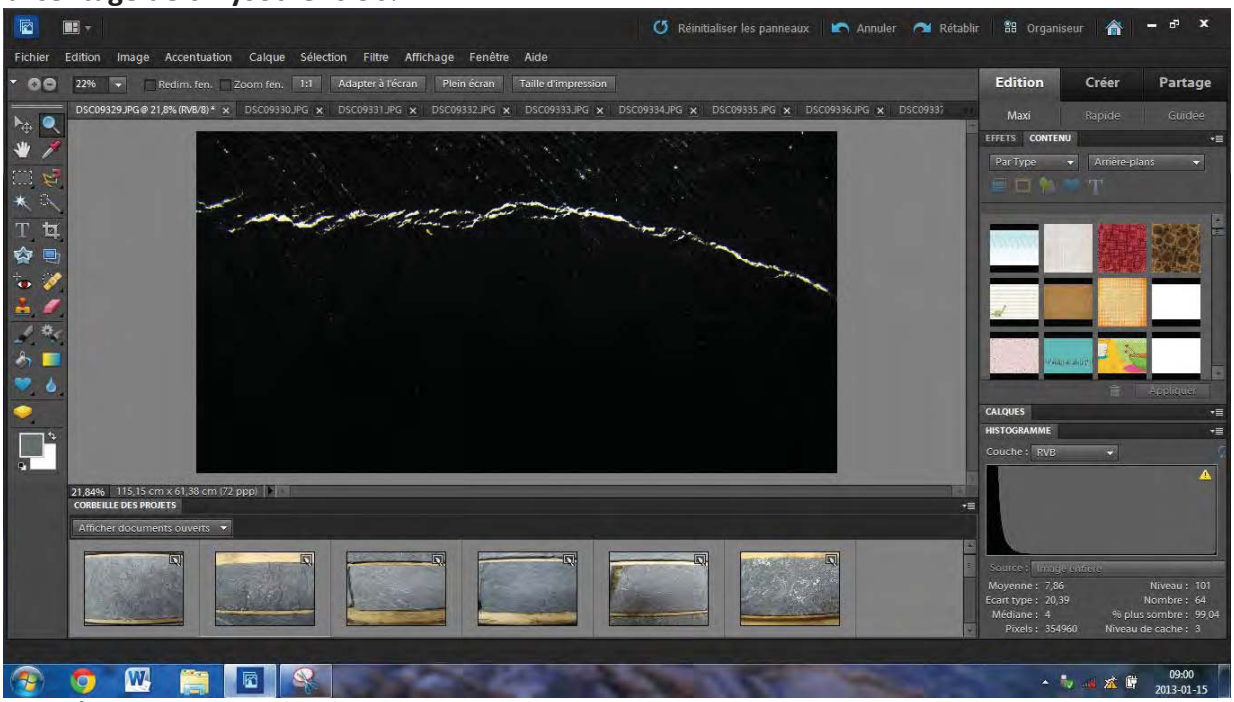


Image 9: **Échantillon de la catégorie d'intensité Faible après manipulation dans Photoshop®.**

Catégorie d'intensité: Faible
Pourcentage de chrysotile: 0.50%

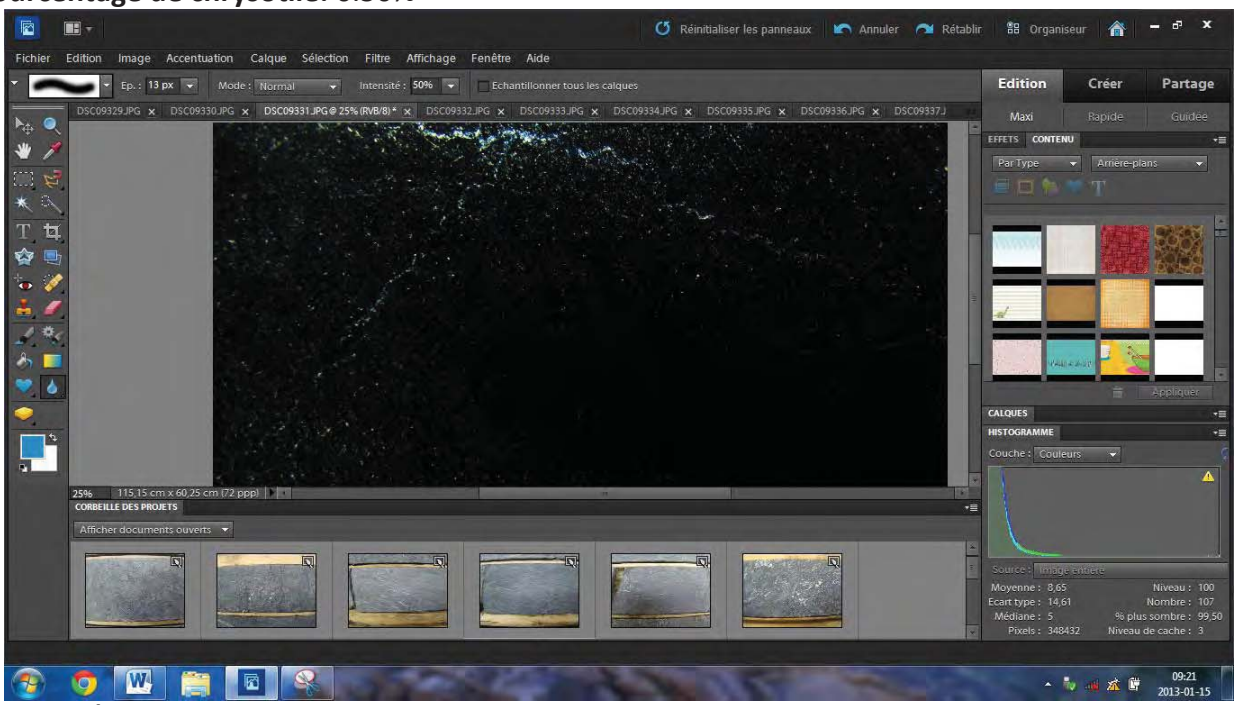


Image 10: **Échantillon de la catégorie d'intensité Faible après manipulation dans Photoshop®.**

Catégorie d'intensité: Faible
Pourcentage de chrysotile: 0.93%

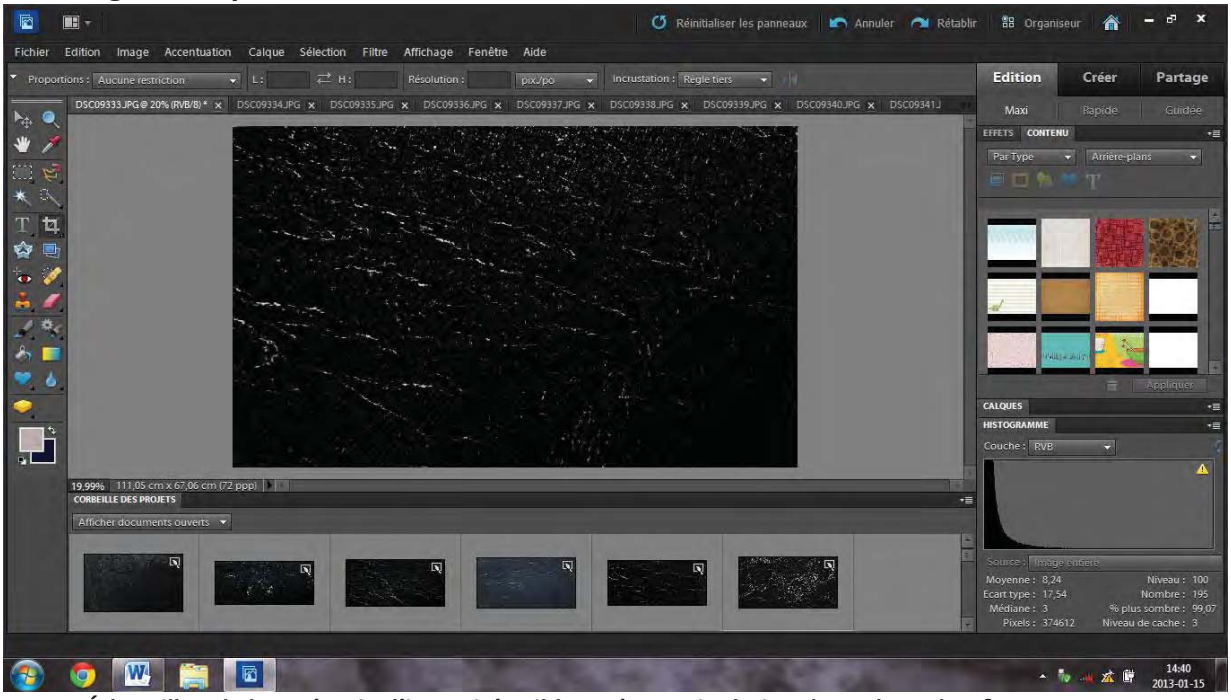


Image 11: **Échantillon de la catégorie d'intensité Faible après manipulation dans Photoshop®.**

Catégorie d'intensité: Modérée
Pourcentage de chrysotile: 1.35%

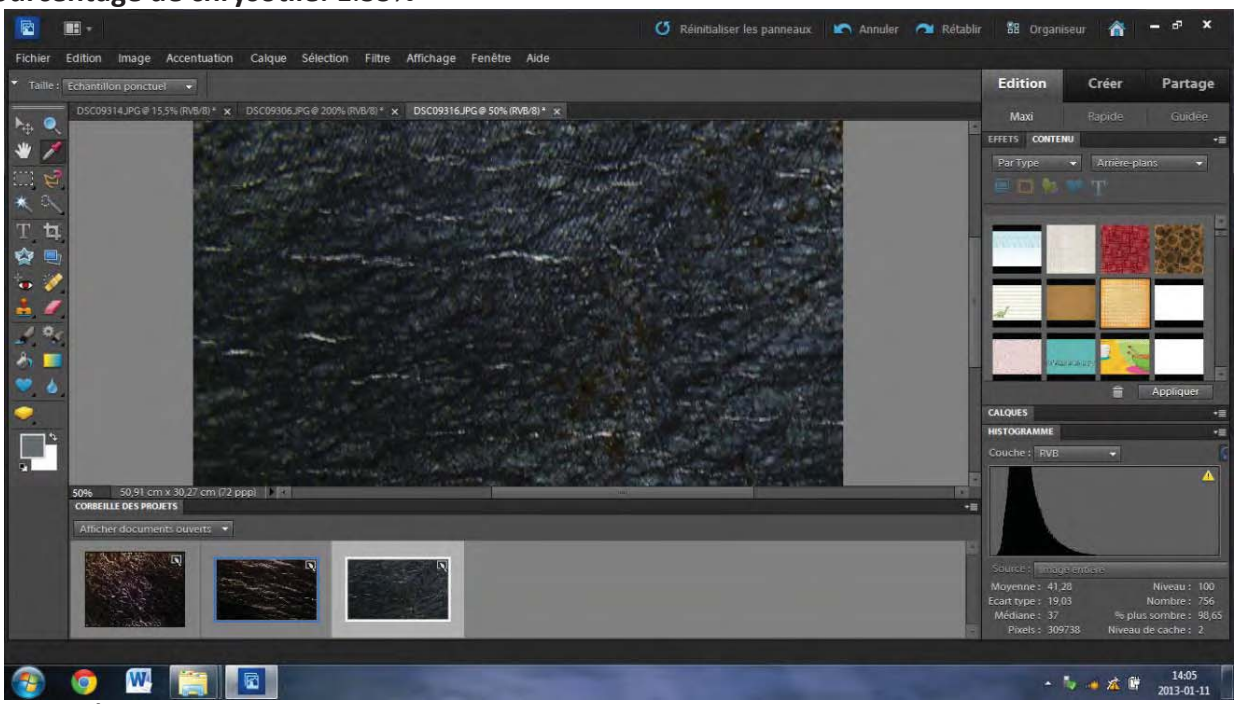


Image 12: **Échantillon de la catégorie d'intensité Modérée après manipulation dans Photoshop®.**

Catégorie d'intensité: Modérée
Pourcentage de chrysotile: 1.83%

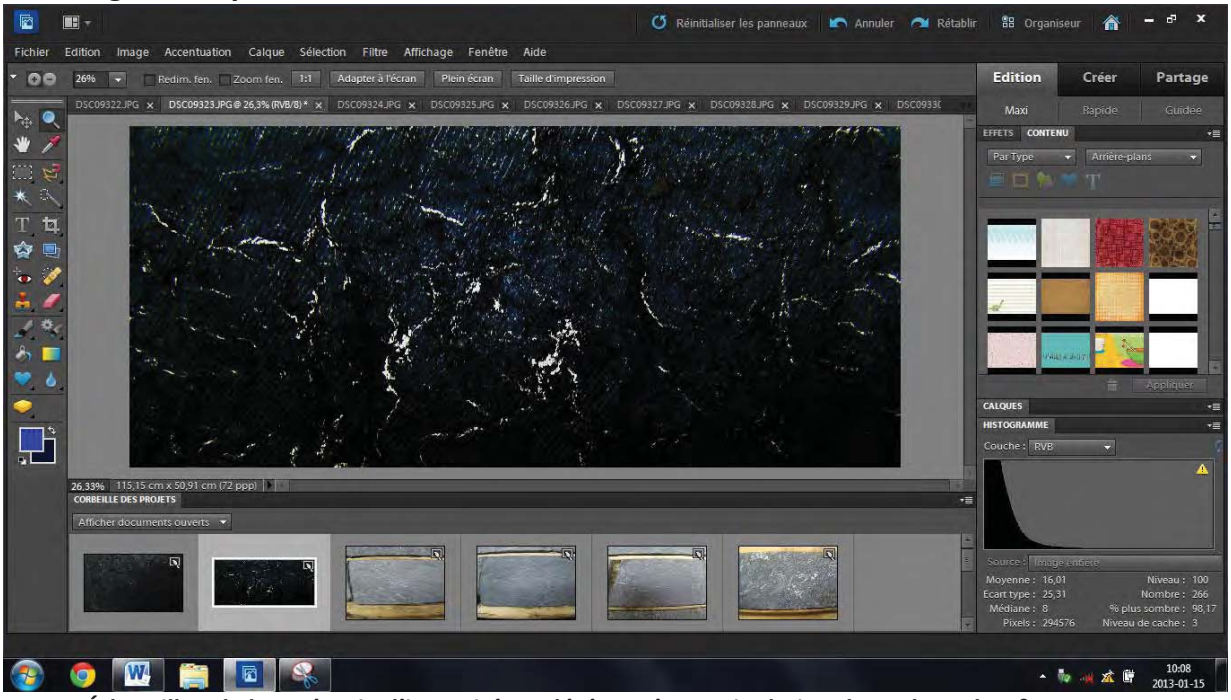


Image 13: **Échantillon de la catégorie d'intensité Modérée après manipulation dans Photoshop®.**

Catégorie d'intensité: Modérée
Pourcentage de chrysotile: 1.29%

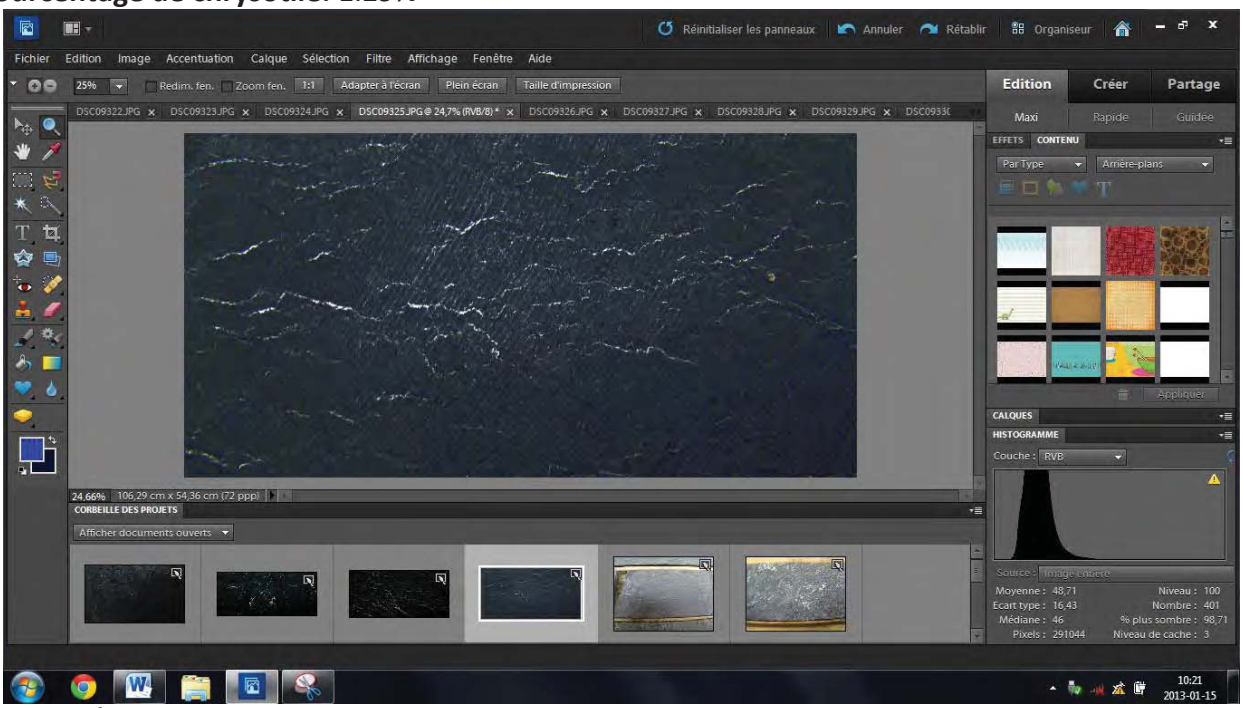


Image 14: **Échantillon de la catégorie d'intensité Modérée après manipulation dans Photoshop®.**

Catégorie d'intensité: Modérée
Pourcentage de chrysotile: 2.44%

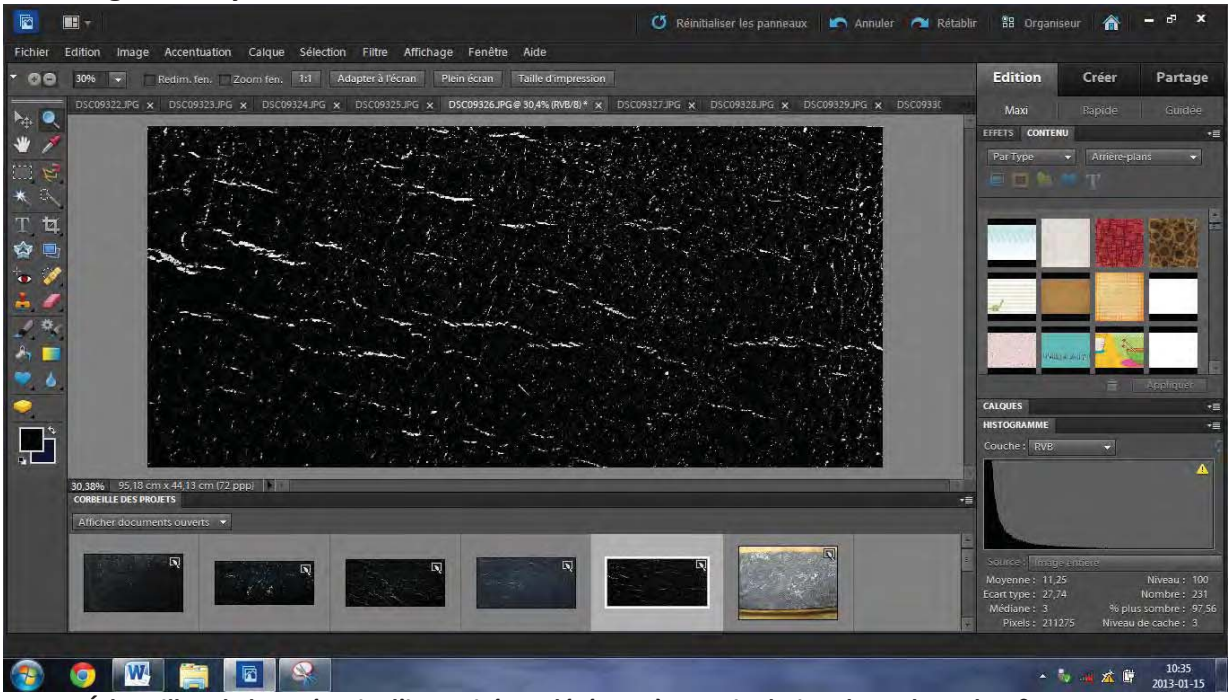


Image 15: **Échantillon de la catégorie d'intensité Modérée après manipulation dans Photoshop®.**

Catégorie d'intensité: Modérée
Pourcentage de chrysotile: 2.10%

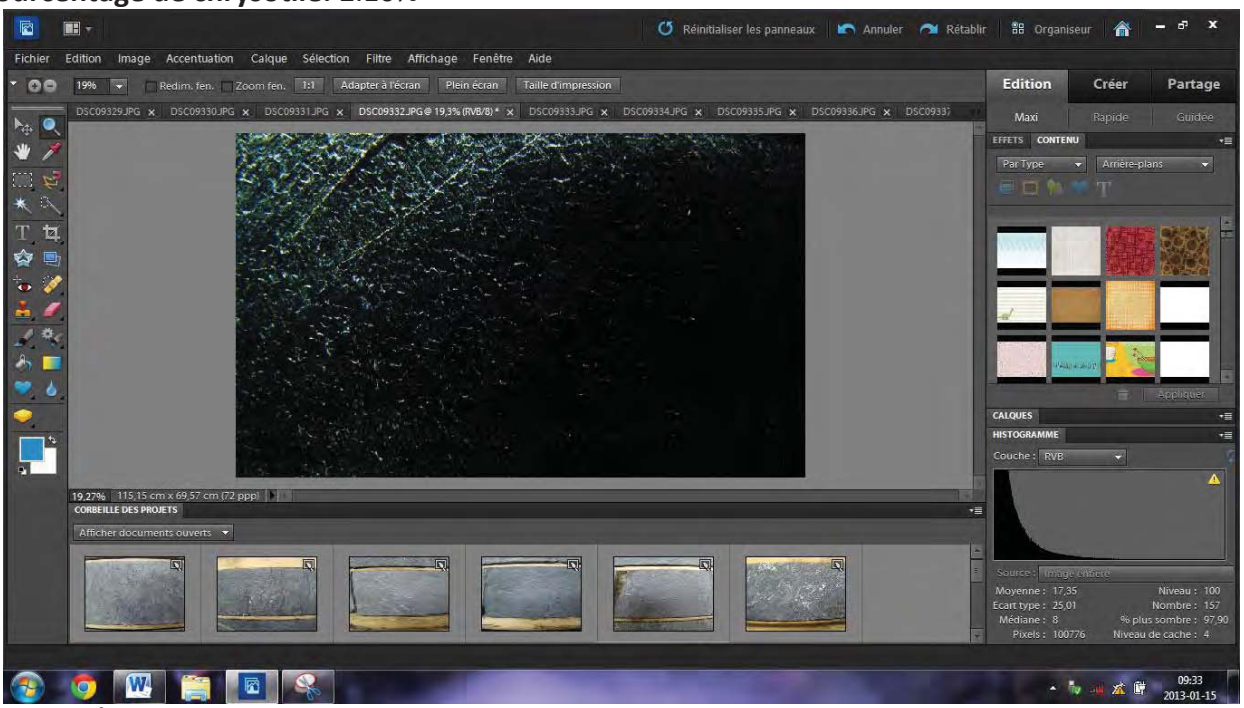


Image 16: **Échantillon de la catégorie d'intensité Modérée après manipulation dans Photoshop®.**

Catégorie d'intensité: Élevée
Pourcentage de chrysotile: 4.11%

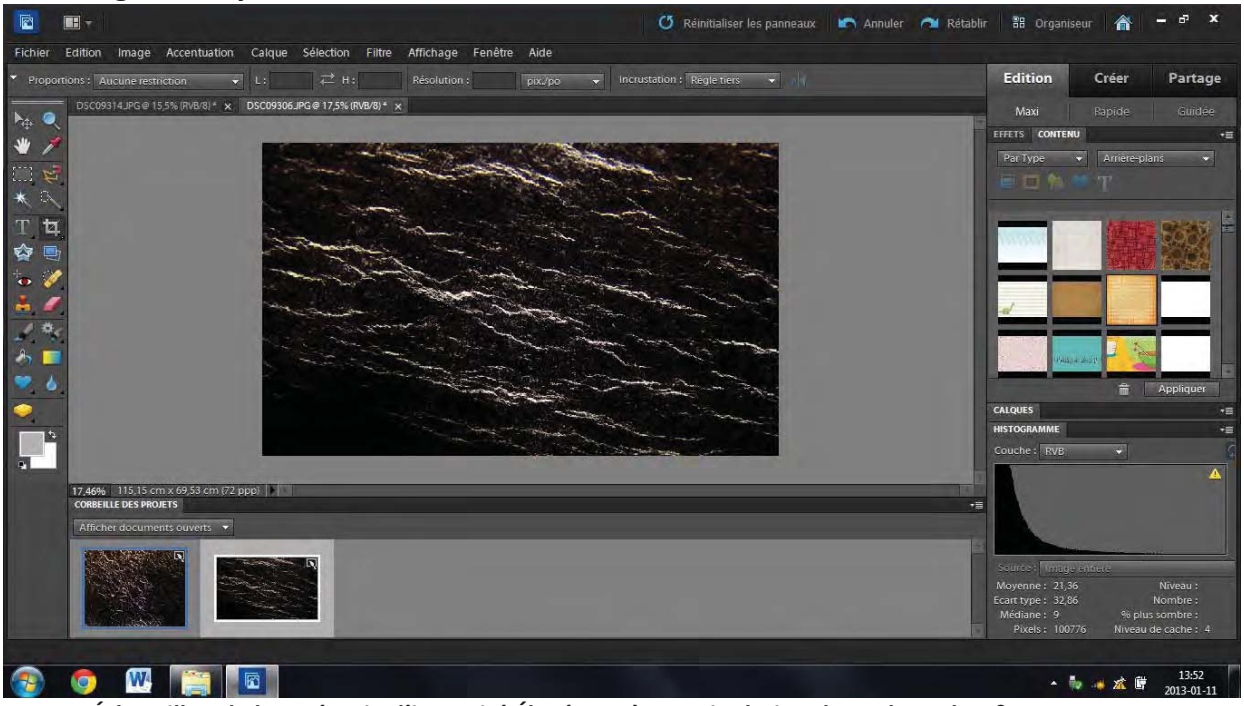


Image 17: **Échantillon de la catégorie d'intensité Élevée après manipulation dans Photoshop®.**

Catégorie d'intensité: Élevée
Pourcentage de chrysotile: 2.81%

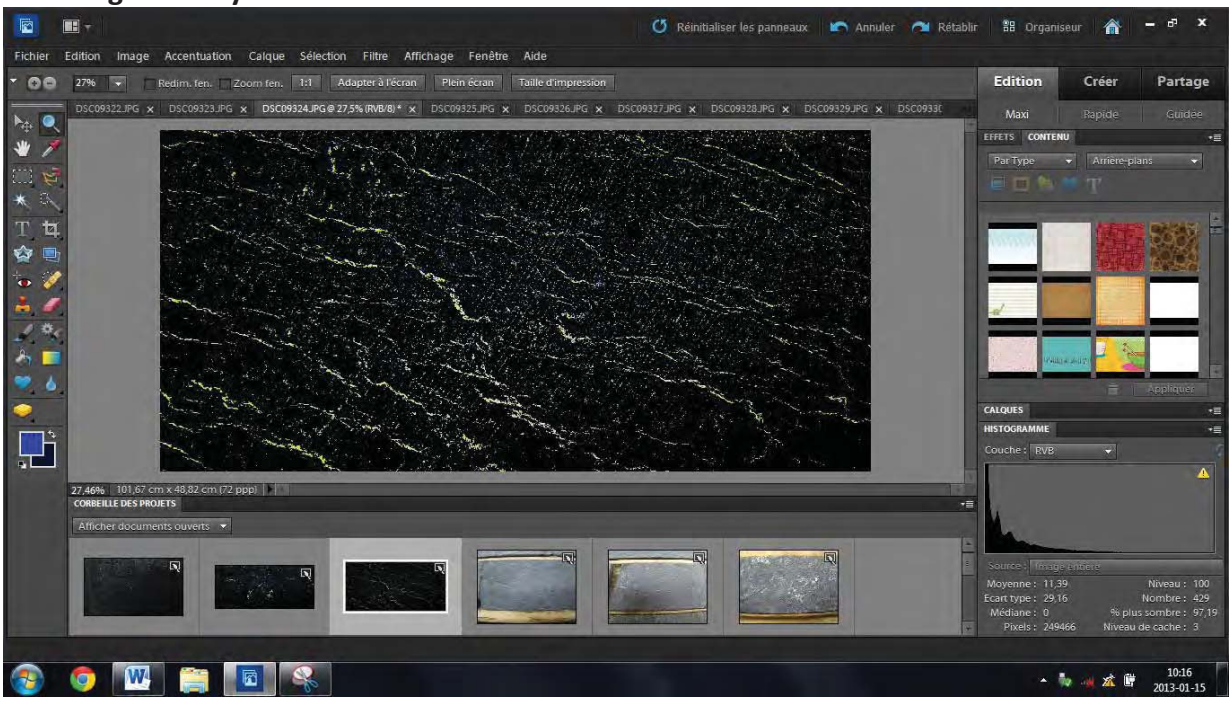


Image 18: **Échantillon de la catégorie d'intensité Élevée après manipulation dans Photoshop®.**

Catégorie d'intensité: Élevée
Pourcentage de chrysotile: 3.50%

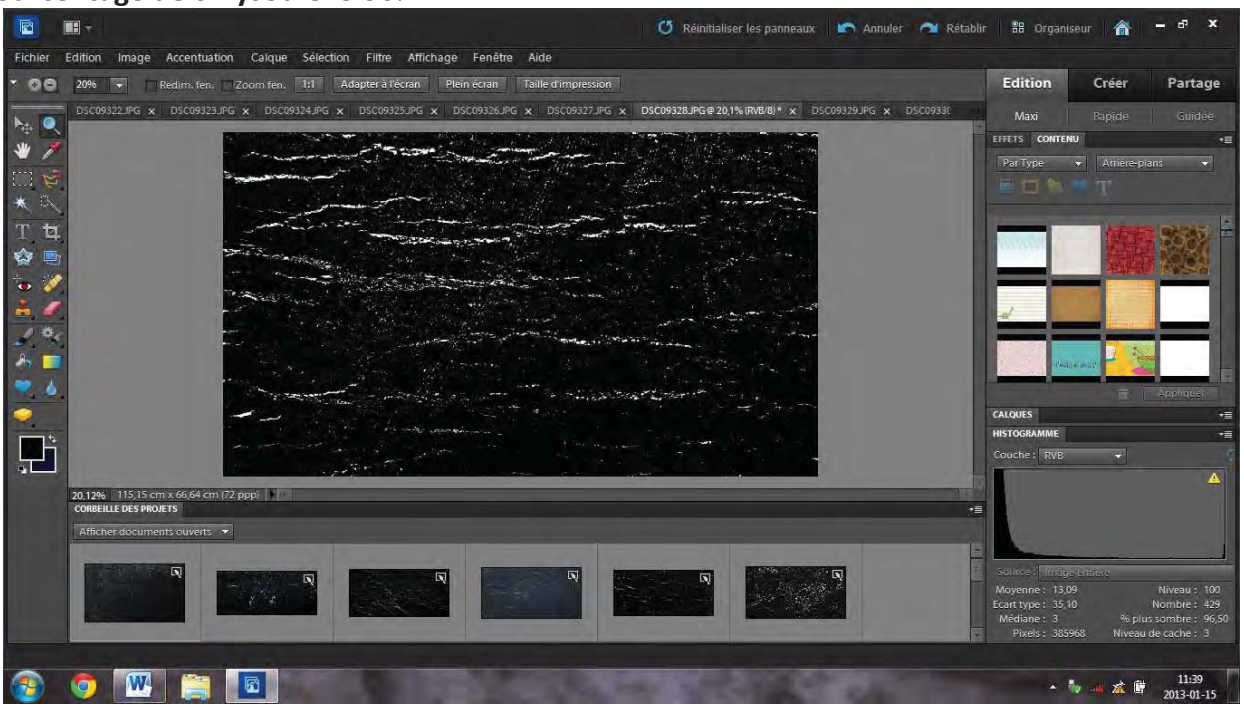


Image 19: **Échantillon de la catégorie d'intensité Élevée après manipulation dans Photoshop®.**

Catégorie d'intensité: Élevée
Pourcentage de chrysotile: 2.78%

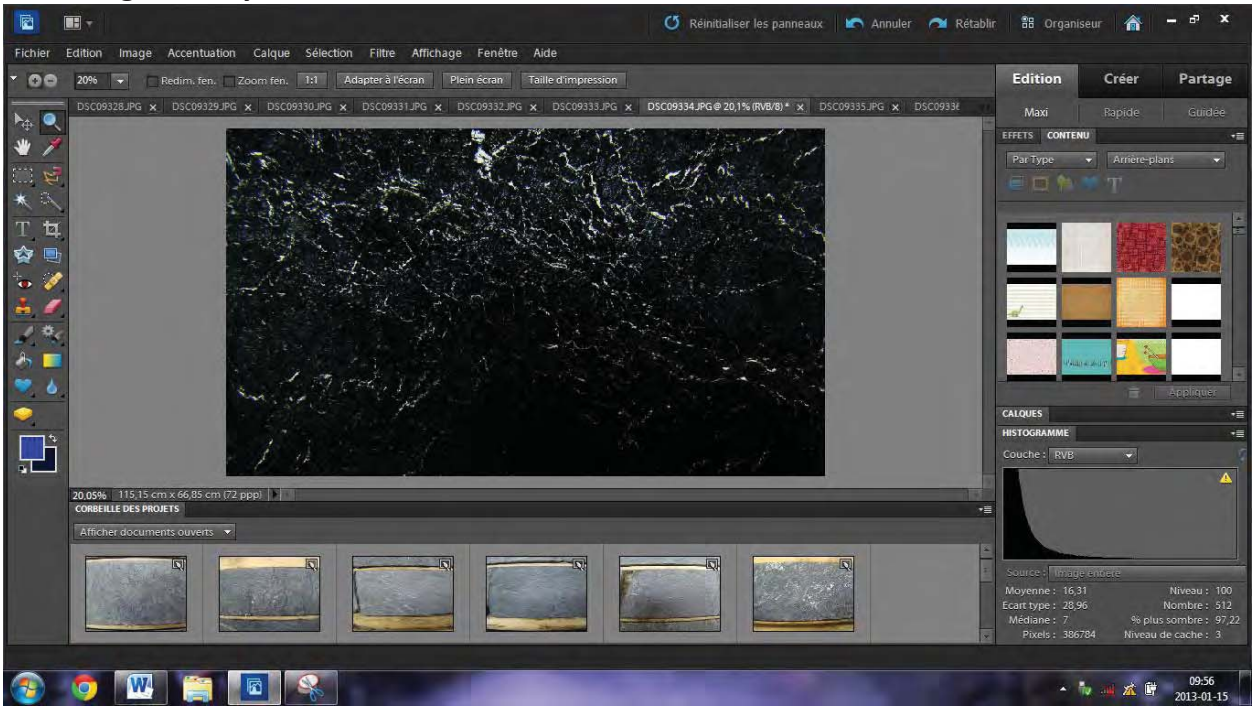


Image 20: **Échantillon de la catégorie d'intensité Élevée après manipulation dans Photoshop®.**

Catégorie d'intensité: Intense
Pourcentage de chrysotile: 5.65%

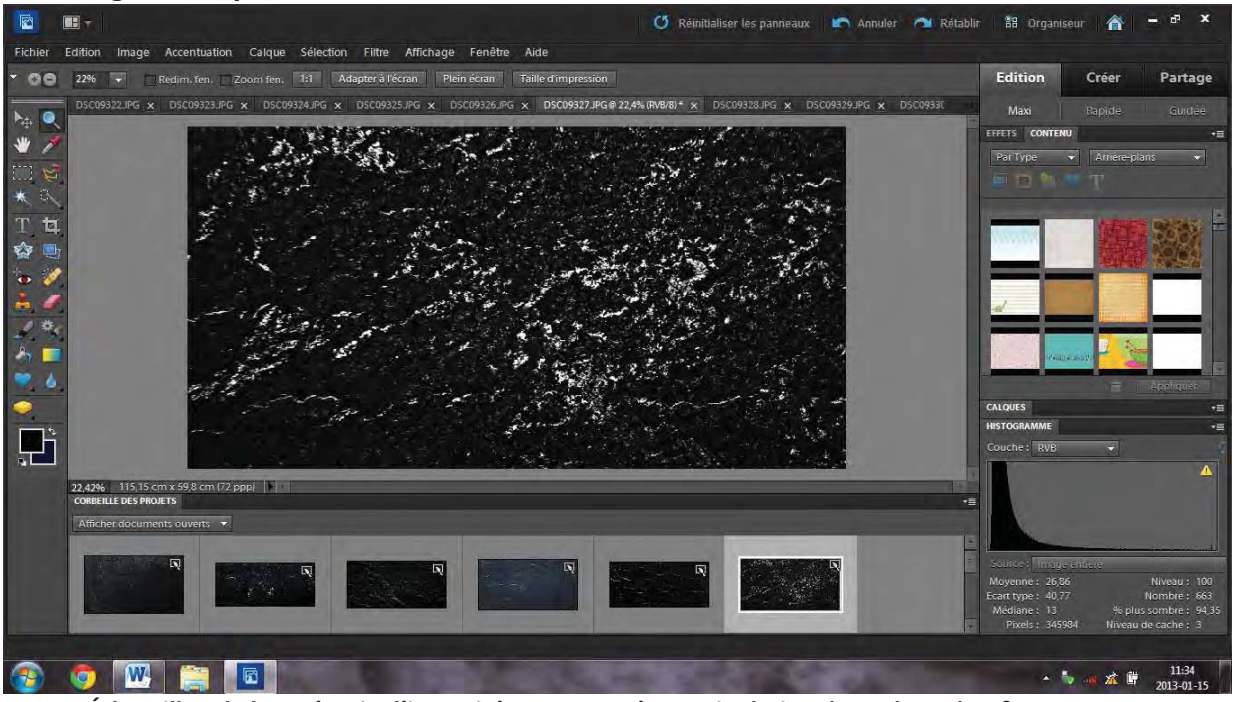


Image 21: **Échantillon de la catégorie d'intensité Intense après manipulation dans Photoshop®.**

Catégorie d'intensité: Intense
Pourcentage de chrysotile: 4.87%

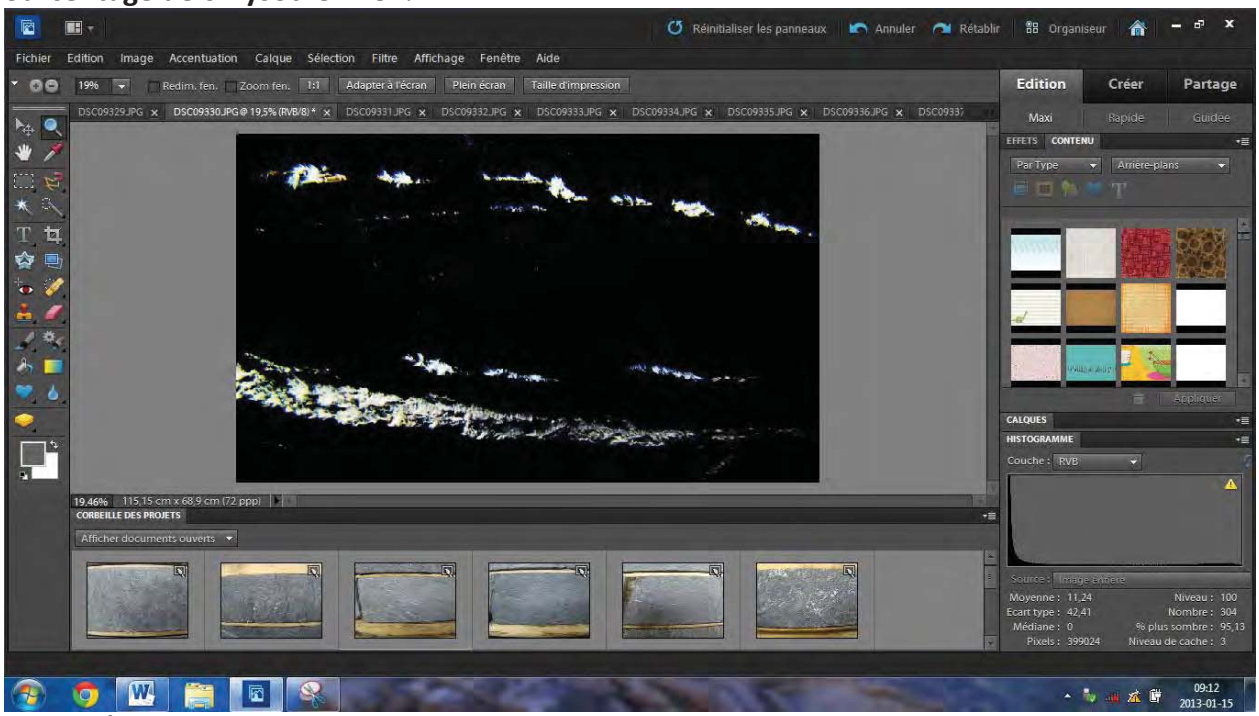


Image 22: **Échantillon de la catégorie d'intensité Intense après manipulation dans Photoshop®.**

Catégorie d'intensité: Intense
Pourcentage de chrysotile:6.59%

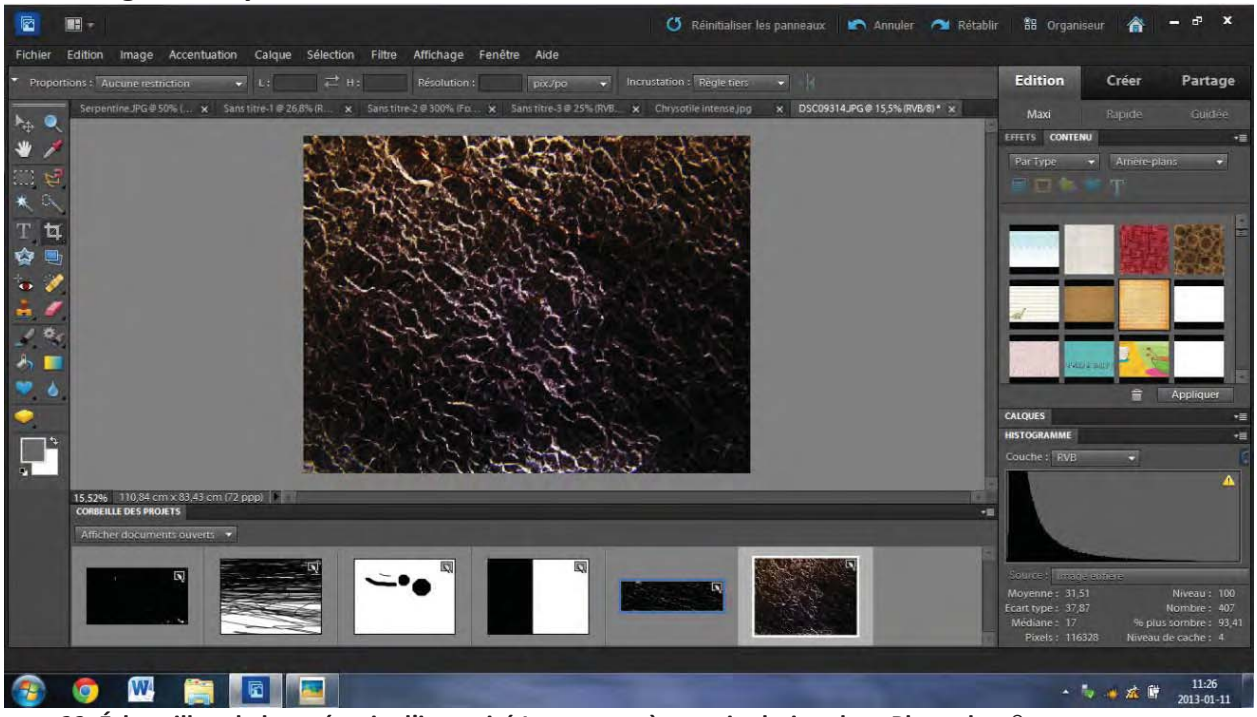


Image 23: **Échantillon de la catégorie d'intensité Intense après manipulation dans Photoshop®.**

Ajout de données supplémentaires

Dans le but d'avoir une meilleure représentativité des catégories d'intensités "Élevée" et "Intense", de nouveaux échantillons ont été évalués pour avoir maintenant un total de 5 échantillons pour chaque catégorie d'intensité. Ainsi, 2 échantillons ont été ajoutés pour la catégorie d'intensité "Intense" et un échantillon pour la catégorie d'intensité "Élevée".

Ces nouveaux échantillons ont été évalués par la méthode Photoshop®. La valeur assignée à chaque catégorie a été ajustée en prenant en compte les pourcentages des nouveaux échantillons. Malgré l'ajout de nouvelles données pour les catégories d'intensités "Élevée" et "Intense", l'ajustement de la valeur assignée des catégories d'intensités "Élevée" et "Intense" n'apporte aucune différence aux valeurs assignées précédentes. Le Tableau 3 montre ces valeurs.

Tableau 3: Valeurs assignées pour les catégories d'intensités de l'environnements «Réseaux de chrysotile» après les ajustement

Catégories d'intensité de l'environnement «Réseaux de chrysotile»	Nombre de photo utilisée avant ajustement	Nombre de photo utilisée après ajustement	Valeurs assignées précédentes	Valeurs assignées ajustées	Gammes de pourcentage assignées
Aucun	-	-	0%	0%	0% à 0.1%
Faible	5	5	0.75%	0.75%	0.1% à 1%
Modérée	5	5	1.75%	1.75%	1% à 2.5%
Élevée	4	5	3.50%	3.50%	2.5% à 4.5%
Intense	3	5	6%	6%	4.5% à 7%

Les photos des nouveaux échantillons sont illustrées ci-dessous:

Catégorie d'intensité: Élevée
Pourcentage de chrysotile: 3.59%



Image 24: **Échantillon de la catégorie d'intensité Élevée sur la carotte de forage**

Catégorie d'intensité: Intense
Pourcentage de chrysotile: 5.68%



Image 25: **Échantillon de la catégorie d'intensité Élevée sur la carotte de forage**

Catégorie d'intensité: Intense
Pourcentage de chrysotile: 5.57%



Image 26: **Échantillon de la catégorie d'intensité Élevée sur la carotte de forage**

ii) Chrysotile dans les zones hautement fragmentées

Pour estimer la teneur de chrysotile dans les zones hautement fragmentées, les géologues de RNC ont utilisé la même stratégie de catégories d'intensités que pour les Réseaux de chrysotile. Une variété de zones hautement fragmentées a été sélectionnée pour assurer une distribution représentative.

La quantification des catégories d'intensités du chrysotile dans ces zones a dû s'effectuer de façon visuelle par cinq géologues de RNC. Les valeurs mesurées ont été compilées, vérifiées puis assignées à une catégorie d'intensité (faible, modérée, élevée et intense).

Dans cet environnement il est impossible d'utiliser Photoshop® pour deux raisons principales. Photoshop® exige des surfaces propres et continues. Mais dans cet environnement, la carotte de forage est fragmentée et la boue des zones cisaillées y couvre de façon omniprésente la carotte de forage.

Une valeur moyenne fut calculée pour chaque catégorie à partir des estimations des géologues faites sur une sélection de zones représentatives :

- 6 zones hautement fragmentées représentatives de la catégorie d'intensité Faible
- 6 zones hautement fragmentées représentatives de la catégorie d'intensité modérée
- 2 zones hautement fragmentées représentatives de la catégorie d'intensité Élevée
- 2 zones hautement fragmentées représentatives de la catégorie d'intensité Intense,

Par la suite, des gammes de pourcentage furent assignées à chacune des catégories. Ces valeurs sont indiquées dans le Tableau 4 ci-dessous:

Tableau 4: Valeurs assignées pour les catégories d'intensités de l'environnements «Chrysotile dans les zones hautment fragmentées» avant les ajustements.

Catégories d'intensité de l'environnement «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées»	Nombre de zones hautement fragmentées utilisées	Valeurs assignées	Gammes de pourcentage assignées
Faible	6	3%	1% à 10%
Modérée	6	15%	10% à 25%
Élevée	2	33%	25% à 40%
Intense	2	50%	40% à 70%

Échantillons utilisés pour la caractérisation de l'environnement «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées»

Toutes les zones hautement fragmentées utilisées pour déterminer la valeur assignée de chaque catégorie d'intensité sont illustrées ci-dessous (Image 27 à 39):

Catégorie d'intensité: Faible
Pourcentage de chrysotile moyen: 5%



Image 27: **Zone hautement fragmentée de la Boite #61 (289.90-290.40m)**

Chrysotile estimé de l'image 27 par les géologues:

Géologue 1	8% (Faible)
Géologue 2	3% (Faible)
Géologue 3	5% (Faible)
Géologue 4	3% (Faible)
Géologue 5	7% (Faible)
Valeur Moyenne	5% (Faible)

Catégorie d'intensité: Faible
Pourcentage de chrysotile moyen: 5%



Image 28: **Zone hautement fragmentée de la Boite #61 (290.40-291.00m)**

Chrysotile estimé de l'image 28 par les géologues:

Géologue 1	7% (Faible)
Géologue 2	3% (Faible)
Géologue 3	5% (Faible)
Géologue 4	3% (Faible)
Géologue 5	7% (Faible)
Valeur Moyenne	5% (Faible)

Catégorie d'intensité: Faible
Pourcentage de chrysotile moyen: 3%



Image 29: **Zone hautement fragmentées de la Boite #35 (178.20-178.50m).**

Chrysotile estimé de l'image 29 par les géologues:

Géologue 1	3% (Faible)
Géologue 2	2% (Faible)
Géologue 3	4% (Faible)
Géologue 4	3% (Faible)
Géologue 5	3% (Faible)
Valeur Moyenne	3% (Faible)

Catégorie d'intensité: Faible
Pourcentage de chrysotile moyen: 3%



Image 30: **Zone hautement fragmentée de la Boite #114 (518.85- 519.10m).**

Chrysotile estimé de l'image 30 par les géologues:

Géologue 1	3% (Faible)
Géologue 2	2% (Faible)
Géologue 3	3% (Faible)
Géologue 4	3% (Faible)
Géologue 5	3% (Faible)
Valeur Moyenne	3% (Faible)

Catégorie d'intensité: Faible
Pourcentage de chrysotile moyen: 3%



Image 31: **Zone hautement fragmentée de la Boite #115 (521.50-522.00m).**

Chrysotile estimé de l'image 31 par les géologues:

Géologue 1	4% (Faible)
Géologue 2	2% (Faible)
Géologue 3	2% (Faible)
Géologue 4	3% (Faible)
Géologue 5	3% (Faible)
Valeur Moyenne	3% (Faible)

Catégorie d'intensité: Faible
Pourcentage de chrysotile moyen: 4%



Image 32: **Zone hautement fragmentée de la Boite #80 (369.60-370.30m).**

Chrysotile estimé de l'image 32 par les géologues:

Géologue 1	5% (Faible)
Géologue 2	3% (Faible)
Géologue 3	3% (Faible)
Géologue 4	4% (Faible)
Géologue 5	5% (Faible)
Valeur Moyenne	4% (Faible)

Catégorie d'intensité: Modérée
Pourcentage de chrysotile moyen: 10%



Image 33: **Zone hautement fragmentée de la Boite #34 (172.35-172.75m).**

Chrysotile estimé de l'image 33 par les géologues:

Géologue 1	15% (Modérée)
Géologue 2	5% (Faible)
Géologue 3	10% (Modérée)
Géologue 4	10% (Modérée)
Géologue 5	10% (Modérée)
Valeur Moyenne	10% (Modérée)

Catégorie d'intensité: Modérée
Pourcentage de chrysotile moyen: 10%



Image 34: **Zone hautement fragmentée de la Boite #49 (236.50-237.00m).**

Chrysotile estimé de l'image 34 par les géologues:

Géologue 1	15% (Modérée)
Géologue 2	8% (Faible)
Géologue 3	11% (Modérée)
Géologue 4	7% (Faible)
Géologue 5	9% (Faible)
Valeur Moyenne	10% (Modérée)

Catégorie d'intensité: Modérée
Pourcentage de chrysotile moyen: 20%



Image 35: **Zone hautement fragmentée de la Boite #115 (521.00-521.50m).**

Chrysotile estimé de l'image 35 par les géologues:

Géologue 1	25% (Modérée)
Géologue 2	15% (Modérée)
Géologue 3	20% (Modérée)
Géologue 4	20% (Modérée)
Géologue 5	20% (Modérée)
Valeur Moyenne	20% (Modérée)

Catégorie d'intensité: Modérée
Pourcentage de chrysotile moyen: 20%



Image 36: **Zone hautement fragmentée de la Boite #80 (370.30-370.80m).**

Chrysotile estimé de l'image 36 par les géologues:

Géologue 1	25% (Modérée)
Géologue 2	15% (Modérée)
Géologue 3	20% (Modérée)
Géologue 4	25% (Modérée)
Géologue 5	15% (Modérée)
Valeur Moyenne	20% (Modérée)

Catégorie d'intensité: Modérée
Pourcentage de chrysotile moyen: 17%



Image 37: **Zone hautement fragmentée de la Boite #97 (445.80-446.20m).**

Chrysotile estimé de l'image 37 par les géologues:

Géologue 1	23% (Modérée)
Géologue 2	15% (Modérée)
Géologue 3	18% (Modérée)
Géologue 4	15% (Modérée)
Géologue 5	15% (Modérée)
Valeur Moyenne	17% (Modérée)

Catégorie d'intensité: Modérée
Pourcentage de chrysotile moyen: 12%



Image 38: **Zone hautement fragmentée de la Boite #104 (474.15-474.75m).**

Chrysotile estimé de l'image 38 par les géologues:

Géologue 1	15% (Modérée)
Géologue 2	8% (Faible)
Géologue 3	15% (Modérée)
Géologue 4	12% (Modérée)
Géologue 5	10% (Modérée)
Valeur Moyenne	12% (Modérée)

Catégorie d'intensité: Élevée
Pourcentage de chrysotile moyen: 35%



Image 39: **Zone hautement fragmentée de la Boite #24 (131.40-131.95m)**

Chrysotile estimé de l'image 39 par les géologues:

Géologue 1	40% (Élevée)
Géologue 2	25% (Élevée)
Géologue 3	30% (Élevée)
Géologue 4	25% (Élevée)
Géologue 5	40% (Élevée)
Valeur Moyenne	35% (Élevée)

Catégorie d'intensité: Élevée
Pourcentage de chrysotile moyen: 36%



Image 40: **Zone hautement fragmentée de la Boite #26 (139.75-140.35m).**

Chrysotile estimé de l'image 40 par les géologues:

Géologue 1	40% (Élevée)
Géologue 2	35% (Élevée)
Géologue 3	35% (Élevée)
Géologue 4	35% (Élevée)
Géologue 5	35% (Élevée)
Valeur Moyenne	36% (Élevée)

Catégorie d'intensité: Intense
Pourcentage de chrysotile moyen: 50%



Image 41: **Zone hautement fragmentée de la Boite #97 (446.20-446.80m).**

Chrysotile estimé de l'image 41 par les géologues:

Géologue 1	55% (Intense)
Géologue 2	45% (Intense)
Géologue 3	50% (Intense)
Géologue 4	50% (Intense)
Géologue 5	50% (Intense)
Valeur Moyenne	50% (Intense)

Catégorie d'intensité: Intense
Pourcentage de chrysotile moyen: 57%



Image 42: **Zone hautement fragmentée de la Boite #63 (299.20-299.50m)**

Chrysotile estimé de l'image 42 par les géologues:

Géologue 1	60% (Intense)
Géologue 2	60% (Intense)
Géologue 3	50% (Intense)
Géologue 4	55% (Intense)
Géologue 5	60% (Intense)
Valeur Moyenne	57% (Intense)

Ajout de données supplémentaires

Dans le but d'avoir une plus grande représentativité des catégories d'intensités Élevée et Intense, de nouveaux intervalles ont été évalués pour avoir maintenant un total de 5 échantillons pour ces catégories d'intensités. Ainsi, 3 intervalles ont été ajoutés pour les catégories d'intensités Élevée et Intense.

Ces nouveaux intervalles ont été évalués en utilisant la méthode décrite ci-haut. La valeur assignée à chaque catégorie a été ajustée en prenant en compte les pourcentages des nouveaux échantillons. L'ajout de nouvelles données pour les catégories d'intensités Élevée et Intense, cause une légère différence aux valeurs assignées de ces catégories d'intensités.

- Intensité Élevée, la valeur moyenne passe de 33% à 35%.
- Intensité Intense, la valeur moyenne passe de 50% à 55%.

L'ajustement de la valeur assignée des zones hautement fragmentées de catégories d'intensités Élevée et Intense est supérieure à la première phase d'estimation et entraîne une augmentation du pourcentage estimé de chrysotile, à la fois sur les trous sélectionnés et sur l'ensemble du projet. Cet ajustement augmente la valeur dans l'ordre de grandeur du centième de pourcent. Le Tableau 5 montre ces valeurs:

Tableau 5: Valeurs assignées pour les catégories d'intensités de l'environnements «Chrysotile dans les zones hautment fragmentées» après les ajustement

Catégories d'intensité de l'environnement «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées»	Nombre de photo utilisée avant ajustement	Nombre de photo utilisée après ajustement	Valeurs assignées précédentes	Valeurs assignées ajustées	Gammes de pourcentage assignées
Faible	6	6	3%	3%	1% à 10%
Modérée	6	6	15%	15%	10% à 25%
Élevée	2	5	33%	35%	25% à 45%
Intense	2	5	50%	55%	45% à 70%

Les photos des nouvelles zones hautement fragmentées sont illustrées ci-dessous:

Catégorie d'intensité: Élevée
Pourcentage de chrysotile moyen: 31%



Image 43: **Zone hautement fragmentée de la Boite #67 du trou 11-RN-334 (312.38-313.00m)**

Chrysotile estimé de l'image 43 par les géologues:

Géologue 1	60% (Intense)
Géologue 2	30% (Élevée)
Géologue 3	40% (Élevée)
Géologue 4	15% (Modérée)
Géologue 5	20% (Modérée)
Géologue 6	25% (Modérée)
Valeur Moyenne	31% (Élevée)

Catégorie d'intensité: Élevée
Pourcentage de chrysotile moyen: 28%



Image 44: **Zone hautement fragmentée de la Boite #3 du trou 11-RN-296 (63.49-63.97m)**

Chrysotile estimé de l'image 44 par les géologues:

Géologue 1	20% (Modérée)
Géologue 2	15% (Modérée)
Géologue 3	45% (Intense)
Géologue 4	30% (Élevée)
Géologue 5	30% (Élevée)
Géologue 6	25% (Élevée)
Valeur Moyenne	28% (Élevée)

Catégorie d'intensité: Élevée
Pourcentage de chrysotile moyen: 38%



Image 45: **Zone hautement fragmentée de la Boite #47 du trou 08-RN-94 (209.10-209.45m)**

Chrysotile estimé de l'image 45 par les géologues:

Géologue 1	45% (Intense)
Géologue 2	40% (Élevée)
Géologue 3	40% (Élevée)
Géologue 4	25% (Élevée)
Géologue 5	40% (Élevée)
Géologue 6	35% (Élevée)
Valeur Moyenne	38% (Élevée)

Catégorie d'intensité: Intense
Pourcentage de chrysotile moyen: 56%



Image 46: **Zone hautement fragmentée de la Boite #4 du trou 11-RN-252 (43.10-43.32m)**

Chrysotile estimé de l'image 46 par les géologues:

Géologue 1	70% (Intense)
Géologue 2	60% (Intense)
Géologue 3	70% (Intense)
Géologue 4	30% (Élevée)
Géologue 5	60% (Intense)
Géologue 6	50% (Intense)
Valeur Moyenne	56% (Intense)

Catégorie d'intensité: Intense
Pourcentage de chrysotile moyen: 51%



Image 47: **Zone hautement fragmentée de la Boite #47 du trou 08-RN-94 (208.5-208.65m)**

Chrysotile estimé de l'image 47 par les géologues:

Géologue 1	50% (Intense)
Géologue 2	50% (Intense)
Géologue 3	55% (Intense)
Géologue 4	40% (Élevée)
Géologue 5	60% (Intense)
Géologue 6	50% (Intense)
Valeur Moyenne	51% (Intense)

Catégorie d'intensité: Intense
Pourcentage de chrysotile moyen: 61%



Image 48: **Zone hautement fragmentée de la Boite #18 du trou 11-RN-300 (115.03-115.11m)**

Chrysotile estimé de l'image 48 par les géologues:

Géologue 1	60% (Intense)
Géologue 2	55% (Intense)
Géologue 3	70% (Intense)
Géologue 4	60% (Intense)
Valeur Moyenne	61% (Élevée)

Vérification interne des zones hautement fragmentées

Lors de l'ajout de données supplémentaires, sept géologues ont réévalué six intervalles de la catégorie d'intensité Intense des zones hautement fragmentées. Sur ces six intervalles, trois d'entre eux ont été recatégorisés dans les catégories Modérée et Élevée. Les trois autres sont demeurés dans la catégorie Intense.

Pour cette raison, les géologues de RNC ont décidé de faire une réévaluation des 45 intervalles de la catégorie d'intensité Intense de l'environnement «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées» pour vérifier la validité des identifications faites lors du journal de sondage du chrysotile.

Sur les 45 intervalles de la catégorie Intense, 15 d'entre eux ont été recatégorisés et ajustés dans la base de données. Ces intervalles sont montrés dans l'Annexe VI.

La réévaluation interne des zones hautement fragmentées de la catégorie d'intensité «Intense» est inférieure à la première phase d'estimation et entraîne une diminution du pourcentage de chrysotile, à la fois, sur les trous sélectionnés et sur l'ensemble du projet. Cet ajustement diminue la valeur dans l'ordre de grandeur du centième de pourcent.

iii) Chrysotile dans les veines/fractures

Pour estimer la teneur en chrysotile de cet environnement les géologues de RNC ont jugé que la méthode la plus adéquate :

- est de mesurer l'épaisseur du chrysotile présent dans les veines et fractures à l'aide d'une règle;
- et d'assumer que la teneur désignée en chrysotile est de 100%.

Tout ce qui est à l'extérieur des veines est considéré comme faisant partie de réseaux de chrysotile à travers la roche.

Pour les veines qui recoupent l'axe de la carotte de forage avec un angle fort (image 50), une mesure de l'épaisseur du chrysotile est prise. Pour les veines qui recoupent l'axe de la carotte avec un angle faible (image 49), un calcul standard est utilisé de façon à diviser le joint en segments de 4.5 cm (ou le diamètre de la carotte de forage). Ce qui revient à couper la veine en segments de 4.5 cm de longueur, à regrouper ces segments côte à côte perpendiculairement à l'axe de la carotte de forage et à mesurer l'épaisseur totale. L'équation standard est montrée ci-dessous:

Étape 1: La longueur totale de la veine de chrysotile est mesurée et divisé par 4.5cm (diamètre de la carotte).

Étape 2: L'épaisseur moyenne de chrysotile dans la veine est multipliée par le résultat obtenue à l'étape 1.

Exemple utilisant l'image 49:

Étape 1: Longueur totale (22.5cm) / 4.5cm = 5

Étape 2: Épaisseur moyenne de chrysotile dans la veine = 2mm
2mm * 5 = 10mm

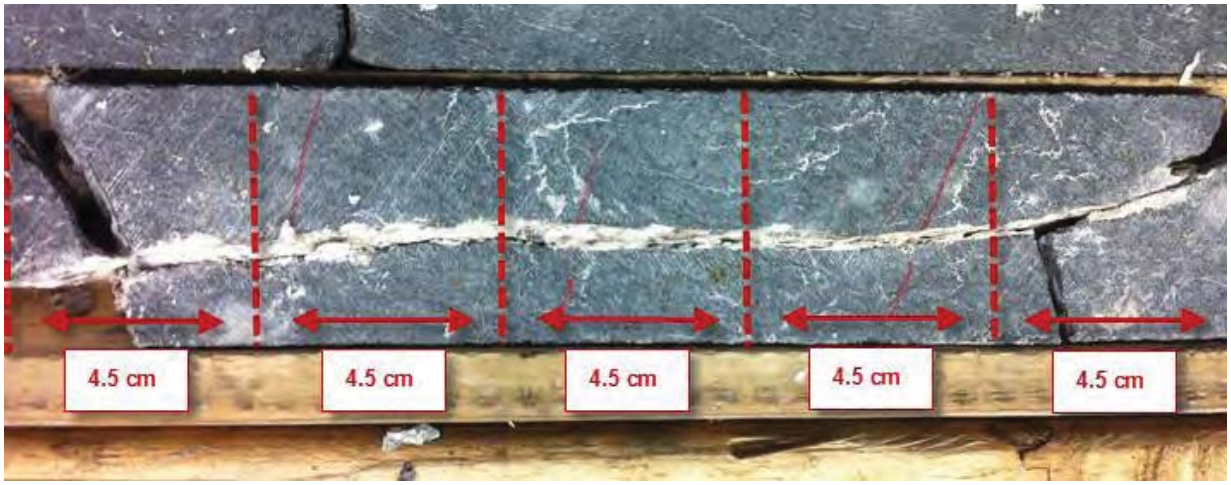


Image 49: **Veine de chrysotile coupant à travers l'axe de la carotte de forage séparée en segments de 4.5cm**

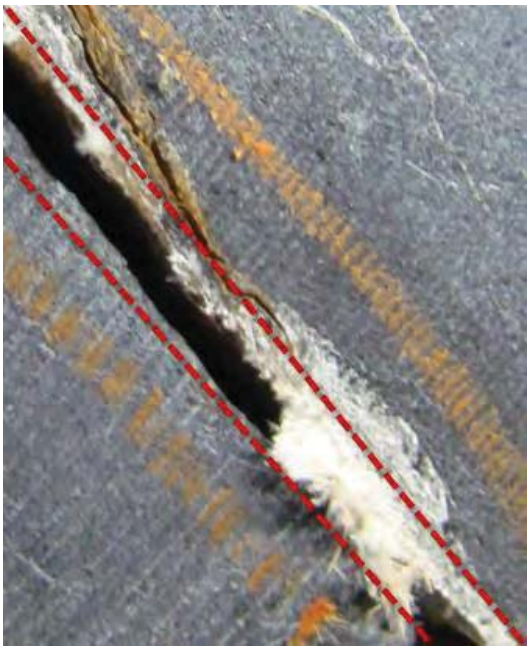


Image 50: **Veine coupant le diamètre de la carotte de forage à un angle faible.**

5) Discussion de la surestimation dans les environnements de chrysotile

Une surestimation de la teneur en chrysotile présent dans la carotte de forage est générée par ces méthodes de quantification dans les environnements de chrysotile puisque de la brucite (pâle) et des minéraux blancs coexistants (tels que le talc, la serpentine et des carbonates) sont souvent associés au chrysotile et ne peuvent pas être aisément distingués lorsque ceux-ci sont de granulométrie fine.

À une échelle millimétrique, les géologues peuvent faire la différence entre ces minéraux et ainsi évaluer adéquatement les catégories d'intensités pour les environnements «Réseaux de chrysotile» et «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées». Pour l'environnement «Chrysotile dans les veines/fractures», l'identification plus aisée de ces minéraux pâles coexistants permet aux géologues d'estimer correctement l'épaisseur de la structure évaluée.

Cependant, sur une échelle plus petite qu'un millimètre, il est parfois difficile de différencier ces minéraux à l'œil nu et ceux-ci se retrouvent inclus dans l'évaluation des environnements de chrysotile fait par les géologues, ce qui génère cette surestimation.

Dans l'environnement «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées», chaque catégorie d'intensité couvre une large gamme de pourcentage. L'estimation visuelle dans les zones à pourcentages élevés est plus variable d'un géologue à l'autre. Pour cette raison, dès que l'estimation visuelle se situe près des limites des gammes de pourcentage des catégories d'intensités, la zone est classée dans la catégorie supérieure.

Nous considérons ces surestimations comme globalement faibles avec un impact mineur sur les résultats. Ces méthodes d'évaluation pour les différents environnements de chrysotile furent approuvées par les géologues de RNC.

6) Chrysotile dans les zones de carotte de forage non récupérées

L'altération des lithologies ultramafiques du projet Dumont génère des minéraux fibreux qui peuvent former des veines ou remplir des failles ou zones cisaillées. Ces zones sont potentiellement propices à une perte de récupération de la carotte de forage. Lors du forage, si le foreur ne fait pas attention, ces zones sont propices à être lessivées par un contrôle inadéquat de la pression d'eau lors du forage. Malgré tout, ces zones sont régulièrement récupérées par les foreurs.

Il existe plusieurs situations où une perte de la carotte de forage peut survenir.

Perte de carotte lors du forage:

- Broyage de la carotte lors du forage
  - Terrain fracturé
  - Mauvaise manœuvre des foreurs
- Faille ouverte sans remplissage minéral (veine d'eau)
- Faille ou veine de minéraux boueux lessivée lors du forage.
- Défectuosité ou usure de l'équipement de forage (ressort de soutien, foret, etc.)
- Perte de carotte lors des manipulations par les foreurs ou par les techniciens de RNC jusqu'à la carothèque.

Perte de carotte lors de la manipulation de la carotte de forage dans la carothèque:

- Lors de l'étalage des boîtes.
- Lors du transport des boîtes d'un secteur à l'autre dans la carothèque.
- Lors de la coupe de la carotte pour l'échantillonnage.
- Lors des manipulations d'entreposage sur palette et la manipulation de celle-ci.

Les zones de boues riches en chrysotile ne subissent peu de perte lors des manipulations dans la carothèque. Ces zones boueuses sont molles, pâteuses et «collent» au fond de la boîte de carotte de forage. Par nature, elles ne sont pas propices à tomber de la boîte, les pertes de carotte de forage proviennent donc presque exclusivement des morceaux de carottes solides.

Dans le cas spécifique de ce projet d'évaluation du chrysotile, les mesures sont faites sur des carottes de forage qui ont déjà été manipulées lors d'un journal de sondage et d'un échantillonnage préalable.

À partir de leur expérience globale du projet Dumont les géologues de RNC évaluent que 25% des zones de carotte de forage non récupérées correspondent des zones à contenu élevé en chrysotile (Zone hautement fracturée).

Ces 25% de carottes de forage non récupérées correspondent à des zones de veines ou de failles boueuses contenant également de la serpentine, de la brucite, du talc, des carbonates et des fragments de roche. Nous évaluons donc que le chrysotile représenterait en moyenne 35% du contenu de ces zones. Cette valeur de 35% est l'équivalent de la catégorie Élevée de l'environnement «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées» qui est jugée représentative des sections «boueuses» non récupérées.

Avec 25% de zones de carotte de forage non récupéré à contenu élevé en chrysotile et une quantité attribuée de 35% de chrysotile dans ces zones, cela représente globalement 8.75% de chrysotile supplémentaire à ajouter au projet Dumont pour les zones de carotte de forage non récupérées.

7) Discussion

Toutes les valeurs moyennes de chaque catégorie d'intensité de chaque environnement de chrysotile trouvées avec les méthodes mentionnées précédemment ont été compilées et arrondies au supérieur pour donner une surestimation artificielle pour but de rester conservateur. Ceci a résulté en une valeur assignée pour chaque catégorie d'intensité pour faciliter le calcul du chrysotile présent dans la carotte. Le Tableau 1 montre ces valeurs assignées pour chaque catégorie d'intensité avec leur gamme de pourcentage attribuée.

Avec les méthodes mises sur pied, les environnements de chrysotile peuvent facilement être identifiés visuellement et mesurés avec une règle. Puisque le chrysotile peut être mesuré précisément au millimètre dans les veines et fractures avec une règle conventionnelle, mesurer tous les intervalles au millimètre près devient significatif et a donc été appliqué aux procédures.

Une table a été créée dans DH Logger® où chaque catégorie d'intensité pour chaque environnement de chrysotile est représentée et qui va servir comme base de données pour le journal de sondage du chrysotile. Elle permet l'entrée des données et calcul automatiquement le pourcentage de chrysotile pour chaque intervalle de 3m. Ces calculs ainsi que des exemples concrets utilisant des valeurs sont décrites dans la section «Interprétation des données» du document «Rapport de Quantification du chrysotile».

ANNEXE IV

PROCÉDURE DU JOURNAL DE SONDAGE DU CHRYSOTILE

PROCÉDURE DU JOURNAL DE SONDAGE DU CHRYSOTILE

Projet Dumont

10 Avril, 2013

RNC

Procédure du journal de sondage du chrysotile en huit étapes

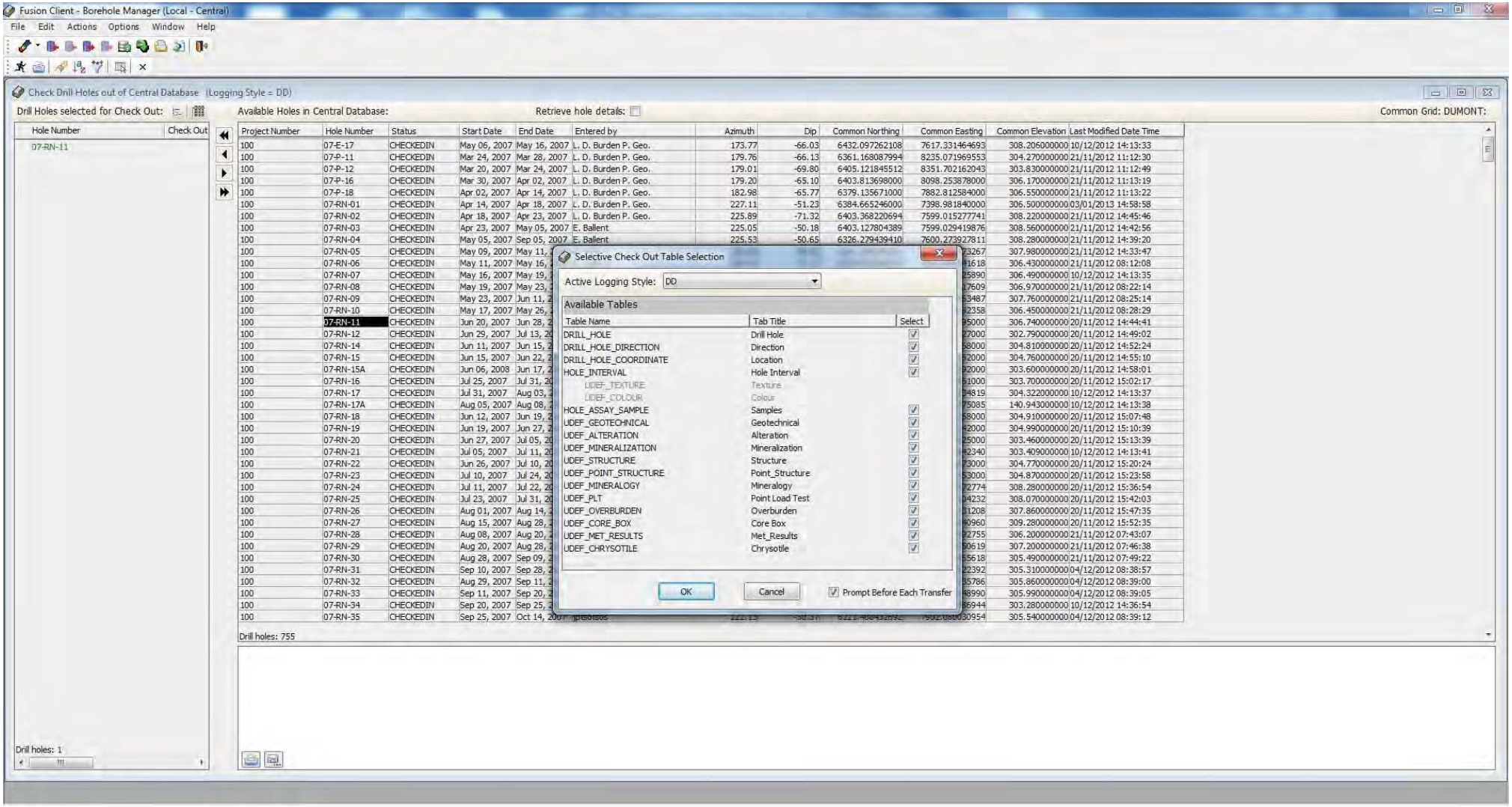
1. Préparer la carotte de forage et Ouvrir DH Logger
2. Évaluer chaque intervalle de 3 mètres minutieusement
3. Séparer les intervalles de «Réseaux de chrysotile»
4. Séparer les intervalles de «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées»
5. Séparer les intervalles de «Chrysotile dans les veines/fractures»
6. Mesurer les intervalles et Entrer les données
7. Vérifier la longueur totale de l'intervalle de 3 mètres
8. Révision, Photo et Ranger les boites de carotte de forage

1er Étape: Préparer la carotte de forage et Ouvrir DH Logger

1. «Check-out» le trou de forage sélectionné dans Fusion
2. Ouvrir le programme DH Logger.
   - Cliquer sur la table «Chrysotile» dans DH Logger.
3. Laver la carotte de forage méticuleusement.
4. Placer parfaitement la carotte de forage.
   - Pousser les morceaux de carotte de forage ensemble pour approximer le volume de la carotte de forage.

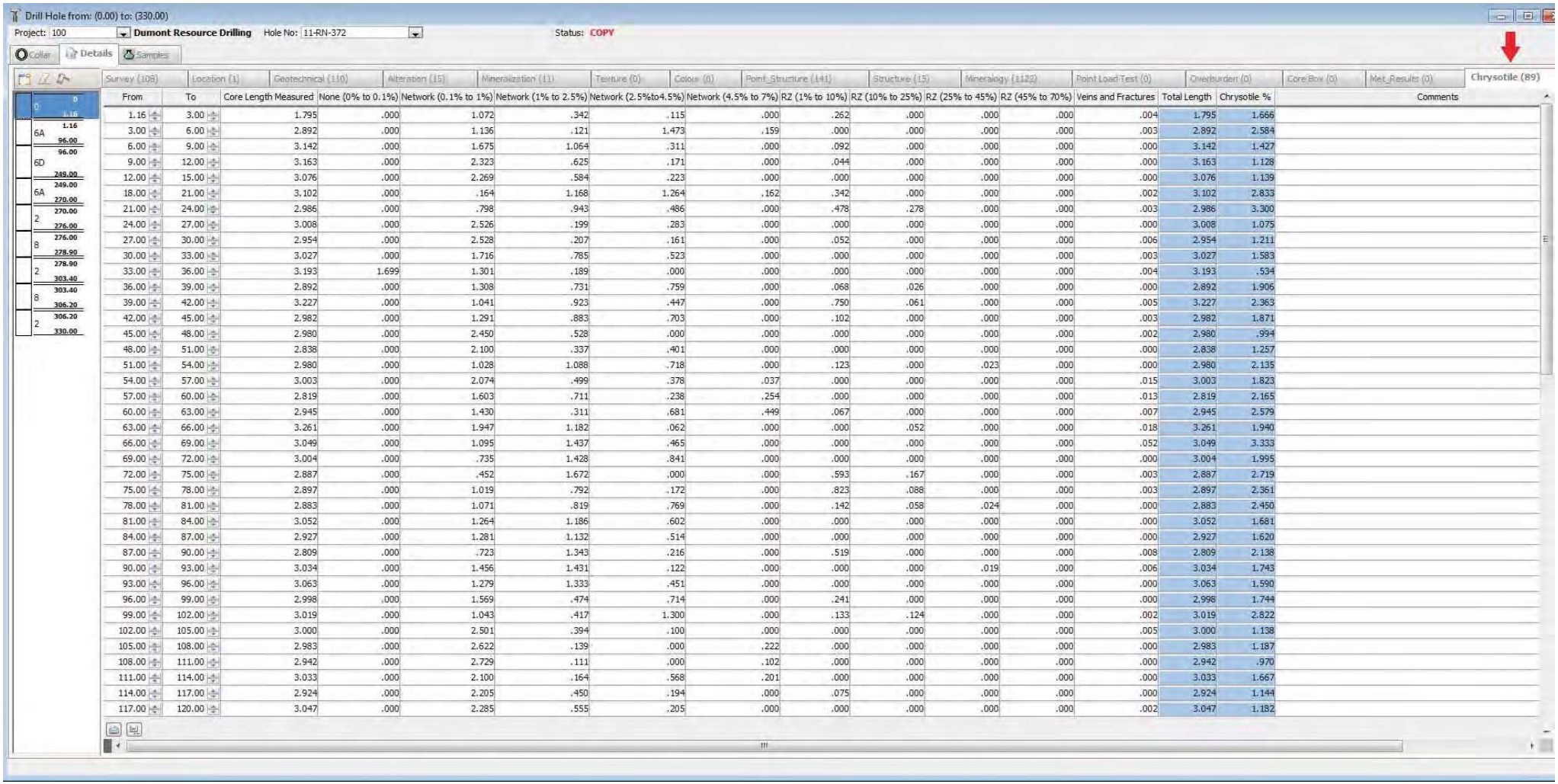
1er Étape: Préparer la carotte de forage et Ouvrir DH Logger

1. «Check-out» le trou de forage sélectionné dans Fusion



1er Étape: Préparer la carotte de forage et Ouvrir DH Logger

2. Ouvrir DH Logger et choisir la table «Chrysotile»



Drill Hole from: (0.00) to: (330.00)

Project: 100 **Dumont Resource Drilling** Hole No: 11-RN-372 Status: COPY

Collar | Details | Samples

Survey (108) | Location (1) | Geotechnical (110) | Alteration (15) | Mineralization (11) | Texture (0) | Colour (0) | Point_Structure (141) | Structure (15) | Mineralogy (1122) | Point Load Test (0) | Overburden (0) | Core Box (0) | Met_Results (0) | Chrysotile (89)

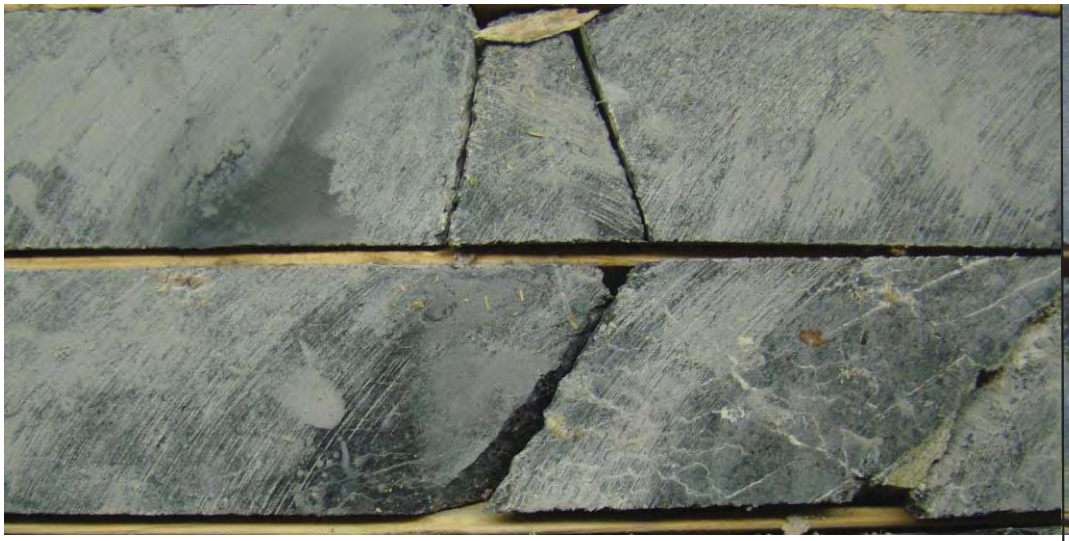
	0 1.16															
6A	1.16 96.00															
6D	96.00 249.00															
6A	249.00 270.00															
2	270.00 276.00															
8	276.00 278.90															
2	278.90 303.40															
8	303.40 306.20															
2	306.20 330.00															

From	To	Core Length Measured	None (0% to 0.1%)	Network (0.1% to 1%)	Network (1% to 2.5%)	Network (2.5%to4.5%)	Network (4.5% to 7%)	RZ (1% to 10%)	RZ (10% to 25%)	RZ (25% to 45%)	RZ (45% to 70%)	Veins and Fractures	Total Length	Chrysotile %	Comments
1.16	3.00	1.795	.000	1.072	.342	.115	.000	.262	.000	.000	.000	.004	1.795	1.666	
3.00	6.00	2.892	.000	1.136	.121	1.473	.159	.000	.000	.000	.000	.003	2.892	2.584	
6.00	9.00	3.142	.000	1.675	1.064	.311	.000	.092	.000	.000	.000	.000	3.142	1.427	
9.00	12.00	3.163	.000	2.323	.625	.171	.000	.044	.000	.000	.000	.000	3.163	1.128	
12.00	15.00	3.076	.000	2.269	.584	.223	.000	.000	.000	.000	.000	.000	3.076	1.139	
18.00	21.00	3.102	.000	.164	1.168	1.264	.162	.342	.000	.000	.000	.002	3.102	2.833	
21.00	24.00	2.986	.000	.798	.943	.486	.000	.478	.278	.000	.000	.003	2.986	3.300	
24.00	27.00	3.008	.000	2.526	.199	.283	.000	.000	.000	.000	.000	.000	3.008	1.075	
27.00	30.00	2.954	.000	2.528	.207	.161	.000	.052	.000	.000	.000	.006	2.954	1.211	
30.00	33.00	3.027	.000	1.716	.785	.523	.000	.000	.000	.000	.000	.003	3.027	1.583	
33.00	36.00	3.193	1.699	1.301	.189	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.004	3.193	.534	
36.00	39.00	2.892	.000	1.308	.731	.759	.000	.068	.026	.000	.000	.000	2.892	1.906	
39.00	42.00	3.227	.000	1.041	.923	.447	.000	.750	.061	.000	.000	.005	3.227	2.363	
42.00	45.00	2.982	.000	1.291	.883	.703	.000	.102	.000	.000	.000	.003	2.982	1.871	
45.00	48.00	2.980	.000	2.450	.528	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.002	2.980	.994	
48.00	51.00	2.838	.000	2.100	.337	.401	.000	.000	.000	.000	.000	.000	2.838	1.257	
51.00	54.00	2.980	.000	1.028	1.088	.718	.000	.123	.000	.023	.000	.000	2.980	2.135	
54.00	57.00	3.003	.000	2.074	.499	.378	.037	.000	.000	.000	.000	.015	3.003	1.823	
57.00	60.00	2.819	.000	1.603	.711	.238	.254	.000	.000	.000	.000	.013	2.819	2.165	
60.00	63.00	2.945	.000	1.430	.311	.681	.449	.067	.000	.000	.000	.007	2.945	2.579	
63.00	66.00	3.261	.000	1.947	1.182	.062	.000	.000	.052	.000	.000	.018	3.261	1.940	
66.00	69.00	3.049	.000	1.095	1.437	.465	.000	.000	.000	.000	.000	.052	3.049	3.333	
69.00	72.00	3.004	.000	.735	1.428	.841	.000	.000	.000	.000	.000	.000	3.004	1.995	
72.00	75.00	2.887	.000	.452	1.672	.000	.000	.593	.167	.000	.000	.003	2.887	2.719	
75.00	78.00	2.897	.000	1.019	.792	.172	.000	.823	.088	.000	.000	.003	2.897	2.361	
78.00	81.00	2.883	.000	1.071	.819	.769	.000	.142	.058	.024	.000	.000	2.883	2.450	
81.00	84.00	3.052	.000	1.264	1.186	.602	.000	.000	.000	.000	.000	.000	3.052	1.681	
84.00	87.00	2.927	.000	1.281	1.132	.514	.000	.000	.000	.000	.000	.000	2.927	1.620	
87.00	90.00	2.809	.000	.723	1.343	.216	.000	.519	.000	.000	.000	.008	2.809	2.138	
90.00	93.00	3.034	.000	1.456	1.431	.122	.000	.000	.000	.019	.000	.006	3.034	1.743	
93.00	96.00	3.063	.000	1.279	1.333	.451	.000	.000	.000	.000	.000	.000	3.063	1.590	
96.00	99.00	2.998	.000	1.569	.474	.714	.000	.241	.000	.000	.000	.000	2.998	1.744	
99.00	102.00	3.019	.000	1.043	.417	1.300	.000	.133	.124	.000	.000	.002	3.019	2.822	
102.00	105.00	3.000	.000	2.501	.394	.100	.000	.000	.000	.000	.000	.005	3.000	1.138	
105.00	108.00	2.983	.000	2.622	.139	.000	.222	.000	.000	.000	.000	.000	2.983	1.187	
108.00	111.00	2.942	.000	2.729	.111	.000	.102	.000	.000	.000	.000	.000	2.942	.970	
111.00	114.00	3.033	.000	2.100	.164	.568	.201	.000	.000	.000	.000	.000	3.033	1.667	
114.00	117.00	2.924	.000	2.205	.450	.194	.000	.075	.000	.000	.000	.000	2.924	1.144	
117.00	120.00	3.047	.000	2.285	.555	.205	.000	.000	.000	.000	.000	.002	3.047	1.182	

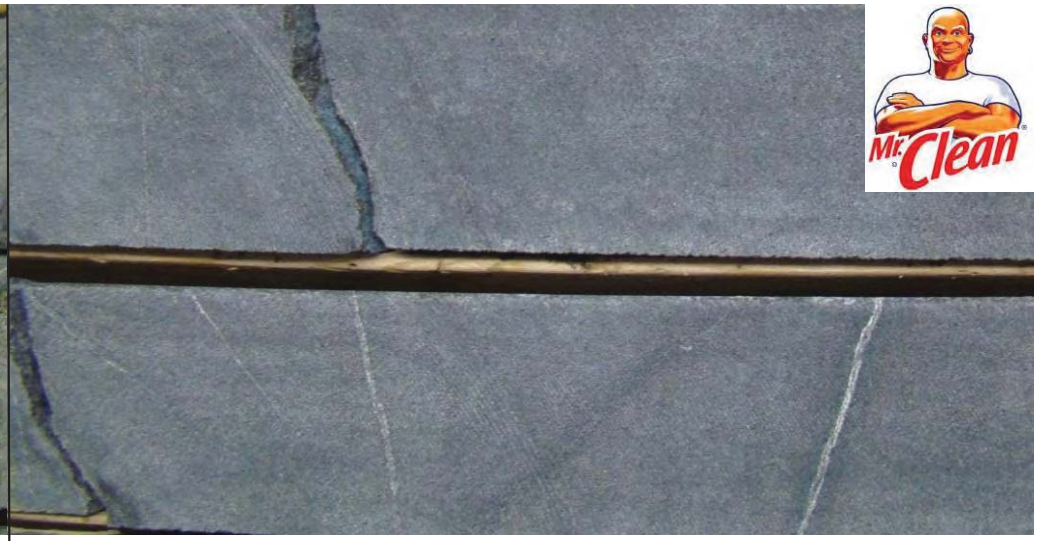
1er Étape: Préparer la carotte de forage et Ouvrir DH Logger

3. Laver la carotte de forage méticuleusement.

- Cette étape est critique car il est primordiale de voir toutes les veines de chrysotile sur la carotte de forage pour pouvoir bien évaluer les réseaux de chrysotile. Même s'il est difficile d'enlever de la chrysotile à travers le lavage, il est important de NE PAS FROTTER TROP FORT la carotte de forage et plus rincer que de frotter. Ceci est particulièrement vrai pour les fractures ouvertes où le chrysotile est mobile. NE PAS laver les zones hautement fragmentées.



Carotte sale (Veines de chrysotile à peine visible)



Carotte propre (Veines de chrysotile très visible)

1er Étape: Préparer la carotte de forage et Ouvrir DH Logger

4. Placer parfaitement la carotte de forage.

- Les fragments dans les zones hautement fragmentées doivent aussi être rapprochés pour approximer le volume de la carotte de forage intact pour ne pas surestimer la longueur de la carotte.





2ième Étape: Évaluer chaque intervalle de 3 mètres minutieusement

1. Révision des propriétés physiques du chrysotile vs. minéraux similaires.
2. Test pour trouver le chrysotile dans l'intervalle de 3 mètres.
   - Test par grattage, test par acide, test visuel, test par texture.
3. Estimation rapide du pourcentage de chrysotile de l'intervalle complet.
   - Garder l'estimation en tête pour vérifier si le pourcentage évalué est censé.

2ième Étape: Évaluer chaque intervalle de 3 mètres minutieusement

1. Révision des propriétés physiques du chrysotile vs. minéraux similaires.





Chrysotile

- Formule chimique: $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$
- Composition:

Magnésium	26.31%	Mg
Silice	20.27%	Si
Hydrogène	1.45%	H
Oxygène	51.96%	O
	100.00%	

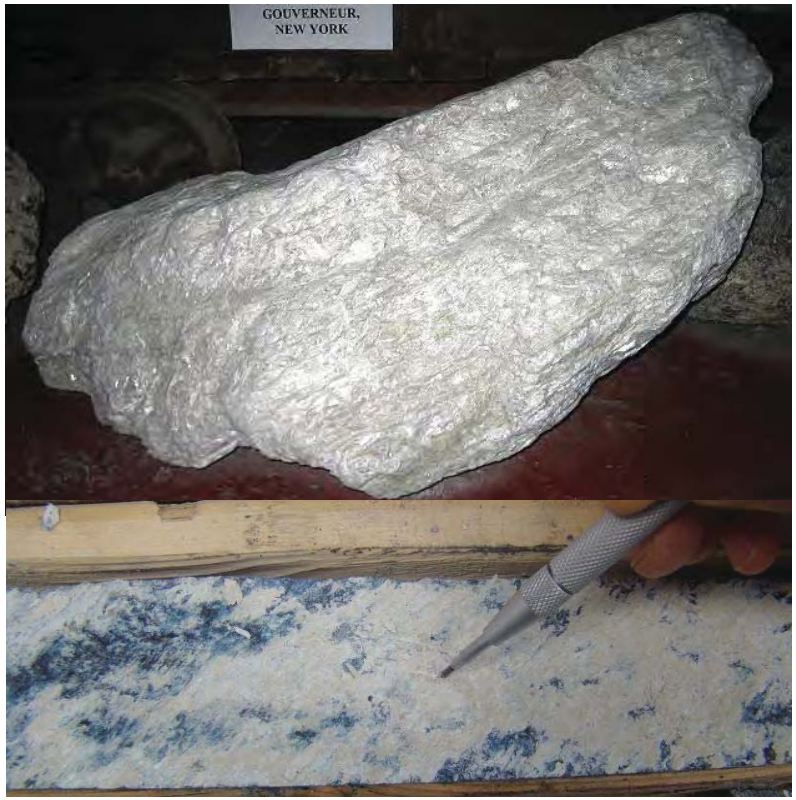
- Formule empirique: $Mg_3(Si_2O_5)(OH)_4$
- Clivage: None.
- Couleur: gris/blanc à vert.
- Densité: 2.53 g/ml
- Diaphanéité: Translucide.
- Fracture: Fibreux.
- Dureté: 2.5 – ongle, calcite
- Habitus: Aciculaire – Apparait comme des cristaux en aiguilles.
- Lustre: Soyeux.
- Magnétisme: Non-magnétique
- Trait: Blanc

Source - http://webmineral.com/

2ième Étape: Évaluer chaque intervalle de 3 mètres minutieusement

1. Révision des propriétés physiques du chrysotile vs. minéraux similaires.

Talc



- Formule chimique: $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$
- Composition:

Magnésium	19.23%	Mg
Silice	29.62%	Si
Hydrogène	0.53%	H
Oxygène	50.62%	O
	100.00%	

- Formule empirique: $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$
- Clivage: {001} Parfait
- Couleur: Vert pale, blanc, blanc grisâtre, blanc jaunâtre, blanc brunâtre.
- Densité: 2.7 - 2.8, moyenne = 2.75g/ml
- Diaphanéité: Translucide
- Fracture: Inégale - Surfaces lamellaires fracturées de façon inégales.
- Habitus: Folié – Forme lamellaire bidimensionnelle, Massive, écailleux.
- Dureté: 1 - Talc
- Lustre: Vitreux - Perlé
- Trait: Blanc

Source - http://webmineral.com/

2ième Étape: Évaluer chaque intervalle de 3 mètres minutieusement

1. Révision des propriétés physiques du chrysotile vs. minéraux similaires.





Magnésite

- Formule chimique: $MgCO_3$
- Composition:

Magnésium	19.23%	Mg
Carbone	72.43%	Ni
Oxygène	56.93%	O
	100.00%	

- Formule empirique: $Mg(CO_3)$
- Clivage: {1011} Parfait, {1011} Parfait, {1011} Parfait
- Couleur: Transparent, blanc, blanc grisâtre, blanc jaunâtre, blanc brunâtre.
- Densité: 3 g/ml
- Diaphanéité: Transparent à translucide
- Fracture: Fragile – Conchoïdal.
- Habitus: Terreux – texture argileuse sans affinités cristallines visible, fibreux – Grains fins fibreux, Massive - Granulaire – Texture commune observée dans les granite et autres roches ignées.
- Dureté: 4 - Fluorite
- Lustre: Vitreux
- Trait: Blanc

Source - http://webmineral.com/

2ième Étape: Évaluer chaque intervalle de 3 mètres minutieusement

1. Révision des propriétés physiques du chrysotile vs. minéraux similaires.

Brucite





- Formule chimique: $Mg(OH)_2$
- Composition:

Magnésium	41.68%	Mg
Hydrogène	3.46%	H
Oxygène	54.87%	O
	100.00%	

- Formule empirique: $Mg(OH)_2$
- Clivage: {0001} Parfait
- Couleur: Blanc, vert pâle, bleu, gris, jaune mielleux à brun rougeâtre.
- Densité: 2.39 - 2.4, moyenne = 2.39 g/ml
- Diaphanéité: Transparent
- Fracture: Irrégulière
- Dureté: 2.5-3 – Ongle, calcite
- Habitus: Fibreux – cristaux faits de fibres, Massive - Lamellaire - Grains fins foliés, Massive – cristaux uniformément indistinguable formant de larges masses.
- Lustre: Vitreux - Perlé
- Trait: Blanc

Source - http://webmineral.com/

2ième Étape: Évaluer chaque intervalle de 3 mètres minutieusement

2. Test pour trouver le chrysotile dans l'intervalle de 3 mètres.

- Il est nécessaire de distinguer le chrysotile des autres minéraux similaires pour pouvoir quantifier proprement le chrysotile dans la carotte de forage.

I. **Regarder la couleur et l'habitat:** Le chrysotile dans la roche du projet Dumont est principalement blanc et fibreux, tandis que la brucite est brun et plat.

II. **Test par acide:** Tester les endroits en question avec une goutte d'acide. Si il y a de l'effervescence, ce n'est pas du chrysotile et est probablement de la magnésite ou un carbonate.

III. **Test par grattage:** Utiliser une pointe de Tungstène pour gratter le minéral en question. Si il brise en poudre au lieu de longues fibres, ce n'est pas du chrysotile et est probablement du talc.

NOTE: Porter une attention spéciale puisque plusieurs de ces minéraux peuvent coexister et il faudra souvent séparer une région en particulier qui contient du chrysotile avec d'autre minéraux similaires.

Source - http://webmineral.com/

2ième Étape: Évaluer chaque intervalle de 3 mètres minutieusement

3. Estimation rapide du pourcentage de chrysotile de l'intervalle complet.

   - Une fois que les régions contenant du chrysotile dans l'intervalle de 3 mètres ont été évaluées, faire une estimation visuelle du pourcentage de chrysotile. Ceci va être utile après pour une vérification du pourcentage finale de chrysotile de l'intervalle de 3 mètres évaluée.

3ième Étape: Séparer les intervalles de «Réseaux de chrysotile»

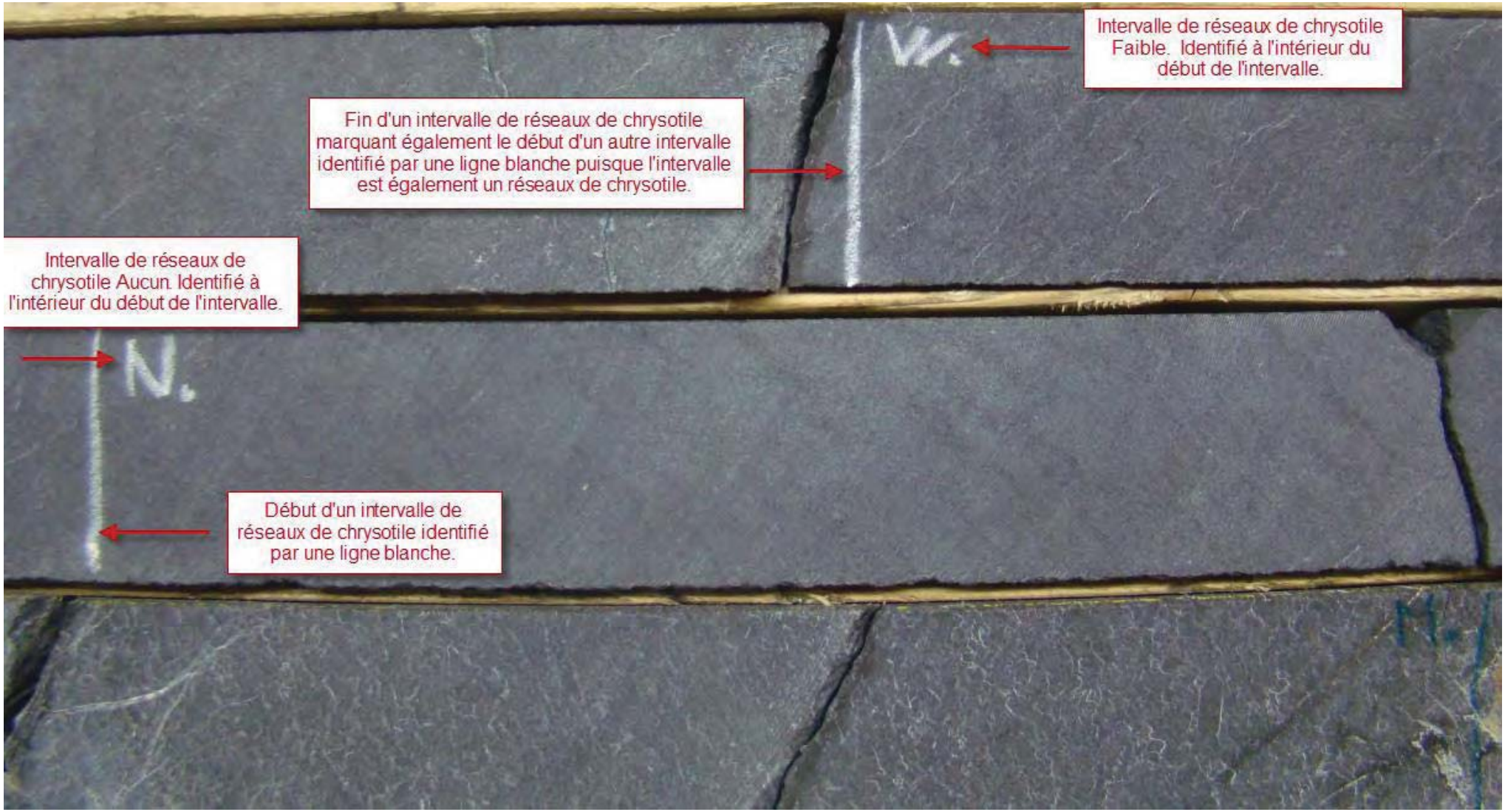
1. Définir chaque intervalle de l'environnement «Réseaux de chrysotile» pour chaque catégorie d'intensité et identifier les intervalles avec un crayon blanc.

2. Exemples de chaque catégorie d'intensité pour les réseaux de chrysotile.

3ième Étape: Séparer les intervalles de «Réseaux de chrysotile»

1. Séparer les intervalles de réseaux de chrysotile en identifiant les sections avec un crayon blanc pour les différentes catégories d'intensités.
   - Si la section de la carotte de forage a entre 0% et 0.1% de chrysotile, identifier l'intervalle avec un «N» (Aucun) à l'intérieur de la ligne marquant le début de l'intervalle.
   - Si la section de la carotte de forage a entre 0.1% et 1% de chrysotile, identifier l'intervalle avec un «W» (Faible) à l'intérieur de la ligne marquant le début de l'intervalle.
   - Si la section de la carotte de forage a entre 1% et 2.5% de chrysotile, identifier l'intervalle avec un «M» (Modérée) à l'intérieur de la ligne marquant le début de l'intervalle.
   - Si la section de la carotte de forage a entre 2.5% et 4.5% de chrysotile, identifier l'intervalle avec un «H» (Élevée) à l'intérieur de la ligne marquant le début de l'intervalle.
   - Si la section de la carotte de forage a entre 4.5% et 7% de chrysotile, identifier l'intervalle avec un «I» (Intense) à l'intérieur de la ligne marquant le début de l'intervalle.

3ième Étape: Séparer les intervalles de «Réseaux de chrysotile»



3ième Étape: Séparer les intervalles de «Réseaux de chrysotile»

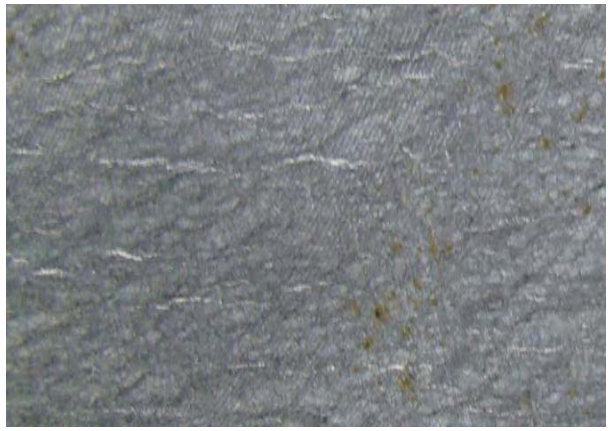
2. Exemples de chaque catégorie d'intensité de l'environnement «Réseaux de chrysotile»:



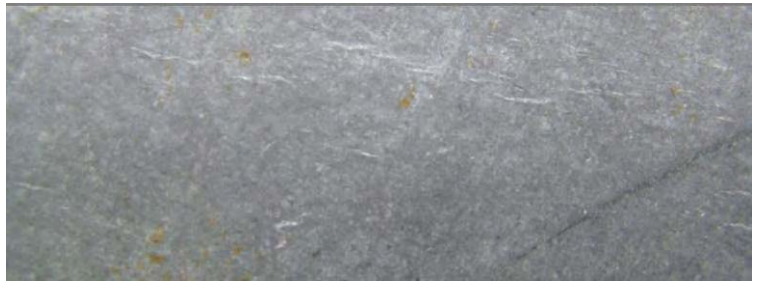
Intense (4.5% à 7%)



Élevée (2.5% à 4.5%)



Modérée (1% à 2.5%)



Faible (0.1% à 1%)

4ième Étape: Séparer les intervalles de «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées»

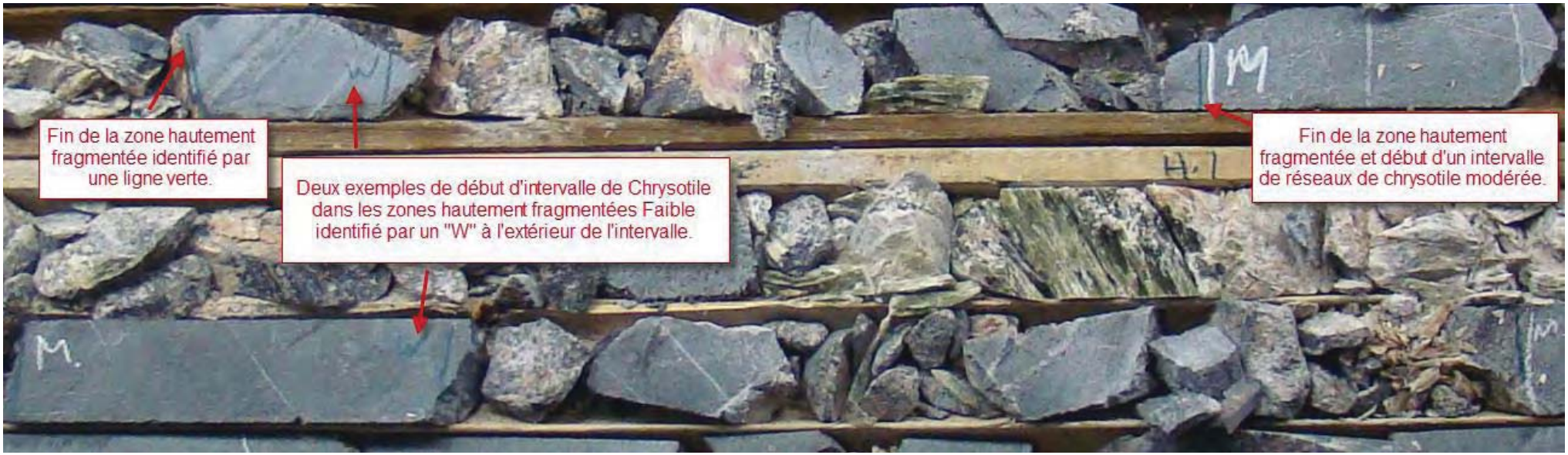
1. Définir chaque intervalle de l'environnement «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées» pour chaque catégorie d'intensité et identifier les intervalles avec un crayon vert.

2. Exemples de chaque catégorie d'intensité pour le chrysotile dans les zones hautement fragmentées.

4ième Étape: Séparer les intervalles de «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées»

1. Séparer les intervalles de chrysotile dans les zones hautement fragmentées en identifiant les sections avec un crayon vert pour les différentes catégories d'intensités.
   - Si l'intervalle de zone hautement fragmenté a entre 1% et 10% de chrysotile, identifier l'intervalle avec un «W» (Faible) à l'extérieur de la ligne marquant le début de l'intervalle.
   - Si l'intervalle de zone hautement fragmenté a entre 10% et 25% de chrysotile, identifier l'intervalle avec un «M» (Modérée) à l'extérieur de la ligne marquant le début de l'intervalle.
   - Si l'intervalle de zone hautement fragmenté a entre 25% et 45% de chrysotile, identifier l'intervalle avec un «H» (Élevée) à l'extérieur de la ligne marquant le début de l'intervalle.
   - Si l'intervalle de zone hautement fragmenté a entre 45% et 70% de chrysotile, identifier l'intervalle avec un «I» (Intense) à l'extérieur de la ligne marquant le début de l'intervalle.

4ième Étape: Séparer les intervalles de «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées»



4ième Étape: Séparer les intervalles de «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées»

2. Exemples de chaque catégorie d'intensité de l'environnement «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées»:



Intense (45% à 70%)



Élevée (25% à 45%)

4ième Étape: Séparer les intervalles de «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées»

Exemples (continue):



Modérée (10% à 25%)



Faible (1% à 10%)

5ième Étape: Séparer les intervalles de «Chrysotile dans les veines/fractures»

1. Contourner les veines de chrysotile significatives (seulement s'ils contiennent de 70% à 100% de chrysotile) avec un crayon orange.

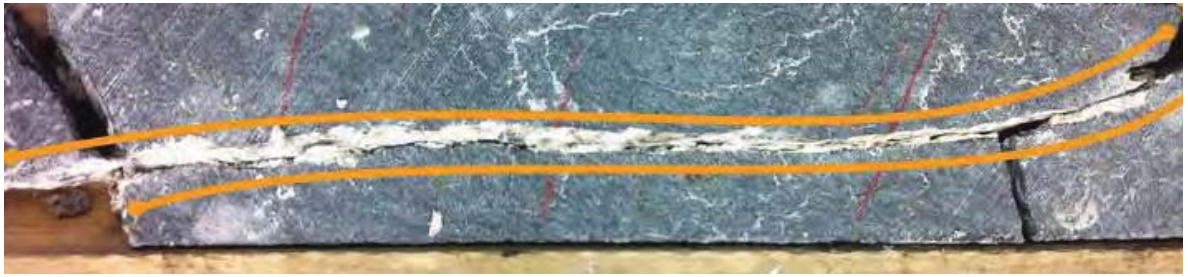
2. Si les veines sont trop petites pour être mesurées, les inclure avec les intervalles de «Réseaux de chrysotile».

3. Si les veines sont épaisses mais ne contiennent pas entre 70% et 100% de chrysotile, les identifier en tant que environnement «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées» approprié selon le pourcentage de chrysotile estimé dans la veine.

5ième Étape: Séparer les intervalles de «Chrysotile dans les veines/fractures»

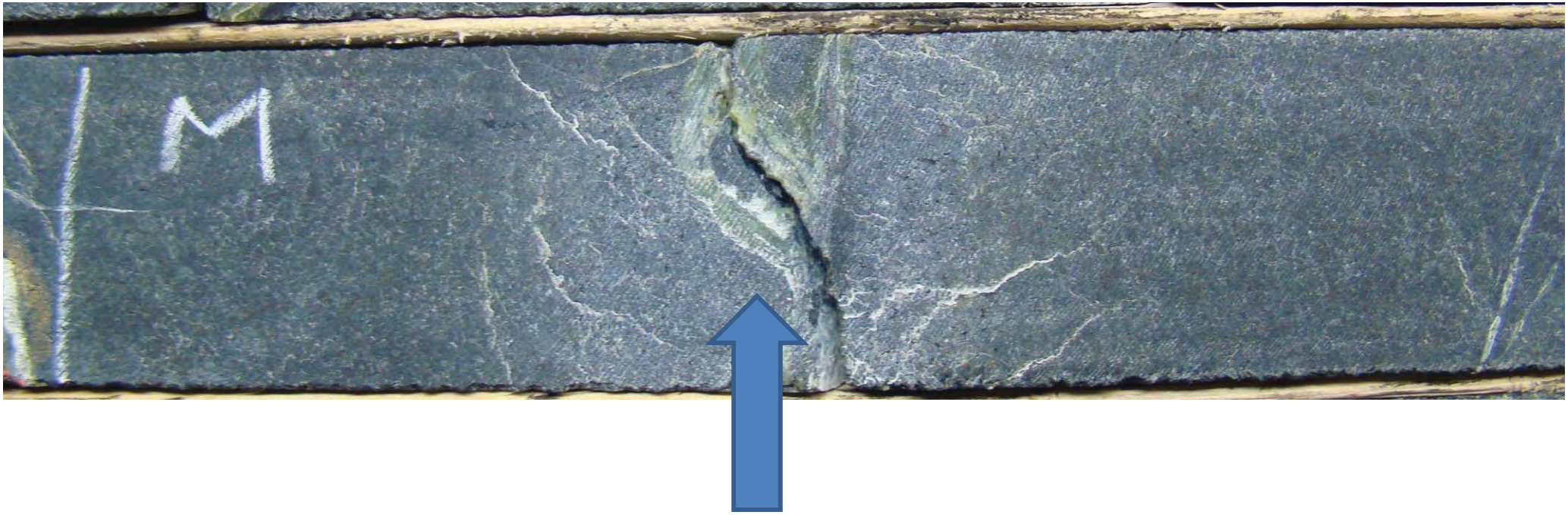
1. Contourner les veines de chrysotile significatives (seulement s'ils contiennent de 70% à 100% de chrysotile) avec un crayon orange.





5ième Étape: Séparer les intervalles de «Chrysotile dans les veines/fractures»

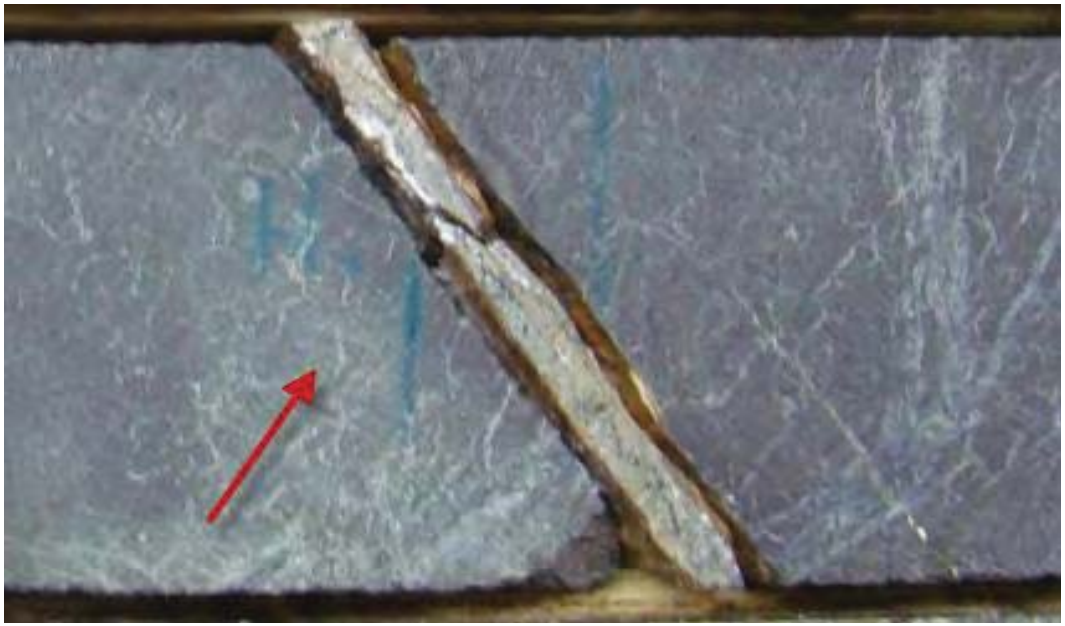
2. Si les veines sont trop petites pour être mesurées, les inclure avec les intervalles de «Réseaux de chrysotile»:



Veines trop minces pour être mesurés avec une règle. Inclues dans le réseaux de chrysotile.

5ième Étape: Séparer les intervalles de «Chrysotile dans les veines/fractures»

1. Si les veines sont épaisses mais ne contiennent pas entre 70% et 100% de chrysotile, les identifier en tant que environnement «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées» approprié selon le pourcentage de chrysotile estimé dans la veine:



Veine avec 25% à 45% de chrysotile.
Inclue dans l'environnement «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées».

6ième Étape: Mesurer les intervalles et Entrer les données

1. Mesurer les intervalles de l'environnement «Réseaux de chrysotile» (en crayon blanc) au millimètre près avec une règle et placer la valeur dans la colonne appropriée de DH Logger.

2. Mesurer les intervalles de l'environnement «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées» (en crayon vert) au millimètre près avec une règle et placer la valeur dans la colonne appropriée de DH Logger.

3. Mesurer et additionner l'épaisseur de toutes les veines de chrysotile dans l'intervalle de 3 mètres au millimètre près et placer la valeur dans la colonne appropriée de DH Logger. Utiliser l'équation standard pour les veines qui recoupe l'axe de la carotte de forage avec un angle faible.

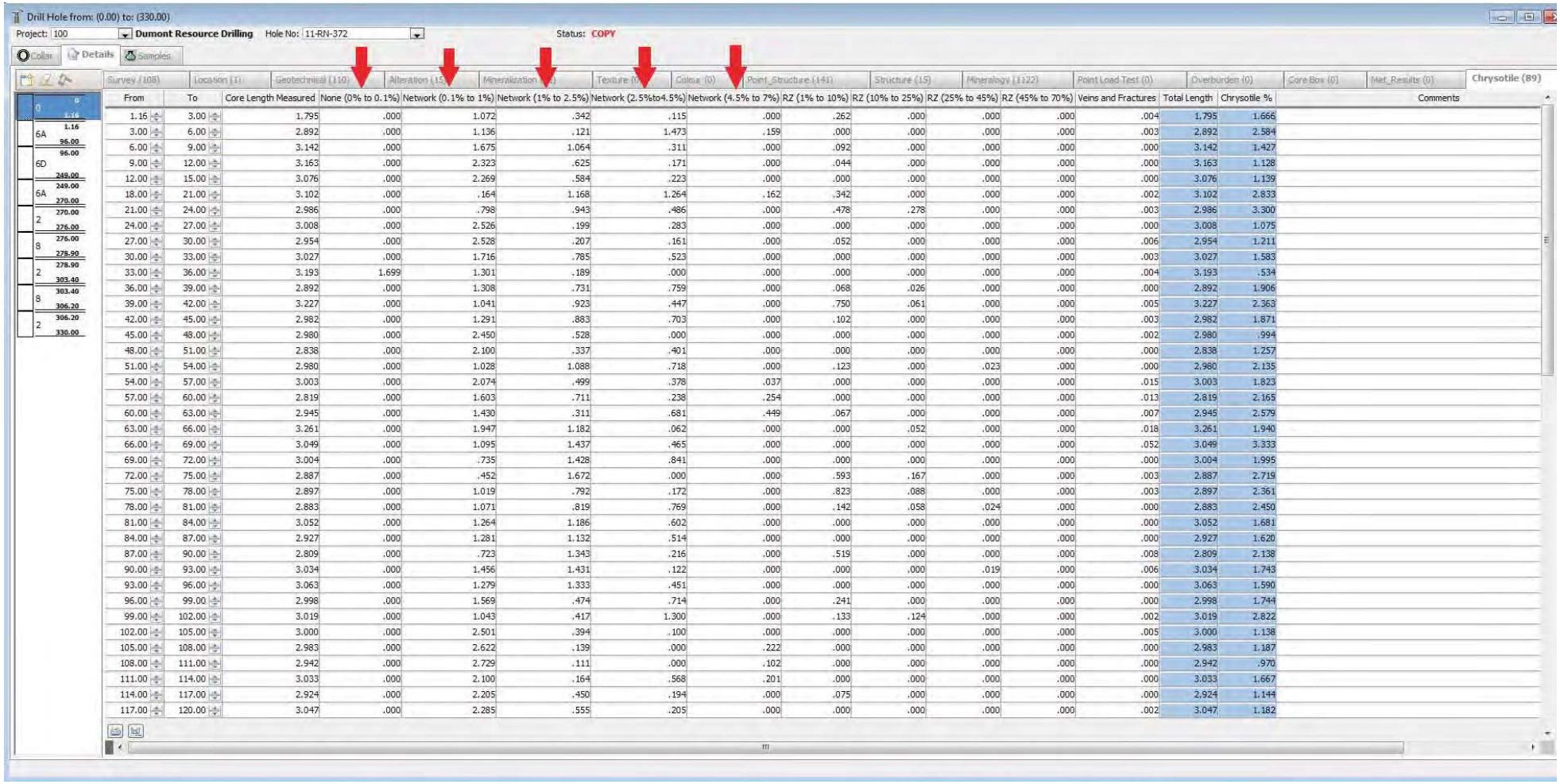
6ième Étape: Mesurer les intervalles et Entrer les données

1. Mesurer les intervalles de l'environnement «Réseaux de chrysotile» (en crayon blanc) au millimètre près avec une règle et placer la valeur dans la colonne appropriée de DH Logger.

- Intervalle avec «Réseaux de chrysotile» Aucun: Mesurer et additionner tous les intervalles identifiés avec un «N» et mettre la valeur dans la colonne «None (0 to 0.1%)» de la table «Chrysotile» dans DH Logger.
- Intervalle avec «Réseaux de chrysotile» Faible: Mesurer et additionner tous les intervalles identifiés avec un «W» et mettre la valeur dans la colonne «Network (0.1 to 1%)» de la table «Chrysotile» dans DH Logger.
- Intervalle avec «Réseaux de chrysotile» Modérée: Mesurer et additionner tous les intervalles identifiés avec un «M» et mettre la valeur dans la colonne «Network (1 to 2.5%)» de la table «Chrysotile» dans DH Logger.
- Intervalle avec «Réseaux de chrysotile» Élevée: Mesurer et additionner tous les intervalles identifiés avec un «H» et mettre la valeur dans la colonne «Network (2.5 to 4.5%)» de la table «Chrysotile» dans DH Logger.
- Intervalle avec «Réseaux de chrysotile» Intense: Mesurer et additionner tous les intervalles identifiés avec un «I» et mettre la valeur dans la colonne «Network (4.5 to 7%)» de la table «Chrysotile» dans DH Logger.

6ième Étape: Mesurer les intervalles et Entrer les données

1. Mesurer les intervalles de l'environnement «Réseaux de chrysotile» (en crayon blanc) au millimètre près avec une règle et placer la valeur dans la colonne appropriée de DH Logger.



From	To	Core Length Measured	None (0% to 0.1%)	Network (0.1% to 1%)	Network (1% to 2.5%)	Network (2.5%to4.5%)	Network (4.5% to 7%)	RZ (1% to 10%)	RZ (10% to 25%)	RZ (25% to 45%)	RZ (45% to 70%)	Veins and Fractures	Total Length	Chrysotile %	Comments
1.16	3.00	1.795	.000	1.072	.342	.115	.000	.262	.000	.000	.000	.004	1.795	1.666	
3.00	6.00	2.892	.000	1.136	.121	1.473	.159	.000	.000	.000	.000	.003	2.892	2.584	
6.00	9.00	3.142	.000	1.675	1.064	.311	.000	.092	.000	.000	.000	.000	3.142	1.427	
9.00	12.00	3.163	.000	2.323	.625	.171	.000	.044	.000	.000	.000	.000	3.163	1.128	
12.00	15.00	3.076	.000	2.269	.584	.223	.000	.000	.000	.000	.000	.000	3.076	1.139	
18.00	21.00	3.102	.000	.164	1.168	1.264	.162	.342	.000	.000	.000	.002	3.102	2.833	
21.00	24.00	2.986	.000	.798	.943	.486	.000	.478	.278	.000	.000	.003	2.986	3.300	
24.00	27.00	3.008	.000	2.526	.199	.283	.000	.000	.000	.000	.000	.000	3.008	1.075	
27.00	30.00	2.954	.000	2.528	.207	.161	.000	.052	.000	.000	.000	.006	2.954	1.211	
30.00	33.00	3.027	.000	1.716	.785	.523	.000	.000	.000	.000	.000	.003	3.027	1.583	
33.00	36.00	3.193	1.699	1.301	.189	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.004	3.193	.534	
36.00	39.00	2.892	.000	1.308	.731	.759	.000	.068	.026	.000	.000	.000	2.892	1.906	
39.00	42.00	3.227	.000	1.041	.923	.447	.000	.750	.061	.000	.000	.005	3.227	2.363	
42.00	45.00	2.982	.000	1.291	.883	.703	.000	.102	.000	.000	.000	.003	2.982	1.871	
45.00	48.00	2.980	.000	2.450	.528	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.002	2.980	.994	
48.00	51.00	2.838	.000	2.100	.337	.401	.000	.000	.000	.000	.000	.000	2.838	1.257	
51.00	54.00	2.980	.000	1.028	1.088	.718	.000	.123	.000	.023	.000	.000	2.980	2.135	
54.00	57.00	3.003	.000	2.074	.499	.378	.037	.000	.000	.000	.000	.015	3.003	1.823	
57.00	60.00	2.819	.000	1.603	.711	.238	.254	.000	.000	.000	.000	.013	2.819	2.165	
60.00	63.00	2.945	.000	1.430	.311	.681	.449	.067	.000	.000	.000	.007	2.945	2.579	
63.00	66.00	3.261	.000	1.947	1.182	.062	.000	.000	.052	.000	.000	.018	3.261	1.940	
66.00	69.00	3.049	.000	1.095	1.437	.465	.000	.000	.000	.000	.000	.052	3.049	3.333	
69.00	72.00	3.004	.000	.735	1.428	.841	.000	.000	.000	.000	.000	.000	3.004	1.995	
72.00	75.00	2.887	.000	.452	1.672	.000	.000	.593	.167	.000	.000	.003	2.887	2.719	
75.00	78.00	2.897	.000	1.019	.792	.172	.000	.823	.088	.000	.000	.003	2.897	2.361	
78.00	81.00	2.883	.000	1.071	.819	.769	.000	.142	.058	.024	.000	.000	2.883	2.450	
81.00	84.00	3.052	.000	1.264	1.186	.602	.000	.000	.000	.000	.000	.000	3.052	1.681	
84.00	87.00	2.927	.000	1.281	1.132	.514	.000	.000	.000	.000	.000	.000	2.927	1.620	
87.00	90.00	2.809	.000	.723	1.343	.216	.000	.519	.000	.000	.000	.008	2.809	2.138	
90.00	93.00	3.034	.000	1.456	1.431	.122	.000	.000	.000	.019	.000	.006	3.034	1.743	
93.00	96.00	3.063	.000	1.279	1.333	.451	.000	.000	.000	.000	.000	.000	3.063	1.590	
96.00	99.00	2.998	.000	1.569	.474	.714	.000	.241	.000	.000	.000	.000	2.998	1.744	
99.00	102.00	3.019	.000	1.043	.417	1.300	.000	.133	.124	.000	.000	.002	3.019	2.822	
102.00	105.00	3.000	.000	2.501	.394	.100	.000	.000	.000	.000	.000	.005	3.000	1.138	
105.00	108.00	2.983	.000	2.622	.139	.000	.222	.000	.000	.000	.000	.000	2.983	1.187	
108.00	111.00	2.942	.000	2.729	.111	.000	.102	.000	.000	.000	.000	.000	2.942	.970	
111.00	114.00	3.033	.000	2.100	.164	.568	.201	.000	.000	.000	.000	.000	3.033	1.667	
114.00	117.00	2.924	.000	2.205	.450	.194	.000	.075	.000	.000	.000	.000	2.924	1.144	
117.00	120.00	3.047	.000	2.285	.555	.205	.000	.000	.000	.000	.000	.002	3.047	1.182	

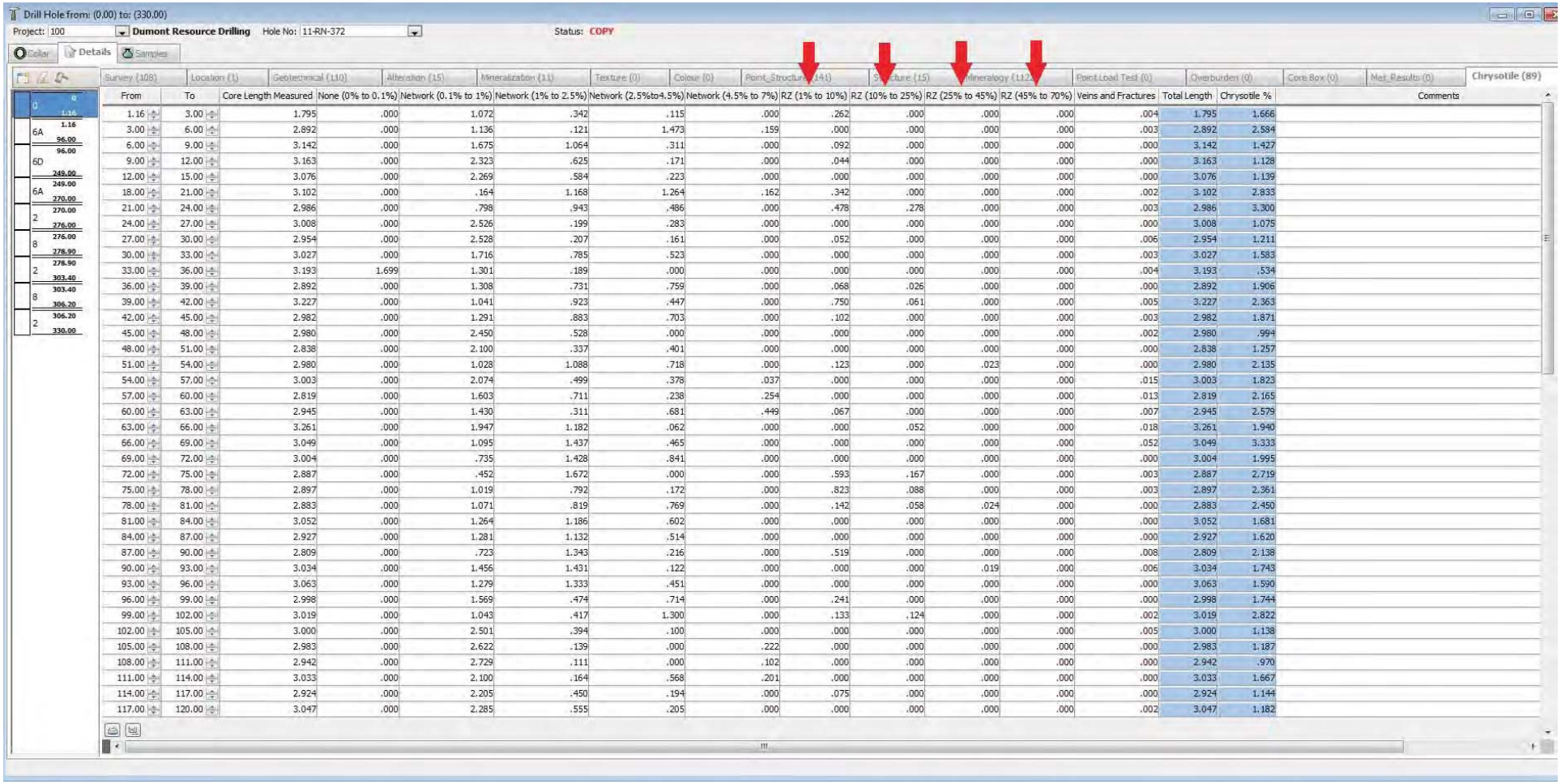
6ième Étape: Mesurer les intervalles et Entrer les données

2. Mesurer les intervalles de l'environnement «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées» (en crayon vert) au millimètre près avec une règle et placer la valeur dans la colonne appropriée de DH Logger.

- Intervalle de zone hautement fragmentée avec chrysotile Faible: Mesurer et additionner tous les intervalles identifiés avec un «W» et mettre la valeur dans la colonne «RZ (1 to 10%)» de la table «Chrysotile» dans DH Logger.
- Intervalle de zone hautement fragmentée avec chrysotile Modérée: Mesurer et additionner tous les intervalles identifiés avec un «M» et mettre la valeur dans la colonne «RZ (10 to 25%)» de la table «Chrysotile» dans DH Logger.
- Intervalle de zone hautement fragmentée avec chrysotile Élevée: Mesurer et additionner tous les intervalles identifiés avec un «H» et mettre la valeur dans la colonne «RZ (25 to 45%)» de la table «Chrysotile» dans DH Logger.
- Intervalle de zone hautement fragmentée avec chrysotile Intense: Mesurer et additionner tous les intervalles identifiés avec un «I» et mettre la valeur dans la colonne «RZ (45 to 70%)» de la table «Chrysotile» dans DH Logger.

6ième Étape: Mesurer les intervalles et Entrer les données

2. Mesurer les intervalles de l'environnement «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées» (en crayon vert) au millimètre près avec une règle et placer la valeur dans la colonne appropriée de DH Logger.



6ième Étape: Mesurer les intervalles et Entrer les données

3. Mesurer l'épaisseur de toutes les veines de chrysotile dans l'intervalle de 3 mètres au millimètre près.

- Si la veine recoupe l'axe de la carotte de forage avec un angle fort, mesurer l'épaisseur de la veine.

- Si la veine recoupe l'axe de la carotte de forage avec un angle faible, utiliser l'équation standard suivante:

Étape 1: Mesurer la longueur total de la veine et la diviser par 4.5cm.

Étape 2: Multiplier l'épaisseur moyenne de la veine par le résultat obtenu à l'étape 1.

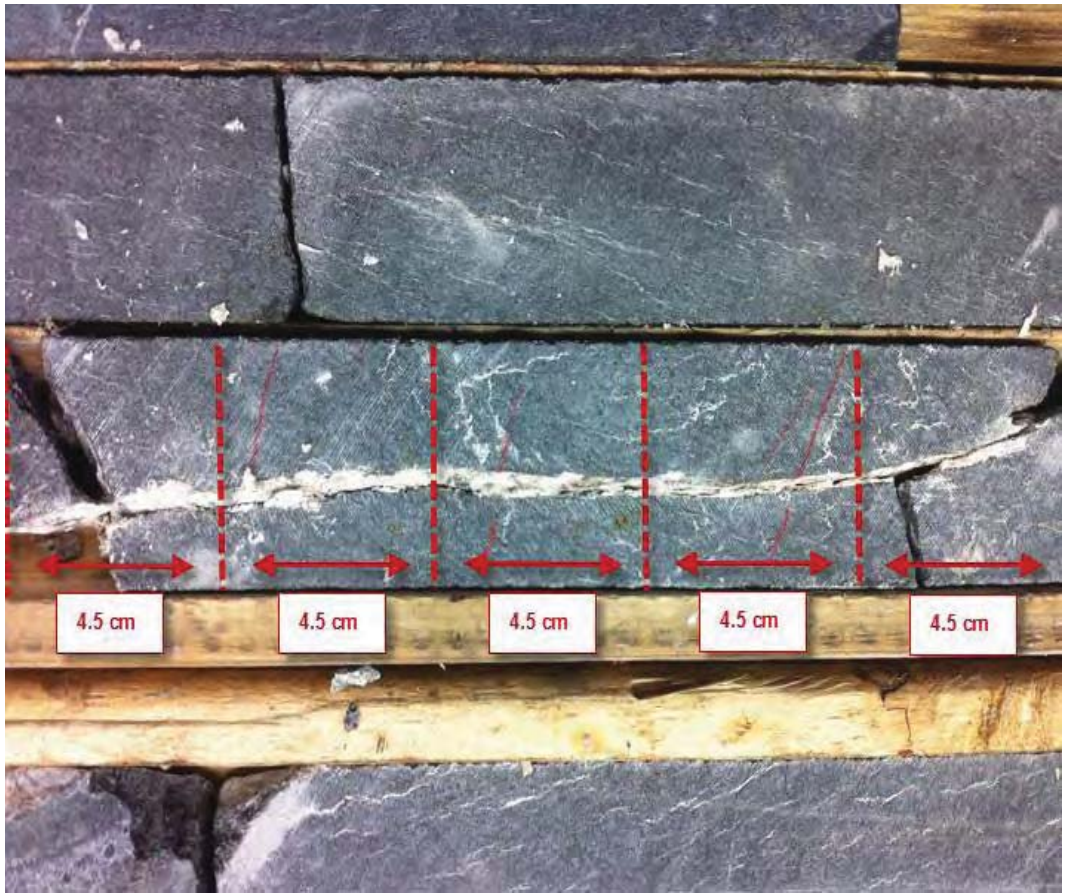
6ième Étape: Mesurer les intervalles et Entrer les données

Exemple de veine qui recoupe l'axe de la carotte de forage avec un angle faible (en utilisant la photo ci-jointe).

Équation standard:

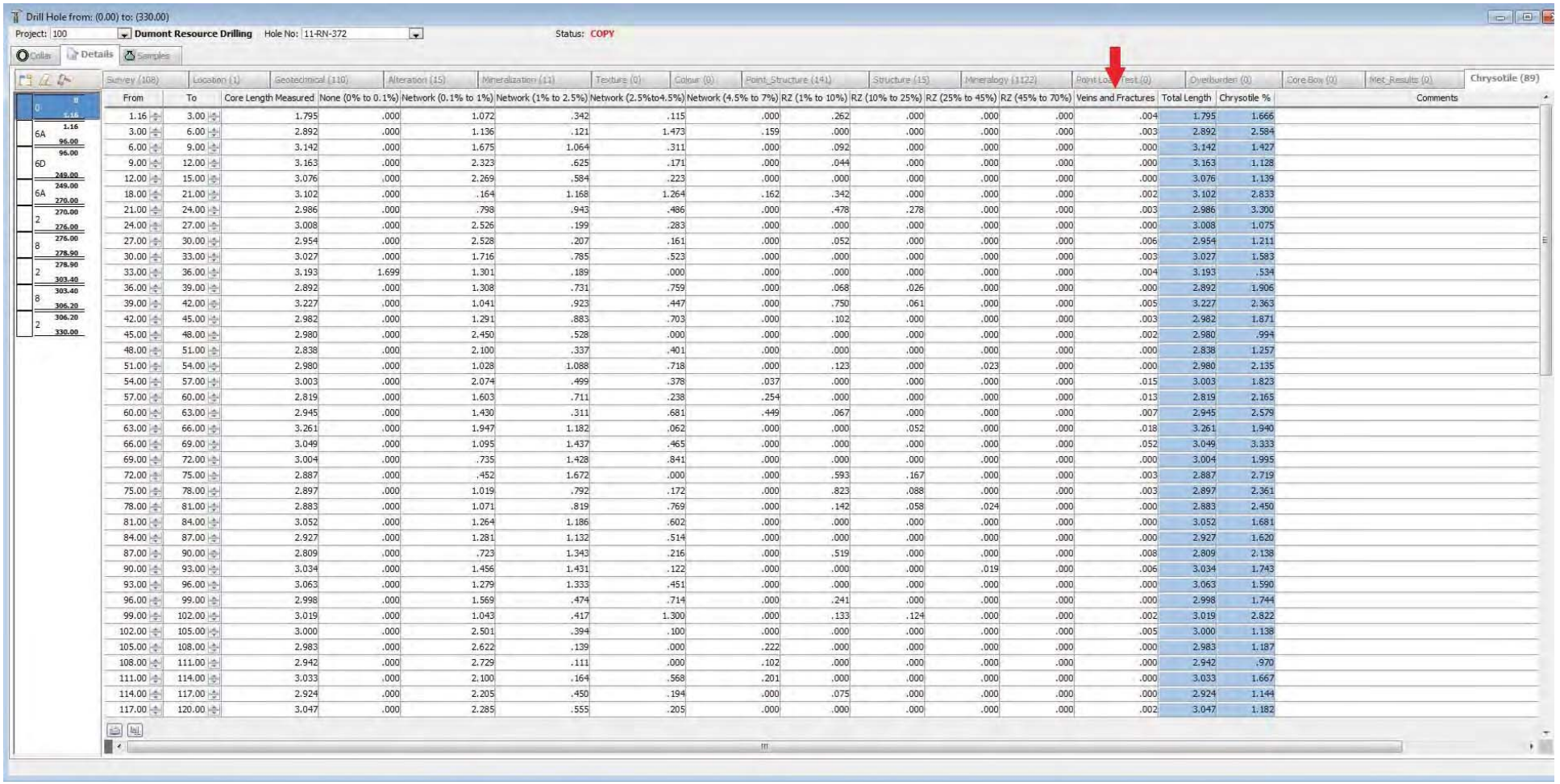
- **Étape 1:**
  Longueur totale = 22.5cm
  22.5cm / 4.5cm = 5

- **Étape 2:**
  Épaisseur moyen du joint = 2mm
  2mm * 5 = 10mm



6ième Étape: Mesurer les intervalles et Entrer les données

3. Additionner toutes les épaisseurs des veines mesurées et calculées précédemment dans l'intervalle de 3 mètres et placer la valeur dans la colonne «Veins and Fractures» de la table «Chrysotile» dans DH Logger.



Drill Hole from: (0.00) to: (330.00)

Project: 100 Dumont Resource Drilling Hole No: 11-RN-372 Status: COPY

Collar | Details | Samples

Survey (108) | Location (1) | Geotechnical (110) | Alteration (15) | Mineralization (11) | Texture (0) | Colour (0) | Point Structure (141) | Structure (15) | Mineralogy (1122) | Point Load Test (0) | Overburden (0) | Core Box (0) | Met Results (0) | Chrysotile (89)

	From	To	Core Length Measured	None (0% to 0.1%)	Network (0.1% to 1%)	Network (1% to 2.5%)	Network (2.5%to4.5%)	Network (4.5% to 7%)	RZ (1% to 10%)	RZ (10% to 25%)	RZ (25% to 45%)	RZ (45% to 70%)	Veins and Fractures	Total Length	Chrysotile %	Comments
0	1.16	3.00	1.795	.000	1.072	.342	.115	.000	.262	.000	.000	.000	.004	1.795	1.666	
6A	3.00	6.00	2.892	.000	1.136	.121	1.473	.159	.000	.000	.000	.000	.003	2.892	2.584	
	6.00	9.00	3.142	.000	1.675	1.064	.311	.000	.092	.000	.000	.000	.000	3.142	1.427	
6D	9.00	12.00	3.163	.000	2.323	.625	.171	.000	.044	.000	.000	.000	.000	3.163	1.128	
	12.00	15.00	3.076	.000	2.269	.584	.223	.000	.000	.000	.000	.000	.000	3.076	1.139	
6A	18.00	21.00	3.102	.000	.164	1.168	1.264	.162	.342	.000	.000	.000	.002	3.102	2.833	
	21.00	24.00	2.986	.000	.798	.943	.486	.000	.478	.278	.000	.000	.003	2.986	3.300	
2	24.00	27.00	3.008	.000	2.526	.199	.283	.000	.000	.000	.000	.000	.000	3.008	1.075	
	27.00	30.00	2.954	.000	2.528	.207	.161	.000	.052	.000	.000	.000	.006	2.954	1.211	
8	30.00	33.00	3.027	.000	1.716	.785	.523	.000	.000	.000	.000	.000	.003	3.027	1.583	
	33.00	36.00	3.193	1.699	1.301	.189	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.004	3.193	.534	
2	36.00	39.00	2.892	.000	1.308	.731	.759	.000	.068	.026	.000	.000	.000	2.892	1.906	
	39.00	42.00	3.227	.000	1.041	.923	.447	.000	.750	.061	.000	.000	.005	3.227	2.363	
8	42.00	45.00	2.982	.000	1.291	.883	.703	.000	.102	.000	.000	.000	.003	2.982	1.871	
	45.00	48.00	2.980	.000	2.450	.528	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.002	2.980	.994	
2	48.00	51.00	2.838	.000	2.100	.337	.401	.000	.000	.000	.000	.000	.000	2.838	1.257	
	51.00	54.00	2.980	.000	1.028	1.088	.718	.000	.123	.000	.023	.000	.000	2.980	2.135	
	54.00	57.00	3.003	.000	2.074	.499	.378	.037	.000	.000	.000	.000	.015	3.003	1.823	
	57.00	60.00	2.819	.000	1.603	.711	.238	.254	.000	.000	.000	.000	.013	2.819	2.165	
	60.00	63.00	2.945	.000	1.430	.311	.681	.449	.067	.000	.000	.000	.007	2.945	2.579	
	63.00	66.00	3.261	.000	1.947	1.182	.062	.000	.000	.052	.000	.000	.018	3.261	1.940	
	66.00	69.00	3.049	.000	1.095	1.437	.465	.000	.000	.000	.000	.000	.052	3.049	3.333	
	69.00	72.00	3.004	.000	.735	1.428	.841	.000	.000	.000	.000	.000	.000	3.004	1.995	
	72.00	75.00	2.887	.000	.452	1.672	.000	.000	.593	.167	.000	.000	.003	2.887	2.719	
	75.00	78.00	2.897	.000	1.019	.792	.172	.000	.823	.088	.000	.000	.003	2.897	2.361	
	78.00	81.00	2.883	.000	1.071	.819	.769	.000	.142	.058	.024	.000	.000	2.883	2.450	
	81.00	84.00	3.052	.000	1.264	1.186	.602	.000	.000	.000	.000	.000	.000	3.052	1.681	
	84.00	87.00	2.927	.000	1.281	1.132	.514	.000	.000	.000	.000	.000	.000	2.927	1.620	
	87.00	90.00	2.809	.000	.723	1.343	.216	.000	.519	.000	.000	.000	.008	2.809	2.138	
	90.00	93.00	3.034	.000	1.456	1.431	.122	.000	.000	.000	.019	.000	.006	3.034	1.743	
	93.00	96.00	3.063	.000	1.279	1.333	.451	.000	.000	.000	.000	.000	.000	3.063	1.590	
	96.00	99.00	2.998	.000	1.569	.474	.714	.000	.241	.000	.000	.000	.000	2.998	1.744	
	99.00	102.00	3.019	.000	1.043	.417	1.300	.000	.133	.124	.000	.000	.002	3.019	2.822	
	102.00	105.00	3.000	.000	2.501	.394	.100	.000	.000	.000	.000	.000	.005	3.000	1.138	
	105.00	108.00	2.983	.000	2.622	.139	.000	.222	.000	.000	.000	.000	.000	2.983	1.187	
	108.00	111.00	2.942	.000	2.729	.111	.000	.102	.000	.000	.000	.000	.000	2.942	.970	
	111.00	114.00	3.033	.000	2.100	.164	.568	.201	.000	.000	.000	.000	.000	3.033	1.667	
	114.00	117.00	2.924	.000	2.205	.450	.194	.000	.075	.000	.000	.000	.000	2.924	1.144	
	117.00	120.00	3.047	.000	2.285	.555	.205	.000	.000	.000	.000	.000	.002	3.047	1.182	

7ième Étape: Vérifier la longueur totale de l'intervalle de 3 mètres

1. Mesurer la longueur totale de la carotte de forage dans l'intervalle de 3 mètres et comparer cette mesure avec la colonne «Total Length» de la table «Chrysotile» dans DH logger.

2. Vérifier la pourcentage de chrysotile de l'intervalle de 3 mètres évalué dans la colonne «% Chrysotile» de la table «Chrysotile» dans DH Logger et comparer avec l'estimation faite à la 1er étape de la procédure.

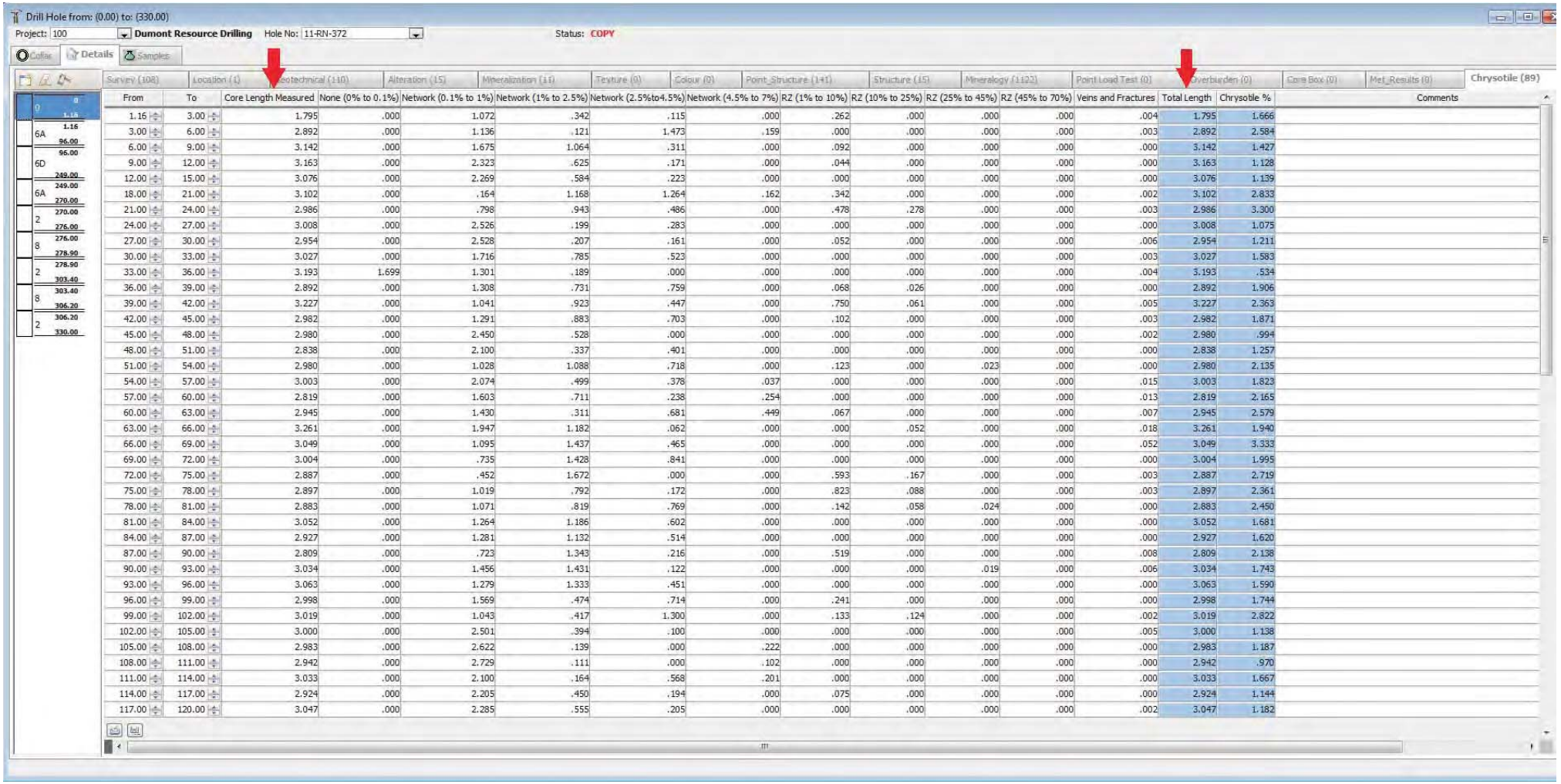
7ième Étape: Vérifier la longueur totale de l'intervalle de 3 mètres

1. Mesurer la longueur totale de la carotte de forage dans l'intervalle de 3 mètres et comparer cette mesure avec la colonne «Total Length» de la table «Chrysotile» dans DH logger.

   – Mesurer la longueur totale de la carotte de forage dans l'intervalle de 3 mètres et insérer cette valeur dans la colonne «Core Length Measured».
   – Comparer cette mesure avec la colonne «Total Length» de la table «Chrysotile» dans DH logger.
   – Si il y a une différence de 5cm ou plus, vérifier en premier si une erreur est survenue lors de l'entrée des données ou s'il manque une donnée. S'il n'y a pas d'erreur dans les données, remesurer tous les intervalles de chrysotile.
   – *Si la différence est de moins que 5cm*, la mesure est considérée acceptable.

7ième Étape: Vérifier la longueur totale de l'intervalle de 3 mètres

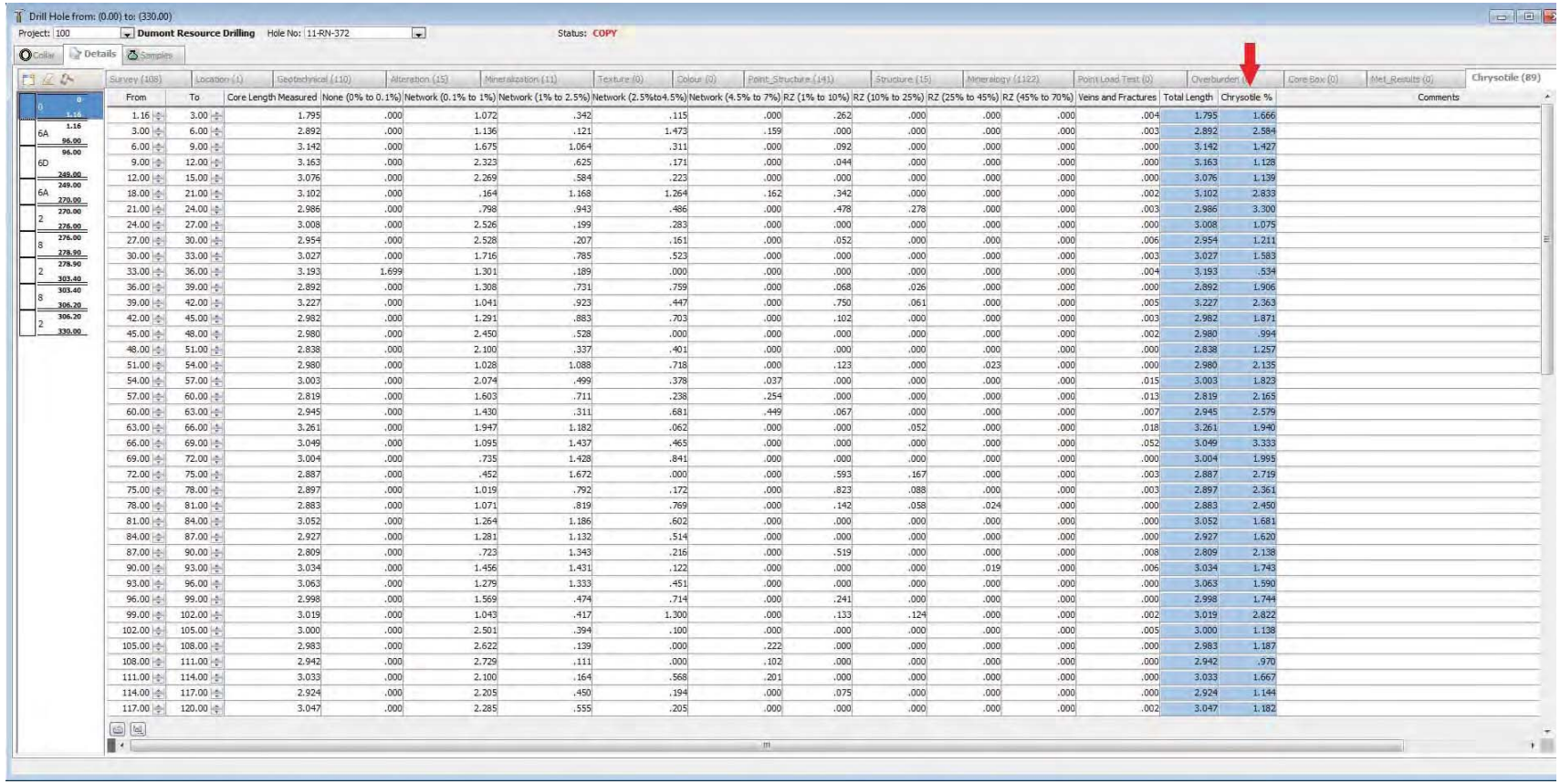
1. Mesurer la longueur totale de la carotte de forage dans l'intervalle de 3 mètres et comparer cette mesure avec la colonne «Total Length» de la table «Chrysotile» dans DH logger pour voir s'il y a une différence.



From	To	Core Length Measured	None (0% to 0.1%)	Network (0.1% to 1%)	Network (1% to 2.5%)	Network (2.5%to4.5%)	Network (4.5% to 7%)	RZ (1% to 10%)	RZ (10% to 25%)	RZ (25% to 45%)	RZ (45% to 70%)	Veins and Fractures	Total Length	Chrysotile %	Comments
1.16	3.00	1.795	.000	1.072	.342	.115	.000	.262	.000	.000	.000	.004	1.795	1.666	
3.00	6.00	2.892	.000	1.136	.121	1.473	.159	.000	.000	.000	.000	.003	2.892	2.584	
6.00	9.00	3.142	.000	1.675	1.064	.311	.000	.092	.000	.000	.000	.000	3.142	1.427	
9.00	12.00	3.163	.000	2.323	.625	.171	.000	.044	.000	.000	.000	.000	3.163	1.128	
12.00	15.00	3.076	.000	2.269	.584	.223	.000	.000	.000	.000	.000	.000	3.076	1.139	
18.00	21.00	3.102	.000	.164	1.168	1.264	.162	.342	.000	.000	.000	.002	3.102	2.833	
21.00	24.00	2.986	.000	.798	.943	.486	.000	.478	.278	.000	.000	.003	2.986	3.300	
24.00	27.00	3.008	.000	2.526	.199	.283	.000	.000	.000	.000	.000	.000	3.008	1.075	
27.00	30.00	2.954	.000	2.528	.207	.161	.000	.052	.000	.000	.000	.006	2.954	1.211	
30.00	33.00	3.027	.000	1.716	.785	.523	.000	.000	.000	.000	.000	.003	3.027	1.583	
33.00	36.00	3.193	1.699	1.301	.189	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.004	3.193	.534	
36.00	39.00	2.892	.000	1.308	.731	.759	.000	.068	.026	.000	.000	.000	2.892	1.906	
39.00	42.00	3.227	.000	1.041	.923	.447	.000	.750	.061	.000	.000	.005	3.227	2.363	
42.00	45.00	2.982	.000	1.291	.883	.703	.000	.102	.000	.000	.000	.003	2.982	1.871	
45.00	48.00	2.980	.000	2.450	.528	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.002	2.980	.994	
48.00	51.00	2.838	.000	2.100	.337	.401	.000	.000	.000	.000	.000	.000	2.838	1.257	
51.00	54.00	2.980	.000	1.028	1.088	.718	.000	.123	.000	.023	.000	.000	2.980	2.135	
54.00	57.00	3.003	.000	2.074	.499	.378	.037	.000	.000	.000	.000	.015	3.003	1.823	
57.00	60.00	2.819	.000	1.603	.711	.238	.254	.000	.000	.000	.000	.013	2.819	2.165	
60.00	63.00	2.945	.000	1.430	.311	.681	.449	.067	.000	.000	.000	.007	2.945	2.579	
63.00	66.00	3.261	.000	1.947	1.182	.062	.000	.000	.052	.000	.000	.018	3.261	1.940	
66.00	69.00	3.049	.000	1.095	1.437	.465	.000	.000	.000	.000	.000	.052	3.049	3.333	
69.00	72.00	3.004	.000	.735	1.428	.841	.000	.000	.000	.000	.000	.000	3.004	1.995	
72.00	75.00	2.887	.000	.452	1.672	.000	.000	.593	.167	.000	.000	.003	2.887	2.719	
75.00	78.00	2.897	.000	1.019	.792	.172	.000	.823	.088	.000	.000	.003	2.897	2.361	
78.00	81.00	2.883	.000	1.071	.819	.769	.000	.142	.058	.024	.000	.000	2.883	2.450	
81.00	84.00	3.052	.000	1.264	1.186	.602	.000	.000	.000	.000	.000	.000	3.052	1.681	
84.00	87.00	2.927	.000	1.281	1.132	.514	.000	.000	.000	.000	.000	.000	2.927	1.620	
87.00	90.00	2.809	.000	.723	1.343	.216	.000	.519	.000	.000	.000	.008	2.809	2.138	
90.00	93.00	3.034	.000	1.456	1.431	.122	.000	.000	.000	.019	.000	.006	3.034	1.743	
93.00	96.00	3.063	.000	1.279	1.333	.451	.000	.000	.000	.000	.000	.000	3.063	1.590	
96.00	99.00	2.998	.000	1.569	.474	.714	.000	.241	.000	.000	.000	.000	2.998	1.744	
99.00	102.00	3.019	.000	1.043	.417	1.300	.000	.133	.124	.000	.000	.002	3.019	2.822	
102.00	105.00	3.000	.000	2.501	.394	.100	.000	.000	.000	.000	.000	.005	3.000	1.138	
105.00	108.00	2.983	.000	2.622	.139	.000	.222	.000	.000	.000	.000	.000	2.983	1.187	
108.00	111.00	2.942	.000	2.729	.111	.000	.102	.000	.000	.000	.000	.000	2.942	.970	
111.00	114.00	3.033	.000	2.100	.164	.568	.201	.000	.000	.000	.000	.000	3.033	1.667	
114.00	117.00	2.924	.000	2.205	.450	.194	.000	.075	.000	.000	.000	.000	2.924	1.144	
117.00	120.00	3.047	.000	2.285	.555	.205	.000	.000	.000	.000	.000	.002	3.047	1.182	

7ième Étape: Vérifier la longueur totale de l'intervalle de 3 mètres

2. Vérifier la pourcentage de chrysotile de l'intervalle de 3 mètres évalué dans la colonne «% Chrysotile» de la table «Chrysotile» dans DH Logger et comparer avec l'estimation faite à la 1er étape de la procédure.



From	To	Core Length Measured	None (0% to 0.1%)	Network (0.1% to 1%)	Network (1% to 2.5%)	Network (2.5%to4.5%)	Network (4.5% to 7%)	RZ (1% to 10%)	RZ (10% to 25%)	RZ (25% to 45%)	RZ (45% to 70%)	Veins and Fractures	Total Length	Chrysotile %	Comments
1.16	3.00	1.795	.000	1.072	.342	.115	.000	.262	.000	.000	.000	.004	1.795	1.666	
3.00	6.00	2.892	.000	1.136	.121	1.473	.159	.000	.000	.000	.000	.003	2.892	2.584	
6.00	9.00	3.142	.000	1.675	1.064	.311	.000	.092	.000	.000	.000	.000	3.142	1.427	
9.00	12.00	3.163	.000	2.323	.625	.171	.000	.044	.000	.000	.000	.000	3.163	1.128	
12.00	15.00	3.076	.000	2.269	.584	.223	.000	.000	.000	.000	.000	.000	3.076	1.139	
18.00	21.00	3.102	.000	.164	1.168	1.264	.162	.342	.000	.000	.000	.002	3.102	2.833	
21.00	24.00	2.986	.000	.798	.943	.486	.000	.478	.278	.000	.000	.003	2.986	3.300	
24.00	27.00	3.008	.000	2.526	.199	.283	.000	.000	.000	.000	.000	.000	3.008	1.075	
27.00	30.00	2.954	.000	2.528	.207	.161	.000	.052	.000	.000	.000	.006	2.954	1.211	
30.00	33.00	3.027	.000	1.716	.785	.523	.000	.000	.000	.000	.000	.003	3.027	1.583	
33.00	36.00	3.193	1.699	1.301	.189	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.004	3.193	.534	
36.00	39.00	2.892	.000	1.308	.731	.759	.000	.068	.026	.000	.000	.000	2.892	1.906	
39.00	42.00	3.227	.000	1.041	.923	.447	.000	.750	.061	.000	.000	.005	3.227	2.363	
42.00	45.00	2.982	.000	1.291	.883	.703	.000	.102	.000	.000	.000	.003	2.982	1.871	
45.00	48.00	2.980	.000	2.450	.528	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.002	2.980	.994	
48.00	51.00	2.838	.000	2.100	.337	.401	.000	.000	.000	.000	.000	.000	2.838	1.257	
51.00	54.00	2.980	.000	1.028	1.088	.718	.000	.123	.000	.023	.000	.000	2.980	2.135	
54.00	57.00	3.003	.000	2.074	.499	.378	.037	.000	.000	.000	.000	.015	3.003	1.823	
57.00	60.00	2.819	.000	1.603	.711	.238	.254	.000	.000	.000	.000	.013	2.819	2.165	
60.00	63.00	2.945	.000	1.430	.311	.681	.449	.067	.000	.000	.000	.007	2.945	2.579	
63.00	66.00	3.261	.000	1.947	1.182	.062	.000	.000	.052	.000	.000	.018	3.261	1.940	
66.00	69.00	3.049	.000	1.095	1.437	.465	.000	.000	.000	.000	.000	.052	3.049	3.333	
69.00	72.00	3.004	.000	.735	1.428	.841	.000	.000	.000	.000	.000	.000	3.004	1.995	
72.00	75.00	2.887	.000	.452	1.672	.000	.000	.593	.167	.000	.000	.003	2.887	2.719	
75.00	78.00	2.897	.000	1.019	.792	.172	.000	.823	.088	.000	.000	.003	2.897	2.361	
78.00	81.00	2.883	.000	1.071	.819	.769	.000	.142	.058	.024	.000	.000	2.883	2.450	
81.00	84.00	3.052	.000	1.264	1.186	.602	.000	.000	.000	.000	.000	.000	3.052	1.681	
84.00	87.00	2.927	.000	1.281	1.132	.514	.000	.000	.000	.000	.000	.000	2.927	1.620	
87.00	90.00	2.809	.000	.723	1.343	.216	.000	.519	.000	.000	.000	.008	2.809	2.138	
90.00	93.00	3.034	.000	1.456	1.431	.122	.000	.000	.000	.000	.000	.006	3.034	1.743	
93.00	96.00	3.063	.000	1.279	1.333	.451	.000	.000	.000	.000	.000	.000	3.063	1.590	
96.00	99.00	2.998	.000	1.569	.474	.714	.000	.241	.000	.000	.000	.000	2.998	1.744	
99.00	102.00	3.019	.000	1.043	.417	1.300	.000	.133	.124	.000	.000	.002	3.019	2.822	
102.00	105.00	3.000	.000	2.501	.394	.100	.000	.000	.000	.000	.000	.005	3.000	1.138	
105.00	108.00	2.983	.000	2.622	.139	.000	.222	.000	.000	.000	.000	.000	2.983	1.187	
108.00	111.00	2.942	.000	2.729	.111	.000	.102	.000	.000	.000	.000	.000	2.942	.970	
111.00	114.00	3.033	.000	2.100	.164	.568	.201	.000	.000	.000	.000	.000	3.033	1.667	
114.00	117.00	2.924	.000	2.205	.450	.194	.000	.075	.000	.000	.000	.000	2.924	1.144	
117.00	120.00	3.047	.000	2.285	.555	.205	.000	.000	.000	.000	.000	.002	3.047	1.182	

8ième Étape: Révision, Photo et Ranger les boites de carotte de forage

1. Révision de l’intégrité de toutes les données entrées du trou de forage.

2. Prendre en photo toutes les boites de carotte de forage.

3. Ranger les boites de carotte de forage.

8ième Étape: Révision, Photo et Ranger les boites de carotte de forage

1. Révision de l'intégrité de toutes les données entrées du trou de forage.

   – Vérifier une seconde fois pour voir si aucune erreur est survenue lors de l'entrée des données.

   – Vérifier la colonne «% Chrysotile» pour les pourcentages élevés et vérifier si ces valeurs concordent avec leur intervalle de 3 mètres.

   – Vérifier si tous les intervalles de 3 mètres ont été évalués pour le chrysotile dans le trou de forage.

8ième Étape: Révision, Photo et Ranger les boites de carotte de forage

2. Prendre en photo toutes les boites de carotte de forage.



- Mettre les photos dans le dossier P:\Dumont Data\Core Photos\Chrysotile 2013 prévu a cet effet.

8ième Étape: Révision, Photo et Ranger les boites de carotte de forage

3. Ranger les boites de carotte de forage dans les étagères prévues a cet effet.



ANNEXE V

Données du journal de sondage du chrysotile

Données du journal de sondage du chrysotile

Numéro du trou de forage	Carotte de forage			Réseaux de chrysotile					Chrysotile dans les zones hautment fragmentées				Chrysotile dans les veines /fractures	Calculs			Commentaires
	Début de l'intervalle	Fin de l'intervalle	Longeur de la carotte	Aucun	Faible	Modérée	Élevée	Intense	Faible	Modérée	Élevée	Intense		"% Chrysotile"	"Total Length"	"Chrysotile Length"	
08-RN-94	20	21	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1.750	1	0.0175	
08-RN-94	21	24	2.98	0	0.41	1.23	1.34	0	0	0	0	0	0	2.399	2.98	0.0715	
08-RN-94	24	27	3.12	0	0	2.63	0.4	0	0	0.09	0	0	0	2.357	3.12	0.0735	
08-RN-94	27	30	2.96	0	0.1	2.26	0.51	0	0	0.09	0	0	0	2.421	2.96	0.0717	
08-RN-94	30	33	3.07	0	1.84	1.23	0	0	0	0	0	0	0	1.151	3.07	0.0353	
08-RN-94	33	36	3.1	0	0	2.34	0	0.45	0	0.31	0	0	0	3.692	3.1	0.1145	
08-RN-94	36	39	3.02	0	2.58	0	0.22	0	0	0.22	0	0	0	1.988	3.02	0.0601	
08-RN-94	39	42	2.98	0	2.62	0	0.19	0	0.11	0	0	0.06	0	2.101	2.98	0.0626	
08-RN-94	42	45	3.03	0	2.69	0	0.05	0.09	0	0.2	0	0	0	1.892	3.03	0.0573	
08-RN-94	45	48	2.96	0	2.38	0.39	0.12	0.07	0	0	0	0	0	1.117	2.96	0.0331	
08-RN-94	48	51	2.98	0	2.85	0.123	0	0	0	0	0	0	0.007	1.024	2.98	0.0305	
08-RN-94	51	54	3.098	0	2.798	0	0.22	0.08	0	0	0	0	0	1.081	3.098	0.0335	
08-RN-94	54	57	3.04	0	2.99	0	0	0.05	0	0	0	0	0	0.836	3.04	0.0254	
08-RN-94	57	60	2.925	0	2.738	0	0.187	0	0	0	0	0	0	0.926	2.925	0.0271	
08-RN-94	60	63	2.98	0	2.595	0.305	0.08	0	0	0	0	0	0	0.926	2.98	0.0276	
08-RN-94	63	66	2.726	0	2.14	0.135	0.103	0.078	0.209	0.061	0	0	0	1.545	2.726	0.0421	
08-RN-94	66	69	2.915	0	2.735	0.115	0.065	0	0	0	0	0	0	0.851	2.915	0.0248	
08-RN-94	69	72	3	0	2.105	0.415	0	0	0	0.47	0	0	0.01	3.452	3	0.1036	
08-RN-94	72	75	2.97	0	2.697	0	0	0	0.27	0	0	0	0.003	1.055	2.97	0.0313	
08-RN-94	75	78	3.06	0	2.595	0.34	0	0	0.125	0	0	0	0	0.953	3.06	0.0292	
08-RN-94	78	81	3	0	2.615	0.085	0.3	0	0	0	0	0	0	1.053	3	0.0316	
08-RN-94	81	84	3	0	1.33	1.67	0	0	0	0	0	0	0	1.307	3	0.0392	
08-RN-94	84	87	2.98	0	2.09	0.62	0.05	0	0	0.22	0	0	0	2.056	2.98	0.0613	
08-RN-94	87	90	3	0	2.623	0.1	0.127	0	0	0.15	0	0	0	1.612	3	0.0484	
08-RN-94	90	93	3.065	0	1.198	0	0.64	0	0.836	0.191	0.2	0	0	5.061	3.065	0.1551	
08-RN-94	93	96	2.99	0	1.01	0.424	1.148	0	0	0.303	0.105	0	0	4.594	2.99	0.1374	
08-RN-94	96	99	3.174	0	2.342	0.323	0.365	0	0.07	0.074	0	0	0	1.550	3.174	0.0492	
08-RN-94	99	102	3.01	0	1.782	0.83	0.21	0	0.188	0	0	0	0	1.358	3.01	0.0409	
08-RN-94	102	105	2.945	0	1.548	0.814	0.543	0	0	0.04	0	0	0	1.727	2.945	0.0509	
08-RN-94	105	108	3.19	0	1.13	0.335	1.282	0	0.165	0.278	0	0	0	3.318	3.19	0.1059	
08-RN-94	108	111	3	0	1.327	0.933	0.265	0	0	0.475	0	0	0	3.560	3	0.1068	
08-RN-94	111	114	3.43	0	2.052	1.378	0	0	0	0	0	0	0	1.152	3.43	0.0395	
08-RN-94	114	117	2.91	0.399	2.352	0.159	0	0	0	0	0	0	0	0.702	2.91	0.0204	
08-RN-94	117	120	3.043	0	2.5	0.153	0	0	0.39	0	0	0	0	1.089	3.043	0.0331	
08-RN-94	120	123	3.39	0	0.86	1.595	0.53	0	0.405	0	0	0	0	1.919	3.39	0.0651	
08-RN-94	123	126	3.058	1.853	0.815	0	0.39	0	0	0	0	0	0	0.646	3.058	0.0198	
08-RN-94	126	129	2.95	2.555	0.395	0	0	0	0	0	0	0	0	0.100	2.95	0.0030	
08-RN-94	129	132	2.948	0.816	1.326	0.19	0.479	0.137	0	0	0	0	0	1.298	2.948	0.0383	
08-RN-94	132	135	3.305	0	2.525	0.37	0.26	0	0.15	0	0	0	0	1.180	3.305	0.0390	
08-RN-94	135	138	3.1	1.285	1.225	0.23	0	0	0.36	0	0	0	0	0.775	3.1	0.0240	
08-RN-94	138	141	3.19	1.171	1.303	0.13	0.186	0	0.4	0	0	0	0	0.958	3.19	0.0306	
08-RN-94	141	144	2.935	0	2.136	0.234	0.465	0	0.1	0	0	0	0	1.342	2.935	0.0394	
08-RN-94	144	147	2.995	1.582	0.861	0.384	0	0	0.168	0	0	0	0	0.608	2.995	0.0182	
08-RN-94	147	150	2.92	0.463	2.017	0.11	0.086	0	0.14	0	0.104	0	0	2.077	2.92	0.0607	
08-RN-94	150	153	3.47	0.596	2.105	0.654	0	0	0	0.115	0	0	0	1.282	3.47	0.0445	
08-RN-94	153	156	3	0	2.71	0	0	0	0	0.29	0	0	0	2.128	3	0.0638	
08-RN-94	156	159	3.03	0	2.14	0.56	0	0	0	0.33	0	0	0	2.487	3.03	0.0754	
08-RN-94	159	162	3.07	0	2.46	0	0	0	0	0.61	0	0	0	3.581	3.07	0.1100	
08-RN-94	162	165	3.04	0	3.04	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	3.04	0.0228	
08-RN-94	165	168	3.13	0	2.46	0.46	0	0	0	0.21	0	0	0	1.853	3.13	0.0580	
08-RN-94	168	171	3.07	0	2.24	0.76	0.07	0	0	0	0	0	0	1.060	3.07	0.0326	
08-RN-94	171	174	3.11	0	2.58	0.29	0	0	0	0.24	0	0	0	1.943	3.11	0.0604	
08-RN-94	174	177	3.17	0	1.97	0.72	0	0	0	0.48	0	0	0	3.135	3.17	0.0994	
08-RN-94	177	180	3.05	0	1.42	0.23	0	0	0.91	0.49	0	0	0	3.786	3.05	0.1155	
08-RN-94	180	183	3.06	0	1.59	1.36	0.11	0	0	0	0	0	0	1.293	3.06	0.0396	
08-RN-94	183	186	3	0	0.74	0.32	0.89	0.14	0.11	0.792	0	0	0.008	6.027	3	0.1808	

08-RN-94	186	189	3	0	0.95	0.95	0.17	0	0	0.93	0	0	0	5.640	3	0.1692	
08-RN-94	189	192	3	0	1.64	0.56	0.2	0	0.06	0.23	0.31	0	0	5.797	3	0.1739	
08-RN-94	192	195	3	0	0.867	0.27	0.12	0	0.53	1.21	0	0	0.003	7.194	3	0.2158	
08-RN-94	195	198	2.46	0	1.16	0.81	0	0	0	0.482	0	0	0.008	4.194	2.46	0.1032	
08-RN-94	198	201	3.1	0	0.77	1.12	0.14	0	0.5	0.57	0	0	0	4.219	3.1	0.1308	
08-RN-94	201	204	3.1	0.3	1.96	0.06	0	0	0.52	0.26	0	0	0	2.269	3.1	0.0704	
08-RN-94	204	207	2.95	0	2.17	0	0.04	0.18	0.39	0	0.17	0	0	3.379	2.95	0.0997	
08-RN-94	207	210	3.05	0	1.82	0.35	0.18	0	0.26	0	0.31	0.13	0	7.012	3.05	0.2139	
08-RN-94	210	213	2.81	0	0.99	1.51	0	0	0	0.31	0	0	0	2.859	2.81	0.0804	
08-RN-94	213	216	3.04	0	0.79	0.57	0.44	0	0.6	0.64	0	0	0	4.780	3.04	0.1453	
08-RN-94	216	219	3	0	2.34	0	0	0	0.5	0.16	0	0	0	1.885	3	0.0566	
08-RN-94	219	222	2.9	0	1.2	0.15	0	0	1.55	0	0	0	0	2.004	2.9	0.0581	
08-RN-94	222	225	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	3	0.0225	
08-RN-94	225	228	2.97	0	2.61	0	0	0	0.36	0	0	0	0	1.023	2.97	0.0304	
08-RN-94	228	231	2.85	0	2.65	0	0	0	0.2	0	0	0	0	0.908	2.85	0.0259	
08-RN-94	231	234	3.09	0	2.865	0	0	0	0.21	0	0	0	0.015	1.385	3.09	0.0428	
08-RN-94	234	237	2.85	0	2.185	0	0	0	0.52	0.14	0	0	0.005	2.035	2.85	0.0580	
08-RN-94	237	240	2.9	0	2.595	0.135	0	0	0	0.06	0	0.11	0	3.149	2.9	0.0913	
08-RN-94	240	243	3	0	2.02	0	0	0	0.27	0.58	0.084	0.046	0	5.498	3	0.1650	
08-RN-94	243	246	2.88	0	2.05	0	0	0	0.66	0.17	0	0	0	2.107	2.88	0.0607	
08-RN-94	246	249	3	0	2.76	0	0	0	0.2	0	0	0.04	0	1.623	3	0.0487	
08-RN-94	249	252	3.03	0	3.03	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	3.03	0.0227	
08-RN-94	252	255	2.97	0	2.915	0	0.05	0	0	0	0	0	0.005	0.963	2.97	0.0286	
08-RN-94	255	258	3	0	2.995	0	0	0	0	0	0	0	0.005	0.915	3	0.0275	
08-RN-94	258	261	2.9	0	2.767	0.13	0	0	0	0	0	0	0.003	0.898	2.9	0.0260	
08-RN-94	261	264	3	0	2.493	0.115	0	0	0.39	0	0	0	0.002	1.147	3	0.0344	
08-RN-94	264	267	2.98	0	2.89	0.09	0	0	0	0	0	0	0	0.780	2.98	0.0233	
08-RN-94	267	270	3	0	2.935	0.06	0	0	0	0	0	0	0.005	0.935	3	0.0281	
08-RN-94	270	273	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	3	0.0225	
08-RN-94	273	276	3	0	2.75	0	0	0	0.25	0	0	0	0	0.938	3	0.0281	
08-RN-94	276	279	3	0	2.8	0	0	0	0.2	0	0	0	0	0.900	3	0.0270	
08-RN-94	279	282	2.95	0	2.88	0.07	0	0	0	0	0	0	0	0.774	2.95	0.0228	
08-RN-94	282	285	3.05	0	2.89	0.08	0.08	0	0	0	0	0	0	0.848	3.05	0.0259	
08-RN-94	285	288	3.01	0	0.826	1.184	0	0	0.88	0.12	0	0	0	2.369	3.01	0.0713	
08-RN-94	288	291	3.07	0	1.381	0.997	0.692	0	0	0	0	0	0	1.695	3.07	0.0520	
08-RN-94	291	294	2.88	0	0.7	0.798	1.382	0	0	0	0	0	0	2.347	2.88	0.0676	
08-RN-94	294	297	3.112	0	1.282	0.1	1.28	0	0.165	0.285	0	0	0	3.338	3.112	0.1039	
08-RN-94	297	300	3.025	0.627	1.003	0.625	0.695	0	0.075	0	0	0	0	1.489	3.025	0.0450	
08-RN-94	300	303	3.149	1.695	1.446	0	0	0	0	0	0	0	0.008	0.598	3.149	0.0188	
08-RN-94	303	306	3.095	1.058	0.639	1.158	0.24	0	0	0	0	0	0	1.081	3.095	0.0335	
08-RN-94	306	309	3.275	0	0.815	0	1.1	0	1.36	0	0	0	0	2.608	3.275	0.0854	
08-RN-94	309	312	2.962	0.826	2.136	0	0	0	0	0	0	0	0	0.541	2.962	0.0160	
08-RN-94	312	315	3.03	1.471	1.35	0	0.061	0.055	0.093	0	0	0	0	0.606	3.03	0.0184	
08-RN-94	315	318	3.095	1.31	1.619	0	0.163	0	0	0	0	0	0.003	0.674	3.095	0.0208	
08-RN-94	318	321	2.653	1.291	1.26	0	0.102	0	0	0	0	0	0	0.491	2.653	0.0130	
08-RN-94	321	324	2.971	1.133	1.685	0	0.153	0	0	0	0	0	0	0.606	2.971	0.0180	
08-RN-94	324	327	3.037	1.255	1.567	0.215	0	0	0	0	0	0	0	0.511	3.037	0.0155	
08-RN-94	327	330	3.08	1.582	1.008	0.387	0.103	0	0	0	0	0	0	0.582	3.08	0.0179	
08-RN-94	330	333	3.106	0	2.535	0.371	0.2	0	0	0	0	0	0	1.047	3.106	0.0325	
08-RN-94	333	336	2.985	1.255	0.92	0.48	0.141	0	0.188	0	0	0	0.001	0.900	2.985	0.0269	
08-RN-94	336	339	2.964	1.468	1.271	0	0	0	0.224	0	0	0	0.001	0.582	2.964	0.0173	
08-RN-94	339	342	2.96	1.132	0.275	0.806	0.34	0	0.407	0	0	0	0	1.361	2.96	0.0403	
08-RN-94	342	345	3.055	0.453	2.325	0	0.051	0	0.225	0	0	0	0.001	0.883	3.055	0.0270	
08-RN-94	345	348	3.061	0.878	1.569	0.303	0.106	0	0.205	0	0	0	0	0.880	3.061	0.0269	
08-RN-94	348	351	2.957	0.424	2.003	0.225	0.15	0	0	0.155	0	0	0	1.605	2.957	0.0475	
08-RN-94	351	354	2.9	0	2.41	0	0.3	0	0.07	0.05	0	0.07	0	2.644	2.9	0.0767	
08-RN-94	354	357	3.06	0	2.78	0.11	0.17	0	0	0	0	0	0	0.939	3.06	0.0287	
08-RN-94	357	360	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	3	0.0225	
08-RN-94	360	363	2.9	0	2.78	0.12	0	0	0	0	0	0	0	0.791	2.9	0.0230	
08-RN-94	363	366	2.98	0	2.52	0	0	0	0.38	0.08	0	0	0	1.419	2.98	0.0423	
08-RN-94	366	369	2.9	0	1.955	0.93	0	0	0	0	0	0	0.015	1.584	2.9	0.0459	
08-RN-94	369	372	3	0	2.58	0.11	0	0	0.31	0	0	0	0	1.019	3	0.0306	
08-RN-94	372	375	2.99	0.18	2.39	0	0.33	0	0	0	0.09	0	0	2.039	2.99	0.0610	
08-RN-94	375	378	2.92	1.045	1.56	0	0.18	0	0	0.12	0	0	0.015	1.747	2.92	0.0510	
08-RN-94	378	381	3.11	1.07	1.95	0.09	0	0	0	0	0	0	0	0.521	3.11	0.0162	

08-RN-94	381	384	3.05	1.1	1.49	0.46	0	0	0	0	0	0	0	0.630	3.05	0.0192	
08-RN-94	384	387	3.12	2.24	0.776	0.1	0	0	0	0	0	0	0.004	0.371	3.12	0.0116	
08-RN-94	387	390	2.81	0	2.215	0.55	0	0	0	0	0	0	0.045	2.535	2.81	0.0712	
08-RN-94	390	393	2.38	0	1.487	0.64	0	0	0	0	0.25	0	0.003	4.742	2.38	0.1129	
08-RN-94	393	396	2.86	0	1.42	0.92	0	0	0.24	0.17	0.1	0	0.01	3.652	2.86	0.1045	
08-RN-94	396	399	3	0	0.51	2.17	0	0	0.12	0.2	0	0	0	2.513	3	0.0754	
08-RN-94	399	402	2.89	0	2.47	0.09	0	0	0.21	0.12	0	0	0	1.536	2.89	0.0444	
08-RN-94	402	405	3.16	1.05	1.81	0	0	0	0.18	0	0.12	0	0	1.930	3.16	0.0610	
08-RN-94	405	408	2.99	0	2.72	0.27	0	0	0	0	0	0	0	0.840	2.99	0.0251	
08-RN-94	408	411	3.12	0	3.08	0	0.04	0	0	0	0	0	0	0.785	3.12	0.0245	
08-RN-94	411	414	3.12	1.53	1.59	0	0	0	0	0	0	0	0	0.382	3.12	0.0119	
08-RN-94	414	417	2.99	1.36	1.17	0.46	0	0	0	0	0	0	0	0.563	2.99	0.0168	
08-RN-94	417	420	3.11	2.035	0.655	0.26	0.07	0.09	0	0	0	0	0	0.557	3.11	0.0173	
08-RN-94	420	423	3.068	0.537	0.668	1.008	0.6	0	0.255	0	0	0	0	1.672	3.068	0.0513	
08-RN-94	423	426	3.135	0	2.604	0.482	0	0.049	0	0	0	0	0	0.986	3.135	0.0309	
08-RN-94	426	429	3.055	1.653	1.311	0.091	0	0	0	0	0	0	0	0.374	3.055	0.0114	
08-RN-94	429	432	3.038	0.286	2.75	0	0	0	0	0	0	0	0.002	0.745	3.038	0.0226	
08-RN-94	432	435	3.012	0.61	1.59	0.685	0.127	0	0	0	0	0	0	0.941	3.012	0.0284	
08-RN-94	435	438	3.005	0.921	1.847	0.097	0.14	0	0	0	0	0	0	0.681	3.005	0.0205	
08-RN-94	438	441	2.94	1.978	0.835	0.123	0	0	0	0	0	0	0.004	0.422	2.94	0.0124	
08-RN-94	441	444	2.961	0.535	1.542	0	0.724	0	0.16	0	0	0	0	1.408	2.961	0.0417	
08-RN-94	444	447	3.037	0.506	1.685	0.651	0.195	0	0	0	0	0	0	1.016	3.037	0.0309	
08-RN-94	447	450	2.672	1.531	0.84	0.184	0.114	0	0	0	0	0	0.003	0.618	2.672	0.0165	
08-RN-94	450	453	2.624	1.121	1.237	0.266	0	0	0	0	0	0	0	0.531	2.624	0.0139	
08-RN-94	453	456	2.935	0	1.283	0.493	0	0	1.157	0	0	0	0.002	1.873	2.935	0.0550	
08-RN-94	456	459	3.06	0	2.397	0.12	0	0	0.54	0	0	0	0.003	1.284	3.06	0.0393	
08-RN-94	459	462	3.02	0	2.7	0.17	0	0	0.15	0	0	0	0	0.918	3.02	0.0277	
08-RN-94	462	465	2.86	0	1.97	0.57	0	0	0.22	0.1	0	0	0	1.621	2.86	0.0464	
08-RN-94	465	468	3.02	0	2.847	0.17	0	0	0	0	0	0	0.003	0.905	3.02	0.0273	
08-RN-94	468	471	3.021	0.965	1.596	0.295	0	0.1	0.065	0	0	0	0	0.830	3.021	0.0251	
11-RN-257	39.25	42	2.744	0	1.42	0.605	0.134	0.112	0.137	0.197	0.138	0	0.001	4.213	2.744	0.1156	
11-RN-257	42	45	2.863	0	1.793	0.389	0.212	0	0.194	0	0	0.275	0	6.453	2.863	0.1847	
11-RN-257	45	48	2.655	1.64	0.176	0.49	0.241	0	0	0.1	0	0	0.008	1.557	2.655	0.0413	
11-RN-257	48	51	2.697	0	1.153	1.314	0.196	0	0	0	0	0	0.034	2.688	2.697	0.0725	
11-RN-257	51	54	2.35	0	0.926	0.614	0	0	0.81	0	0	0	0	1.787	2.35	0.0420	
11-RN-257	54	57	2.41	0.41	1.606	0	0	0	0.394	0	0	0	0	0.990	2.41	0.0239	
11-RN-257	57	60	0.765	0	0	0	0	0	0.765	0	0	0	0	3.000	0.765	0.0230	
11-RN-257	60	63	2.798	0	0.508	0	0.625	0.102	0.571	0.992	0	0	0	7.067	2.798	0.1977	
11-RN-257	63	66	2.705	0	0.896	1.41	0.205	0.05	0.144	0	0	0	0	1.696	2.705	0.0459	
11-RN-257	66	69	2.544	0	1.192	0.66	0	0	0.692	0	0	0	0	1.621	2.544	0.0413	
11-RN-257	69	72	1.748	0	0.743	0.46	0.545	0	0	0	0	0	0	1.871	1.748	0.0327	
11-RN-257	72	75	2.64	0	1.784	0.175	0.12	0	0.561	0	0	0	0	1.419	2.64	0.0375	
11-RN-257	75	78	2.425	1.212	0.853	0.36	0	0	0	0	0	0	0	0.524	2.425	0.0127	
11-RN-257	78	81	1.891	0.464	1.201	0.22	0	0	0	0	0	0	0.006	0.997	1.891	0.0189	
11-RN-257	81	84	2.875	0.653	1.32	0.331	0.555	0	0	0	0	0	0.016	1.778	2.875	0.0511	
11-RN-257	84	87	3	0.143	1.162	0.998	0.697	0	0	0	0	0	0	1.686	3	0.0506	
11-RN-257	87	90	2.99	1.592	0.792	0.086	0.52	0	0	0	0	0	0	0.858	2.99	0.0256	
11-RN-257	90	93	3.03	1.104	0.92	0.187	0.819	0	0	0	0	0	0	1.282	3.03	0.0388	
11-RN-257	93	96	2.73	0.314	1.473	0.942	0	0	0	0	0	0	0.001	1.045	2.73	0.0285	
11-RN-257	96	99	2.914	0.425	1.596	0.885	0	0	0	0	0	0	0.008	1.217	2.914	0.0355	
11-RN-257	99	102	3.033	1.141	1.891	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.501	3.033	0.0152	
11-RN-257	102	105	2.957	0	2.452	0.475	0	0	0	0	0	0	0.03	1.918	2.957	0.0567	
11-RN-257	105	108	3.04	0	1.31	1.088	0.513	0	0	0	0.127	0	0.002	3.068	3.04	0.0933	
11-RN-257	108	111	3.06	0	1.102	1.874	0	0	0	0	0	0	0.084	4.087	3.06	0.1251	
11-RN-257	111	114	2.959	0	1.095	0.288	1.165	0.411	0	0	0	0	0	2.659	2.959	0.0787	
11-RN-257	114	117	3.004	0	2.306	0.28	0.23	0.18	0	0	0	0	0.008	1.633	3.004	0.0490	
11-RN-257	117	120	3	0.602	2.351	0	0	0	0.038	0	0	0	0.009	0.926	3	0.0278	
11-RN-257	120	123	3.008	0	2.594	0.096	0	0	0.275	0.03	0	0	0.013	1.559	3.008	0.0469	
11-RN-257	123	126	3.058	0	2.764	0.196	0	0	0.089	0	0	0	0.009	1.172	3.058	0.0358	
11-RN-257	126	129	2.78	0	2.376	0.305	0	0	0.06	0.03	0	0	0.009	1.383	2.78	0.0385	
11-RN-257	129	132	3.007	1.2	1.001	0.227	0	0	0.289	0.29	0	0	0	2.117	3.007	0.0637	
11-RN-257	132	135	3.01	2.7	0	0.31	0	0	0	0	0	0	0	0.180	3.01	0.0054	
11-RN-257	135	138	3	2.03	0.97	0	0	0	0	0	0	0	0	0.243	3	0.0073	
11-RN-257	138	141	3.01	1.8	0.56	0.65	0	0	0	0	0	0	0	0.517	3.01	0.0156	
11-RN-257	141	144	2.9	0.23	1.02	0	1.65	0	0	0	0	0	0	2.255	2.9	0.0654	

11-RN-257	144	147	3.05	0	2	0	1.05	0	0	0	0	0	0	1.697	3.05	0.0518	
11-RN-257	147	150	2.96	0.91	1.09	0	0	0	0.96	0	0	0	0	1.249	2.96	0.0370	
11-RN-257	150	153	3	2.75	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0.063	3	0.0019	
11-RN-257	153	156	3.04	1.45	0.59	0.53	0.47	0	0	0	0	0	0	0.992	3.04	0.0302	
11-RN-257	156	159	3.09	1.1	1.54	0	0	0	0.45	0	0	0	0	0.811	3.09	0.0251	
11-RN-257	159	162	3.05	1.44	0.54	0.61	0.06	0	0.4	0	0	0	0	0.945	3.05	0.0288	
11-RN-257	162	165	3	2.71	0.29	0	0	0	0	0	0	0	0	0.073	3	0.0022	
11-RN-257	165	168	2.89	1.27	1.3	0.32	0	0	0	0	0	0	0	0.531	2.89	0.0154	
11-RN-257	168	171	3.13	0.85	1	1.28	0	0	0	0	0	0	0	0.955	3.13	0.0299	
11-RN-257	171	174	2.93	0.22	0.92	0.51	1.28	0	0	0	0	0	0	2.069	2.93	0.0606	
11-RN-257	174	177	2.85	1.61	0.51	0.17	0.56	0	0	0	0	0	0	0.926	2.85	0.0264	
11-RN-257	177	180	3.04	2.94	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0.197	3.04	0.0060	
11-RN-257	180	183	2.884	0	0.799	0.879	0.835	0	0.371	0	0	0	0	2.140	2.884	0.0617	
11-RN-257	183	186	3.011	0.506	2.001	0.139	0.363	0	0	0	0	0	0.002	1.068	3.011	0.0321	
11-RN-257	186	189	2.703	0	1.671	0.413	0.196	0	0.423	0	0	0	0	1.454	2.703	0.0393	
11-RN-257	189	192	2.964	0.409	1.538	0.511	0	0	0.506	0	0	0	0	1.203	2.964	0.0357	
11-RN-257	192	195	2.932	0	1.556	0	0	0	0.354	1.022	0	0	0	5.989	2.932	0.1756	
11-RN-257	195	198	2.799	0.312	0.817	0.178	0	0	1.492	0	0	0	0	1.929	2.799	0.0540	
11-RN-257	198	201	3.004	0.501	1.843	0.212	0.211	0	0.226	0	0	0	0.011	1.421	3.004	0.0427	
11-RN-257	201	204	3.05	0	1.95	0.6	0.5	0	0	0	0	0	0	1.398	3.05	0.0426	
11-RN-257	204	207	2.95	2.18	0.53	0.09	0.15	0	0	0	0	0	0	0.366	2.95	0.0108	
11-RN-257	207	210	3.05	0.685	0.805	0.88	0	0.49	0.19	0	0	0	0	1.854	3.05	0.0565	
11-RN-257	210	213	2.84	0	2.69	0.15	0	0	0	0	0	0	0	0.803	2.84	0.0228	
11-RN-257	213	216	2.91	0	2.295	0.355	0	0	0.26	0	0	0	0	1.073	2.91	0.0312	
11-RN-257	216	219	2.96	1.42	1.23	0	0	0	0.31	0	0	0	0	0.626	2.96	0.0185	
11-RN-257	219	222	2.98	2.335	0	0	0	0	0.645	0	0	0	0	0.649	2.98	0.0194	
11-RN-257	222	225	3	0.955	0.095	0.14	0	0	1.125	0.685	0	0	0	4.655	3	0.1397	
11-RN-257	225	228	2.935	0	2.525	0.41	0	0	0	0	0	0	0	0.890	2.935	0.0261	
11-RN-257	228	231	3.065	1.65	1.415	0	0	0	0	0	0	0	0	0.346	3.065	0.0106	
11-RN-257	231	234	3.005	2.045	0.96	0	0	0	0	0	0	0	0	0.240	3.005	0.0072	From 234 to 240m: No core recovered
11-RN-257	240	243	2.96	0	1.39	0.17	0.89	0	0.51	0	0	0	0	2.022	2.96	0.0599	
11-RN-257	243	246	2.8	0	1.37	0.89	0	0	0.54	0	0	0	0	1.502	2.8	0.0421	
11-RN-257	246	249	2.885	0	2.885	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	2.885	0.0216	
11-RN-257	249	252	3	0	0.625	2.375	0	0	0	0	0	0	0	1.542	3	0.0463	
11-RN-257	252	255	2.83	0	2.63	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0.944	2.83	0.0267	
11-RN-257	255	258	3.15	0	0.81	0.76	0	0	1.58	0	0	0	0	2.120	3.15	0.0668	
11-RN-257	258	261	2.91	1.47	0.53	0	0	0	0.91	0	0	0	0	1.075	2.91	0.0313	
11-RN-257	261	264	3.05	0.61	1.21	1.05	0	0	0.18	0	0	0	0	1.077	3.05	0.0329	
11-RN-257	264	267	3	0	1.45	0	0	0	1.55	0	0	0	0	1.913	3	0.0574	
11-RN-257	267	270	3	0	2.85	0	0	0	0.15	0	0	0	0	0.863	3	0.0259	
11-RN-257	270	273	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	3	0.0225	
11-RN-257	273	276	2.977	0	2.082	0.687	0.196	0	0	0	0	0	0.012	1.562	2.977	0.0465	
11-RN-257	276	279	3.02	0	2.041	0.531	0	0.052	0.391	0	0	0	0.005	1.472	3.02	0.0445	
11-RN-257	279	282	2.958	0	2.406	0.303	0	0	0.072	0.177	0	0	0	1.760	2.958	0.0521	
11-RN-257	282	285	3.084	0	1.782	0.387	0.843	0	0	0.072	0	0	0	1.960	3.084	0.0604	
11-RN-257	285	288	3.002	0	2.499	0.204	0	0	0.216	0.079	0	0	0.004	1.487	3.002	0.0446	
11-RN-257	288	291	2.97	0.377	2.221	0	0	0	0.372	0	0	0	0	0.937	2.97	0.0278	
11-RN-257	291	294	2.991	1.734	0.475	0	0	0	0.478	0	0.304	0	0	4.156	2.991	0.1243	
11-RN-257	294	297	2.815	2.075	0.74	0	0	0	0	0	0	0	0	0.197	2.815	0.0056	
11-RN-257	297	300	2.735	1.329	0.658	0.373	0.375	0	0	0	0	0	0	0.899	2.735	0.0246	
11-RN-257	300	303	3.165	0.644	1.759	0.762	0	0	0	0	0	0	0	0.838	3.165	0.0265	
11-RN-257	303	306	3.18	0.372	1.063	1.185	0	0	0.56	0	0	0	0	1.431	3.18	0.0455	
11-RN-257	306	309	2.89	0.92	0.941	0.202	0	0	0.827	0	0	0	0	1.225	2.89	0.0354	
11-RN-257	309	312	3.063	2.431	0.632	0	0	0	0	0	0	0	0	0.155	3.063	0.0047	
11-RN-257	312	315	3.016	1.549	0.583	0.15	0	0	0.515	0.219	0	0	0	1.833	3.016	0.0553	
11-RN-257	315	318	2.986	0.173	1.323	0.787	0.591	0	0.112	0	0	0	0	1.599	2.986	0.0477	
11-RN-257	318	321	3.175	1.925	1.055	0.1	0.095	0	0	0	0	0	0	0.409	3.175	0.0130	
11-RN-257	321	324	3.087	2.441	0.613	0.033	0	0	0	0	0	0	0	0.168	3.087	0.0052	
11-RN-257	324	327	2.871	1.954	0.627	0	0	0	0.29	0	0	0	0	0.467	2.871	0.0134	
11-RN-257	327	330	3	1.72	0.52	0	0	0	0.76	0	0	0	0	0.890	3	0.0267	
11-RN-257	330	333	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000	3	0.0000	
11-RN-257	333	336	3	2.25	0.75	0	0	0	0	0	0	0	0	0.188	3	0.0056	
11-RN-257	336	339	3.1	0.7	0.4	0.4	0	0	1.6	0	0	0	0	1.871	3.1	0.0580	
11-RN-257	339	342	3.019	2.757	0.262	0	0	0	0	0	0	0	0	0.065	3.019	0.0020	
11-RN-257	342	345	3.094	1.942	1.152	0	0	0	0	0	0	0	0	0.279	3.094	0.0086	

11-RN-257	345	348	3.103	2.152	0.951	0	0	0	0	0	0	0	0	0.230	3.103	0.0071	
11-RN-257	348	351	3.146	1.198	1.274	0.492	0.182	0	0	0	0	0	0	0.780	3.146	0.0245	
11-RN-257	351	354	3.102	0.681	2.418	0	0	0	0	0	0	0	0.003	0.681	3.102	0.0211	
11-RN-257	354	357	2.99	1.666	0.774	0.222	0	0	0	0.328	0	0	0	1.970	2.99	0.0589	
11-RN-257	357	360	3.067	1.913	1.154	0	0	0	0	0	0	0	0	0.282	3.067	0.0087	
11-RN-257	360	363	3.135	2.148	0.987	0	0	0	0	0	0	0	0	0.236	3.135	0.0074	
11-RN-257	363	366	3.128	0.662	2.466	0	0	0	0	0	0	0	0	0.591	3.128	0.0185	
11-RN-257	366	369	3.035	0.843	2.192	0	0	0	0	0	0	0	0	0.542	3.035	0.0164	
11-RN-257	369	372	3.038	2.671	0.367	0	0	0	0	0	0	0	0	0.091	3.038	0.0028	
11-RN-257	372	375	2.996	2.731	0.265	0	0	0	0	0	0	0	0	0.066	2.996	0.0020	
11-RN-257	375	378	2.879	1.113	1.454	0.312	0	0	0	0	0	0	0	0.568	2.879	0.0164	
11-RN-257	378	381	3.1	2.036	0.617	0	0	0	0.447	0	0	0	0	0.582	3.1	0.0180	
11-RN-257	381	384	3.118	2.116	1.002	0	0	0	0	0	0	0	0	0.241	3.118	0.0075	
11-RN-257	384	387	3.03	2.654	0.376	0	0	0	0	0	0	0	0	0.093	3.03	0.0028	
11-RN-257	387	390	2.98	2.089	0.891	0	0	0	0	0	0	0	0	0.224	2.98	0.0067	
11-RN-257	390	393	3.072	1.533	1.539	0	0	0	0	0	0	0	0	0.376	3.072	0.0115	
11-RN-257	393	396	2.966	2.966	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000	2.966	0.0000	
11-RN-257	396	399	3.149	1.464	1.061	0	0	0	0.624	0	0	0	0	0.847	3.149	0.0267	
11-RN-257	399	402	3.202	0.821	1.496	0.236	0	0	0.649	0	0	0	0	1.087	3.202	0.0348	
11-RN-257	402	405	2.934	1.835	1.099	0	0	0	0	0	0	0	0	0.281	2.934	0.0082	
11-RN-257	405	408	2.977	1.89	1.087	0	0	0	0	0	0	0	0	0.274	2.977	0.0082	
11-RN-257	408	411	2.935	0.751	1.936	0	0.079	0	0.169	0	0	0	0	0.762	2.935	0.0224	
11-RN-257	411	414	3.059	1.207	1.816	0	0	0	0	0.036	0	0	0	0.622	3.059	0.0190	
11-RN-257	414	417	2.939	2.161	0.778	0	0	0	0	0	0	0	0	0.199	2.939	0.0058	
11-RN-257	417	420	2.965	2.36	0.605	0	0	0	0	0	0	0	0	0.153	2.965	0.0045	
11-RN-257	420	423	3.08	2.67	0.41	0	0	0	0	0	0	0	0	0.100	3.08	0.0031	
11-RN-257	423	426	2.9	1.68	0.81	0	0	0	0.41	0	0	0	0	0.634	2.9	0.0184	
11-RN-257	426	429	2.98	1.36	0.99	0	0	0	0.63	0	0	0	0	0.883	2.98	0.0263	
11-RN-257	429	432	3.035	2.89	0.145	0	0	0	0	0	0	0	0	0.036	3.035	0.0011	
11-RN-257	432	435	3.105	2.59	0.32	0	0	0	0.195	0	0	0	0	0.266	3.105	0.0083	
11-RN-257	435	438	3.09	2.125	0.195	0.22	0.33	0	0	0.19	0.03	0	0	1.808	3.09	0.0559	
11-RN-257	438	441	2.95	2.425	0.415	0.11	0	0	0	0	0	0	0	0.171	2.95	0.0050	
11-RN-257	441	444	3.045	2.045	0.55	0.31	0	0	0.14	0	0	0	0	0.452	3.045	0.0138	
11-RN-257	444	447	2.99	2.595	0.315	0.08	0	0	0	0	0	0	0	0.126	2.99	0.0038	
11-RN-257	447	450	2.985	2.515	0.13	0.07	0.27	0	0	0	0	0	0	0.390	2.985	0.0117	
11-RN-257	450	453	3.045	0.6	1.465	0.85	0	0	0.13	0	0	0	0	0.977	3.045	0.0298	
11-RN-257	453	456	3.055	1.305	1.54	0	0	0	0.21	0	0	0	0	0.584	3.055	0.0179	
11-RN-257	456	459	3.055	3.055	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000	3.055	0.0000	
11-RN-257	459	462	3.055	2.84	0.215	0	0	0	0	0	0	0	0	0.053	3.055	0.0016	
11-RN-257	462	465	2.95	2.55	0.125	0.275	0	0	0	0	0	0	0	0.195	2.95	0.0058	
11-RN-257	465	468	3.055	1.519	1.056	0	0	0	0.48	0	0	0	0	0.731	3.055	0.0223	
11-RN-257	468	471	2.93	2.053	0.272	0.161	0.244	0	0.2	0	0	0	0	0.662	2.93	0.0194	
11-RN-257	471	474	3	1.49	0.504	0.228	0.506	0	0	0.272	0	0	0	2.209	3	0.0663	
11-RN-257	474	477	2.95	2.322	0.46	0.168	0	0	0	0	0	0	0	0.217	2.95	0.0064	
11-RN-257	477	480	3.051	2.467	0.483	0.1	0	0	0	0	0	0	0.001	0.209	3.051	0.0064	
11-RN-257	480	483	3.1	1.411	0.231	0.582	0.333	0.285	0.258	0	0	0	0	1.562	3.1	0.0484	
11-RN-257	483	486	2.983	0.416	0.73	0.824	0.77	0	0.243	0	0	0	0	1.815	2.983	0.0541	
11-RN-257	486	489	3.057	0.636	1.844	0.457	0.12	0	0	0	0	0	0	0.851	3.057	0.0260	
11-RN-257	489	492	3.07	1.325	0.978	0.757	0	0	0	0	0	0	0.01	0.996	3.07	0.0306	
11-RN-257	492	495	2.932	0.3	1.313	0.505	0.593	0.157	0	0.06	0	0	0.004	2.110	2.932	0.0619	
11-RN-257	495	498	3.036	0.761	1.608	0.028	0.589	0	0.05	0	0	0	0	1.142	3.036	0.0347	
11-RN-257	498	500	1.989	1.075	0.621	0.293	0	0	0	0	0	0	0	0.492	1.989	0.0098	
11-RN-268	234	237	2.89	1.96	0.93	0	0	0	0	0	0	0	0	0.241	2.89	0.0070	
11-RN-268	237	240	2.96	1.41	1.55	0	0	0	0	0	0	0	0	0.393	2.96	0.0116	
11-RN-268	240	243	2.935	0.52	2.415	0	0	0	0	0	0	0	0	0.617	2.935	0.0181	
11-RN-268	243	246	2.806	0.923	1.883	0	0	0	0	0	0	0	0	0.503	2.806	0.0141	
11-RN-268	246	249	3.03	1.48	1.55	0	0	0	0	0	0	0	0	0.384	3.03	0.0116	
11-RN-268	249	252	2.76	0	2.76	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	2.76	0.0207	
11-RN-268	252	255	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	3	0.0225	
11-RN-268	255	258	2.94	0	2.94	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	2.94	0.0221	
11-RN-268	258	261	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	3	0.0225	
11-RN-268	261	264	2.85	0	2.85	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	2.85	0.0214	
11-RN-268	264	267	2.81	0	2.81	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	2.81	0.0211	
11-RN-268	267	270	2.878	0.499	2.17	0.045	0.145	0.019	0	0	0	0	0	0.809	2.878	0.0233	
11-RN-268	270	273	2.745	1.5	1.19	0.055	0	0	0	0	0	0	0	0.360	2.745	0.0099	

11-RN-268	273	276	2.72	0	2.45	0.225	0.045	0	0	0	0	0	0	0.878	2.72	0.0239	
11-RN-268	276	279	3.03	0	2.435	0.595	0	0	0	0	0	0	0	0.946	3.03	0.0287	
11-RN-268	279	282	3.09	0	1.185	1.675	0	0.053	0.135	0.042	0	0	0	1.674	3.09	0.0517	
11-RN-268	282	285	2.935	0	1.265	1.515	0.125	0	0	0.03	0	0	0	1.529	2.935	0.0449	
11-RN-268	285	288	2.835	0.761	1.136	0.772	0.061	0.031	0.074	0	0	0	0	0.996	2.835	0.0282	
11-RN-268	288	291	3.035	0	1.347	0.753	0	0	0.935	0	0	0	0	1.691	3.035	0.0513	
11-RN-268	291	294	2.704	0	0.919	0.516	0.092	0	1.177	0	0	0	0	2.014	2.704	0.0545	
11-RN-268	294	297	3.157	0	1.748	0.947	0.181	0	0.281	0	0	0	0	1.408	3.157	0.0444	
11-RN-268	297	300	2.869	1.344	1.213	0.074	0.113	0	0.125	0	0	0	0	0.631	2.869	0.0181	
11-RN-268	300	303	2.824	0	1.778	0.173	0	0	0.805	0	0.061	0	0.007	2.438	2.824	0.0689	
11-RN-268	303	306	2.976	1.071	1.511	0.186	0	0	0.208	0	0	0	0	0.700	2.976	0.0208	
11-RN-268	306	309	3.273	1.616	1.431	0.063	0	0	0.161	0	0	0	0.002	0.570	3.273	0.0187	
11-RN-268	309	312	3.074	0.319	0.918	0.961	0.222	0	0.592	0.062	0	0	0	1.904	3.074	0.0585	
11-RN-268	312	315	3.067	0	1.686	0.878	0.031	0	0.265	0.161	0.038	0	0.008	2.690	3.067	0.0825	
11-RN-268	315	318	3.284	0	0.888	1.398	0.271	0	0.546	0.176	0	0	0.005	2.692	3.284	0.0884	
11-RN-268	318	321	3.037	0	2.138	0.489	0	0	0.353	0	0.041	0	0.016	2.158	3.037	0.0655	
11-RN-268	321	324	3.005	0	0.717	1.401	0	0	0.692	0.19	0	0	0.005	2.800	3.005	0.0842	
11-RN-268	324	327	3.074	0	1.038	0.831	0.052	0	0.842	0.311	0	0	0	3.125	3.074	0.0961	
11-RN-268	327	330	3.31	0	0.481	1.293	0.179	0.029	0.837	0.383	0.108	0	0	4.671	3.31	0.1546	
11-RN-268	330	333	3.016	0	1.053	0.949	0	0	0.825	0.189	0	0	0	2.573	3.016	0.0776	
11-RN-268	333	336	2.901	0	1.673	0.173	0.312	0	0.547	0.192	0	0	0.004	2.610	2.901	0.0757	
11-RN-268	336	339	3.094	0	1.751	0.526	0.255	0	0.479	0.072	0	0	0.011	2.179	3.094	0.0674	
11-RN-268	339	342	3.021	0	1.251	0.815	0.391	0	0.171	0.275	0.118	0	0	4.138	3.021	0.1250	
11-RN-268	342	345	3.283	0	1.478	0.171	0.156	0.138	1.122	0.179	0.013	0	0.026	3.621	3.283	0.1189	
11-RN-268	345	348	3.14	0	0.94	0.453	1.634	0.11	0	0	0	0	0.003	2.604	3.14	0.0818	
11-RN-268	348	351	3.12	0	0	0.19	2.93	0	0	0	0	0	0	3.393	3.12	0.1059	
11-RN-268	351	354	3.03	0	0.485	1.41	0.775	0	0.36	0	0	0	0	2.186	3.03	0.0662	
11-RN-268	354	357	3.105	0	1.846	0.197	1.062	0	0	0	0	0	0	1.754	3.105	0.0545	
11-RN-268	357	360	3.03	0.219	2.496	0.235	0	0	0.08	0	0	0	0	0.833	3.03	0.0252	
11-RN-268	360	363	3.04	0.419	1.428	0.314	0.879	0	0	0	0	0	0	1.545	3.04	0.0470	
11-RN-268	363	366	3.13	0	1.629	0.72	0.379	0	0.282	0.12	0	0	0	2.062	3.13	0.0645	
11-RN-268	366	369	3.058	0.6	0.434	0.684	0.895	0	0.437	0	0	0	0.008	2.213	3.058	0.0677	
11-RN-268	369	372	3.021	1.207	1.579	0.19	0	0.04	0	0	0	0	0.005	0.747	3.021	0.0226	
11-RN-268	372	375	3.07	0.187	2	0.592	0.288	0	0	0	0	0	0.003	1.252	3.07	0.0384	
11-RN-268	375	378	2.985	0	1.39	0.806	0.644	0	0	0	0	0.145	0	4.249	2.985	0.1268	
11-RN-268	378	381	2.97	0	1.3	0.98	0.13	0	0.23	0	0.32	0	0.01	5.399	2.97	0.1604	
11-RN-268	381	384	2.92	0	2.517	0.295	0.105	0	0	0	0	0	0.003	1.052	2.92	0.0307	
11-RN-268	384	387	2.835	0.8	1.475	0.22	0.215	0.11	0	0	0	0	0.015	1.553	2.835	0.0440	
11-RN-268	387	390	2.82	0	1.666	0.71	0	0	0.37	0.06	0	0	0.014	2.093	2.82	0.0590	
11-RN-268	390	393	2.94	0	2.696	0.08	0	0	0	0	0.055	0.09	0.019	3.720	2.94	0.1094	
11-RN-268	393	396	2.92	0	1.133	1.62	0	0	0	0.13	0.03	0	0.007	2.529	2.92	0.0738	
11-RN-268	396	399	3.045	0	1	1.853	0.1	0.06	0.03	0	0	0	0.002	1.640	3.045	0.0499	
11-RN-268	399	402	2.985	0	1.77	1.075	0.14	0	0	0	0	0	0	1.239	2.985	0.0370	
11-RN-268	402	405	2.81	0	1.85	0.48	0.24	0.12	0	0.05	0.07	0	0	2.487	2.81	0.0699	
11-RN-268	405	408	3.08	0	1.74	0.59	0	0	0.29	0.46	0	0	0	3.282	3.08	0.1011	
11-RN-268	408	411	3.085	0	2.905	0.14	0	0	0	0	0.04	0	0	1.239	3.085	0.0382	
11-RN-268	411	414	2.96	0	2.08	0.29	0	0	0.59	0	0	0	0	1.296	2.96	0.0384	
11-RN-268	414	417	2.975	0	0	0.425	1.36	0	1.14	0.05	0	0	0	3.252	2.975	0.0967	
11-RN-268	417	420	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	3.000	3	0.0900	
11-RN-268	420	423	2.92	0	0	1.67	0	0	1.25	0	0	0	0	2.285	2.92	0.0667	
11-RN-268	423	426	2.945	0	0	2.795	0.15	0	0	0	0	0	0	1.839	2.945	0.0542	
11-RN-268	426	429	2.885	0.687	1.258	0.89	0	0	0.05	0	0	0	0	0.919	2.885	0.0265	
11-RN-268	429	432	2.908	0.522	2.069	0.125	0.192	0	0	0	0	0	0	0.840	2.908	0.0244	
11-RN-268	432	435	3	0	1.261	0.95	0.789	0	0	0	0	0	0	1.790	3	0.0537	
11-RN-268	435	438	2.994	0	2.444	0.195	0.355	0	0	0	0	0	0	1.141	2.994	0.0342	
11-RN-268	438	441	3	0.57	2.43	0	0	0	0	0	0	0	0	0.608	3	0.0182	
11-RN-268	441	444	2.97	1.142	1.404	0.294	0	0	0.13	0	0	0	0	0.659	2.97	0.0196	
11-RN-268	444	447	2.92	0.515	1.543	0.784	0.078	0	0	0	0	0	0	0.960	2.92	0.0280	
11-RN-268	447	450	2.805	0.584	1.266	0.195	0.534	0	0	0.226	0	0	0	2.335	2.805	0.0655	
11-RN-268	450	453	2.865	0	0	2.865	0	0	0	0	0	0	0	1.750	2.865	0.0501	
11-RN-268	453	456	2.735	0	2.42	0.315	0	0	0	0	0	0	0	0.865	2.735	0.0237	
11-RN-268	456	459	2.817	0	2.817	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	2.817	0.0211	
11-RN-268	459	462	2.88	0.773	2.107	0	0	0	0	0	0	0	0	0.549	2.88	0.0158	
11-RN-268	462	465	2.99	0	2.99	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	2.99	0.0224	
11-RN-268	465	468	2.9	0.139	2.566	0	0	0	0.195	0	0	0	0	0.865	2.9	0.0251	

11-RN-268	468	471	3	0	2.961	0	0	0	0	0.039	0	0	0	0.935	3	0.0281	
11-RN-268	471	474	2.85	0	2.825	0	0	0	0	0.025	0	0	0	0.875	2.85	0.0249	
11-RN-268	474	477	2.95	0	2.657	0	0	0	0.293	0	0	0	0	0.973	2.95	0.0287	
11-RN-268	477	480	2.924	0	2.924	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	2.924	0.0219	
11-RN-268	480	483	2.926	0	2.926	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	2.926	0.0219	
11-RN-268	483	486	2.914	0	2.62	0	0	0	0.294	0	0	0	0	0.977	2.914	0.0285	
11-RN-268	486	489	2.9	0	1.795	0.215	0	0	0.89	0	0	0	0	1.515	2.9	0.0439	
11-RN-268	489	492	3	0	1.04	0.96	0	0	0.955	0.045	0	0	0	2.000	3	0.0600	
11-RN-268	492	495	2.816	0	0.14	2.5	0	0	0.101	0.075	0	0	0	2.098	2.816	0.0591	
11-RN-268	495	498	2.782	0	0.159	2.623	0	0	0	0	0	0	0	1.693	2.782	0.0471	
11-RN-268	498	501	3	0.713	2.287	0	0	0	0	0	0	0	0	0.572	3	0.0172	
11-RN-268	501	504	2.9	0	2.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	2.9	0.0218	
11-RN-268	504	507	2.825	1.582	0.87	0.102	0	0	0.271	0	0	0	0	0.582	2.825	0.0164	
11-RN-268	507	510	2.954	0	2.422	0.163	0.087	0	0.261	0	0.021	0	0	1.328	2.954	0.0392	
11-RN-268	510	513	2.76	0	1.291	0.598	0	0	0.236	0.635	0	0	0	4.438	2.76	0.1225	
11-RN-268	513	516	3	0	1.376	0.515	0	0.047	1.062	0	0	0	0	1.800	3	0.0540	
11-RN-268	516	519	3.174	0.102	2.795	0.056	0	0	0.195	0.026	0	0	0	0.999	3.174	0.0317	
11-RN-268	519	522	2.967	0	1.169	0.587	0.594	0.365	0.252	0	0	0	0	2.335	2.967	0.0693	
11-RN-268	522	525	3.024	0	1.991	0.429	0.092	0	0.091	0.421	0	0	0	3.027	3.024	0.0915	
11-RN-268	525	528	3.01	0	2.473	0.082	0.286	0.15	0	0.019	0	0	0	1.390	3.01	0.0418	
11-RN-268	528	531	2.875	0	1.914	0.961	0	0	0	0	0	0	0	1.084	2.875	0.0312	
11-RN-268	531	534	3.042	0	2.362	0.254	0.309	0	0.117	0	0	0	0	1.199	3.042	0.0365	
11-RN-268	534	537	2.953	0	2.851	0	0.102	0	0	0	0	0	0	0.845	2.953	0.0250	
11-RN-268	537	540	2.985	0	2.091	0.445	0.039	0.109	0.301	0	0	0	0	1.354	2.985	0.0404	
11-RN-268	540	543	3.094	1.439	1.522	0	0.112	0	0	0.021	0	0	0	0.597	3.094	0.0185	
11-RN-268	543	546	2.92	0.474	2.156	0.177	0.113	0	0	0	0	0	0	0.795	2.92	0.0232	
11-RN-268	546	549	2.679	0	0.812	0.882	0	0	0.93	0.055	0	0	0	2.153	2.679	0.0577	
11-RN-268	549	552	2.5	0	0	0	0	0	0	2.5	0	0	0	15.000	2.5	0.3750	
11-RN-268	552	555	2.82	0	2.41	0.11	0	0	0.05	0.25	0	0	0	2.092	2.82	0.0590	
11-RN-268	555	558	3.19	0	2.62	0.57	0	0	0	0	0	0	0	0.929	3.19	0.0296	
11-RN-268	558	561	3.02	0	2.82	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0.816	3.02	0.0247	
11-RN-268	561	564	2.96	0	1.245	1.06	0.63	0	0	0	0	0	0.025	2.532	2.96	0.0749	
11-RN-268	567	570	2.95	0	0.451	0.585	1.243	0.403	0.268	0	0	0	0	3.029	2.95	0.0893	
11-RN-268	570	573	2.861	0	1.854	0.374	0.382	0.121	0.068	0.058	0	0	0.004	1.951	2.861	0.0558	
11-RN-268	573	576	3.038	0	1.339	0.812	0.703	0.108	0.074	0	0	0	0.002	1.960	3.038	0.0596	
11-RN-268	576	579	2.93	0	2.291	0.264	0.113	0.169	0.089	0	0	0	0.004	1.453	2.93	0.0426	
11-RN-268	579	582	2.99	0	1.552	0.507	0.499	0.064	0.284	0.084	0	0	0	2.105	2.99	0.0629	
11-RN-268	582	585	2.996	0	1.95	0.538	0.428	0	0.08	0	0	0	0	1.383	2.996	0.0414	
11-RN-268	585	588	2.957	0	2.438	0.324	0.195	0	0	0	0	0	0	1.041	2.957	0.0308	
11-RN-268	588	591	3.041	0	0.263	2.329	0.269	0.098	0.063	0.019	0	0	0	2.064	3.041	0.0628	
11-RN-268	591	594	3.128	1.567	1.068	0.493	0	0	0	0	0	0	0	0.532	3.128	0.0166	
11-RN-268	594	597	2.833	0	0	1.412	0.238	0	1.017	0.054	0.112	0	0	3.913	2.833	0.1109	
11-RN-268	597	600	2.967	0	1.962	0.802	0.073	0	0.081	0.044	0	0	0.005	1.528	2.967	0.0453	
11-RN-268	600	603	3.011	0	1.517	1.044	0.219	0	0.104	0.127	0	0	0	1.976	3.011	0.0595	
11-RN-268	603	606	3.01	0	2.123	0.398	0.039	0.141	0.266	0.041	0	0	0.002	1.623	3.01	0.0488	
11-RN-268	606	609	2.946	0	1.681	0.292	0.301	0.234	0.272	0.122	0.044	0	0	2.857	2.946	0.0842	
11-RN-268	609	612	2.981	0	2.258	0.412	0.139	0	0.172	0	0	0	0	1.146	2.981	0.0342	
11-RN-268	612	615	2.971	0	2.442	0.159	0	0	0.321	0.049	0	0	0	1.282	2.971	0.0381	
11-RN-268	615	618	2.94	0	2	0.714	0	0	0.134	0.092	0	0	0	1.541	2.94	0.0453	
11-RN-268	618	621	3.032	0	1.333	1.106	0.086	0.033	0.259	0.109	0.106	0	0	3.152	3.032	0.0956	
11-RN-268	621	624	3.018	0	2.348	0.294	0.092	0	0.111	0.173	0	0	0	1.831	3.018	0.0553	
11-RN-268	624	627	3.073	0	2.764	0.244	0	0.046	0	0.019	0	0	0	0.996	3.073	0.0306	
11-RN-268	627	630	2.866	0	2.397	0.22	0.018	0	0.183	0.048	0	0	0	1.226	2.866	0.0351	
11-RN-268	630	633	3.122	0	2.548	0.252	0.062	0	0.189	0.071	0	0	0	1.346	3.122	0.0420	
11-RN-268	633	636	2.862	0	2.573	0.178	0.074	0	0.019	0.018	0	0	0	0.988	2.862	0.0283	
11-RN-268	636	639	2.937	0	2.198	0.442	0.118	0	0	0.179	0	0	0	1.879	2.937	0.0552	
11-RN-268	639	642	3.023	0	2.374	0.358	0.146	0	0.086	0.059	0	0	0	1.343	3.023	0.0406	
11-RN-268	642	645	2.957	0	2.637	0.118	0	0	0.202	0	0	0	0	0.944	2.957	0.0279	
11-RN-268	645	648	2.995	0	2.719	0.014	0	0	0.262	0	0	0	0	0.952	2.995	0.0285	
11-RN-268	648	651	3.006	0	2.523	0.265	0.041	0	0.171	0	0	0	0.006	1.202	3.006	0.0361	
11-RN-268	651	654	3.14	0	1.893	0.576	0.024	0.159	0.439	0.026	0.023	0	0	1.904	3.14	0.0598	
11-RN-268	654	657	2.941	0	2.656	0	0	0	0.127	0.139	0.019	0	0	1.742	2.941	0.0512	
11-RN-268	657	660	2.978	0	2.012	0.478	0	0	0.288	0.198	0	0	0.002	2.142	2.978	0.0638	
11-RN-268	660	663	2.89	0	1.76	0.662	0	0	0.328	0.091	0	0.049	0	2.603	2.89	0.0752	
11-RN-268	663	666	2.945	0	2.208	0.655	0	0	0.082	0	0	0	0	1.035	2.945	0.0305	

11-RN-268	666	668.6	2.507	0.183	1.83	0.239	0.061	0	0.018	0.176	0	0	0	1.874	2.507	0.0470	
11-RN-286	51	54	2.565	0	2.07	0.495	0	0	0	0	0	0	0	0.943	2.565	0.0242	
11-RN-286	54	57	3.025	0.77	2.255	0	0	0	0	0	0	0	0	0.559	3.025	0.0169	
11-RN-286	57	60	3.645	0	3.385	0.26	0	0	0	0	0	0	0	0.821	3.645	0.0299	
11-RN-286	60	63	2.645	0	2.645	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	2.645	0.0198	
11-RN-286	63	66	2.735	0	2.735	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	2.735	0.0205	
11-RN-286	66	69	2.74	0	2.74	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	2.74	0.0206	
11-RN-286	69	72	2.515	0	2.09	0.05	0.04	0	0.29	0.045	0	0	0	1.328	2.515	0.0334	
11-RN-286	72	75	2.86	0	2.22	0	0	0	0.64	0	0	0	0	1.253	2.86	0.0359	
11-RN-286	75	78	3	0	2.81	0	0	0	0	0.19	0	0	0	1.653	3	0.0496	
11-RN-286	78	81	2.855	0	2.165	0.69	0	0	0	0	0	0	0	0.992	2.855	0.0283	
11-RN-286	81	84	2.805	0	1.71	0.83	0.195	0	0	0.07	0	0	0	1.593	2.805	0.0447	
11-RN-286	84	87	2.75	0	2.54	0	0	0	0.12	0.09	0	0	0	1.315	2.75	0.0362	
11-RN-286	87	90	2.64	0	2.64	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	2.64	0.0198	
11-RN-286	90	93	3.06	0	2.905	0	0	0	0.155	0	0	0	0	0.864	3.06	0.0264	
11-RN-286	93	96	2.92	0.737	1.371	0.812	0	0	0	0	0	0	0	0.839	2.92	0.0245	
11-RN-286	96	99	3.013	1.492	1.521	0	0	0	0	0	0	0	0	0.379	3.013	0.0114	
11-RN-286	99	102	2.955	0.898	1.71	0.347	0	0	0	0	0	0	0	0.640	2.955	0.0189	
11-RN-286	102	105	3.13	0.575	1.245	1.16	0	0	0.15	0	0	0	0	1.091	3.13	0.0341	
11-RN-286	105	108	3	0	1.075	1.75	0	0	0.175	0	0	0	0	1.465	3	0.0439	
11-RN-286	108	111	3.165	1.573	1.592	0	0	0	0	0	0	0	0	0.377	3.165	0.0119	
11-RN-286	111	114	3.105	0.723	2.162	0.22	0	0	0	0	0	0	0	0.646	3.105	0.0201	
11-RN-286	114	117	2.864	0.559	1.88	0.425	0	0	0	0	0	0	0	0.752	2.864	0.0215	
11-RN-286	117	120	3.06	0.16	2.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0.711	3.06	0.0218	
11-RN-286	120	123	3.014	0.724	1.342	0.823	0	0	0.125	0	0	0	0	0.936	3.014	0.0282	
11-RN-286	123	126	2.97	0.127	2.128	0.315	0.295	0	0.105	0	0	0	0	1.177	2.97	0.0349	
11-RN-286	126	129	2.93	0.202	2.343	0	0.195	0	0.19	0	0	0	0	1.027	2.93	0.0301	
11-RN-286	129	132	3.09	1.173	1.917	0	0	0	0	0	0	0	0	0.465	3.09	0.0144	
11-RN-286	132	135	3.06	0.142	2.262	0.656	0	0	0	0	0	0	0	0.930	3.06	0.0284	
11-RN-286	135	138	2.893	0.249	1.671	0.973	0	0	0	0	0	0	0	1.022	2.893	0.0296	
11-RN-286	138	141	3.18	0	1.355	0.135	0	0	1.69	0	0	0	0	1.988	3.18	0.0632	
11-RN-286	141	144	3.175	0	0.35	2.825	0	0	0	0	0	0	0	1.640	3.175	0.0521	
11-RN-286	144	147	3.01	0	1.81	0	0	0	0.8	0.4	0	0	0	3.242	3.01	0.0976	
11-RN-286	147	150	3.11	0	1.26	0	0	0	1.85	0	0	0	0	2.088	3.11	0.0650	
11-RN-286	150	153	3	0	1.37	0.2	0	0	1.43	0	0	0	0	1.889	3	0.0567	
11-RN-286	153	156	3.1	1.7	1.24	0	0	0	0.16	0	0	0	0	0.455	3.1	0.0141	
11-RN-286	156	159	3.02	0	1.44	0	0	0	1.58	0	0	0	0	1.927	3.02	0.0582	
11-RN-286	159	162	2.94	0	1.45	0	0	0	1.49	0	0	0	0	1.890	2.94	0.0556	
11-RN-286	162	165	3.01	2.11	0.5	0	0	0	0.4	0	0	0	0	0.523	3.01	0.0158	
11-RN-286	165	168	2.91	0	2.2	0	0	0	0.71	0	0	0	0	1.299	2.91	0.0378	
11-RN-286	168	171	3.15	0	3.05	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0.821	3.15	0.0259	
11-RN-286	171	174	3.02	0	2.96	0	0	0	0.06	0	0	0	0	0.795	3.02	0.0240	
11-RN-286	174	177	3.01	0	3.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	3.01	0.0226	
11-RN-286	177	180	3	0	0.61	0	0	0	2.26	0.13	0	0	0	3.063	3	0.0919	
11-RN-286	180	183	3.02	0	2.78	0	0	0	0.24	0	0	0	0	0.929	3.02	0.0281	
11-RN-286	183	186	2.93	0	2.93	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	2.93	0.0220	
11-RN-286	186	189	3.05	0	2.81	0	0	0	0	0.24	0	0	0	1.871	3.05	0.0571	
11-RN-286	189	192	3	0	1.66	0	0.15	0	0.79	0.26	0.14	0	0	4.313	3	0.1294	
11-RN-286	192	195	3.02	0	2.69	0.27	0	0	0	0.06	0	0	0	1.123	3.02	0.0339	
11-RN-286	195	198	3	0	0.87	0.5	0.26	0	1.37	0	0	0	0	2.183	3	0.0655	
11-RN-286	198	201	3	0	1.16	0	0	0	1.84	0	0	0	0	2.130	3	0.0639	
11-RN-286	201	204	3	0	2.696	0	0	0	0	0.21	0.09	0	0.004	2.907	3	0.0872	
11-RN-286	204	207	3	0	2.88	0	0	0	0	0.12	0	0	0	1.320	3	0.0396	
11-RN-286	207	210	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	3	0.0225	
11-RN-286	210	213	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	3	0.0225	
11-RN-286	213	216	3.08	0	3.077	0	0	0	0	0	0	0	0.003	0.847	3.08	0.0261	
11-RN-286	216	219	3	0	2.95	0	0	0	0	0	0.05	0	0	1.321	3	0.0396	
11-RN-286	219	222	3	0	2.79	0	0	0	0	0.21	0	0	0	1.748	3	0.0524	
11-RN-286	222	225	3	0	2.85	0	0	0	0	0.15	0	0	0	1.463	3	0.0439	
11-RN-286	225	228	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	3	0.0225	
11-RN-286	228	231	3	0	2.85	0	0	0	0	0.146	0	0	0.004	1.576	3	0.0473	
11-RN-286	231	234	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	3	0.0225	
11-RN-286	234	237	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	3	0.0225	
11-RN-286	237	240	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	3	0.0225	
11-RN-286	240	243	3	0	1.9	0.4	0.696	0	0	0	0	0	0.004	1.654	3	0.0496	

11-RN-286	243	246	3	0	2.57	0	0	0	0.43	0	0	0	0	1.073	3	0.0322	
11-RN-286	246	249	2.975	0	2.043	0	0	0	0.932	0	0	0	0	1.455	2.975	0.0433	
11-RN-286	249	252	2.927	0	2	0.927	0	0	0	0	0	0	0	1.067	2.927	0.0312	
11-RN-286	252	255	3	0	2.61	0.39	0	0	0	0	0	0	0	0.880	3	0.0264	
11-RN-286	255	258	2.925	0	1.66	1.265	0	0	0	0	0	0	0	1.182	2.925	0.0346	
11-RN-286	258	261	2.935	0	2.579	0.356	0	0	0	0	0	0	0	0.871	2.935	0.0256	
11-RN-286	261	264	2.902	0	2.159	0.422	0	0	0.321	0	0	0	0	1.144	2.902	0.0332	
11-RN-286	264	267	2.96	0	2.69	0.27	0	0	0	0	0	0	0	0.841	2.96	0.0249	
11-RN-286	267	270	2.96	0	2.958	0	0	0	0	0	0	0	0.002	0.817	2.96	0.0242	
11-RN-286	270	273	2.94	0	2.94	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	2.94	0.0221	
11-RN-286	273	274.35	1.35	0	0.69	0	0	0	0.66	0	0	0	0	1.850	1.35	0.0250	
11-RN-296	49	51	1.89	0.223	0.353	0.36	0	0	0.564	0.205	0.185	0	0	6.422	1.89	0.1214	
11-RN-296	51	54	3.095	0.354	2.739	0	0	0	0	0	0	0	0.002	0.728	3.095	0.0225	
11-RN-296	54	57	3.117	0.942	0.884	0.931	0.245	0	0	0	0.112	0	0.003	2.364	3.117	0.0737	
11-RN-296	57	60	3.015	2.154	0.72	0	0	0	0.14	0	0	0	0.001	0.352	3.015	0.0106	
11-RN-296	60	63	3.17	1.3	0.612	0.563	0.375	0	0	0.32	0	0	0	2.384	3.17	0.0756	
11-RN-296	63	66	3.2	0	0	0	0.41	0	2.225	0.565	0	0	0	5.183	3.2	0.1659	
11-RN-296	66	69	3.2	0	1.782	0	0	0	1.418	0	0	0	0	1.747	3.2	0.0559	
11-RN-296	69	72	2.87	1.473	1.397	0	0	0	0	0	0	0	0	0.365	2.87	0.0105	
11-RN-296	72	75	3.262	0.625	1.837	0.185	0	0	0.415	0.2	0	0	0	1.823	3.262	0.0595	
11-RN-296	75	78	3.205	0.8	1.366	0.518	0	0	0.521	0	0	0	0	1.090	3.205	0.0349	
11-RN-296	78	81	3.125	1.31	0.868	0.947	0	0	0	0	0	0	0	0.739	3.125	0.0231	
11-RN-296	81	84	3.08	2.81	0.27	0	0	0	0	0	0	0	0	0.066	3.08	0.0020	
11-RN-296	84	87	2.956	2.956	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000	2.956	0.0000	
11-RN-296	87	90	2.98	2.708	0.272	0	0	0	0	0	0	0	0	0.068	2.98	0.0020	
11-RN-296	90	93	3.078	2.803	0.275	0	0	0	0	0	0	0	0	0.067	3.078	0.0021	
11-RN-296	93	96	3.104	0.689	2.182	0	0	0	0.154	0.079	0	0	0	1.058	3.104	0.0328	
11-RN-296	96	99	2.929	1.713	0.903	0.181	0	0	0.132	0	0	0	0	0.475	2.929	0.0139	
11-RN-296	99	102	3.133	2.632	0.389	0	0	0	0.112	0	0	0	0	0.200	3.133	0.0063	
11-RN-296	102	105	3.601	2.998	0.603	0	0	0	0	0	0	0	0	0.126	3.601	0.0045	
11-RN-296	105	108	3.066	0	1.632	0.568	0	0	0.866	0	0	0	0	1.571	3.066	0.0482	
11-RN-296	108	111	3.116	0	2.258	0	0	0	0.858	0	0	0	0	1.370	3.116	0.0427	
11-RN-296	111	114	3.03	1.422	1.608	0	0	0	0	0	0	0	0	0.398	3.03	0.0121	
11-RN-296	114	117	2.931	1.983	0.398	0.528	0.022	0	0	0	0	0	0	0.443	2.931	0.0130	
11-RN-296	117	120	3.131	0.944	1.272	0.416	0	0	0.499	0	0	0	0	1.015	3.131	0.0318	
11-RN-296	120	123	3.191	0.178	2.902	0	0	0	0.111	0	0	0	0	0.786	3.191	0.0251	
11-RN-296	123	126	3.036	1.261	1.419	0.356	0	0	0	0	0	0	0	0.556	3.036	0.0169	
11-RN-296	126	129	2.707	0	1.241	0	0.036	0	1.143	0	0.226	0.061	0	5.819	2.707	0.1575	
11-RN-296	129	132	2.917	0	1.461	0	0	0	1.302	0.092	0	0.062	0	3.357	2.917	0.0979	
11-RN-296	132	135	2.788	0.227	1.988	0	0	0	0.181	0	0.376	0	0.016	6.024	2.788	0.1679	
11-RN-296	135	138	2.848	0	2.129	0.492	0.059	0	0.161	0	0	0	0.007	1.351	2.848	0.0385	
11-RN-296	138	141	3.038	1.371	1.311	0.356	0	0	0	0	0	0	0	0.529	3.038	0.0161	
11-RN-296	141	144	2.956	0	2.388	0.252	0.063	0	0.249	0	0	0	0.004	1.218	2.956	0.0360	
11-RN-296	144	147	3.033	2.843	0.188	0	0	0	0	0	0	0	0.002	0.112	3.033	0.0034	
11-RN-296	147	150	2.896	2.341	0.354	0	0	0	0.198	0	0	0	0.003	0.400	2.896	0.0116	
11-RN-296	150	153	2.91	2.15	0.76	0	0	0	0	0	0	0	0	0.196	2.91	0.0057	
11-RN-296	153	156	2.94	2.59	0.35	0	0	0	0	0	0	0	0	0.089	2.94	0.0026	
11-RN-296	156	159	2.2	0.53	1.12	0	0	0	0.55	0	0	0	0	1.132	2.2	0.0249	
11-RN-296	159	162	2.9	2.09	0.63	0.18	0	0	0	0	0	0	0	0.272	2.9	0.0079	
11-RN-296	162	165	2.95	2.45	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0.127	2.95	0.0038	
11-RN-296	165	168	2.97	2.76	0.21	0	0	0	0	0	0	0	0	0.053	2.97	0.0016	
11-RN-296	168	171	2.849	2.744	0.095	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.376	2.849	0.0107	
11-RN-296	171	174	2.999	2.112	0.287	0.233	0	0	0	0.364	0	0	0.003	2.128	2.999	0.0638	
11-RN-296	174	177	2.956	2.458	0.491	0	0	0	0	0	0	0	0.007	0.361	2.956	0.0107	
11-RN-296	177	180	2.981	2.732	0.126	0	0	0	0	0.123	0	0	0	0.651	2.981	0.0194	
11-RN-296	180	183	3.048	1.988	0.284	0	0	0	0.433	0	0.336	0	0.007	4.584	3.048	0.1397	
11-RN-296	183	186	3.066	2.914	0.152	0	0	0	0	0	0	0	0	0.037	3.066	0.0011	
11-RN-296	186	189	2.95	1.678	1.062	0.21	0	0	0	0	0	0	0	0.395	2.95	0.0116	
11-RN-296	189	192	2.974	2.388	0.068	0.518	0	0	0	0	0	0	0	0.322	2.974	0.0096	
11-RN-296	192	195	3.115	3.115	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000	3.115	0.0000	
11-RN-296	195	198	3.332	0.68	1.31	0.573	0	0	0.769	0	0	0	0	1.288	3.332	0.0429	
11-RN-296	198	201	3.267	1.903	1.364	0	0	0	0	0	0	0	0	0.313	3.267	0.0102	
11-RN-296	201	204	3.094	3.094	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000	3.094	0.0000	
11-RN-296	204	207	3.035	3.031	0	0	0	0	0	0	0	0	0.004	0.132	3.035	0.0040	
11-RN-296	207	210	2.835	2.181	0.6	0.054	0	0	0	0	0	0	0	0.192	2.835	0.0054	

11-RN-296	210	213	2.84	1.412	1.425	0	0	0	0	0	0	0	0.003	0.482	2.84	0.0137	
11-RN-296	213	216	3.088	1.678	0.12	0	0	0	1.29	0	0	0	0	1.282	3.088	0.0396	
11-RN-296	216	219	3	0.805	1.17	1	0	0	0	0	0	0	0.025	1.709	3	0.0513	
11-RN-296	219	222	2.889	0.947	0.957	0.255	0	0	0.73	0	0	0	0	1.161	2.889	0.0335	
11-RN-296	222	225	3.11	0.965	1.85	0	0	0	0.295	0	0	0	0	0.731	3.11	0.0227	
11-RN-296	225	228	2.84	1.995	0.675	0	0.17	0	0	0	0	0	0	0.388	2.84	0.0110	
11-RN-296	228	231	3.11	0.611	1.969	0.53	0	0	0	0	0	0	0	0.773	3.11	0.0240	
11-RN-296	231	234	2.805	0	1.29	1.515	0	0	0	0	0	0	0	1.290	2.805	0.0362	
11-RN-296	234	237	3.32	1.602	1.184	0.171	0	0	0.36	0	0	0	0.003	0.773	3.32	0.0257	
11-RN-296	237	240	2.932	2.01	0.922	0	0	0	0	0	0	0	0	0.236	2.932	0.0069	
11-RN-296	240	243	2.963	2.108	0.505	0.35	0	0	0	0	0	0	0	0.335	2.963	0.0099	
11-RN-296	243	246	2.89	1.176	0.9	0.187	0.141	0	0.486	0	0	0	0	1.022	2.89	0.0295	
11-RN-296	246	249	3.026	2.215	0.445	0.079	0.287	0	0	0	0	0	0	0.488	3.026	0.0148	
11-RN-296	249	252	2.94	0.393	0.924	0.175	0	0	0.835	0.468	0.145	0	0	5.306	2.94	0.1560	
11-RN-296	252	255	2.94	1.14	1.15	0.65	0	0	0	0	0	0	0	0.680	2.94	0.0200	
11-RN-296	255	258	3.185	1.52	1.085	0.078	0	0	0.502	0	0	0	0	0.771	3.185	0.0246	
11-RN-296	258	261	2.942	0.946	1.212	0.426	0.356	0	0	0	0	0	0.002	1.054	2.942	0.0310	
11-RN-296	261	264	3.265	1.09	1.225	0	0.216	0.212	0.522	0	0	0	0	1.382	3.265	0.0451	
11-RN-296	264	267	2.977	1.281	1.305	0.389	0	0	0	0	0	0	0.002	0.625	2.977	0.0186	
11-RN-296	267	270	3.217	0.803	1.894	0.52	0	0	0	0	0	0	0	0.724	3.217	0.0233	
11-RN-296	270	273	3	1.115	1.155	0.73	0	0	0	0	0	0	0	0.715	3	0.0214	
11-RN-296	273	276	2.872	0.979	1.448	0.228	0.217	0	0	0	0	0	0	0.782	2.872	0.0224	
11-RN-296	276	279	3.204	0.983	1.117	0.671	0.158	0	0.275	0	0	0	0	1.058	3.204	0.0339	
11-RN-296	279	282	2.955	0.852	0.841	0.285	0	0	0.977	0	0	0	0	1.374	2.955	0.0406	
11-RN-296	282	285	3.075	0.809	0.553	1.089	0.289	0	0.335	0	0	0	0	1.410	3.075	0.0434	
11-RN-296	285	288	3.216	1.481	1.732	0	0	0	0	0	0	0	0.003	0.497	3.216	0.0160	
11-RN-296	288	291	2.904	0	1.887	0.221	0	0	0.793	0	0	0	0.003	1.543	2.904	0.0448	
11-RN-296	291	294	2.997	0.313	1.128	0.233	0	0	1.323	0	0	0	0	1.743	2.997	0.0522	
11-RN-296	294	297	3.159	0.801	2.122	0	0	0	0	0.236	0	0	0	1.624	3.159	0.0513	
11-RN-296	297	300	2.903	0	2.313	0.366	0	0	0.156	0.058	0	0	0.01	1.624	2.903	0.0471	
11-RN-296	300	303	2.954	0.208	2.591	0.1	0	0	0	0.053	0	0	0.002	1.054	2.954	0.0311	
11-RN-296	303	306	2.933	1.139	1.465	0.326	0	0	0	0	0	0	0.003	0.671	2.933	0.0197	
11-RN-296	306	309	2.966	0.437	2.021	0.366	0	0	0.142	0	0	0	0	0.871	2.966	0.0258	
11-RN-296	309	312	2.725	0.164	1.121	0.171	0	0	0.966	0.191	0.109	0	0.003	4.043	2.725	0.1102	
11-RN-296	312	315	3.283	0.451	1.883	0.249	0	0	0.695	0	0	0	0.005	1.350	3.283	0.0443	
11-RN-296	315	318	2.954	0.486	1.784	0.218	0	0	0.461	0	0	0	0.005	1.220	2.954	0.0360	
11-RN-296	318	321	2.7	0.225	2.09	0.33	0.055	0	0	0	0	0	0	0.866	2.7	0.0234	
11-RN-296	321	324	2.25	0.08	1.19	0.91	0.07	0	0	0	0	0	0	1.213	2.25	0.0273	
11-RN-296	324	327	2.93	2.4	0.53	0	0	0	0	0	0	0	0	0.136	2.93	0.0040	
11-RN-296	327	330	2.77	1.89	0.67	0.21	0	0	0	0	0	0	0	0.314	2.77	0.0087	
11-RN-296	330	333	3.05	2.49	0.56	0	0	0	0	0	0	0	0	0.138	3.05	0.0042	
11-RN-296	333	336	2.18	0.56	0.71	0.91	0	0	0	0	0	0	0	0.975	2.18	0.0213	
11-RN-296	336	339	2.68	1.29	1.22	0.15	0	0.02	0	0	0	0	0	0.484	2.68	0.0130	
11-RN-296	339	342	2.8	1.48	0.54	0.49	0.16	0	0	0.13	0	0	0	1.347	2.8	0.0377	
11-RN-296	342	345	2.65	1.19	1.13	0.12	0.21	0	0	0	0	0	0	0.676	2.65	0.0179	
11-RN-296	345	348	2.82	1.1	1.3	0.36	0.03	0.03	0	0	0	0	0	0.670	2.82	0.0189	
11-RN-296	348	351	3.03	2.66	0.37	0	0	0	0	0	0	0	0	0.092	3.03	0.0028	
11-RN-296	351	354	2.715	1.485	0.96	0.27	0	0	0	0	0	0	0	0.439	2.715	0.0119	
11-RN-296	354	357	2.65	1.92	0.6	0	0.05	0.08	0	0	0	0	0	0.417	2.65	0.0111	
11-RN-296	357	360	2.925	2.29	0.24	0.145	0.21	0	0.04	0	0	0	0	0.441	2.925	0.0129	
11-RN-296	360	363	2.74	2.22	0.32	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0.215	2.74	0.0059	
11-RN-296	363	366	3.04	2.19	0.78	0	0	0.07	0	0	0	0	0	0.331	3.04	0.0101	
11-RN-296	366	369	2.88	1.43	1.45	0	0	0	0	0	0	0	0	0.378	2.88	0.0109	
11-RN-296	369	372	2.89	0	1.82	1.07	0	0	0	0	0	0	0	1.120	2.89	0.0324	
11-RN-296	372	375	2.95	0.665	1.38	0	0	0	0	0.65	0.25	0	0.005	6.792	2.95	0.2004	
11-RN-296	375	378	2.88	0	1.798	0.84	0.1	0	0.13	0	0	0	0.012	1.652	2.88	0.0476	
11-RN-296	378	381	2.44	0.11	2.24	0	0	0	0.086	0	0	0	0.004	0.958	2.44	0.0234	
11-RN-296	381	384	3.03	0	2.54	0	0	0	0.49	0	0	0	0	1.114	3.03	0.0338	
11-RN-296	384	387	2.83	0	1.63	0.27	0	0	0.74	0.19	0	0	0	2.390	2.83	0.0677	
11-RN-296	387	390	3	0	1.14	0	0	0	0.48	0.94	0.44	0	0	10.598	3	0.3180	
11-RN-296	390	393	2.86	0	2.4	0	0	0.2	0.12	0.14	0	0	0	1.909	2.86	0.0546	
11-RN-296	393	396	2.41	0	1.36	0	0	0	1.05	0	0	0	0	1.730	2.41	0.0417	
11-RN-296	396	398	2.04	0	2.04	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	2.04	0.0153	
11-RN-300	45	48	2.975	2.17	0.805	0	0	0	0	0	0	0	0	0.203	2.975	0.0060	
11-RN-300	48	51	2.9	1.7	1.08	0.12	0	0	0	0	0	0	0	0.352	2.9	0.0102	

11-RN-300	51	54	2.85	1.9	0.95	0	0	0	0	0	0	0	0	0.250	2.85	0.0071	
11-RN-300	54	57	2.995	2.51	0.485	0	0	0	0	0	0	0	0	0.121	2.995	0.0036	
11-RN-300	57	60	2.925	2.67	0.255	0	0	0	0	0	0	0	0	0.065	2.925	0.0019	
11-RN-300	60	63	3	2.54	0.46	0	0	0	0	0	0	0	0	0.115	3	0.0035	
11-RN-300	63	66	3.035	1.995	0.335	0.705	0	0	0	0	0	0	0	0.489	3.035	0.0149	
11-RN-300	66	69	2.935	2.03	0.905	0	0	0	0	0	0	0	0	0.231	2.935	0.0068	
11-RN-300	69	72	3.045	3.015	0	0.03	0	0	0	0	0	0	0	0.017	3.045	0.0005	
11-RN-300	72	75	3.1	0	1.67	0	0	0	1.43	0	0	0	0	1.788	3.1	0.0554	
11-RN-300	75	78	3	0.405	1.845	0.75	0	0	0	0	0	0	0	0.899	3	0.0270	
11-RN-300	78	81	3.065	2.745	0.32	0	0	0	0	0	0	0	0	0.078	3.065	0.0024	
11-RN-300	81	84	2.76	0.53	1.71	0.13	0	0	0.39	0	0	0	0	0.971	2.76	0.0268	
11-RN-300	84	87	2.9	1.3	1.04	0.21	0	0	0.35	0	0	0	0	0.758	2.9	0.0220	
11-RN-300	87	90	3.095	2.095	0.87	0.13	0	0	0	0	0	0	0	0.284	3.095	0.0088	
11-RN-300	90	93	3.115	2.95	0.165	0	0	0	0	0	0	0	0	0.040	3.115	0.0012	
11-RN-300	93	96	2.925	0.89	1.895	0.09	0	0	0	0	0.05	0	0	1.138	2.925	0.0333	
11-RN-300	96	99	2.995	2.235	0.275	0	0.305	0	0.1	0.08	0	0	0	0.926	2.995	0.0277	
11-RN-300	99	102	3.045	2.17	0.875	0	0	0	0	0	0	0	0	0.216	3.045	0.0066	
11-RN-300	102	105	3.12	1.855	1.265	0	0	0	0	0	0	0	0	0.304	3.12	0.0095	
11-RN-300	105	108	3	2.315	0.22	0	0	0	0.235	0.23	0	0	0	1.440	3	0.0432	
11-RN-300	108	111	2.845	1.035	1.295	0	0	0	0.235	0.28	0	0	0	2.065	2.845	0.0588	
11-RN-300	111	114	2.805	1.895	0.8	0.11	0	0	0	0	0	0	0	0.283	2.805	0.0079	
11-RN-300	114	117	2.885	1.885	0.505	0.13	0	0	0.15	0	0.095	0.12	0	3.806	2.885	0.1098	
11-RN-300	117	120	2.945	1.67	1.03	0.16	0	0	0.085	0	0	0	0	0.444	2.945	0.0131	
11-RN-300	120	123	2.95	1.855	0.485	0.585	0.025	0	0	0	0	0	0	0.500	2.95	0.0148	
11-RN-300	123	126	2.97	2.595	0.275	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0.128	2.97	0.0038	
11-RN-300	126	129	2.9	2.1	0.45	0.35	0	0	0	0	0	0	0	0.328	2.9	0.0095	
11-RN-300	129	132	3.111	1.66	1.075	0.371	0	0	0	0	0	0	0.005	0.629	3.111	0.0196	
11-RN-300	132	135	3.033	0.632	1.556	0	0	0	0.526	0.319	0	0	0	2.483	3.033	0.0753	
11-RN-300	135	138	3.039	0.943	1.829	0.265	0	0	0	0	0	0	0.002	0.670	3.039	0.0204	
11-RN-300	138	141	2.887	1.109	1.778	0	0	0	0	0	0	0	0	0.462	2.887	0.0133	
11-RN-300	141	144	3.035	2.186	0.823	0	0	0	0.026	0	0	0	0	0.229	3.035	0.0070	
11-RN-300	144	147	3.068	3.068	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000	3.068	0.0000	
11-RN-300	147	150	3.044	0.992	1.318	0.359	0.108	0	0.267	0	0	0	0	0.918	3.044	0.0280	
11-RN-300	150	153	3	1.501	1.398	0	0	0	0.097	0	0	0	0.004	0.580	3	0.0174	
11-RN-300	153	156	3.102	1.244	0.249	0	0	0	0.578	0.853	0.178	0	0	6.752	3.102	0.2095	
11-RN-300	156	159	2.735	1.919	0.816	0	0	0	0	0	0	0	0	0.224	2.735	0.0061	
11-RN-300	159	162	3.022	2.491	0.466	0	0	0	0.058	0	0	0	0.007	0.405	3.022	0.0122	
11-RN-300	162	165	2.875	2.403	0.328	0.144	0	0	0	0	0	0	0	0.173	2.875	0.0050	
11-RN-300	165	168	3.034	1.187	1.847	0	0	0	0	0	0	0	0	0.457	3.034	0.0139	
11-RN-300	168	171	2.989	1.482	0.932	0	0.173	0	0	0	0.402	0	0	5.144	2.989	0.1537	
11-RN-300	171	174	2.98	1.334	1.308	0	0	0	0.236	0	0.074	0	0.028	2.376	2.98	0.0708	
11-RN-300	174	177	2.96	1.443	0.911	0.445	0	0	0	0.161	0	0	0	1.310	2.96	0.0388	
11-RN-300	177	180	2.881	2.878	0	0	0	0	0	0	0	0	0.003	0.104	2.881	0.0030	
11-RN-300	180	183	3.024	2.433	0.111	0.079	0	0	0.398	0	0	0	0.003	0.567	3.024	0.0172	
11-RN-300	183	186	2.966	0.959	1.138	0	0	0	0.786	0.063	0	0	0.02	2.076	2.966	0.0616	
11-RN-300	186	189	2.942	1.973	0.735	0	0	0	0.201	0.033	0	0	0	0.561	2.942	0.0165	
11-RN-300	189	192	3.036	2.274	0.596	0	0	0	0.068	0	0.098	0	0	1.344	3.036	0.0408	
11-RN-300	192	195	3.088	1.203	0.996	0.251	0	0	0.392	0.212	0.034	0	0	2.180	3.088	0.0673	
11-RN-300	195	198	3.041	1.442	1.473	0	0	0	0	0	0.118	0	0.008	1.984	3.041	0.0603	
11-RN-300	198	201	3.018	0.716	0.71	0.391	0	0	1.005	0.188	0	0	0.008	2.602	3.018	0.0785	
11-RN-300	201	204	3.028	1.829	0.342	0.296	0	0	0	0.55	0	0	0.011	3.344	3.028	0.1012	
11-RN-300	204	207	2.985	2.049	0.873	0	0	0.063	0	0	0	0	0	0.346	2.985	0.0103	
11-RN-300	207	210	2.953	2.439	0.376	0	0	0	0	0.128	0	0	0.01	1.084	2.953	0.0320	
11-RN-300	210	213	2.993	0.946	1.128	0.111	0	0	0.572	0	0.236	0	0	3.681	2.993	0.1102	
11-RN-300	213	216	2.986	2.118	0.357	0	0.078	0	0.433	0	0	0	0	0.616	2.986	0.0184	
11-RN-300	216	219	3.015	1.73	0.476	0.556	0	0	0.252	0	0	0	0.001	0.725	3.015	0.0219	
11-RN-300	219	222	3.037	2.691	0.223	0.117	0	0	0	0	0	0	0.006	0.320	3.037	0.0097	
11-RN-300	222	225	3.025	2.378	0.415	0.232	0	0	0	0	0	0	0	0.237	3.025	0.0072	
11-RN-300	225	228	2.958	2.169	0.43	0	0	0	0.357	0	0	0	0.002	0.539	2.958	0.0159	
11-RN-300	228	231	2.969	1.084	0.266	0.21	0.09	0	0.872	0.377	0	0.07	0	4.380	2.969	0.1300	
11-RN-300	231	234	3.05	1.366	0.61	0.276	0.388	0	0	0.41	0	0	0	2.770	3.05	0.0845	
11-RN-300	234	237	2.932	2.376	0.556	0	0	0	0	0	0	0	0	0.142	2.932	0.0042	
11-RN-300	237	240	3.15	1.9	0.833	0	0.153	0	0.264	0	0	0	0	0.620	3.15	0.0195	
11-RN-300	240	243	3.048	0.541	0.835	0.654	0.11	0	0.656	0.252	0	0	0	2.593	3.048	0.0790	
11-RN-300	243	246	3.133	3.133	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000	3.133	0.0000	

11-RN-300	246	249	3.112	2.116	0.238	0.13	0	0	0.628	0	0	0	0	0.736	3.112	0.0229	
11-RN-300	249	252	3.21	1.679	0.78	0.133	0.265	0	0.353	0	0	0	0	0.874	3.21	0.0280	
11-RN-300	252	255	2.8	0.425	0.97	0.59	0	0	0.815	0	0	0	0	1.502	2.8	0.0421	
11-RN-300	255	258	2.71	0.36	1.76	0	0	0	0.59	0	0	0	0	1.140	2.71	0.0309	
11-RN-300	258	261	2.948	0.878	1.176	0.234	0	0	0.51	0.15	0	0	0	1.720	2.948	0.0507	
11-RN-300	261	264	2.851	1.348	1.278	0	0	0	0.22	0	0	0	0.005	0.743	2.851	0.0212	
11-RN-300	264	267	3.01	1	1.6	0	0	0	0.41	0	0	0	0	0.807	3.01	0.0243	
11-RN-300	267	270	2.703	1.541	0.427	0.43	0	0	0.305	0	0	0	0	0.735	2.703	0.0199	
11-RN-300	270	273	3.05	1.274	1.117	0.115	0	0	0.542	0	0	0	0.002	0.939	3.05	0.0287	
11-RN-309	28	30	1.04	0	0.43	0.09	0	0	0.12	0.4	0	0	0	6.577	1.04	0.0684	
11-RN-309	30	33	2.88	0	1.4	0	0.11	0	0.97	0	0.4	0	0	6.370	2.88	0.1835	
11-RN-309	33	36	2.88	0	1.69	0.27	0.75	0	0.17	0	0	0	0	1.693	2.88	0.0488	
11-RN-309	36	39	3	0	2.85	0	0.095	0	0.055	0	0	0	0	0.878	3	0.0264	
11-RN-309	39	42	2.99	0	2.29	0.32	0	0	0.38	0	0	0	0	1.143	2.99	0.0342	
11-RN-309	42	45	3.01	0	2.995	0	0	0	0	0.015	0	0	0	0.821	3.01	0.0247	
11-RN-309	45	48	3	0	2.67	0	0.22	0	0.01	0.1	0	0	0	1.434	3	0.0430	
11-RN-309	48	51	2.8	0	1.5	0	0	0	0.8	0.5	0	0	0	3.938	2.8	0.1103	
11-RN-309	51	54	2.67	0	1.77	0.35	0	0	0.4	0.1	0	0	0.05	3.610	2.67	0.0964	
11-RN-309	54	57	3.02	0	2.82	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	0.874	3.02	0.0264	
11-RN-309	57	60	2.89	0	2.59	0.15	0.15	0	0	0	0	0	0	0.945	2.89	0.0273	
11-RN-309	60	63	3.05	0	2.99	0	0.06	0	0	0	0	0	0	0.804	3.05	0.0245	
11-RN-309	63	66	3.02	0	2.85	0.17	0	0	0	0	0	0	0	0.806	3.02	0.0244	
11-RN-309	66	69	2.93	0	2.68	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0.985	2.93	0.0289	
11-RN-309	69	72	3.02	0	2.929	0	0	0	0.09	0	0	0	0.001	0.850	3.02	0.0257	
11-RN-309	72	75	3.02	0	2.87	0.09	0.06	0	0	0	0	0	0	0.834	3.02	0.0252	
11-RN-309	75	78	3.02	0	2.92	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0.825	3.02	0.0249	
11-RN-309	78	81	2.94	0	2.557	0.25	0	0.1	0.03	0	0	0	0.003	1.138	2.94	0.0335	
11-RN-309	81	84	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	3	0.0225	
11-RN-309	84	87	3.02	0	2.22	0.36	0	0.07	0.37	0	0	0	0	1.267	3.02	0.0383	
11-RN-309	87	90	2.85	0	2.48	0.14	0	0.03	0.1	0	0.1	0	0	2.135	2.85	0.0609	
11-RN-309	90	93	3.025	0	3.025	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	3.025	0.0227	
11-RN-309	93	96	2.93	0	2.82	0	0.11	0	0	0	0	0	0	0.853	2.93	0.0250	
11-RN-309	96	99	2.825	0	2.77	0.055	0	0	0	0	0	0	0	0.769	2.825	0.0217	
11-RN-309	99	102	2.9	0	2.72	0.18	0	0	0	0	0	0	0	0.812	2.9	0.0236	
11-RN-309	102	105	3.11	0	2.685	0	0.035	0	0.29	0.1	0	0	0	1.449	3.11	0.0451	
11-RN-309	105	108	3.09	0	2.909	0	0	0	0.11	0.07	0	0	0.001	1.185	3.09	0.0366	
11-RN-309	108	111	2.83	0	2.609	0.12	0.1	0	0	0	0	0	0.001	0.925	2.83	0.0262	
11-RN-309	111	114	2.98	0	2.94	0.04	0	0	0	0	0	0	0	0.763	2.98	0.0228	
11-RN-309	114	117	2.97	0	2.82	0	0.08	0	0.07	0	0	0	0	0.877	2.97	0.0261	
11-RN-309	117	120	3	0	2.43	0	0.13	0	0.32	0.12	0	0	0	1.679	3	0.0504	
11-RN-309	120	123	2.91	0	2.747	0	0	0	0.09	0.02	0.05	0	0.003	1.608	2.91	0.0468	
11-RN-309	123	126	2.89	0	1.928	0.14	0.365	0.04	0	0.4	0	0	0.017	3.775	2.89	0.1091	
11-RN-309	126	129	2.95	0	2.585	0.225	0.09	0.04	0	0	0	0	0.01	1.318	2.95	0.0389	
11-RN-309	129	132	2.85	0	1.388	0.79	0	0	0.19	0	0.48	0	0.002	7.015	2.85	0.1999	
11-RN-309	132	135	2.79	0	2.177	0.04	0.345	0	0.22	0	0	0	0.008	1.566	2.79	0.0437	
11-RN-309	135	138	2.86	0	2.608	0	0	0.15	0	0.1	0	0	0.002	1.593	2.86	0.0456	
11-RN-309	138	141	2.973	0	2.064	0.044	0.306	0	0.273	0.286	0	0	0	2.625	2.973	0.0781	
11-RN-309	141	144	3.209	0	2.496	0.062	0.278	0	0.172	0.2	0	0	0.001	2.047	3.209	0.0657	
11-RN-309	144	147	3.139	0	1.777	0.335	0	0	0.986	0.039	0	0	0.002	1.804	3.139	0.0566	
11-RN-309	147	150	2.882	0	2.769	0	0	0	0.08	0	0.033	0	0	1.205	2.882	0.0347	
11-RN-309	150	153	3.053	0	2.643	0	0.194	0	0.116	0.054	0.026	0	0.02	2.204	3.053	0.0673	
11-RN-309	153	156	3	0	2.738	0.25	0	0	0	0	0	0	0.012	1.230	3	0.0369	
11-RN-309	156	159	2.958	0	2	0.71	0	0	0.1	0.12	0	0	0.028	2.584	2.958	0.0764	
11-RN-309	159	162	2.97	0	2.895	0	0	0	0	0.05	0	0	0.025	1.825	2.97	0.0542	
11-RN-309	162	165	3.01	0	2.66	0.14	0	0.114	0.09	0	0	0	0.006	1.260	3.01	0.0379	
11-RN-309	165	168	3.04	0	2.02	0.73	0.11	0	0.16	0	0.011	0	0.009	1.626	3.04	0.0494	
11-RN-309	168	171	2.98	0	2.445	0	0.29	0	0.24	0	0	0	0.005	1.365	2.98	0.0407	
11-RN-309	171	174	2.98	0	2.03	0.55	0	0	0.395	0	0	0	0.005	1.399	2.98	0.0417	
11-RN-309	174	177	2.99	0	2.8	0.14	0	0	0.05	0	0	0	0	0.834	2.99	0.0250	
11-RN-309	177	180	2.84	0.286	1.838	0.149	0.33	0	0.228	0	0	0	0.009	1.542	2.84	0.0438	
11-RN-309	180	183	3	0	0.22	2.1	0.14	0.07	0.18	0.29	0	0	0	3.213	3	0.0964	
11-RN-309	183	186	3	0	1.38	1.05	0.36	0	0	0	0.21	0	0	3.828	3	0.1148	
11-RN-309	186	189	3.092	0	1.329	0.476	0.731	0	0.53	0	0	0	0.026	2.774	3.092	0.0858	
11-RN-309	189	192	2.875	0	0	0	2.875	0	0	0	0	0	0	3.500	2.875	0.1006	
11-RN-309	192	195	3.03	0	0	0.4	0	0	2.32	0.31	0	0	0	4.063	3.03	0.1231	

11-RN-309	195	198	3	0	1.65	0	0	0	0	1.35	0	0	0	7.163	3	0.2149	
11-RN-309	198	201	2.7	0	0	0.83	0	0	0.34	1.53	0	0	0	9.416	2.7	0.2542	Grind 1 foot
11-RN-309	201	204	2.96	0	0	0.8	0	0	1.93	0	0.23	0	0	5.149	2.96	0.1524	
11-RN-309	204	207	3.08	0	2.95	0	0	0	0.07	0	0.06	0	0	1.468	3.08	0.0452	
11-RN-309	207	210	3.01	0	2.523	0	0	0	0.48	0	0	0	0.007	1.340	3.01	0.0403	
11-RN-309	210	213	3.039	0	1.697	1.132	0	0	0.184	0.021	0	0	0.005	1.520	3.039	0.0462	
11-RN-309	213	216	2.898	0	1.737	0.978	0	0	0	0.176	0	0	0.007	2.193	2.898	0.0635	
11-RN-309	216	219	2.859	0	1.946	0	0	0	0.896	0	0	0	0.017	2.045	2.859	0.0585	
11-RN-309	219	222	2.156	0	1.187	0	0	0	0.528	0	0.36	0.078	0.003	9.121	2.156	0.1966	There is approximatively 75cm of no core (Grinded)
11-RN-309	222	225	3.08	0	2.96	0	0.12	0	0	0	0	0	0	0.857	3.08	0.0264	
11-RN-309	225	228	3.018	0	2.75	0.26	0	0	0	0	0	0	0.008	1.099	3.018	0.0332	
11-RN-309	228	231	2.854	0	2.32	0.51	0	0	0	0	0	0	0.024	1.763	2.854	0.0503	
11-RN-309	231	234	3.047	0	2.792	0	0.161	0	0.081	0	0	0	0.013	1.379	3.047	0.0420	
11-RN-309	234	237	3.081	0	1.038	0.935	0.233	0	0.093	0.742	0.017	0	0.023	5.691	3.081	0.1753	
11-RN-309	237	240	2.981	0	1.453	0.374	0.586	0	0.11	0.421	0.037	0	0	3.937	2.981	0.1174	
11-RN-309	240	243	2.627	0	0.975	0.816	0.642	0	0	0.16	0.032	0	0.002	3.093	2.627	0.0813	
11-RN-309	243	246	2.856	0	1.976	0.256	0.474	0	0.1	0	0.04	0	0.01	2.202	2.856	0.0629	
11-RN-309	246	249	2.777	0	1.147	0.927	0.315	0	0.344	0.012	0.014	0	0.018	2.552	2.777	0.0709	
11-RN-309	249	252	2.954	0	1.492	0.231	0.788	0.371	0.064	0	0	0	0.008	2.539	2.954	0.0750	
11-RN-309	252	255	2.904	0	1.882	0.843	0.072	0	0	0.106	0	0	0.001	1.663	2.904	0.0483	
11-RN-309	255	258	2.663	0	1.214	0.854	0	0	0.587	0	0	0	0.008	1.865	2.663	0.0497	
11-RN-309	258	261	3.154	0	2.069	0.886	0.048	0	0.151	0	0	0	0	1.180	3.154	0.0372	
11-RN-309	261	264	3.184	0	0.916	2.102	0.166	0	0	0	0	0	0	1.554	3.184	0.0495	
11-RN-309	264	267	3.01	0	1.83	1.18	0	0	0	0	0	0	0	1.142	3.01	0.0344	
11-RN-309	267	270	2.87	0	1.45	0	1.17	0.12	0.13	0	0	0	0	2.193	2.87	0.0629	
11-RN-309	270	273	3.016	0	2.215	0.503	0.115	0.183	0	0	0	0	0	1.340	3.016	0.0404	
11-RN-309	273	276	3.02	0	1.175	1.694	0.13	0	0	0	0.016	0	0.005	1.775	3.02	0.0536	
11-RN-309	276	279	2.935	1.116	0.475	0.435	0.519	0	0	0.382	0.006	0	0.002	3.092	2.935	0.0907	
11-RN-309	279	282	3.018	0	1.275	1.577	0	0.119	0	0.04	0	0	0.007	1.899	3.018	0.0573	
11-RN-309	282	285	2.934	0	2.659	0.039	0.175	0	0	0.055	0	0	0.006	1.397	2.934	0.0410	
11-RN-309	285	288	2.91	1.653	1.128	0.097	0	0	0	0.024	0	0	0.008	0.748	2.91	0.0218	
11-RN-309	288	291	2.892	0	1.625	0	0.208	0.054	0.583	0.422	0	0	0	3.579	2.892	0.1035	
11-RN-309	291	294	2.95	0	0.997	1.214	0.287	0	0.17	0.264	0	0	0.018	3.440	2.95	0.1015	
11-RN-309	294	297	2.726	0	1.408	0.75	0.084	0	0.396	0.074	0	0	0.014	2.333	2.726	0.0636	
11-RN-309	297	300	2.672	0	1.342	0.695	0	0	0	0.422	0	0.21	0.003	7.636	2.672	0.2040	
11-RN-309	300	303	3.108	0	1.349	0.795	0	0	0.42	0.53	0	0	0.014	4.187	3.108	0.1301	
11-RN-309	303	306	3.022	0	0.47	2.026	0.515	0	0	0	0	0	0.011	2.250	3.022	0.0680	
11-RN-309	306	309	3.046	0	0.18	2.303	0.561	0	0	0	0	0	0.002	2.078	3.046	0.0633	
11-RN-309	309	312	2.962	0	2.578	0.314	0	0	0.041	0	0.014	0	0.015	1.552	2.962	0.0460	
11-RN-309	312	315	2.97	0	2.64	0	0.33	0	0	0	0	0	0	1.056	2.97	0.0314	
11-RN-309	315	318	2.95	0	0.4	0.76	0	1.244	0	0.53	0	0	0.016	6.320	2.95	0.1864	
11-RN-309	318	321	3	0	1	1.13	0	0.08	0.79	0	0	0	0	1.859	3	0.0558	
11-RN-309	321	324	3	0	0.42	0.87	1.71	0	0	0	0	0	0	2.608	3	0.0782	
11-RN-309	324	327	3.03	0	0.76	0.39	1.88	0	0	0	0	0	0	2.585	3.03	0.0783	
11-RN-309	327	330	3	0	1.28	0.98	0	0.46	0	0.28	0	0	0	3.212	3	0.0964	
11-RN-309	330	333	2.99	0	0.941	1.254	0.753	0	0.037	0	0	0	0.005	2.056	2.99	0.0615	
11-RN-309	333	336	2.945	0.072	0.903	1.553	0.383	0	0	0.022	0.008	0	0.004	1.951	2.945	0.0575	
11-RN-309	336	339	2.984	0	0	2.571	0.413	0	0	0	0	0	0	1.992	2.984	0.0594	
11-RN-309	339	342	2.984	0	0	0.541	2.158	0.285	0	0	0	0	0	3.421	2.984	0.1021	
11-RN-309	342	345	3.03	0	0	0.734	2.296	0	0	0	0	0	0	3.076	3.03	0.0932	
11-RN-309	345	348	3.013	0	0.1	1.619	1.2	0	0	0.094	0	0	0	2.827	3.013	0.0852	
11-RN-309	348	351	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	3.500	3	0.1050	
11-RN-309	351	354	3.04	0	0	1.621	1.419	0	0	0	0	0	0	2.567	3.04	0.0780	
11-RN-309	354	357	2.988	0	0	1.714	1.271	0	0	0	0	0	0.003	2.593	2.988	0.0775	
11-RN-309	357	360	3.025	0	0	2.577	0.411	0	0	0.025	0.011	0	0.001	2.251	3.025	0.0681	
11-RN-309	360	363	2.937	0	0	1.658	1.208	0	0	0	0	0.067	0.004	3.818	2.937	0.1121	
11-RN-309	363	366	3.015	0	0	2.372	0.637	0	0	0	0	0	0.006	2.315	3.015	0.0698	
11-RN-309	366	369	2.75	0	0.01	1.67	0.13	0	0	0.94	0	0	0	6.358	2.75	0.1749	
11-RN-309	369	372	3	0	0	0.81	0	0	0	2.19	0	0	0	11.423	3	0.3427	
11-RN-309	372	375	3.065	0	0	0.905	2.15	0	0	0.01	0	0	0	3.021	3.065	0.0926	
11-RN-309	375	378	2.97	0	0	2.618	0.262	0.039	0	0	0.051	0	0	2.531	2.97	0.0752	
11-RN-309	378	381	2.98	0	0	2.604	0.375	0	0	0	0	0	0.001	2.003	2.98	0.0597	
11-RN-309	381	384	2.98	0	0	2.865	0.115	0	0	0	0	0	0	1.818	2.98	0.0542	
11-RN-309	384	387	3.012	0	0	2.48	0.424	0	0.103	0	0	0	0.005	2.202	3.012	0.0663	
11-RN-309	387	390	2.925	0	0.66	1.175	0.98	0.09	0	0	0.014	0	0.006	2.602	2.925	0.0761	

11-RN-309	390	393	2.99	0	0	2.16	0.83	0	0	0	0	0	0	2.236	2.99	0.0669	
11-RN-309	393	396	2.965	0	0	2.762	0.2	0	0	0	0	0	0.003	1.967	2.965	0.0583	
11-RN-309	396	399	3.03	0	0	1.085	1.894	0.045	0	0	0	0	0.006	3.102	3.03	0.0940	
11-RN-309	399	402	2.91	0	1.19	1.496	0	0	0	0.22	0	0	0.004	2.478	2.91	0.0721	
11-RN-309	402	405	2.97	0	0	0	2.904	0.065	0	0	0	0	0.001	3.587	2.97	0.1065	
11-RN-309	405	408	3.028	0	0.704	1.005	0.69	0.595	0	0	0.03	0	0.004	3.211	3.028	0.0972	
11-RN-309	408	411	2.84	0	1.985	0.605	0.09	0	0	0.155	0	0	0.005	2.003	2.84	0.0569	
11-RN-309	411	414	2.91	0	2.855	0	0	0	0	0	0.05	0	0.005	1.509	2.91	0.0439	
11-RN-309	414	417	2.98	0	0	2.98	0	0	0	0	0	0	0	1.750	2.98	0.0522	
11-RN-309	417	420	3.01	0	0	2.596	0	0	0.41	0	0	0	0.004	2.051	3.01	0.0617	
11-RN-309	420	423	3.11	0	0	2.205	0.905	0	0	0	0	0	0	2.259	3.11	0.0703	
11-RN-309	423	426	2.925	0	0	1.9	0.52	0	0.5	0	0	0	0.005	2.443	2.925	0.0715	
11-RN-309	426	429	2.98	0	1.274	1.137	0.525	0	0	0	0.04	0	0.004	2.209	2.98	0.0658	
11-RN-309	429	432	2.998	0	2.75	0.215	0	0	0	0	0.024	0	0.009	1.394	2.998	0.0418	
11-RN-309	432	435	3.084	0.115	1.84	1.129	0	0	0	0	0	0	0	1.088	3.084	0.0336	
11-RN-309	435	438	2.964	0	1.648	1.316	0	0	0	0	0	0	0	1.194	2.964	0.0354	
11-RN-309	438	441	3.018	0	0.811	1.058	0.817	0.324	0	0	0	0	0.008	2.672	3.018	0.0806	
11-RN-309	441	444	3.134	0	1.33	1.296	0	0	0.486	0	0	0	0.022	2.209	3.134	0.0692	
11-RN-309	444	447	3.11	0	0.497	0.585	0	0	1.117	0.264	0	0.646	0.001	14.256	3.11	0.4434	
11-RN-309	447	450	2.95	1.204	1.119	0	0	0	0	0.627	0	0	0	3.473	2.95	0.1024	
11-RN-309	450	453	2.867	0.731	1.209	0	0	0	0.624	0.221	0.021	0	0.061	4.510	2.867	0.1293	
11-RN-309	453	456	2.845	0	2.312	0.285	0	0	0.233	0	0	0	0.015	1.558	2.845	0.0443	
11-RN-309	456	459	2.989	0.63	1.743	0.511	0	0	0.102	0	0	0	0.003	0.939	2.989	0.0281	
11-RN-309	459	462	3.012	0	1.761	0.63	0	0	0.452	0.164	0	0	0.005	2.237	3.012	0.0674	
11-RN-309	462	465	2.89	0	2.654	0.06	0.08	0	0.035	0.047	0	0	0.014	1.587	2.89	0.0459	
11-RN-309	465	468	2.998	1.173	1.584	0	0	0	0.24	0	0	0	0.001	0.670	2.998	0.0201	
11-RN-309	468	471	2.897	0	2.743	0	0	0	0.15	0	0	0	0.004	1.004	2.897	0.0291	
11-RN-309	471	474	2.974	0	1.846	1.073	0	0	0	0	0.048	0	0.007	1.897	2.974	0.0564	
11-RN-309	474	477	2.935	1.005	1.13	0	0	0	0	0.75	0.048	0	0.002	4.762	2.935	0.1398	
11-RN-309	477	480	3.002	0	2.861	0	0.048	0	0	0	0	0.09	0.003	2.520	3.002	0.0756	
11-RN-309	480	483	2.92	0	2.311	0.415	0	0	0.09	0.1	0	0	0.004	1.585	2.92	0.0463	
11-RN-309	483	486	3.02	0	2.27	0.36	0	0	0	0.13	0.17	0.07	0.02	5.325	3.02	0.1608	
11-RN-309	486	489	3.07	0	1.52	1.55	0	0	0	0	0	0	0	1.255	3.07	0.0385	
11-RN-309	489	492	3.11	0.86	0.76	1.3	0	0	0.18	0	0	0	0.01	1.410	3.11	0.0439	
11-RN-309	492	495	3.04	0.93	2.104	0	0	0	0	0	0	0	0.006	0.716	3.04	0.0218	
11-RN-309	495	498	3.05	2.45	0.53	0.051	0	0	0	0	0	0	0.019	0.783	3.05	0.0239	
11-RN-309	498	501	3.01	2.365	0.385	0	0	0	0.055	0.205	0	0	0	1.172	3.01	0.0353	
11-RN-309	501	504	3.05	2.28	0.26	0.125	0.25	0	0	0.13	0	0	0.005	1.226	3.05	0.0374	
11-RN-309	504	507	3	1.868	0.51	0.61	0	0	0	0	0	0	0.012	0.883	3	0.0265	
11-RN-309	507	510	2.94	1.83	0.26	0.845	0	0	0	0	0	0	0.005	0.739	2.94	0.0217	
11-RN-309	510	513	3.02	0	2.28	0.15	0.225	0	0.33	0	0	0	0.035	2.401	3.02	0.0725	
11-RN-309	513	516	2.98	2.98	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000	2.98	0.0000	
11-RN-309	516	519	2.864	1.02	1.64	0.15	0	0.03	0	0	0	0	0.024	1.422	2.864	0.0407	
11-RN-309	519	522	3	0	0.32	0	0	0	2.68	0	0	0	0	2.760	3	0.0828	
11-RN-309	522	523	1.08	0	0.61	0	0	0	0.47	0	0	0	0	1.729	1.08	0.0187	
11-RN-334	30	33	2.7	2.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000	2.7	0.0000	
11-RN-334	33	36	2.95	1.4	1.55	0	0	0	0	0	0	0	0	0.394	2.95	0.0116	
11-RN-334	36	39	2.92	0	2.92	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	2.92	0.0219	
11-RN-334	39	42	2.555	0	2.55	0	0	0	0	0	0	0	0.005	0.944	2.555	0.0241	
11-RN-334	42	45	2.4	0	2.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	2.4	0.0180	
11-RN-334	45	48	3	0	2.998	0	0	0	0	0	0	0	0.002	0.816	3	0.0245	
11-RN-334	48	51	3.08	0	3.077	0	0	0	0	0	0	0	0.003	0.847	3.08	0.0261	
11-RN-334	51	54	2.5	0	2.095	0	0	0	0.4	0	0	0	0.005	1.309	2.5	0.0327	
11-RN-334	54	57	2.8	0	2.79	0	0	0	0	0	0	0	0.01	1.104	2.8	0.0309	
11-RN-334	57	60	3	0	2.97	0	0	0	0	0	0	0	0.03	1.743	3	0.0523	
11-RN-334	60	63	2.6	0	2	0	0	0	0.6	0	0	0	0	1.269	2.6	0.0330	
11-RN-334	63	66	2.705	0	2.7	0	0	0	0	0	0	0	0.005	0.933	2.705	0.0253	
11-RN-334	66	69	2.65	0	2.64	0	0	0	0	0	0	0	0.01	1.125	2.65	0.0298	
11-RN-334	69	72	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	2	0.0150	
11-RN-334	72	75	2.6	0	2	0	0	0	0.6	0	0	0	0	1.269	2.6	0.0330	
11-RN-334	75	78	2.25	0	1.35	0	0	0	0.9	0	0	0	0	1.650	2.25	0.0371	
11-RN-334	78	81	2.5	0	2.46	0	0	0	0.03	0	0	0	0.01	1.174	2.5	0.0294	
11-RN-334	81	84	2.983	0	1.891	0.17	0	0	0.916	0	0	0	0.006	1.698	2.983	0.0506	
11-RN-334	84	87	3.097	0	1.122	0.1	0	0	1.85	0	0	0	0.025	2.928	3.097	0.0907	
11-RN-334	87	90	2.91	0	2.71	0	0	0	0.098	0.1	0	0	0.002	1.384	2.91	0.0403	

11-RN-334	90	93	3.106	0	3.055	0	0	0	0.043	0	0	0	0.008	1.037	3.106	0.0322	
11-RN-334	93	96	2.851	0	2.611	0.179	0	0	0	0.058	0	0	0.003	1.207	2.851	0.0344	
11-RN-334	96	99	3.127	0	2.894	0.191	0	0	0	0	0.012	0	0.03	1.895	3.127	0.0592	
11-RN-334	99	102	2.944	0	2.358	0.276	0	0	0.306	0	0	0	0.004	1.212	2.944	0.0357	
11-RN-334	102	105	2.967	0	2.721	0.246	0	0	0	0	0	0	0	0.833	2.967	0.0247	
11-RN-334	105	108	3.024	0	2.532	0.492	0	0	0	0	0	0	0	0.913	3.024	0.0276	
11-RN-334	108	111	2.806	0.119	1.943	0.564	0	0	0.143	0.036	0	0	0.001	1.252	2.806	0.0351	
11-RN-334	111	114	2.998	0	2.846	0.149	0	0	0	0	0	0	0.003	0.899	2.998	0.0270	
11-RN-334	114	117	2.938	0	1.544	0.862	0	0	0	0.532	0	0	0	3.624	2.938	0.1065	
11-RN-334	117	120	2.914	0	1.996	0.914	0	0	0	0	0	0	0.004	1.200	2.914	0.0350	
11-RN-334	120	123	2.977	0	2.404	0.573	0	0	0	0	0	0	0	0.942	2.977	0.0281	
11-RN-334	123	126	2.851	0	1.897	0.488	0	0	0.358	0.108	0	0	0	1.744	2.851	0.0497	
11-RN-334	126	129	2.921	0.373	1.532	0.827	0.184	0	0	0	0	0	0.005	1.280	2.921	0.0374	
11-RN-334	129	132	2.968	0	1.382	1.193	0.193	0	0.196	0	0	0	0.004	1.613	2.968	0.0479	
11-RN-334	132	135	3.02	0	2.418	0.1	0.275	0	0.227	0	0	0	0	1.203	3.02	0.0363	
11-RN-334	135	138	2.808	0	1.763	0.48	0.463	0	0.102	0	0	0	0	1.456	2.808	0.0409	
11-RN-334	138	141	2.94	0	2.095	0	0.4	0	0.445	0	0	0	0	1.465	2.94	0.0431	
11-RN-334	141	144	2.958	0	0.553	1.146	0.89	0	0.369	0	0	0	0	2.246	2.958	0.0664	
11-RN-334	144	147	3.045	0	1.742	1.109	0	0	0.194	0	0	0	0	1.258	3.045	0.0383	
11-RN-334	147	150	3	0	1.518	1.481	0	0	0	0	0	0	0.001	1.277	3	0.0383	
11-RN-334	150	153	3.14	0	1.763	0.36	0.495	0	0.521	0	0	0	0.001	1.703	3.14	0.0535	
11-RN-334	153	156	2.95	0	0.715	1.63	0.605	0	0	0	0	0	0	1.867	2.95	0.0551	
11-RN-334	156	159	2.81	0	0.48	1.585	0.45	0.13	0.16	0	0	0	0.005	2.302	2.81	0.0647	
11-RN-334	159	162	2.9	0	2.885	0	0	0	0.015	0	0	0	0	0.762	2.9	0.0221	
11-RN-334	162	165	3.11	0	3.11	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	3.11	0.0233	
11-RN-334	165	168	3.118	0	0.863	2.041	0	0	0.124	0.087	0	0	0.003	1.987	3.118	0.0620	
11-RN-334	168	171	2.855	0	1.457	0.809	0.195	0	0.118	0.276	0	0	0	2.692	2.855	0.0769	
11-RN-334	171	174	2.967	0	2.082	0.095	0	0	0.781	0	0	0	0.009	1.675	2.967	0.0497	
11-RN-334	174	177	2.727	0	1.204	0.362	0	0	1.153	0	0	0	0.008	2.125	2.727	0.0580	
11-RN-334	177	180	2.742	0	0.896	0	0	0	1.846	0	0	0	0	2.265	2.742	0.0621	
11-RN-334	180	183	3.061	0	0.929	0.288	0.635	0	0.718	0.486	0	0	0.005	4.367	3.061	0.1337	
11-RN-334	183	186	3.2	0	2.462	0.737	0	0	0	0	0	0	0.001	1.011	3.2	0.0324	
11-RN-334	186	189	2.72	0.59	0.524	0.784	0	0	0.82	0	0	0	0.002	1.627	2.72	0.0443	The none interval is due to a dyke
11-RN-334	189	192	2.887	1.106	1.323	0	0.456	0	0	0	0	0	0.002	0.966	2.887	0.0279	The none interval is due to a dyke
11-RN-334	192	195	2.965	0	2.233	0.083	0.357	0.252	0	0.023	0	0	0.017	2.235	2.965	0.0663	
11-RN-334	195	198	2.907	0	1.114	1.682	0.086	0	0	0.021	0	0	0.004	1.649	2.907	0.0480	
11-RN-334	198	201	2.85	0	0	2.55	0.3	0	0	0	0	0	0	1.934	2.85	0.0551	
11-RN-334	201	204	2.85	0	2.8	0	0	0	0.045	0	0	0	0.005	0.960	2.85	0.0274	
11-RN-334	204	207	2.77	0	2.77	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	2.77	0.0208	
11-RN-334	207	210	3	0	2.67	0	0	0	0.33	0	0	0	0	0.998	3	0.0299	
11-RN-334	210	213	2.755	0	0	1.9	0.15	0	0.7	0	0	0	0.005	2.341	2.755	0.0645	
11-RN-334	213	216	3.01	0	0	1.7	0	0	0	1.3	0	0	0.01	7.799	3.01	0.2348	
11-RN-334	216	219	2.75	0	0.93	0.568	0.81	0.08	0.23	0.12	0	0	0.012	3.162	2.75	0.0870	
11-RN-334	219	222	2.94	0	0.05	2.435	0.19	0.26	0	0	0	0	0.005	2.389	2.94	0.0702	
11-RN-334	222	225	2.85	0	1.51	0.14	0.67	0.36	0.15	0	0	0	0.02	2.924	2.85	0.0833	
11-RN-334	225	228	2.81	0.1	0	2.296	0.32	0	0	0.09	0	0	0.004	2.451	2.81	0.0689	
11-RN-334	228	231	3	0	1.43	1.03	0.41	0	0.12	0	0	0	0.01	1.890	3	0.0567	
11-RN-334	231	234	2.8	0.09	0	2.216	0.28	0	0.2	0	0	0	0.014	2.449	2.8	0.0686	
11-RN-334	234	237	3.071	0	1.723	1.072	0	0	0.271	0	0	0	0.005	1.459	3.071	0.0448	
11-RN-334	237	240	2.987	0	2.963	0	0	0	0	0.024	0	0	0	0.864	2.987	0.0258	
11-RN-334	240	243	2.862	0	1.728	1.076	0	0	0.023	0.021	0	0	0.014	1.734	2.862	0.0496	
11-RN-334	243	246	2.871	1.413	1.454	0	0	0	0	0	0	0	0.004	0.519	2.871	0.0149	
11-RN-334	246	249	3.162	0	2.474	0.596	0	0	0	0.091	0	0	0.001	1.380	3.162	0.0436	
11-RN-334	249	252	2.805	0	0.544	0.725	0.141	0	1.193	0	0.194	0	0.008	4.756	2.805	0.1334	
11-RN-334	252	255	2.82	0	0.434	0.507	0.737	0	0.499	0.615	0	0	0.028	6.140	2.82	0.1731	
11-RN-334	255	258	2.988	0	2.048	0.296	0.199	0	0.107	0.316	0	0	0.022	3.351	2.988	0.1001	
11-RN-334	258	261	2.663	0	1.297	0.285	0.429	0	0.433	0.195	0	0	0.024	3.604	2.663	0.0960	
11-RN-334	261	264	2.866	0	1.543	1.261	0.036	0	0.018	0	0	0	0.008	1.516	2.866	0.0434	
11-RN-334	264	267	2.867	0	0.163	0.642	0	0	1.071	0.987	0	0	0.004	6.859	2.867	0.1966	
11-RN-334	267	270	2.7	0	0.9	0.2	0	0	0	1.6	0	0	0	9.269	2.7	0.2503	
11-RN-334	270	273	2.6	0	0.76	1	0.21	0	0.33	0.298	0	0	0.002	3.352	2.6	0.0872	
11-RN-334	273	276	2.82	0	2.15	0.615	0	0	0.04	0	0	0	0.015	1.528	2.82	0.0431	
11-RN-334	276	279	2.95	0	1.36	1.04	0	0	0	0.51	0	0	0.04	4.912	2.95	0.1449	
11-RN-334	279	282	3	0	1.15	0.95	0	0	0.88	0	0	0	0.02	2.388	3	0.0717	
11-RN-334	282	285	2.85	0	1.385	0	0	0	0	1.465	0	0	0	8.075	2.85	0.2301	

11-RN-334	285	288	2.95	0	1.24	0.44	0.47	0	0.8	0	0	0	0	1.947	2.95	0.0575	
11-RN-334	288	291	3	0	1.42	0	0	0	0	1.58	0	0	0	8.255	3	0.2477	
11-RN-334	291	294	3.07	1.09	0.95	0.88	0	0	0.15	0	0	0	0	0.880	3.07	0.0270	
11-RN-334	294	297	3.2	0	0.78	0.5	1.2	0	0.53	0.06	0.12	0	0.01	4.172	3.2	0.1335	
11-RN-334	297	300	3.07	0	0.73	0.39	0.25	0	0.7	1	0	0	0	6.256	3.07	0.1921	
11-RN-334	300	303	3	0	2.707	0	0.275	0	0	0	0	0	0.018	1.598	3	0.0479	
11-RN-334	303	306	2.89	0	1.77	0.64	0.23	0.07	0.18	0	0	0	0	1.458	2.89	0.0421	
11-RN-334	306	309	3	0.71	1.545	0.531	0.053	0	0	0.151	0	0	0.01	1.846	3	0.0554	
11-RN-334	309	312	3.18	0	0	0.675	0.68	0	0.743	0.309	0.731	0.04	0.002	12.079	3.18	0.3841	
11-RN-334	312	315	3.036	0	0	0	0.372	1.117	0.176	0	1.363	0	0.008	18.787	3.036	0.5704	
11-RN-334	315	318	3.004	0	1.187	0.712	0.19	0.3	0.455	0.16	0	0	0	2.785	3.004	0.0837	
11-RN-334	318	321	2.821	0	1.794	0.396	0.306	0.166	0.102	0.048	0	0	0.009	2.138	2.821	0.0603	
11-RN-334	321	324	2.942	0	1.266	0.748	0.541	0	0.102	0.283	0	0	0.002	3.026	2.942	0.0890	
11-RN-334	324	327	2.889	0	1.41	0.892	0	0	0.206	0.378	0	0	0.003	3.187	2.889	0.0921	
11-RN-334	327	330	3.031	0	2.441	0	0	0	0.209	0.381	0	0	0	2.696	3.031	0.0817	
11-RN-334	330	333	3.113	0	1.665	0.316	0	0	0.456	0.676	0	0	0	4.276	3.113	0.1331	
11-RN-334	333	336	3.222	0	1.716	0.591	0	0	0.746	0.161	0	0	0.008	2.413	3.222	0.0777	
11-RN-334	336	339	2.998	0	2.076	0.374	0.376	0	0.092	0.079	0	0	0.001	1.697	2.998	0.0509	
11-RN-334	339	342	2.968	0	1.047	1.331	0.134	0	0.124	0.143	0.189	0	0	4.284	2.968	0.1272	
11-RN-334	342	345	2.965	0	2.162	0.263	0.203	0	0.334	0	0	0	0.003	1.381	2.965	0.0409	
11-RN-334	345	348	2.898	0	2.478	0.076	0	0	0.344	0	0	0	0	1.043	2.898	0.0302	
11-RN-334	348	350	2.29	0	1.982	0	0	0	0.049	0	0.259	0	0	4.672	2.29	0.1070	
11-RN-342	57	60	3.3	0.41	2.89	0	0	0	0	0	0	0	0	0.657	3.3	0.0217	
11-RN-342	60	63	3.04	0	3.04	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	3.04	0.0228	
11-RN-342	63	66	3.17	0	2.35	0.48	0	0	0.34	0	0	0	0	1.143	3.17	0.0362	
11-RN-342	66	69	3.07	0	0.32	0.44	0.64	0	1.67	0	0	0	0	2.691	3.07	0.0826	
11-RN-342	69	72	2.94	0	2.34	0.6	0	0	0	0	0	0	0	0.954	2.94	0.0281	
11-RN-342	72	75	2.96	0	0.26	0.59	1.44	0	0.67	0	0	0	0	2.796	2.96	0.0828	
11-RN-342	75	78	2.91	0	1.71	0.56	0.64	0	0	0	0	0	0	1.547	2.91	0.0450	
11-RN-342	78	81	3	0	2.53	0.07	0.4	0	0	0	0	0	0	1.140	3	0.0342	
11-RN-342	81	84	2.98	0	2.05	0.78	0.07	0	0.08	0	0	0	0	1.137	2.98	0.0339	
11-RN-342	84	87	3	0	1.79	1.21	0	0	0	0	0	0	0	1.153	3	0.0346	
11-RN-342	87	90	2.97	0	1.1	1.11	0.42	0	0.18	0.16	0	0	0	2.417	2.97	0.0718	
11-RN-342	90	93	2.95	0	1.16	1.26	0	0	0.3	0.23	0	0	0	2.517	2.95	0.0743	
11-RN-342	93	96	3.04	0	0.89	1.56	0.12	0	0.47	0	0	0	0	1.720	3.04	0.0523	
11-RN-342	96	99	2.91	0	2.49	0.42	0	0	0	0	0	0	0	0.894	2.91	0.0260	
11-RN-342	99	102	3.07	0	2.08	0.47	0.28	0	0.24	0	0	0	0	1.330	3.07	0.0408	
11-RN-342	102	105	3.08	0	2.95	0.13	0	0	0	0	0	0	0	0.792	3.08	0.0244	
11-RN-342	105	108	3.05	0	1.53	0.6	0.38	0	0.19	0.23	0.12	0	0	3.852	3.05	0.1175	
11-RN-342	108	111	2.97	0	1.77	0.17	0.17	0	0.71	0.15	0	0	0	2.222	2.97	0.0660	
11-RN-342	111	114	3.07	0	1.72	1.06	0	0	0	0.29	0	0	0	2.441	3.07	0.0750	
11-RN-342	114	117	2.91	0	1.61	0.47	0.33	0	0.32	0	0.18	0	0	3.589	2.91	0.1045	
11-RN-342	117	120	2.96	0	1.1	0	1.12	0	0	0.57	0.17	0	0	6.502	2.96	0.1925	
11-RN-342	120	123	2.765	0	1.44	1.325	0	0	0	0	0	0	0	1.229	2.765	0.0340	
11-RN-342	123	126	3.015	0	0.35	0.81	0.775	0	1.08	0	0	0	0	2.532	3.015	0.0763	
11-RN-342	126	129	2.925	1.565	0.75	0.34	0.14	0	0	0.085	0	0.045	0	1.845	2.925	0.0540	
11-RN-342	129	132	2.935	0	1.875	0.95	0.11	0	0	0	0	0	0	1.177	2.935	0.0345	
11-RN-342	132	135	3.255	0	1.02	1.86	0.075	0	0.3	0	0	0	0	1.592	3.255	0.0518	
11-RN-342	135	138	2.835	0	1.13	0.7	0.705	0	0.3	0	0	0	0	1.919	2.835	0.0544	
11-RN-342	138	141	2.895	0	2.215	0.54	0.14	0	0	0	0	0	0	1.070	2.895	0.0310	
11-RN-342	141	144	2.475	0	1.57	0.15	0.23	0.09	0.435	0	0	0	0	1.653	2.475	0.0409	
11-RN-342	144	147	3.055	0	0.95	0.85	1.025	0	0.19	0	0	0.04	0	2.801	3.055	0.0856	
11-RN-342	147	150	2.915	0	2.58	0	0.24	0.095	0	0	0	0	0	1.148	2.915	0.0335	
11-RN-342	150	153	2.875	0	2.07	0.195	0	0.255	0.355	0	0	0	0	1.561	2.875	0.0449	
11-RN-342	153	156	2.865	1.285	0.93	0.4	0.215	0	0	0.035	0	0	0	0.934	2.865	0.0268	
11-RN-342	156	159	3.005	0	2.77	0	0.185	0.05	0	0	0	0	0	1.007	3.005	0.0303	
11-RN-342	159	162	2.814	0	2.22	0.262	0.097	0.235	0	0	0	0	0	1.376	2.814	0.0387	
11-RN-342	162	165	2.985	0	2.12	0.26	0.45	0	0.155	0	0	0	0	1.369	2.985	0.0409	
11-RN-342	165	168	3.195	0	0.475	1.285	1.145	0.29	0	0	0	0	0	2.614	3.195	0.0835	
11-RN-342	168	171	3.07	0	1.025	0.785	0.615	0.135	0.51	0	0	0	0	2.161	3.07	0.0664	
11-RN-342	171	174	3	0	0.264	0.568	0.395	0	1.773	0	0	0	0	2.631	3	0.0789	
11-RN-342	174	177	3.2	0.255	1.858	0.47	0.387	0	0	0.23	0	0	0	2.194	3.2	0.0702	
11-RN-342	177	180	3.063	0.644	1.057	0.329	0.75	0	0.283	0	0	0	0	1.581	3.063	0.0484	
11-RN-342	180	183	3.076	1.214	1.32	0.408	0	0	0.128	0	0	0	0.006	0.874	3.076	0.0269	
11-RN-342	183	186	2.831	0	1.373	0.507	0.555	0	0.255	0.137	0	0	0.004	2.501	2.831	0.0708	

11-RN-342	186	189	3.33	0.457	0.633	0.87	1.37	0	0	0	0	0	0	2.040	3.33	0.0679	
11-RN-342	189	192	2.973	0.154	0.608	0.86	1.351	0	0	0	0	0	0	2.250	2.973	0.0669	
11-RN-342	192	195	3.215	0.562	1.036	0.725	0.107	0	0.785	0	0	0	0	1.485	3.215	0.0478	
11-RN-342	195	198	3.117	0.53	1.214	0.83	0.543	0	0	0	0	0	0	1.368	3.117	0.0426	
11-RN-342	198	201	3.09	0	0.452	1.151	0.707	0	0.78	0	0	0	0	2.320	3.09	0.0717	
11-RN-342	201	204	3.175	0	0.658	0.896	0.527	0	1.094	0	0	0	0	2.264	3.175	0.0719	
11-RN-342	204	207	2.985	0	0.934	0.86	0.598	0	0.577	0	0	0	0.016	2.556	2.985	0.0763	
11-RN-342	207	210	3.04	1.643	0.955	0.15	0.228	0	0.054	0	0	0	0.01	0.967	3.04	0.0294	
11-RN-342	210	213	3.152	1.474	0.61	0.583	0.18	0	0.305	0	0	0	0	0.959	3.152	0.0302	
11-RN-342	213	216	3.014	1.941	0.725	0.171	0	0.176	0	0	0	0	0.001	0.663	3.014	0.0200	
11-RN-342	216	219	2.955	0.202	1.069	1.198	0.486	0	0	0	0	0	0	1.556	2.955	0.0460	
11-RN-342	219	222	3.123	0.745	2.314	0	0	0	0.064	0	0	0	0	0.617	3.123	0.0193	
11-RN-342	222	225	2.8	0	0.443	1.098	0.745	0.514	0	0	0	0	0	2.838	2.8	0.0795	
11-RN-342	225	228	3.044	0	0.652	0.422	1.563	0.407	0	0	0	0	0	3.003	3.044	0.0914	
11-RN-342	228	231	3.02	0	0.278	1.892	0.55	0	0.3	0	0	0	0	2.101	3.02	0.0634	
11-RN-342	231	234	3.351	0	0.697	0.692	1.208	0	0.75	0	0	0	0.004	2.570	3.351	0.0861	
11-RN-342	234	237	2.965	0	1.573	1.267	0.117	0	0	0	0	0	0.008	1.554	2.965	0.0461	
11-RN-342	237	240	3	0	0	0.856	2.144	0	0	0	0	0	0	3.001	3	0.0900	
11-RN-342	240	243	3.01	0	0	1.021	1.986	0	0	0	0	0	0.003	3.003	3.01	0.0904	
11-RN-342	243	246	2.906	0	0.869	1.575	0.21	0	0	0.242	0	0	0.01	3.019	2.906	0.0877	
11-RN-342	246	249	2.937	0	0.16	1.25	0.695	0.126	0.476	0.045	0.17	0	0.015	5.124	2.937	0.1505	
11-RN-342	249	252	3.212	0	0.096	0.457	0.139	0	0.12	0	2.4	0	0	26.687	3.212	0.8572	
11-RN-342	252	255	2.821	0	0.657	1.261	0.492	0	0	0.288	0.118	0	0.005	4.740	2.821	0.1337	
11-RN-342	255	258	2.779	0	0.843	0.653	0.884	0.092	0.099	0	0.183	0	0.025	5.262	2.779	0.1462	
11-RN-342	258	261	1.888	0	0.071	0.166	0.146	0	0.292	0.798	0.363	0.052	0	15.501	1.888	0.2927	
11-RN-342	261	264	3.553	0	0.703	1.676	0.351	0	0.434	0.378	0	0	0.011	3.592	3.553	0.1276	
11-RN-342	264	267	2.904	0	0	0.683	1.347	0	0.652	0.214	0	0	0.008	4.089	2.904	0.1188	
11-RN-342	267	270	2.812	0.351	0.497	1.131	0.511	0	0.118	0.204	0	0	0	2.687	2.812	0.0755	
11-RN-342	270	273	3.042	0.317	1.134	0.872	0.575	0	0.063	0.058	0.013	0	0.01	2.269	3.042	0.0690	
11-RN-342	273	276	3.012	0	1.774	0.097	0.583	0.081	0.158	0.302	0	0	0.017	3.563	3.012	0.1073	
11-RN-342	276	279	2.749	0	1.683	0.567	0.381	0	0.118	0	0	0	0	1.434	2.749	0.0394	
11-RN-342	279	282	3.057	0.352	2.032	0.406	0.066	0	0	0.186	0	0	0.015	2.210	3.057	0.0676	
11-RN-342	282	285	3.112	2.346	0.662	0.104	0	0	0	0	0	0	0	0.218	3.112	0.0068	
11-RN-342	285	288	2.958	2.04	0.77	0.13	0	0	0	0	0	0	0.018	0.881	2.958	0.0261	
11-RN-342	288	291	3.05	0	1.2	0.19	0	0	1.66	0	0	0	0	2.037	3.05	0.0621	
11-RN-342	291	294	2.9	0	1.81	0.97	0.103	0	0	0	0	0	0.017	1.764	2.9	0.0512	
11-RN-342	294	297	3.18	1.3	1.13	0.09	0	0.66	0	0	0	0	0	1.561	3.18	0.0497	
11-RN-342	297	300	3.07	0	1.41	0.65	0.19	0	0	0.82	0	0	0	4.938	3.07	0.1516	
11-RN-342	300	303	3.17	0	1.183	1.98	0	0	0	0	0	0	0.007	1.594	3.17	0.0505	
11-RN-342	303	306	3.018	0	0.91	0.82	1.27	0	0	0	0	0	0.018	2.771	3.018	0.0836	
11-RN-342	306	309	3.296	0	1.58	0.36	0.27	0	1.07	0	0	0	0.016	2.297	3.296	0.0757	
11-RN-342	309	312	3.12	0	0.34	0.2	0.14	0	0.25	2.19	0	0	0	11.120	3.12	0.3470	
11-RN-342	312	315	3.18	0	2.36	0.07	0.17	0	0	0.58	0	0	0	3.518	3.18	0.1119	
11-RN-342	315	318	3.25	0.28	2.41	0.56	0	0	0	0	0	0	0	0.858	3.25	0.0279	
11-RN-342	318	321	3.21	0	1.49	0.79	0	0	0.93	0	0	0	0	1.648	3.21	0.0529	
11-RN-342	321	324	2.97	0.35	1.872	0.268	0.48	0	0	0	0	0	0	1.196	2.97	0.0355	
11-RN-342	324	327	3.19	0	1.654	0.346	0.528	0.287	0.375	0	0	0	0	2.050	3.19	0.0654	
11-RN-342	327	330	3.1	0.176	0.308	0.61	2.001	0	0	0	0	0	0.005	2.839	3.1	0.0880	
11-RN-342	330	333	3.093	0.43	1.318	0.25	0.595	0	0.5	0	0	0	0	1.619	3.093	0.0501	
11-RN-342	333	336	3.057	0	0.883	0.6	1.574	0	0	0	0	0	0	2.362	3.057	0.0722	
11-RN-342	336	339	2.85	0	1.34	0.56	0	0	0.945	0	0	0	0.005	1.867	2.85	0.0532	
11-RN-342	339	342	3	0	1.685	0.28	0.11	0	0.07	0.85	0	0	0.005	5.200	3	0.1560	
11-RN-342	342	345	2.96	0	2.513	0.44	0	0	0	0	0	0	0.007	1.133	2.96	0.0335	
11-RN-342	345	348	3.06	0.76	2.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0.564	3.06	0.0173	
11-RN-342	348	351	3.09	0	2.305	0.78	0	0	0	0	0	0	0.005	1.163	3.09	0.0359	
11-RN-342	351	354	2.96	0	2.055	0.785	0.12	0	0	0	0	0	0	1.127	2.96	0.0334	
11-RN-342	354	357	2.89	0	2.493	0.115	0.22	0	0.06	0	0	0	0.002	1.115	2.89	0.0322	
11-RN-342	357	360	2.94	0	2.42	0	0.24	0	0	0.28	0	0	0	2.332	2.94	0.0686	
11-RN-342	360	363	3	0.25	2.206	0.54	0	0	0	0	0	0	0.004	1.000	3	0.0300	
11-RN-342	363	366	2.96	0.2	2.04	0.145	0.37	0	0.202	0	0	0	0.003	1.346	2.96	0.0398	
11-RN-342	366	369	3	0	2.55	0.18	0.27	0	0	0	0	0	0	1.058	3	0.0317	
11-RN-342	369	372	3.01	0.45	2.154	0.405	0	0	0	0	0	0	0.001	0.805	3.01	0.0242	
11-RN-342	372	375	3.19	0.89	2.155	0.145	0	0	0	0	0	0	0	0.586	3.19	0.0187	
11-RN-342	375	378	2.75	0.4	1.781	0.115	0.16	0	0.28	0	0	0	0.014	1.577	2.75	0.0434	
11-RN-342	378	381	2.8	0	0.69	0.4	0.3	0	1.408	0	0	0	0.002	2.390	2.8	0.0669	

11-RN-342	381	384	2.6	0.36	1.89	0.05	0	0	0.3	0	0	0	0	0.925	2.6	0.0241	
11-RN-342	384	387	2.88	1.76	0.84	0.2	0	0.08	0	0	0	0	0	0.507	2.88	0.0146	
11-RN-342	387	390	2.94	2.16	0.71	0.07	0	0	0	0	0	0	0	0.223	2.94	0.0066	
11-RN-342	390	393	3.04	0.75	1.61	0.51	0.05	0.12	0	0	0	0	0	0.985	3.04	0.0300	
11-RN-342	393	396	2.96	0	2.23	0.68	0.05	0	0	0	0	0	0	1.026	2.96	0.0304	
11-RN-342	396	399	2.81	0.53	1.18	1.1	0	0	0	0	0	0	0	1.000	2.81	0.0281	
11-RN-342	399	402	3.066	0.56	1.16	1.34	0	0	0	0	0	0	0.006	1.244	3.066	0.0382	
11-RN-342	402	405	3.13	0	1.55	1.21	0.37	0	0	0	0	0	0	1.462	3.13	0.0458	
11-RN-342	405	408	2.89	0.33	2.06	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0.837	2.89	0.0242	
11-RN-342	408	411	3	0	1.09	0	0	0	1.91	0	0	0	0	2.183	3	0.0655	
11-RN-342	411	414	3.08	0	2.72	0.36	0	0	0	0	0	0	0	0.867	3.08	0.0267	
11-RN-372	1.16	3	1.795	0	1.072	0.342	0.115	0	0.262	0	0	0	0.004	1.666	1.795	0.0299	
11-RN-372	3	6	2.892	0	1.136	0.121	1.473	0.159	0	0	0	0	0.003	2.584	2.892	0.0747	
11-RN-372	6	9	3.142	0	1.675	1.064	0.311	0	0.092	0	0	0	0	1.427	3.142	0.0448	
11-RN-372	9	12	3.163	0	2.323	0.625	0.171	0	0.044	0	0	0	0	1.128	3.163	0.0357	
11-RN-372	12	15	3.076	0	2.269	0.584	0.223	0	0	0	0	0	0	1.139	3.076	0.0350	
11-RN-372	18	21	3.102	0	0.164	1.168	1.264	0.162	0.342	0	0	0	0.002	2.833	3.102	0.0879	
11-RN-372	21	24	2.986	0	0.798	0.943	0.486	0	0.478	0.278	0	0	0.003	3.300	2.986	0.0985	
11-RN-372	24	27	3.008	0	2.526	0.199	0.283	0	0	0	0	0	0	1.075	3.008	0.0323	
11-RN-372	27	30	2.954	0	2.528	0.207	0.161	0	0.052	0	0	0	0.006	1.211	2.954	0.0358	
11-RN-372	30	33	3.027	0	1.716	0.785	0.523	0	0	0	0	0	0.003	1.583	3.027	0.0479	
11-RN-372	33	36	3.193	1.699	1.301	0.189	0	0	0	0	0	0	0.004	0.534	3.193	0.0171	
11-RN-372	36	39	2.892	0	1.308	0.731	0.759	0	0.068	0.026	0	0	0	1.906	2.892	0.0551	
11-RN-372	39	42	3.227	0	1.041	0.923	0.447	0	0.75	0.061	0	0	0.005	2.363	3.227	0.0763	
11-RN-372	42	45	2.982	0	1.291	0.883	0.703	0	0.102	0	0	0	0.003	1.871	2.982	0.0558	
11-RN-372	45	48	2.98	0	2.45	0.528	0	0	0	0	0	0	0.002	0.994	2.98	0.0296	
11-RN-372	48	51	2.838	0	2.1	0.337	0.401	0	0	0	0	0	0	1.257	2.838	0.0357	
11-RN-372	51	54	2.98	0	1.028	1.088	0.718	0	0.123	0	0.023	0	0	2.135	2.98	0.0636	
11-RN-372	54	57	3.003	0	2.074	0.499	0.378	0.037	0	0	0	0	0.015	1.823	3.003	0.0547	
11-RN-372	57	60	2.819	0	1.603	0.711	0.238	0.254	0	0	0	0	0.013	2.165	2.819	0.0610	
11-RN-372	60	63	2.945	0	1.43	0.311	0.681	0.449	0.067	0	0	0	0.007	2.579	2.945	0.0760	
11-RN-372	63	66	3.261	0	1.947	1.182	0.062	0	0	0.052	0	0	0.018	1.940	3.261	0.0633	
11-RN-372	66	69	3.049	0	1.095	1.437	0.465	0	0	0	0	0	0.052	3.333	3.049	0.1016	
11-RN-372	69	72	3.004	0	0.735	1.428	0.841	0	0	0	0	0	0	1.995	3.004	0.0599	
11-RN-372	72	75	2.887	0	0.452	1.672	0	0	0.593	0.167	0	0	0.003	2.719	2.887	0.0785	
11-RN-372	75	78	2.897	0	1.019	0.792	0.172	0	0.823	0.088	0	0	0.003	2.361	2.897	0.0684	
11-RN-372	78	81	2.883	0	1.071	0.819	0.769	0	0.142	0.058	0.024	0	0	2.450	2.883	0.0706	
11-RN-372	81	84	3.052	0	1.264	1.186	0.602	0	0	0	0	0	0	1.681	3.052	0.0513	
11-RN-372	84	87	2.927	0	1.281	1.132	0.514	0	0	0	0	0	0	1.620	2.927	0.0474	
11-RN-372	87	90	2.809	0	0.723	1.343	0.216	0	0.519	0	0	0	0.008	2.138	2.809	0.0601	
11-RN-372	90	93	3.034	0	1.456	1.431	0.122	0	0	0	0.019	0	0.006	1.743	3.034	0.0529	
11-RN-372	93	96	3.063	0	1.279	1.333	0.451	0	0	0	0	0	0	1.590	3.063	0.0487	
11-RN-372	96	99	2.998	0	1.569	0.474	0.714	0	0.241	0	0	0	0	1.744	2.998	0.0523	
11-RN-372	99	102	3.019	0	1.043	0.417	1.3	0	0.133	0.124	0	0	0.002	2.822	3.019	0.0852	
11-RN-372	102	105	3	0	2.501	0.394	0.1	0	0	0	0	0	0.005	1.138	3	0.0342	
11-RN-372	105	108	2.983	0	2.622	0.139	0	0.222	0	0	0	0	0	1.187	2.983	0.0354	
11-RN-372	108	111	2.942	0	2.729	0.111	0	0.102	0	0	0	0	0	0.970	2.942	0.0285	
11-RN-372	111	114	3.033	0	2.1	0.164	0.568	0.201	0	0	0	0	0	1.667	3.033	0.0506	
11-RN-372	114	117	2.924	0	2.205	0.45	0.194	0	0.075	0	0	0	0	1.144	2.924	0.0335	
11-RN-372	117	120	3.047	0	2.285	0.555	0.205	0	0	0	0	0	0.002	1.182	3.047	0.0360	
11-RN-372	120	123	2.875	0	1.701	0.9	0.085	0	0.185	0	0	0	0.004	1.427	2.875	0.0410	
11-RN-372	123	126	3.017	0	2.085	0.801	0.091	0.04	0	0	0	0	0	1.168	3.017	0.0352	
11-RN-372	126	129	2.858	0	2.338	0.375	0.08	0	0.065	0	0	0	0	1.009	2.858	0.0288	
11-RN-372	129	132	3.027	0	2.583	0.368	0.075	0	0	0	0	0	0.001	0.972	3.027	0.0294	
11-RN-372	132	135	3.106	0	1.656	0.871	0.575	0	0	0	0	0	0.004	1.667	3.106	0.0518	
11-RN-372	135	138	2.817	0	1.796	1.021	0	0	0	0	0	0	0	1.112	2.817	0.0313	
11-RN-372	138	141	3.013	2.15	0.763	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0.248	3.013	0.0075	
11-RN-372	141	144	2.895	1.887	0.91	0.098	0	0	0	0	0	0	0	0.295	2.895	0.0085	
11-RN-372	144	147	2.96	1.091	1.155	0.635	0.079	0	0	0	0	0	0	0.761	2.96	0.0225	
11-RN-372	147	150	2.976	1.256	1.57	0.15	0	0	0	0	0	0	0	0.484	2.976	0.0144	
11-RN-372	150	153	3.029	1.745	0.881	0.403	0	0	0	0	0	0	0	0.451	3.029	0.0137	
11-RN-372	153	156	2.877	1.499	0.82	0.558	0	0	0	0	0	0	0	0.553	2.877	0.0159	
11-RN-372	156	159	2.9	0.487	2.413	0	0	0	0	0	0	0	0	0.624	2.9	0.0181	
11-RN-372	159	162	3.25	0.29	2.638	0.322	0	0	0	0	0	0	0	0.782	3.25	0.0254	
11-RN-372	162	165	2.885	0.134	1.367	1.384	0	0	0	0	0	0	0	1.195	2.885	0.0345	

11-RN-372	165	168	3.015	0.36	1.774	0.881	0	0	0	0	0	0	0	0.953	3.015	0.0287	
11-RN-372	168	171	3.085	0.298	2.217	0.57	0	0	0	0	0	0	0	0.862	3.085	0.0266	
11-RN-372	171	174	2.934	0	2.934	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	2.934	0.0220	
11-RN-372	174	177	2.97	1.18	1.79	0	0	0	0	0	0	0	0	0.452	2.97	0.0134	
11-RN-372	177	180	2.977	1.373	1.089	0.515	0	0	0	0	0	0	0	0.577	2.977	0.0172	
11-RN-372	180	183	2.96	0.299	1.289	1.27	0	0	0.102	0	0	0	0	1.181	2.96	0.0350	
11-RN-372	183	186	3.151	0.34	2.079	0.456	0.22	0	0	0.056	0	0	0	1.259	3.151	0.0397	
11-RN-372	186	189	2.883	0	2.646	0	0	0	0.237	0	0	0	0	0.935	2.883	0.0270	
11-RN-372	189	192	3.04	0	2.934	0.106	0	0	0	0	0	0	0	0.785	3.04	0.0239	
11-RN-372	192	195	3.097	0.18	2.853	0.064	0	0	0	0	0	0	0	0.727	3.097	0.0225	
11-RN-372	195	198	2.971	0	1.898	1.073	0	0	0	0	0	0	0	1.111	2.971	0.0330	
11-RN-372	198	201	2.92	0.856	1.744	0.32	0	0	0	0	0	0	0	0.640	2.92	0.0187	
11-RN-372	201	204	3.064	0.482	2.001	0.581	0	0	0	0	0	0	0	0.822	3.064	0.0252	
11-RN-372	204	207	2.945	0.884	2.061	0	0	0	0	0	0	0	0	0.525	2.945	0.0155	
11-RN-372	207	210	2.92	0	2.68	0.24	0	0	0	0	0	0	0	0.832	2.92	0.0243	
11-RN-372	210	213	2.99	0	2.99	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	2.99	0.0224	
11-RN-372	213	216	2.84	0	2.59	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0.838	2.84	0.0238	
11-RN-372	216	219	2.854	0.152	2.361	0.341	0	0	0	0	0	0	0	0.830	2.854	0.0237	
11-RN-372	219	222	2.949	0	2.949	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	2.949	0.0221	
11-RN-372	222	225	2.918	0	2.918	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	2.918	0.0219	
11-RN-372	225	228	3.185	0.147	3.038	0	0	0	0	0	0	0	0	0.715	3.185	0.0228	
11-RN-372	228	231	3.2	0	3.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	3.2	0.0240	
11-RN-372	231	234	3.095	1.334	1.761	0	0	0	0	0	0	0	0	0.427	3.095	0.0132	
11-RN-372	234	237	3.085	0.523	2.562	0	0	0	0	0	0	0	0	0.623	3.085	0.0192	
11-RN-372	237	240	3.315	0.548	2.767	0	0	0	0	0	0	0	0	0.626	3.315	0.0208	
11-RN-372	240	243	3.006	0.195	2.811	0	0	0	0	0	0	0	0	0.701	3.006	0.0211	
11-RN-372	243	246	3.027	0.383	2.644	0	0	0	0	0	0	0	0	0.655	3.027	0.0198	
11-RN-372	246	249	2.987	0.557	2.43	0	0	0	0	0	0	0	0	0.610	2.987	0.0182	
11-RN-372	249	252	2.912	0	2.912	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	2.912	0.0218	
11-RN-372	252	255	2.93	0.665	2.265	0	0	0	0	0	0	0	0	0.580	2.93	0.0170	
11-RN-372	255	258	2.945	0.147	2.798	0	0	0	0	0	0	0	0	0.713	2.945	0.0210	
11-RN-372	258	261	2.8	1.12	1.68	0	0	0	0	0	0	0	0	0.450	2.8	0.0126	
11-RN-372	261	264	3.12	0.7	2.42	0	0	0	0	0	0	0	0	0.582	3.12	0.0182	
11-RN-372	264	267	2.85	1.865	0.985	0	0	0	0	0	0	0	0	0.259	2.85	0.0074	
11-RN-372	267	270	3.04	0.99	2.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0.506	3.04	0.0154	
11-RN-384	36	39	2.96	0	2.17	0.79	0	0	0	0	0	0	0	1.017	2.96	0.0301	
11-RN-384	39	42	2.974	0	0.45	2.064	0.46	0	0	0	0	0	0	1.869	2.974	0.0556	
11-RN-384	42	45	3.212	0.248	2.669	0.235	0.06	0	0	0	0	0	0	0.817	3.212	0.0262	
11-RN-384	45	48	3.082	0.188	2.654	0.237	0	0	0	0	0	0	0.003	0.878	3.082	0.0271	
11-RN-384	48	51	2.874	0.658	1.233	0.526	0.457	0	0	0	0	0	0	1.199	2.874	0.0344	
11-RN-384	51	54	3.055	0.555	2.305	0	0	0	0	0	0.192	0	0.003	2.864	3.055	0.0875	
11-RN-384	54	57	3.045	0.618	1.502	0.621	0	0	0	0.082	0.222	0	0	3.683	3.045	0.1121	
11-RN-384	57	60	2.935	0	2.65	0.285	0	0	0	0	0	0	0	0.847	2.935	0.0249	
11-RN-384	60	63	2.92	0	2.82	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0.827	2.92	0.0242	
11-RN-384	63	66	2.97	0	2.2	0.77	0	0	0	0	0	0	0	1.009	2.97	0.0300	
11-RN-384	66	69	3.17	0.535	1.308	0.593	0.525	0	0.104	0.105	0	0	0	1.812	3.17	0.0574	
11-RN-384	69	72	2.8	0.216	1.809	0.707	0	0	0	0	0.065	0	0.003	1.846	2.8	0.0517	
11-RN-384	72	75	3.144	0	1.622	1.012	0.32	0	0	0.19	0	0	0	2.213	3.144	0.0696	
11-RN-384	75	78	2.786	0.345	1.388	0.941	0.072	0	0	0	0	0	0.04	2.491	2.786	0.0694	
11-RN-384	78	81	3.15	0	2.532	0.27	0.243	0	0	0	0.105	0	0	2.190	3.15	0.0690	
11-RN-384	81	84	2.919	0	1.851	0.841	0	0.152	0.075	0	0	0	0	1.369	2.919	0.0400	
11-RN-384	84	87	2.94	0	1.714	1.012	0.214	0	0	0	0	0	0	1.294	2.94	0.0381	
11-RN-384	87	90	3.032	0.335	1.794	0.648	0	0	0.255	0	0	0	0	1.070	3.032	0.0324	
11-RN-384	90	93	3.008	0	1.053	1.69	0	0	0.265	0	0	0	0	1.510	3.008	0.0454	
11-RN-384	93	96	2.854	0	1.056	0.418	0.288	0	0.863	0.166	0	0.063	0	3.881	2.854	0.1108	
11-RN-384	96	99	2.562	0	0.717	0.756	0.199	0	0.89	0	0	0	0	2.040	2.562	0.0523	
11-RN-384	99	102	2.607	0	0.632	0.781	0.233	0	0.924	0.037	0	0	0	2.295	2.607	0.0598	
11-RN-384	102	105	2.8	0	1.508	0	0.221	0	0.544	0.521	0	0	0.006	4.268	2.8	0.1195	
11-RN-384	105	108	3.033	0	1.423	0.751	0.476	0	0.383	0	0	0	0	1.713	3.033	0.0520	
11-RN-384	108	111	2.733	0	0.078	0.902	0.702	0	1.048	0	0	0	0.003	2.758	2.733	0.0754	
11-RN-384	111	114	2.752	0	0.964	1.458	0.149	0	0.179	0	0	0	0.002	1.647	2.752	0.0453	
11-RN-384	114	117	2.777	0	1.263	0.801	0.625	0	0.088	0	0	0	0	1.729	2.777	0.0480	
11-RN-384	117	120	2.929	0	1.473	1.073	0.191	0	0.19	0	0	0	0.002	1.509	2.929	0.0442	
11-RN-384	120	123	2.817	0	1.768	0.823	0	0	0.226	0	0	0	0	1.223	2.817	0.0344	
11-RN-384	123	126	3.029	0	1.098	0.383	0	0	1.239	0.309	0	0	0	3.250	3.029	0.0985	

11-RN-384	126	129	3.095	0	1.928	0.684	0	0	0.483	0	0	0	0	1.322	3.095	0.0409	
11-RN-384	129	132	2.895	0	1.951	0.799	0	0	0.143	0	0	0	0.002	1.206	2.895	0.0349	
11-RN-384	132	135	2.489	0	0.949	1.089	0	0	0.439	0	0	0	0.012	2.063	2.489	0.0513	
11-RN-384	135	138	2.849	0	1.914	0	0	0	0.661	0.274	0	0	0	2.643	2.849	0.0753	
11-RN-384	138	141	2.898	0	2.134	0	0.138	0	0.345	0.277	0	0	0.004	2.648	2.898	0.0767	
11-RN-384	141	144	2.972	0	2.688	0.116	0	0.016	0.106	0	0.036	0	0.01	1.646	2.972	0.0489	
11-RN-384	144	147	2.885	0	2.481	0.061	0	0.092	0.19	0.054	0	0	0.007	1.594	2.885	0.0460	
11-RN-384	147	150	3.024	0	2.283	0.057	0	0.048	0.631	0	0	0	0.005	1.486	3.024	0.0449	
11-RN-384	150	153	2.954	0	0.657	1.088	0	0.333	0.592	0.221	0.059	0	0.004	4.046	2.954	0.1195	
11-RN-384	153	156	2.89	0	1.13	0.801	0.588	0	0.233	0.138	0	0	0	2.449	2.89	0.0708	
11-RN-384	156	159	2.918	0	1.909	0.096	0	0.039	0.574	0.298	0	0	0.002	2.819	2.918	0.0823	
11-RN-384	159	162	2.775	1.77	0.92	0	0	0.08	0	0	0	0	0.005	0.602	2.775	0.0167	
11-RN-384	162	165	2.855	1.595	1.15	0	0	0.1	0	0	0	0	0.01	0.863	2.855	0.0246	
11-RN-384	165	168	2.8	0.63	1.72	0.45	0	0	0	0	0	0	0	0.742	2.8	0.0208	
11-RN-384	168	171	2.8	0	1.78	0.8	0	0.22	0	0	0	0	0	1.448	2.8	0.0406	
11-RN-384	171	174	3	0	0.6	1	1.4	0	0	0	0	0	0	2.367	3	0.0710	
11-RN-384	174	177	3	0	2.45	0.26	0.23	0.06	0	0	0	0	0	1.153	3	0.0346	
11-RN-384	177	180	2.72	0.86	1.55	0.31	0	0	0	0	0	0	0	0.627	2.72	0.0171	ow Chrysotile and none is due to Felsic Dykes from 179.5 to 190.1m
11-RN-384	180	183	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000	3	0.0000	
11-RN-384	183	186	3	2.37	0.63	0	0	0	0	0	0	0	0	0.158	3	0.0047	
11-RN-384	186	189	2.85	2.85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000	2.85	0.0000	
11-RN-384	189	192	3	1.22	1.78	0	0	0	0	0	0	0	0	0.445	3	0.0134	
11-RN-384	192	195	2.79	0.21	1.77	0.81	0	0	0	0	0	0	0	0.984	2.79	0.0275	
11-RN-384	195	198	2.91	1.49	0.86	0.1	0	0	0.46	0	0	0	0	0.756	2.91	0.0220	
11-RN-384	198	201	2.96	0	2.05	0.74	0.17	0	0	0	0	0	0	1.158	2.96	0.0343	
11-RN-384	201	204	2.75	0	1.585	1.165	0	0	0	0	0	0	0	1.174	2.75	0.0323	
11-RN-384	204	207	2.93	0	2.62	0.1	0.21	0	0	0	0	0	0	0.981	2.93	0.0288	
11-RN-384	207	210	2.995	0.75	2.08	0.115	0	0	0	0.05	0	0	0	0.838	2.995	0.0251	
11-RN-384	210	213	2.875	0	1.47	0.8	0.605	0	0	0	0	0	0	1.607	2.875	0.0462	
11-RN-384	213	216	3.115	0	1.235	1.7	0.18	0	0	0	0	0	0	1.455	3.115	0.0453	
11-RN-384	216	219	3.15	0	2.45	0.64	0.06	0	0	0	0	0	0	1.006	3.15	0.0317	
11-RN-384	219	222	2.895	0	1.66	0.365	0.75	0	0	0.105	0	0.015	0	2.386	2.895	0.0691	
11-RN-384	222	225	2.975	0	0	2.06	0.655	0.065	0	0.195	0	0	0	3.097	2.975	0.0921	
11-RN-384	225	228	2.73	0	0	1.475	0.375	0	0.52	0.3	0.06	0	0	4.415	2.73	0.1205	
11-RN-384	228	231	2.987	0	1.238	1.169	0.409	0	0	0.171	0	0	0	2.334	2.987	0.0697	
11-RN-384	231	234	2.869	0	2.429	0.164	0.074	0.091	0.098	0	0.013	0	0	1.277	2.869	0.0366	
11-RN-384	234	237	3.057	0	2.946	0.029	0.082	0	0	0	0	0	0	0.833	3.057	0.0255	
11-RN-384	237	240	2.993	0	2	0.506	0.179	0.053	0	0.223	0	0.029	0.003	2.863	2.993	0.0857	
11-RN-384	240	243	2.837	0	0.304	0.522	0.262	0	0.533	1.158	0	0.053	0.005	8.616	2.837	0.2444	
11-RN-384	243	246	3.018	0	1.631	0.372	0.421	0	0.582	0	0	0	0.012	2.085	3.018	0.0629	
11-RN-384	246	249	2.919	0	2.268	0.468	0	0	0.182	0	0	0	0.001	1.085	2.919	0.0317	
11-RN-384	249	252	3.001	0	0.233	0.191	0.432	0	1.143	1	0	0	0.002	6.881	3.001	0.2065	
11-RN-384	252	255	3.167	0	0.866	0.573	0.453	0.346	0	0.67	0.247	0	0.012	7.960	3.167	0.2521	
11-RN-384	255	258	2.973	0	2.603	0	0.218	0	0.062	0.058	0	0.028	0.004	1.921	2.973	0.0571	
11-RN-384	258	261	3.051	0	2.109	0.598	0	0	0.249	0.076	0	0	0.019	2.103	3.051	0.0642	
11-RN-384	261	264	2.961	0	2.613	0.263	0.078	0	0	0	0	0	0.007	1.146	2.961	0.0339	
11-RN-384	264	267	3.048	0	2.662	0.386	0	0	0	0	0	0	0	0.877	3.048	0.0267	
11-RN-384	267	270	2.955	0.971	1.956	0	0	0	0	0	0.028	0	0	0.828	2.955	0.0245	
11-RN-384	270	273	3.003	0	2.019	0	0.173	0	0.52	0.284	0	0	0.007	2.877	3.003	0.0864	
11-RN-384	273	276	3.075	0	1.552	0.221	0	0.113	1.111	0	0	0.078	0	3.204	3.075	0.0985	
11-RN-384	276	279	2.857	0	1.144	0.088	0	0	1.262	0	0.363	0	0	6.126	2.857	0.1750	
11-RN-384	279	282	2.645	0	0.203	0	0.116	0	1.082	0.893	0.351	0	0	11.147	2.645	0.2948	
11-RN-384	282	285	2.937	0	2.238	0	0.038	0	0.083	0.578	0	0	0	3.654	2.937	0.1073	
11-RN-384	285	288	2.989	0	2.945	0.044	0	0	0	0	0	0	0	0.765	2.989	0.0229	
11-RN-384	288	291	3.04	0	2.151	0.018	0.043	0	0.564	0	0.173	0.091	0	4.785	3.04	0.1455	
11-RN-384	291	294	2.829	0.684	1.816	0.176	0.094	0	0.043	0.013	0	0	0.003	0.927	2.829	0.0262	
11-RN-384	294	297	2.945	1.5	1.445	0	0	0	0	0	0	0	0	0.368	2.945	0.0108	
11-RN-384	297	300	3.111	1.736	1.278	0.097	0	0	0	0	0	0	0	0.363	3.111	0.0113	
11-RN-384	300	303	2.904	1.778	0.979	0	0.147	0	0	0	0	0	0	0.430	2.904	0.0125	
11-RN-384	303	306	2.978	2.279	0.493	0.204	0	0	0	0	0	0	0.002	0.311	2.978	0.0093	
11-RN-384	306	309	3.039	1.338	1.268	0.215	0.218	0	0	0	0	0	0	0.688	3.039	0.0209	
11-RN-384	309	312	3	0.501	0.897	0.945	0	0	0.657	0	0	0	0	1.433	3	0.0430	
11-RN-384	312	315	2.959	1.134	1.021	0.292	0	0	0	0.512	0	0	0	3.027	2.959	0.0896	
11-RN-384	315	318	2.935	0.514	1.169	0.842	0.072	0	0.33	0	0	0	0.008	1.497	2.935	0.0439	
11-RN-384	318	321	2.93	1	1.065	0.865	0	0	0	0	0	0	0	0.789	2.93	0.0231	

11-RN-384	321	324	3.044	0.979	2.062	0	0	0	0	0	0	0	0.003	0.607	3.044	0.0185	
11-RN-384	324	327	2.986	2.655	0.331	0	0	0	0	0	0	0	0	0.083	2.986	0.0025	
11-RN-384	327	330	2.988	2.218	0.593	0.065	0	0.112	0	0	0	0	0	0.412	2.988	0.0123	
11-RN-384	330	333	3.095	1.978	0.932	0.185	0	0	0	0	0	0	0	0.330	3.095	0.0102	
11-RN-384	333	336	2.873	0.17	1.667	0.336	0.5	0	0	0.2	0	0	0	2.293	2.873	0.0659	
11-RN-384	336	339	2.815	0.836	1.342	0.637	0	0	0	0	0	0	0	0.754	2.815	0.0212	
11-RN-384	339	342	2.89	0	1.095	0.854	0	0	0.766	0	0.175	0	0	3.716	2.89	0.1074	
11-RN-384	342	345	2.806	0	0.145	0.771	0.686	0	1.204	0	0	0	0	2.663	2.806	0.0747	
11-RN-384	345	348	2.945	0	2.253	0.313	0.096	0	0.172	0.106	0	0	0.005	1.759	2.945	0.0518	
11-RN-384	348	351	2.965	0	1.401	0.929	0.523	0	0.096	0	0	0	0.016	2.157	2.965	0.0640	
11-RN-384	351	354	3.01	0	0.681	2.083	0.246	0	0	0	0	0	0	1.667	3.01	0.0502	
11-RN-384	354	357	2.947	0	1.707	1.206	0	0	0	0	0	0.022	0.012	1.968	2.947	0.0580	
11-RN-384	357	360	2.832	0	1.442	0.741	0.127	0	0.522	0	0	0	0	1.550	2.832	0.0439	
11-RN-384	360	363	2.865	0	1.188	1.085	0	0	0.444	0.146	0	0	0.002	2.273	2.865	0.0651	
11-RN-384	363	366	2.78	0	1.92	0.55	0.31	0	0	0	0	0	0	1.254	2.78	0.0349	
11-RN-384	366	369	3.1	0	1.95	0.89	0.21	0	0	0	0.05	0	0	1.776	3.1	0.0551	
11-RN-384	369	372	3	0	1.42	1.43	0.055	0	0	0.095	0	0	0	1.728	3	0.0519	
11-RN-384	372	375	3.135	0	2.795	0.225	0.115	0	0	0	0	0	0	0.923	3.135	0.0289	
11-RN-384	375	378	3	0	2.73	0.19	0	0.08	0	0	0	0	0	0.953	3	0.0286	
11-RN-384	378	381	2.965	0	2.46	0.155	0.35	0	0	0	0	0	0	1.127	2.965	0.0334	
11-RN-384	381	384	3.015	0	2.62	0.245	0	0.15	0	0	0	0	0	1.092	3.015	0.0329	
11-RN-384	384	387	3	0	1.99	0.26	0.44	0.23	0.08	0	0	0	0	1.703	3	0.0511	
11-RN-384	387	390	3	0	1.19	1.81	0	0	0	0	0	0	0	1.353	3	0.0406	
11-RN-384	390	393	3	1.215	1.665	0.12	0	0	0	0	0	0	0	0.486	3	0.0146	
11-RN-384	393	396	3	0	2.12	0.67	0.21	0	0	0	0	0	0	1.166	3	0.0350	
11-RN-384	396	399	2.965	2.205	0.56	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0.260	2.965	0.0077	
11-RN-384	399	402	2.767	0	2.18	0.58	0	0	0	0	0	0	0.007	1.211	2.767	0.0335	
11-RN-384	402	405	2.765	0.295	1.04	1.23	0	0	0.2	0	0	0	0	1.278	2.765	0.0353	
11-RN-384	405	408	3.002	0	1.26	1.03	0.08	0.5	0.13	0	0	0	0.002	2.204	3.002	0.0662	
11-RN-384	408	411	2.9	1.76	1.14	0	0	0	0	0	0	0	0	0.295	2.9	0.0086	
11-RN-384	411	414	3	1.51	1.49	0	0	0	0	0	0	0	0	0.373	3	0.0112	
11-RN-384	414	417	2.91	1.93	0.69	0.21	0	0	0.08	0	0	0	0	0.387	2.91	0.0113	
11-RN-384	417	420	2.86	2.36	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0.131	2.86	0.0038	
11-RN-384	420	423	3	0.84	2.16	0	0	0	0	0	0	0	0	0.540	3	0.0162	
11-RN-384	423	426	3.065	2.41	0.55	0.105	0	0	0	0	0	0	0	0.195	3.065	0.0060	
11-RN-384	426	429	2.979	2.491	0.488	0	0	0	0	0	0	0	0	0.123	2.979	0.0037	
11-RN-384	429	432	3.154	2.963	0.191	0	0	0	0	0	0	0	0	0.045	3.154	0.0014	
11-RN-384	432	435	2.905	2.314	0.591	0	0	0	0	0	0	0	0	0.153	2.905	0.0044	
11-RN-384	435	438	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000	3	0.0000	
11-RN-384	438	441	3.307	3.121	0.186	0	0	0	0	0	0	0	0	0.042	3.307	0.0014	
11-RN-395	18.6	21	2.325	0	1.466	0.645	0	0	0	0.182	0	0	0.032	3.509	2.325	0.0816	
11-RN-395	21	24	2.93	1.539	1.391	0	0	0	0	0	0	0	0	0.356	2.93	0.0104	
11-RN-395	24	27	2.878	1.649	1.229	0	0	0	0	0	0	0	0	0.320	2.878	0.0092	
11-RN-395	27	30	2.994	0.715	1.037	0.885	0	0	0.357	0	0	0	0	1.135	2.994	0.0340	
11-RN-395	30	33	3.125	0.832	1.249	0.616	0	0	0.318	0.11	0	0	0	1.478	3.125	0.0462	
11-RN-395	33	36	3.456	2.657	0.799	0	0	0	0	0	0	0	0	0.173	3.456	0.0060	
11-RN-395	36	39	2.941	1.282	1.659	0	0	0	0	0	0	0	0	0.423	2.941	0.0124	
11-RN-395	39	42	2.895	1.175	1.463	0.11	0	0	0	0	0.147	0	0	2.223	2.895	0.0643	
11-RN-395	42	45	2.817	0.32	1.356	0	0.37	0	0.619	0	0.152	0	0	3.368	2.817	0.0949	
11-RN-395	45	48	2.936	0.987	0.914	0.46	0	0	0.575	0	0	0	0	1.095	2.936	0.0322	
11-RN-395	48	51	2.691	0	2.312	0	0	0	0.378	0	0	0	0.001	1.103	2.691	0.0297	
11-RN-395	51	54	2.744	0.609	0.873	0.403	0	0	0.858	0	0	0	0.001	1.470	2.744	0.0403	
11-RN-395	54	57	2.949	0.851	2.085	0	0	0	0	0	0	0	0.013	0.971	2.949	0.0286	
11-RN-395	57	60	3.038	0.721	1.251	1.058	0	0	0	0	0	0	0.008	1.182	3.038	0.0359	
11-RN-395	60	63	2.949	1.464	0.533	0.608	0.106	0	0	0.238	0	0	0	1.833	2.949	0.0540	
11-RN-395	63	66	3.027	0.956	1.28	0.708	0	0	0.077	0	0	0	0.006	1.001	3.027	0.0303	
11-RN-395	66	69	3.008	2.228	0.531	0.249	0	0	0	0	0	0	0	0.277	3.008	0.0083	
11-RN-395	69	72	2.97	1.82	0.78	0.13	0	0.24	0	0	0	0	0	0.758	2.97	0.0225	
11-RN-395	72	75	3.07	2.415	0.65	0	0	0	0	0	0	0	0.005	0.322	3.07	0.0099	
11-RN-395	75	78	3.15	2.03	1.09	0	0	0	0	0	0	0	0.03	1.212	3.15	0.0382	
11-RN-395	78	81	2.841	2.84	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.035	2.841	0.0010	
11-RN-395	81	84	2.881	2.88	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.035	2.881	0.0010	
11-RN-395	84	87	2.981	2.98	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.034	2.981	0.0010	
11-RN-395	87	90	3.041	3.04	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.033	3.041	0.0010	
11-RN-395	90	93	2.821	2.82	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.035	2.821	0.0010	

11-RN-395	93	96	2.911	2.91	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.034	2.911	0.0010	
11-RN-395	96	99	3.001	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.033	3.001	0.0010	
11-RN-395	99	102	2.971	2.97	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.034	2.971	0.0010	
11-RN-395	102	103.5	1.461	1.46	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.068	1.461	0.0010	
11-RN-397	40.6	42	1.368	0	0.975	0.393	0	0	0	0	0	0	0	1.037	1.368	0.0142	
11-RN-397	42	45	2.924	0.483	2.437	0	0	0	0	0	0	0	0.004	0.762	2.924	0.0223	
11-RN-397	45	48	2.761	1.603	0.899	0.259	0	0	0	0	0	0	0	0.408	2.761	0.0113	
11-RN-397	48	51	3.171	2.598	0.431	0.141	0	0	0	0	0	0	0.001	0.211	3.171	0.0067	
11-RN-397	51	54	2.977	0.823	1.186	0	0	0	0.968	0	0	0	0	1.274	2.977	0.0379	
11-RN-397	54	57	3.006	1.088	1.273	0.369	0	0	0.266	0	0	0	0.01	1.131	3.006	0.0340	
11-RN-397	57	60	2.8	1.22	1.05	0.14	0	0.39	0	0	0	0	0	1.204	2.8	0.0337	
11-RN-397	60	63	2.88	2.08	0.73	0.07	0	0	0	0	0	0	0	0.233	2.88	0.0067	
11-RN-397	63	66	2.9	1.88	0.78	0	0	0	0.24	0	0	0	0	0.450	2.9	0.0131	
11-RN-397	66	69	2.75	0.85	1.78	0.12	0	0	0	0	0	0	0	0.562	2.75	0.0155	
11-RN-397	69	72	2.85	2.1	0.75	0	0	0	0	0	0	0	0	0.197	2.85	0.0056	
11-RN-397	72	75	2.6	1.6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.288	2.6	0.0075	
11-RN-397	75	78	3.172	1.972	1.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0.284	3.172	0.0090	
11-RN-397	78	81	2.83	2.38	0.45	0	0	0	0	0	0	0	0	0.119	2.83	0.0034	
11-RN-397	81	84	2.917	2.077	0.84	0	0	0	0	0	0	0	0	0.216	2.917	0.0063	
11-RN-397	84	87	3.03	2.55	0.48	0	0	0	0	0	0	0	0	0.119	3.03	0.0036	
11-RN-397	87	88.5	1.5	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000	1.5	0.0000	

ANNEXE VI

Intervalles recatégorisés du journal de sondage du chrysotile

ANNEXE VI

Intervalles recatégorisés du journal de sondage du chrysotile

Données originales

Trou	Carotte			Réseaux de chrysotile					Chrysotile dans les zones hautement fragmentées				Chrysotile dans les veines / fractures	Calculs			Zones hautement fragmentées recatégorisées: Chrysotile dans les zones hautement fragmentées			
	Début intervalle	Fin intervalle	Longueur de la carotte	Aucun	Faible	Modérée	Élevée	Intense	Faible	Modérée	Élevée	Intense		% Chrysotile	Longueur total	Longueur de chrysotile	Faible	Modérée	Élevée	Intense
08-RN-94	93	96	2.99	0	1.01	0.424	1.148	0	0	0.303	0	0.105	0	5.121	2.99	0.153	0	0.303	0.105	0
08-RN-94	240	243	3	0	2.02	0	0	0	0.27	0.58	0.04	0.09	0	5.615	3	0.168	0.27	0.58	0.084	0.046
11-RN-296	49	51	1.89	0.223	0.353	0.36	0	0	0.564	0.205	0	0.185	0	7.89	1.89	0.149	0.564	0.205	0.185	0
11-RN-296	54	57	3.117	0.942	0.884	0.931	0.245	0	0	0	0	0.112	0.003	2.903	3.117	0.090	0	0	0.112	0
11-RN-296	63	66	3.2	0	0	0	0.41	0	2.225	0	0	0.565	0	11.363	3.2	0.364	2.225	0.565	0	0
11-RN-296	180	183	3.048	1.988	0.284	0	0	0	0.433	0	0.225	0.111	0.007	4.983	3.048	0.152	0.433	0	0.336	0
11-RN-309	147	150	2.882	0	2.769	0	0	0	0.08	0	0	0.033	0	1.376	2.882	0.040	0.08	0	0.033	0
11-RN-309	150	153	3.053	0	2.643	0	0.194	0	0.116	0.054	0	0.026	0.02	2.332	3.053	0.071	0.116	0.054	0.026	0
11-RN-309	243	246	2.856	0	1.976	0.256	0.474	0	0.1	0	0	0.04	0.01	2.412	2.856	0.069	0.1	0	0.04	0
11-RN-309	450	453	2.867	0.731	1.209	0	0	0	0.624	0.221	0	0.021	0.061	4.619	2.867	0.132	0.624	0.221	0.021	0
11-RN-334	309	312	3.18	0	0	0.675	0.68	0	0.743	0.309	0.722	0.049	0.002	11.604	3.18	0.369	0.743	0.309	0.731	0.04
11-RN-334	312	315	3.036	0	0	0	0.372	1.117	0.176	0	0.508	0.855	0.008	22.677	3.036	0.688	0.176	0	1.363	0
11-RN-342	249	252	3.212	0	0.096	0.457	0.139	0	0.12	0	2.275	0.125	0	25.854	3.212	0.830	0.12	0	2.4	0
11-RN-384	267	270	2.955	0.971	1.956	0	0	0	0	0	0	0.028	0	0.97	2.955	0.029	0	0	0.028	0
11-RN-384	366	369	3.1	0	1.95	0.89	0.21	0	0	0	0	0.05	0	2.018	3.1	0.063	0	0	0.05	0

ANNEXE VII

XRD mineralogy of awaruite and sulphide samples

To:	Robert Salter
From:	Peter Whittaker
CC:	Alger St-Jean
Date:	September 30, 2008
Subject:	XRD mineralogy of awaruite and sulphide samples
Keywords:	

Introduction

Four samples were submitted by Royal Nickel Corporation from the Dumont Ni deposit. The samples were selected to compare mineralogy of awaruite mineralization and sulphide mineralization.

Of primary interest is the identification and distinction of brucite [Mg(OH)2] from serpentine group minerals [chrysotile, lizardite, antigorite } $(Mg,Fe)_3Si_2O_5(OH)_4$] and to check for differences between crushed and air classified products.

Method

X-ray diffraction [XRD - Bruker D8 Advance powder diffractometer] was used to identify the main mineral components, Ni-bearing species are too low in concentration to be detected by XRD for these samples with Ni grades between 0.32% and 0.39% [pers. comm., August 2008, R. Salter]. Raw data files were processed using Rietveld Refinement software [TOPAS] to give mineral weight % values. These values should be used mainly for comparative purposes rather than absolute values. Samples were micronized [McCrone Micronizing Mill] to give a particle size distribution between 5 and 10um which is optimal for diffraction and provides the same particle sizes for measurement for each sample.

The samples analyzed include:

8607	22A awaruite [crushed only]
8608	22A awaruite souverse ATP [air classified]
8609	23B sulphide souverse ATP [air classified]
8610	23B sulphide [crushed only]

Confidential: Property of Xstrata plc

XRD Results

Brucite can be distinguished from lizardite and chrysotile, although the distinction between lizardite and chrysotile can be problematic because of diffraction pattern overlaps. Brucite is a minor mineral in both awaruite and sulphide bearing samples and ranges from 13% to 19%. Brucite is present across all samples measured. Diffraction patterns and mineral weight %'s are attached and given in Table 1.

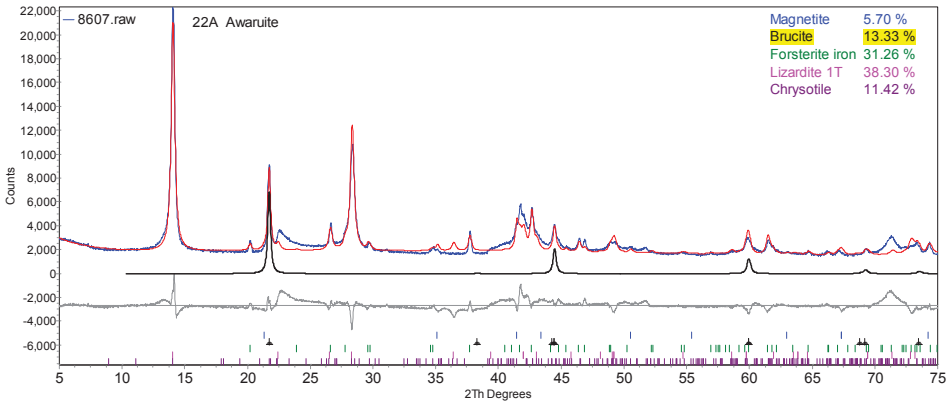
Brucite contents in the air classified samples [ATP] are 3% to 5% higher than in the crushed samples (Table 1). Air classification has produced a significant increase in brucite content based on comparison of these four samples.

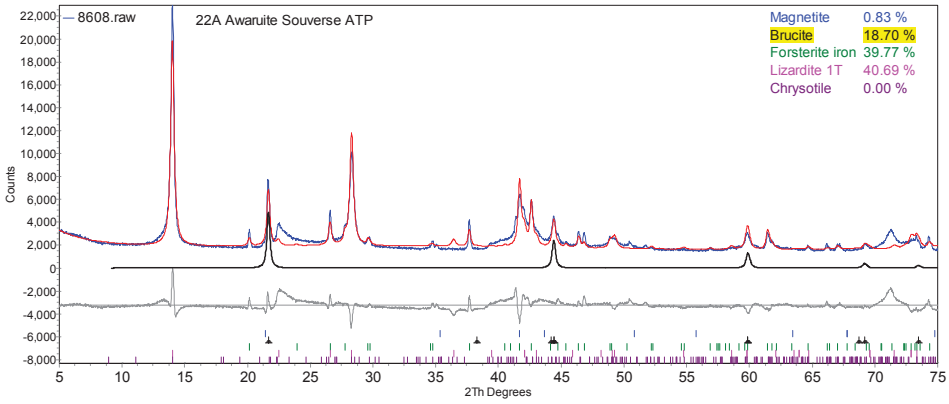
Magnetite content is lower in the awaruite samples [5.70% & 0.83%] compared to the sulphide samples [10.19% & 12.51%]. This may reflect the more reducing conditions where awaruite [alloy] is stable.

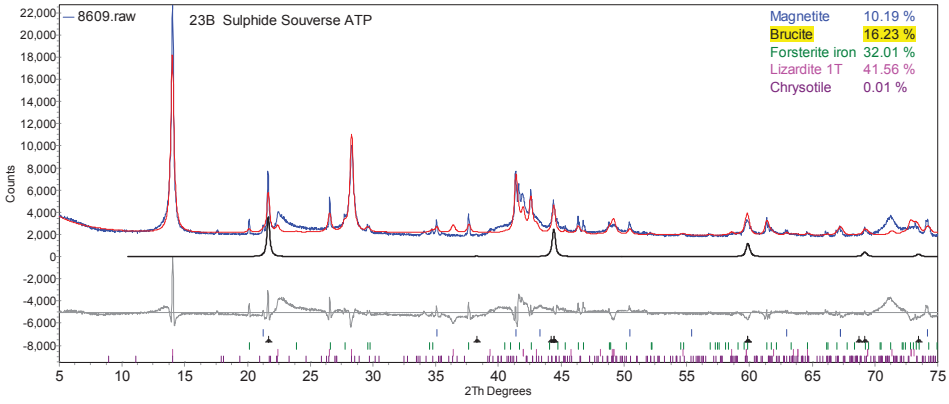
Table 1. Comparison of XRD mineralogy [wt.%] between awaruite and sulphide bearing samples and for crushed versus air classified { ATP] products.

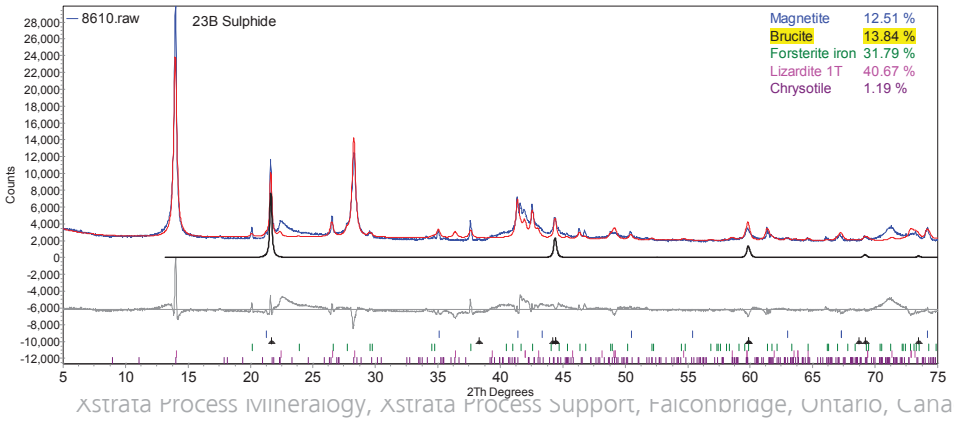
	magnetite	brucite	forsterite	Liz. + Chrys.
22A awaruite	5.7	13.3	31.3	49.7
22A aw. ATP	0.8	18.7	39.8	40.7
23B sulph. ATP	10.2	16.2	32.0	41.6
23B sulphide	12.5	13.8	31.8	41.9

Confidential: Property of Xstrata plc









Xstrata Process Mineralogy, Xstrata Process Support, Falconbridge, Ontario, Canada P0M 1S0
Tel +1 (705) 693 2761 Fax +1 (705) 6993431 www.xstrata.com

Confidential: Property of Xstrata plc

ANNEXE 9

Version préliminaire du programme de suivi du bruit

Royal Nickel Corporation

Protocole de mesure pour l'évaluation de la contribution sonore du projet Dumont



GENIVAR

Royal Nickel Corporation – Projet Dumont

Protocole de mesure pour l'évaluation
de la contribution sonore
du projet Dumont

2 Avril 2013

79, boul. Don Quichotte ~ L'Île-Perrot (Québec) CANADA J7V 6X2
Tél. : 514.630.4855 ~ Fax : 514.630.4595 ~ www.genivar.com

ÉQUIPE DE RÉALISATION

Royal Nickel Corporation

Directeur Développement Durable	Pierre-Philippe Dupont

GENIVAR

Chargé de projet	Patrice Choquette, Ing., M.Sc.A.

Référence à citer :

GENIVAR inc., Octobre 2012, « Étude sonore du projet Dumont », Rapport réalisé pour Royal Nickel Corporation. 66 p. et annexe.

TABLE DES MATIÈRES

1 INTRODUCTION 1

1.1 Objectif 1

2 POINTS DE MESURE 3

2.1 Stations de mesure permanentes 3

2.2 Station de mesure mobile 3

3 MÉTHODOLOGIE 5

3.1 Les stations de mesure 5

3.2 Instrumentation 5

3.3 Conditions météorologiques 5

3.4 Données météorologiques 6

3.5 Paramètres à mesurer 6

3.6 Traitement des données 6

3.6.1 Collecte et traitement des données 6

3.6.2 Calcul du niveau acoustique d'évaluation ($L_{Ar,1h}$) 7

3.7 Contrôle des émissions sonores 7

4 DONNÉES BRUTES ET RAPPORT 9

4.1 Téléchargement des données brutes 9

4.2 Rapport de mesure et d'analyses 9

FIGURE

Figure 2-1 Emplacement des points de mesures 3

ANNEXE

ANNEXE A Informations sur les sonomètres intégrateurs 831 (Larson-Davis)

1 INTRODUCTION

Dans le cadre du programme de suivi environnemental (« PSE ») pour les activités minières du projet Dumont (« la mine ») et particulièrement pour le suivi du climat sonore, Royal Nickel Corporation (« RNC ») a préparé un protocole de mesure de la contribution sonore de la mine (« le Protocole »). Le Protocole décrit la procédure de surveillance du climat sonore et prévoit la mesure du niveau sonore dans les municipalités de Launay et Villemontel afin de s'assurer du respect des limites de bruit de la politique sectorielle sur les chantiers de construction (révisée en mars 2007) (« la politique sectorielle ») ainsi que de la Note d'instructions 98-01 (révisée en 2006) (« la NI 98-01 ») du ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (« MDDEFP»).

Le Protocole porte sur la localisation des stations de mesure; les paramètres à mesurer, les équipements de mesure, la méthodologie pour la collecte des données, l'analyse des données et les rapports à produire.

1.1 Objectif

Le Protocole décrit la procédure de surveillance des niveaux sonores afin d'assurer la conformité des activités de construction des infrastructures ainsi qu'aux activités d'exploitation de la mine.

2 POINTS DE MESURE

2.1 Stations de mesure permanentes

Nous recommandons l'installation de quatre (4) stations de mesure du bruit afin de surveiller en continu, le climat sonore des municipalités de Launay et Villemontel. L'emplacement de chacune des stations de mesure a été choisi pour couvrir l'ensemble des zones résidentielles pouvant être affecté par le projet Dumont. Les localisations précises des points de mesure sont les suivantes (voir la figure 1) :

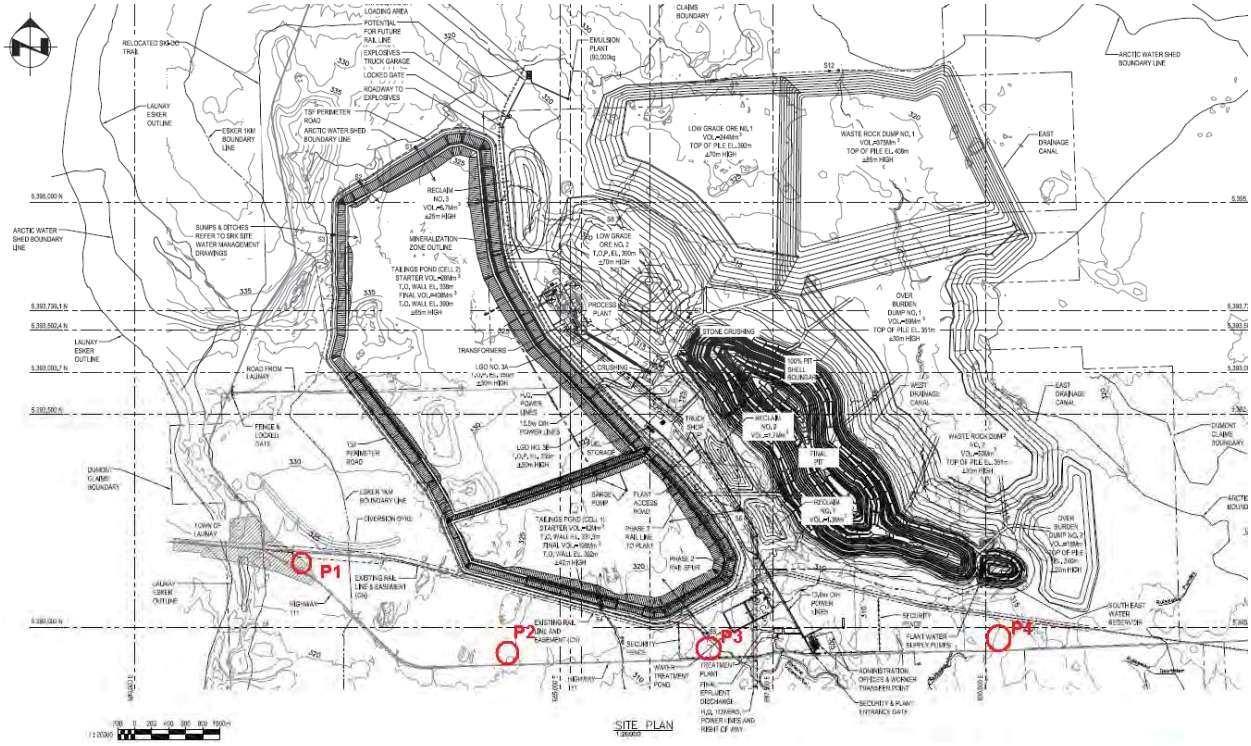
- Station **P1** : Au bout de la rue des Loisirs (Ville de Launay);
- Station **P2 :** Au nord du 1183, route 111;
- Station **P3** : Au nord du 1423, route 111;
- Station **P4** : Au nord du 46, route 111.

La distance des stations d'écoute de la route 111 sera ajustée pour considérer la distance entre la route 111 et la résidence la plus éloignée (même distance).

2.2 Station de mesure mobile

En cas de circonstances particulières, non couvertes par les stations de mesure permanentes, une station mobile de mesure du bruit pourra être utilisée.

Figure 1 Emplacement des points de mesures



3 MÉTHODOLOGIE

3.1 Les stations de mesure

Les stations de mesure sont constituées principalement d'un sonomètre (incluant un microphone) et d'un enregistreur de son.

Le microphone est positionné à une hauteur variant de 1,2 m à 1,5 m de hauteur et à une distance d'au moins 3 m d'une voie de circulation routière. Le lieu autour du microphone est libre de parois pouvant réfléchir les sons sur un rayon d'au moins 3 m. Le microphone des sonomètres est positionné du côté des activités minières par rapport au bâtiment.

3.2 Instrumentation

Les instruments de mesure utilisés aux stations permanentes devront être de classe 1 (marge d'erreur de ±1dB) et conformes à la spécification des normes internationales CEI 651 et CEI 804. Chaque sonomètre devra avoir la capacité d'enregistrer en continu (24 heures par jour) le niveau de bruit environnant en bande de tiers d'octaves de fréquences. Les sonomètres devront enregistrer le signal audio.

Les stations seront étalonnées une fois par jour. Dans le cas où la variation entre deux étalonnages est supérieure à 0,5 dB, l'ensemble du relevé sonore compris entre les deux étalonnages sera rejeté. De plus, les sonomètres seront vérifiés et calibrés annuellement par un laboratoire indépendant.

3.3 Conditions météorologiques

Conformément à la NI 98-01, les conditions météorologiques propices aux mesures de bruits sonores sont les suivantes :

- Vents n'excédant pas 20 km/h;
- Taux d'humidité n'excédant pas 90%;
- Aucune précipitation - chaussée sèche;
- Températures d'opération à l'intérieur des limites de fonctionnement spécifiées par le fabricant de l'équipement de mesure.

Il est à noter que des mesures de bruit seront enregistrées et rapportées jusqu'à des températures de -40°C.

3.4 Données météorologiques

Les données météorologiques seront prises à une des stations d'écoute et dont l'emplacement devra être approuvé par le MDDEFP. Les éléments mesurés par la station seront les suivants :

- Vitesse et direction du vent par un anémomètre;
- Température;
- Humidité relative;
- Précipitations (par pluviomètre arctique).

3.5 Paramètres à mesurer

Pour les quatre stations de mesure, la période d'échantillonnage (des mesures sonores en continu) sera de 5 secondes. Les indicateurs de bruit mis en mémoire seront; i) le niveau équivalent en pondération A $L_{Aeq\text{-}5s}$; ii) le niveau équivalent en pondération C $L_{Ceq\text{-}5s}$; iii) le niveau maximum $L_{AFmax\text{-}5s}$ et iv) l'analyse en bande de tiers d'octave $LZ_{eq,1h\ (1/3\ oct.)}$.

Des statistiques seront évaluées sur une base horaire : $L_{Aeq,1h}$, $L_{Ceq,1h}$, $L_{AF05,1h,}$ $L_{AF10,1h,}$ $L_{AF35,1h,}$ $L_{AF50,1h,}$ $L_{AF90,1h,}$ $L_{AF95,1h,}$ $L_{AFTm5,1h}$. Les niveaux de pression acoustique continus linéaires équivalents horaires mesurés par bande de tiers d'octave ($L_{Zeq,1h\ (1/3\ oct.)}$) seront fournis ainsi que les niveaux globaux $L_{Zeq,1h}$ et $L_{Aeq,1h}$.

Le son et le signal audio seront enregistrés pour aider à déterminer la provenance des bruits d'impacts et autres événements (circulation, activité humaine, bruits de proximité etc.).

3.6 Traitement des données

3.6.1 Collecte et traitement des données

Les données (son et audio) seront récupérées sur une base quotidienne. Ces données seront traitées pour enlever des valeurs du $L_{Aeq,1h}$ du bruit ambiant mesuré aux stations P1 à P4 les périodes où des évènements sonores, ayant une source autre que la mine. Le $L_{Aeq,1h}$ ainsi obtenu est appelé «Bruit ambiant consigné».

Ainsi, les données brutes seront traitées une semaine par mois par station, à tour de rôle :

- Première semaine : traitement des données de la station P1;
- Deuxième semaine : traitement des données de la station P2;
- Troisième semaine : traitement des données de la station P3;
- Quatrième semaine : traitement des données de la station P4;

3.6.2 Calcul du niveau acoustique d'évaluation ($L_{Ar,1h}$)

Le $L_{Ar,1h}$ est l'indicateur proposé par la NI 98-01 pour l'évaluation de la nuisance sonore attribuable aux activités de la mine. Le $L_{Ar,1h}$ est le $L_{Aeq,1h}$ du bruit particulier auquel est ajouté l'un des termes correctifs lorsqu'il est applicable. Le niveau acoustique d'évaluation est déterminé à partir de la formule suivante :

$$L_{Ar,T} = L_{Aeq,T} + K_I + K_T + K_S \text{ , où}$$

- $L_{Ar,T}$ est le niveau acoustique d'évaluation pondéré A pour un intervalle de référence d'une durée de T (voir annexe I de la NI 98-01);
- K_I est un terme correctif pour les bruits d'impact (voir annexe III de la NI 98-01);
- K_T est un terme correctif pour le bruit à caractère tonal (voir annexe IV de la NI 98-01);
- K_S est un terme correctif pour certaines situations spéciales, tels les bruits perturbateurs ou les bruits de basse fréquence (voir annexe V de la NI 98-01).

En ce qui concerne les termes correctifs, ceux-ci sont évalués au point d'évaluation (stations P1 à P4) lors de la mesure du bruit ambiant. Si plus d'un terme correctif est applicable à une source sonore, seul le plus élevé est retenu pour évaluer le niveau acoustique d'évaluation.

3.7 Contrôle des émissions sonores

RNC fera une vérification ponctuelle de sa conformité sonore de ces activités à l'aide des stations de mesure P1, P2, P3 et P4. En cas de dépassement ou d'atteinte du critère sonore à respecter, RNC pourra prendre des actions afin de réduire les niveaux sonores aux niveaux des activités de construction et d'exploitation de la mine. Ces actions et les résultats seront notés dans les rapports journaliers.

4 DONNÉES BRUTES ET RAPPORT

4.1 Téléchargement des données brutes

Les données brutes de bruit et de son seront téléchargées sur le site FTP du MDDEFP à l'adresse suivante :

ftp://ftp.mddefp.gouv.qc.ca/

4.2 Rapport de mesure et d'analyses

Un rapport quotidien envoyé au MDDEFP résumera le résultat des mesures et traitements des données; indices sonores mesurés avec ou sans consignation, en bandes de tiers d'octave de fréquence et indices sonores. Toutefois, tel qu'il a été mentionné à la section 3.6.1, les données de chaque station de mesure seront traitées une seule semaine sur quatre, à tour de rôle. Les rapports quotidiens devront au minimum fournir les renseignements suivants :

- Date des relevés de bruit;
- Période d'échantillonnage;
- Conditions météorologiques sur une base horaire :
  - Température;
  - Vitesse et direction des vents;
  - Humidité relative;
  - Condition de la chaussée;
  - Précipitations.
- Indices de bruit mesurés sans consignation (bruit ambiant): $L_{Aeq\text{-}1h}$, $L_{Ceq\text{-}1h}$, $L_{AF05\text{-}1h}$, $L_{AF10\text{-}1h}$, $L_{AF35\text{-}1h}$, $L_{AF50\text{-}1h}$, $L_{AF90\text{-}1h}$, $L_{AF95\text{-}1h}$ et $L_{AFTmax5}$;
- Les niveaux de pression acoustique continus linéaires équivalents horaires mesurés par bande de tiers d'octave ($L_{Zeq,1h\ (1/3\ oct.)}$) seront fournies avec les niveaux globaux $L_{zeq,1h}$ et $L_{Aeq,1h}$;
- Les indices sonores mesurés avec consignation (bruit particulier): $L_{Aeq\text{-}1h}$, $L_{Ceq\text{-}1h}$ et $L_{AFTmax5}$;
- L'évaluation des indices sonores horaires et leurs termes correctifs nécessaires pour l'évaluation de la NI 98-01:
  - Niveau sonore équivalent du bruit particulier : $L_{Aeq\text{-}1h}$;
  - Termes correctifs (KI, KT et KS);
- Profils des moyennes sonores $L_{Aeq\text{-}30s}$, $L_{Aeq\text{-}1h}$ et $L_{Aeq\text{-}12h}$ et vitesse du vent;
- Les niveaux sonores normés horaires ($L_{Ar\text{-}1h}$) et le seuil à respecter;
- Dépassement du seuil, les mesures correctives mises en application et les résultats de la vérification de leurs efficacités.

ANNEXE 10

Lettre du MDDEFP du 11 septembre 2013-
Proposition de calcul des émissions diffuses de l'érosion éolienne des sites d'entreposage du projet Dumont.

Questions et commentaires pour le projet Dumont Exploitation d'un gisement de nickel majoritairement sur le territoire de la Municipalité de canton de Launay par Royal Nickel Corporation

Dossier 3211-16-008

QC-127. Section 2.6.2 Sources surfaciques

Pour les émissions associées à l'érosion éolienne, l'équation considérée a été utilisée pour établir des taux d'émission horaires, ce qui n'est pas acceptable. En effet, cette équation est basée sur un paramètre météorologique visant à estimer les rafales quotidiennes (fastest mile). Comme cette valeur est obtenue une fois par jour, il est donc impossible d'utiliser cette équation sur une période inférieure à 24 heures. De plus, le fait de considérer la vitesse moyenne du vent sur une base horaire ne reflète pas le fait que ce sont les rafales qui sont à la base de cette équation. L'équation recommandée par le MDDEFP pour le calcul des taux d'émission engendrés par l'érosion éolienne des haldes provient d'Environnement Canada et elle est disponible à : http://www.ec.gc.ca/inrp-npri/default.asp?lang=Fr&n=A9C1EE34-1. Refaire le calcul avec l'équation recommandée et fournir tous les paramètres nécessaires aux calculs (jours de précipitations et pourcentage de vents forts). Un exemple de calcul devra également être fourni en annexe.

Réponse préliminaire v2013-09-06

Mise en contexte

Les haldes rencontrées dans les projets miniers sont très grandes. Une petite fraction de la surface de ces haldes est « active » (là où les opérations de déchargement ont lieu) et la majeure partie de la surface est complétée et non dérangée pendant de longues périodes.

L'équation de l'INRP est donc à elle seule inadéquate pour estimer les émissions de particules pour les haldes de stockage du présent projet principalement pour deux raisons. D'abord, celle-ci est conçue pour une pile dite « active », où le potentiel d'érosion est constamment régénéré et seule une petite fraction de la surface des haldes prévues dans le projet est véritablement active. D'autre part, l'équation de l'INRP est conçue pour estimer les émissions de particules sur une base annuelle. Par conséquent, le taux horaire requis pour les modélisations de dispersion atmosphériques est constant tout au long de l'année et l'essence même du principe d'érosion éolienne est perdue. Autrement dit, suivant cette équation, les taux d'émission sont constants que le vent soit fort ou nul, ce qui est clairement irréaliste (voir figure 1, courbe verte).

L'équation donnée à la section 13.2.5 de l'AP42 est quant à elle construite pour prendre en compte cette notion de potentiel érodable. À la base même de la méthode, on y retrouve une fréquence de restauration de la pile et ainsi, de son potentiel d'érosion éolienne. La méthode est basée sur les mesures de fastest mile et il nous semble raisonnable de l'utiliser sur une base

horaire. En effet, le fastest mile représente la vitesse maximale avec laquelle un mile de vent passe au point de mesure. Or, que l'on prenne le fastest mile sur une période d'une journée ou d'une heure, la définition tient toujours. De plus, le fastest mile d'une journée quelconque sera donné par la valeur du plus grand fastest mile de ses heures individuelles. Les émissions totales calculées sur une période de 24-heures restent ainsi cohérentes. Notons également que les évènements d'érosion ne durent normalement que quelques minutes et peuvent donc être considérés heure par heure. En contrepartie, la méthode est présentée pour des piles où le potentiel d'érosion est restauré à un moment donné pour l'ensemble de la surface, ce qui n'est clairement pas le cas pour des haldes de plusieurs kilomètres carrés.

Afin de représenter le plus justement possible les différentes haldes du projet, les deux méthodes ont donc été mises à contribution; la méthode de l'INRP a été utilisée pour traiter les surfaces actives (où les activités de déchargement ont lieu) tandis que la méthode présentée dans l'AP42 a été utilisée pour représenter la majeure partie de la surface des haldes qui n'est pas dérangée pendant de longues périodes.

Sections actives

Premièrement, de façon conservative, une pile conique de volume équivalent au volume total de matériel transporté sur 24 heures a été considérée à chaque endroit où des déchargements ont lieu. Afin de déterminer les taux d'émission pour chacun de ces secteurs, l'équation de l'INRP est utilisée sur une base horaire. La vitesse du vent à chaque heure est ainsi utilisée plutôt que la vitesse annuelle moyenne. De plus, comme l'équation est considérée sur une base horaire, la correction liée aux précipitations n'est pas considérée dans le cas présent. L'équation utilisée prend alors la forme suivante :

$$FE = \frac{0.112 \times J \times 1.7}{24 \times 3600} \times \left(\frac{s}{1.5}\right) \times \left(\frac{365}{235}\right) \times \left(\frac{I}{15}\right)$$

où

FE = Facteur d'émission (g/m^2.s)
J = Facteur aérodynamique des particules
s = Teneur moyenne en silt de la pile de stockage en pourcentage (%)

et où

$$I = \begin{cases} 100 \text{ si la vitesse du vent est} > 19{,}3 \text{ km/h} \\ 0 \text{ sinon} \end{cases}$$

Cette vitesse seuil (de façon équivalente 19,3 km/h, 5,4 m/s ou 12 mph) est bien documentée dans l'article même où les facteurs de correction en regard au contenu en silt, aux précipitations et à la fréquence des vents forts ont été intégrés afin de développer l'équation sous la forme utilisée aujourd'hui par l'INRP [1]. Cet article mentionne également, respectivement pour les piles de stockage et les surfaces dénudées :

« Fugitive dust emissions also result from the wind erosion of storage piles. The threshold erosion wind velocity for this phenomenon is believed to be 12 mph. »

« … bare ground areas are susceptible to dust reentrainment induced by the eroding action of the wind. Wind erosion is associated with wind speeds greater than the threshold erosion velocity of 12 mph. »

Or, même si on peut s'attendre à ce que la vitesse seuil réelle varie en fonction de la granulométrie du matériel (comme c'est traité dans la méthode proposée par l'AP42), l'équation utilisée par l'INRP est construite autour de cette vitesse seuil fixe.

L'équation ne dépendant pas autrement de la vitesse du vent, il est important de souligner que les taux d'émissions résultants sont donc constants pour des vitesses de vents supérieures à 19,3km/h et nuls dans le cas contraire. Le patron d'émission est illustré par la courbe bleue à la figure 1 en fonction de la vitesse du vent. Ces piles émettent donc à un taux fixe lors de forts vents et sont utilisées pour représenter les régions « actives » de la halde, où les opérations ont lieu.

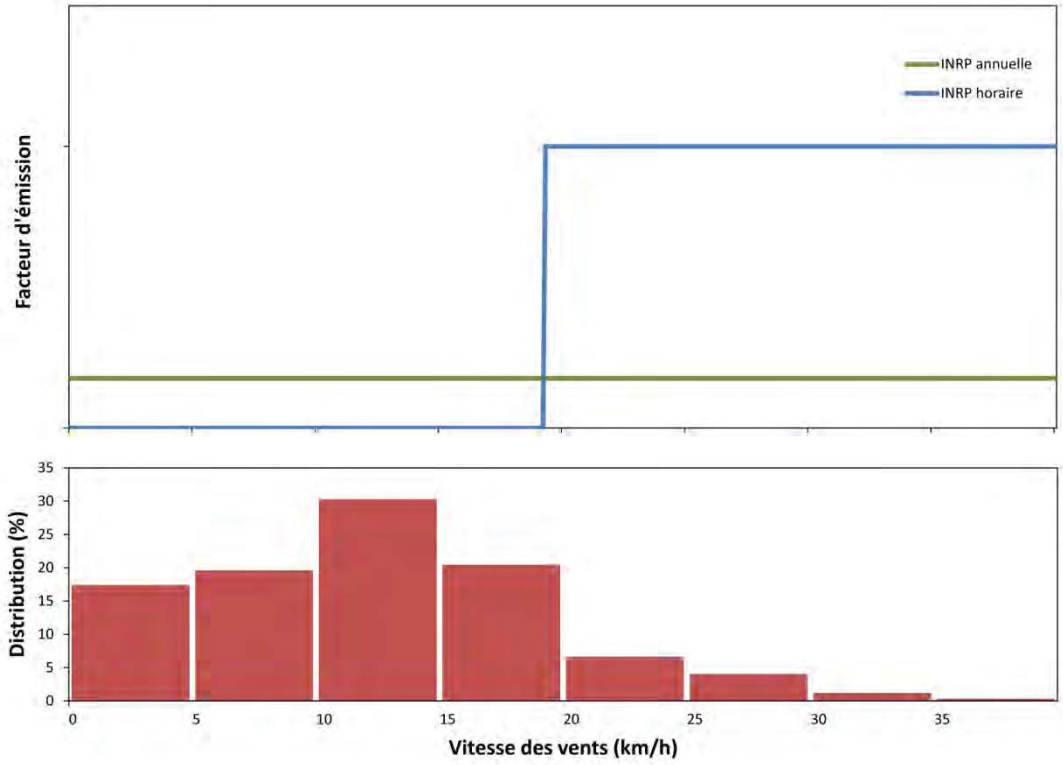


Figure 1. Comparaison entre les patrons d'émission pour les versions annuelle et horaire de l'équation de l'INRP en fonction de la vitesse du vent (17,6% des vents sont supérieurs à 19,3km/h pour les 5 années météorologiques considérées).

Or, il est important de mentionner que, outre l'omission du facteur d'atténuation lié aux précipitations, le total des émissions annuelles calculées suivant cette méthode est identique au total calculé suivant la formulation traditionnelle de l'équation de l'INRP. Seule la répartition des émissions est affectée. La présente formulation offre une meilleure représentativité du phénomène d'érosion éolienne par rapport à la formulation traditionnelle qui suggère un taux constant. Les taux d'émissions lors de forts vents sont en effet plus importants, tandis que les taux d'émissions lors de vents faibles sont nuls.

Sections non actives

Maintenant, afin de traiter la partie de la halde qui n'est pas dérangée pendant de longues périodes, la méthode présentée dans l'AP42 est utilisée. D'abord, le pas de modélisation étant d'une heure, le fastest mile horaire a été estimé à partir des données de vent horaire en appliquant un facteur de 1,23[1]. Il faut par contre insister sur le fait que la valeur du fastest mile journalier ne s'en trouve aucunement influencé et sera égal au plus grand des fastest mile horaires. Ainsi, suivant cette méthode utilisant la notion de potentiel érodable, un évènement d'érosion se produit lorsque le vent dépasse un certain seuil. Il est donc important de souligner que cette vitesse seuil d'émission, qui est l'un des paramètres ayant un impact significatif sur les taux d'émissions horaires de la méthode, est calculée à partir de la granulométrie de la halde considérée, pour plus de représentativité. Ces calculs sont basés sur deux références scientifiques soit « A simple expression for wind erosion threshold friction velocity » [2] et « Rapid assessement of exposure to particulate emissions from surface contamination sites » [3]. À titre d'exemple, le potentiel d'érosion horaire calculé est présenté à la figure 2 et comparé à la vitesse des vents pour l'année météorologique de 2008.

Finalement, afin de représenter que le travail se fait de façon séquentielle sur la surface de la halde (seule une fraction de la surface totale est complétée à chaque heure), le potentiel érodable de la halde est restauré en fonction de la surface complétée à chaque heure. De façon équivalente, on peut voir la totalité de la halde comme un ensemble de petites piles, desquelles une seule est restaurée à chaque heure. L'historique d'érosion sur l'ensemble de ces sections est conservé et considéré pour chaque nouvel évènement d'émission, ce qui ajoute un côté dynamique à la méthode. De plus, puisque les données de vents d'une année à l'autre sont statistiquement équivalentes, chaque année est traitée indépendamment à l'aide de conditions frontières périodiques. Le calcul des émissions totales boucle ainsi sur l'année considérée en revenant à la fin de l'année lorsque le début de l'année est atteint.

[1] La vitesse des rafales est estimée de façon conservative en appliquant un facteur de 1,5 à la vitesse moyenne du vent tandis que le fastest mile est estimé par un facteur de 0,82 par rapport à la vitesse des rafales (ANSI/ASCE 7-95). Un facteur de 1,23 (1,5 x 0,82) est donc obtenu pour convertir la vitesse moyenne du vent en fastest mile.

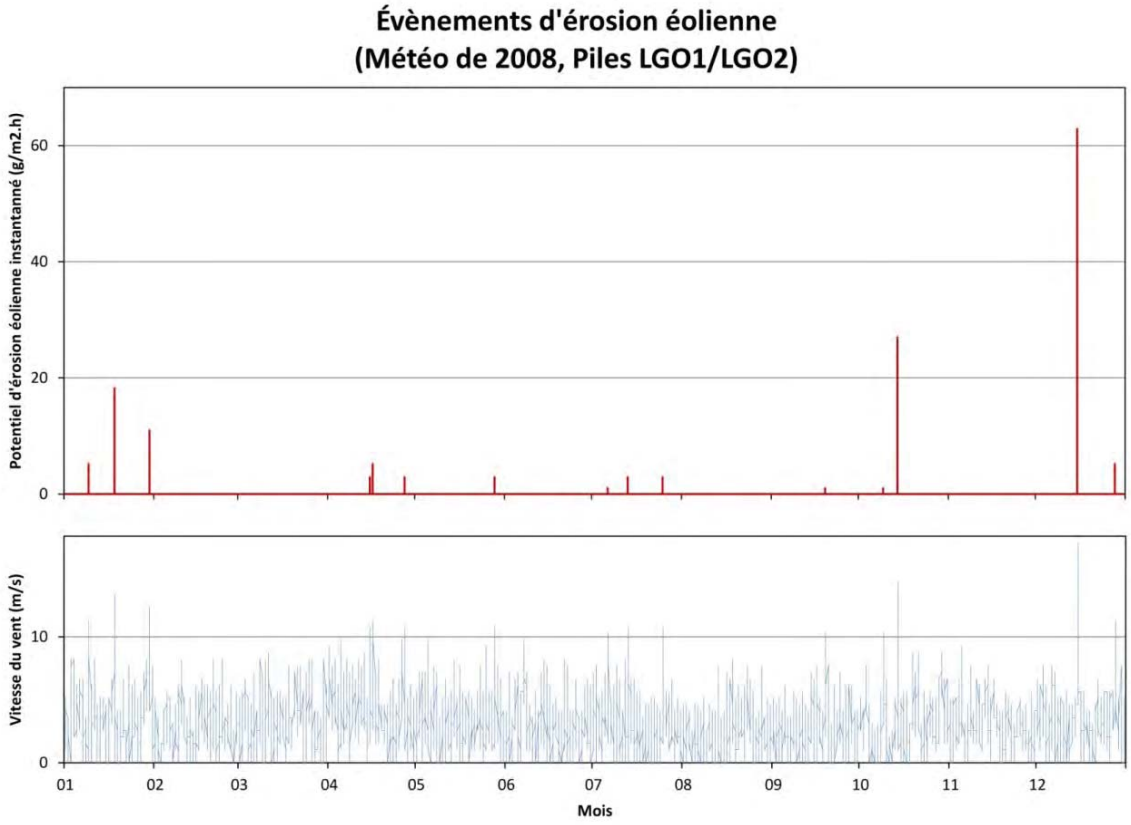


Figure 2. Comparaison entre le potentiel d'érosion éolienne et la vitesse du vent.

À titre d'exemple, un cas hypothétique simplifié est présenté aux figures 3 et 4. Il faut bien comprendre qu'à chaque heure est associée une section dite « horaire » de la surface de la halde. Lorsqu'un évènement d'érosion a lieu (A, B, C), l'ensemble des particules disponibles sur chacune de ces sections horaires est émis, à la hauteur du potentiel associé. Par exemple, lors de l'évènement C, le potentiel d'érosion pour 4 surfaces horaires est émis, les potentiels antérieurs ayant déjà été épuisés par l'évènement B. L'évènement A, pour sa part, montre bien l'effet des conditions frontières périodiques. L'ensemble du potentiel d'érosion cumulé pour chacune des surfaces horaires depuis l'évènement C est alors émis. Finalement, l'évènement B émet la balance du potentiel disponible sur chacune des sections horaires. Ainsi, on constate que le total des émissions générées suivant cette méthode dynamique est équivalent au total des émissions générées par le plus grand évènement d'érosion suivant la formulation traditionnelle de l'AP42. Seule la répartition des émissions dans le temps en est affectée, afin de représenter les opérations de façon plus réaliste.

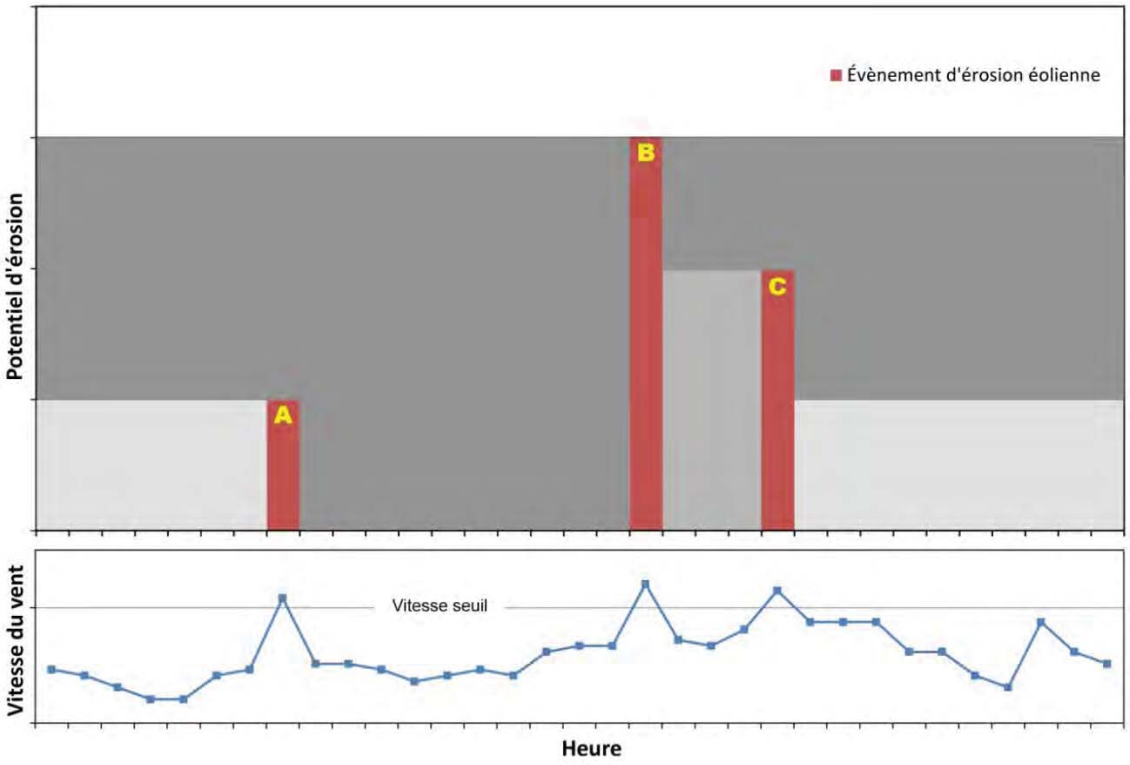


Figure 3. Patron d'érosion éolienne en fonction du vent (cas hypothétique).

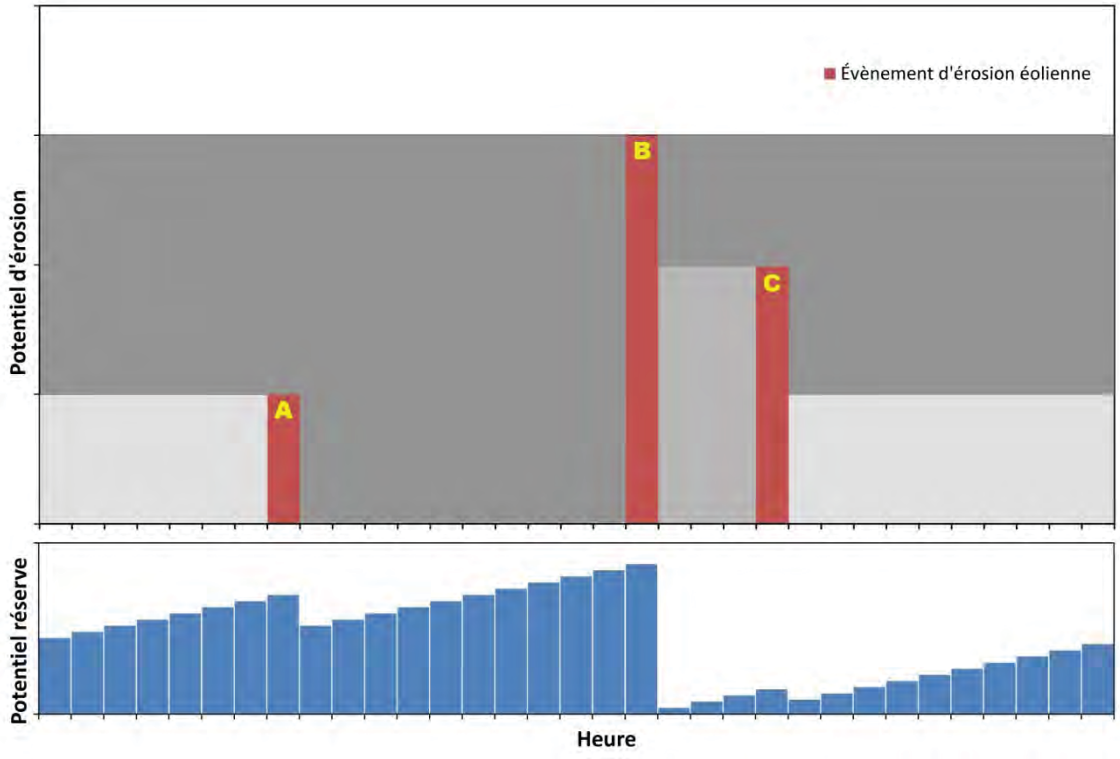


Figure 4. Évolution du potentiel d'érosion éolienne en réserve en fonction des évènements d'érosion (cas hypothétique).

Références

[1] R. Bohn, *et al*. Midwest Research Institute, Kansas City, Missouri. *Fugitive Emissions from Integrated Iron and Steel Plants*. March 1978.

[2] Y. *Shao* & H. Lu. *A simple expression for wind erosion threshold friction velocity*. 2000.

[3] C. Cowherd Jr, *et al*. US-EPA. *Rapid assessement of exposure to particulate emissions from surface contamination sites,* figure 3.4. February 1985.

Ministère du
Développement durable,
de l'Environnement,
de la Faune et des Parcs
Québec

Direction de l'évaluation environnementale des projets nordiques et miniers

Le 11 septembre 2013

Monsieur Pierre-Philippe Dupont
Directeur développement durable
Royal Nickel Corporation
42, avenue Trudel
Amos (Québec) J9T 4N1

Objet : Proposition de calcul des émissions diffuses de l'érosion éolienne des sites d'entreposage du projet Dumont en réponse à la question QC-127 du MDDEFP

Dossier 3211-16-008

Monsieur,

Veuillez trouver ci-annexé une lettre datée du 11 septembre 2013 signée par la Directrice des politiques de la qualité de l'atmosphère et par le Chef de service des avis et des expertises - Milieu atmosphérique qui répond à votre proposition citée en objet et présentée au ministère le 5 septembre dernier.

Afin de compléter les réponses à la série de questions et commentaires transmis le 11 mars 2013, une mise à jour de l'étude de dispersion atmosphérique effectuée à partir des méthodologies actuellement acceptées par le Ministère, et incluant toutes les informations requises, entre autres, le nombre d'occurrences projetées, de dépassements des normes et critères, est notamment attendue.

Je vous prie de recevoir, Monsieur, mes meilleures salutations.

La directrice,

p.p. Mireille Paul

p. j.

Édifice Marie-Guyart, 6e étage
675, boulevard René-Lévesque Est
Québec (Québec) G1R 5V7
Téléphone : 418 521-3933
Télécopieur : 418 644-8222
Internet : www.mddefp.gouv.qc.ca

Ce papier contient 100% de fibres recyclées après consommation.

Ministère du
Développement durable,
de l'Environnement,
de la Faune et des Parcs
Québec

Direction des politiques de la qualité de l'atmosphère
Direction du suivi de l'état de l'environnement

Note

DESTINATAIRE : Madame Mireille Paul, directrice
Direction de l'évaluation environnementale
des projets nordiques et miniers

DATE : Le 11 septembre 2013

OBJET : **Proposition de calcul des émissions diffuses de l'érosion éolienne des sites d'entreposage du *Projet Dumont*, en réponse à la question QC-127 du MDDEFP**

V/Réf. : 3211-16-008

N/Réf. : DPQA 1258

Le 5 septembre dernier, Genivar a présenté à la *Direction du suivi de l'état de l'environnement, Service des avis et des expertises - Milieu atmosphérique* (SAVEX) et à la *Direction des politiques de la qualité de l'atmosphère* (DPQA) une méthodologie pour estimer les émissions de particules engendrées par l'érosion éolienne aux haldes et aux piles du *Projet Dumont,* en réponse à la QC-127 du ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP) sur la recevabilité de l'étude d'impact sur l'environnement, afin d'obtenir leurs commentaires.

1) Méthodologie proposée pour évaluer l'érosion éolienne provenant des piles (proposition de Genivar)

Cette approche repose sur plusieurs hypothèses qui devraient faire l'objet de nombreuses vérifications. D'ailleurs, l'ensemble de l'approche proposée devrait faire l'objet d'une validation scientifique exhaustive par un tiers reconnu (ex. Environnement Canada, EPA) à l'aide de mesures effectuées sur le terrain et peut-être même aussi en laboratoire. La validation de cette approche constitue une tâche colossale et ne peut être envisagée à court ou même à moyen terme.

Dans un souci d'équité envers les promoteurs qui ont soumis au cours des dernières années des études d'impact pour des projets miniers similaires à celui de Royal Nickel, nous réitérons l'exigence du MDDEFP pour le calcul de l'érosion éolienne. L'érosion éolienne doit être prise en compte à l'aide de l'approche de l'INRP.

De plus, seuls les secteurs jugés « actifs » des haldes et des piles doivent être pris en compte dans la modélisation. La définition des zones dites « actives » devra comprendre les activités qui s'échelonnent sur une période prolongée, et non seulement les activités d'une seule journée comme il est actuellement proposé. Toutefois, le promoteur devra démontrer, à la satisfaction du MDDEFP, que des mesures d'atténuation seront mises en place afin de réduire les émissions provenant des secteurs jugés « non actifs ».

...2

Édifice Marie-Guyart, 5e étage, boîte 30
675, boulevard René-Lévesque Est
Québec (Québec) G1R 5V7
Téléphone : 418 521-3813, poste 4565
Télécopieur : 418 646-0001
Courriel : france.delisle@mddefp.gouv.qc.ca
Internet : www.mddefp.gouv.qc.ca

Édifice Marie-Guyart, 7e étage, boîte 22
675, boulevard René-Lévesque Est
Québec (Québec) G1R 5V7
Téléphone : 418 521-3820, poste 4743
Télécopieur : 418 643-9591
Courriel : linda.tapin@mddefp.gouv.qc.ca
Internet : www.mddefp.gouv.qc.ca

ANNEXE 11

Résultats détaillés des mesures de bruit réalisées en avril 2013

Annexe 11-1
Conditions météorologiques lors des mesures de bruit ambiant

Rapport de données horaires pour le 11 octobre 2011

Toutes les heures sont exprimées en heure normale locale (HNL). Pour convertir l'heure locale en heure avancée, ajoutez 1 heure s'il y a lieu.

VAL D'OR
QUEBEC

Latitude: 48°03'12,000" N Longitude: 77°46'58,000" O Altitude: 337,40 m

Identification Climat: 7098605 Identification OMM: 71941 Identification TC: YVO

Rapport de données horaires pour le 11 octobre 2011

Heure	Temp. °C	Point de rosée °C	Hum. rel. %	Dir. du vent 10s deg	Vit. du vent km/h	Visibilité km	Pression à la station kPa	Hmdx	Refroid. éolien	Temps
00:00‡	5,2	1,3			0	16,1	98,41			ND
01:00‡	7,0	0,9		16	5	16,1	98,40			ND
02:00‡	5,6	1,3		17	5	16,1	98,43			ND
03:00‡	4,6	1,6		18	5	16,1	98,39			ND
04:00‡	6,3	3,1		17	9	16,1	98,41			ND
05:00‡	5,8	3,0		19	9	16,1	98,42			ND
06:00‡	5,2	2,9		17	9	16,1	98,39			ND
07:00‡	6,1	3,2		17	11	16,1	98,41			ND
08:00‡	8,8	4,3		16	13	16,1	98,41			ND
09:00‡	12,1	3,1		18	17	16,1	98,37			ND
10:00‡	15,3	3,0		19	13	16,1	98,35			ND
11:00‡	17,8	3,8		15	15	16,1	98,30			ND
12:00‡	19,8	4,8		14	11	16,1	98,24			ND
13:00‡	20,7	6,1		14	13	16,1	98,18			ND
14:00‡	21,6	7,3		12	15	16,1	98,11			ND
15:00‡	21,3	7,5		13	17	16,1	98,08			ND
16:00‡	20,3	8,1		14	15	16,1	98,06			ND
17:00‡	18,5	8,1		14	11	16,1	98,03			ND
18:00‡	16,2	8,5		16	13	16,1	98,03			ND
19:00‡	15,4	8,7		17	13	16,1	98,04			ND
20:00‡	14,8	8,1		17	11	16,1	98,04			ND
21:00‡	13,4	7,2		17	13	16,1	98,03			ND
22:00‡	12,9	7,0		18	13	16,1	98,01			ND
23:00‡	13,0	6,6		18	15	16,1	98,01			ND

Légende
M = Données manquantes
E = Valeur estimée
ND = non disponible
‡ = Données fournies par un partenaire, non assujetties à un révision par les Archives climatiques nationales du Canada

http://www.climat.meteo.gc.ca/climateData/hourlydata_f.html?timeframe=1&Prov=QUE... 2012-05-25

Rapport de données horaires pour le 12 octobre 2011

Toutes les heures sont exprimées en heure normale locale (HNL). Pour convertir l'heure locale en heure avancée, ajoutez 1 heure s'il y a lieu.

VAL D'OR
QUEBEC

Latitude: 48°03'12,000" N Longitude: 77°46'58,000" O Altitude: 337,40 m

Identification Climat: 7098605 Identification OMM: 71941 Identification TC: YVO

Rapport de données horaires pour le 12 octobre 2011

Heure	Temp. °C	Point de rosée °C	Hum. rel. %	Dir. du vent 10s deg	Vit. du vent km/h	Visibilité km	Pression à la station kPa	Hmdx	Refroid. éolien	Temps
00:00‡	12,0	6,5		17	17	16,1	97,99			ND
01:00‡	9,3	6,1		17	13	16,1	97,97			ND
02:00‡	9,1	6,0		17	11	16,1	97,97			ND
03:00‡	8,2	5,7		16	15	16,1	97,96			ND
04:00‡	8,4	5,7		18	11	16,1	97,96			ND
05:00‡	9,5	6,0		18	13	16,1	97,94			ND
06:00‡	8,5	5,4		17	13	16,1	97,93			ND
07:00‡	9,1	5,0		18	15	16,1	97,92			ND
08:00‡	10,7	5,1		18	11	16,1	97,92			ND
09:00‡	13,6	3,2		19	17	16,1	97,90			ND
10:00‡	16,5	3,4		19	17	16,1	97,85			ND
11:00‡	18,4	4,6		17	15	16,1	97,80			ND
12:00‡	19,4	5,9		17	13	16,1	97,75			ND
13:00‡	19,7	6,3		14	15	16,1	97,67			ND
14:00‡	21,1	6,8		17	13	16,1	97,60			ND
15:00‡	20,3	7,7		15	17	16,1	97,54			ND
16:00‡	18,8	6,7		15	17	16,1	97,52			ND
17:00‡	17,3	7,4		15	13	16,1	97,49			ND
18:00‡	14,9	8,0		16	11	16,1	97,51			ND
19:00‡	14,3	7,4		17	13	16,1	97,51			ND
20:00‡	13,6	6,5		16	13	16,1	97,47			ND
21:00‡	13,1	6,3		17	11	16,1	97,44			ND
22:00‡	11,7	5,5		17	11	16,1	97,40			ND
23:00‡	12,2	5,2		17	13	16,1	97,35			ND

Légende
M = Données manquantes
E = Valeur estimée
ND = non disponible
‡ = Données fournies par un partenaire, non assujetties à un révision par les Archives climatiques nationales du Canada

Rapport de données horaires pour le 01 avril 2013

Toutes les heures sont exprimées en heure normale locale (HNL). Pour convertir l'heure locale en heure avancée, ajoutez 1 heure s'il y a lieu.

ROUYN-NORANDA
QUEBEC

Latitude: 48°12'22,000" N Longitude: 78°50'08,000" O Altitude: 301,10 m
Identification Climat: 7086719 Identification OMM: Identification TC: YUY

Rapport de données horaires pour le 1 avril 2013

Heure	Temp. °C	Point de rosée °C	Hum. rel. %	Dir. du vent 10s deg	Vit. du vent km/h	Visibilité km	Pression à la station kPa	Hmdx	Refroid. éolien	Temps
00:00‡	0,4	0,0	97	24	15	6,4	96,01			Neige
01:00‡	0,2	-0,4	96	24	13	9,7	95,99			Neige
02:00‡	0,1	-0,6	95	26	17	12,9	95,95			Neige
03:00‡	-4,7	-6,5	87	33	21	4,8	96,04		-11	Neige
04:00‡	-6,7	-8,7	86	33	19	9,7	96,11		-14	Neige
05:00‡	-8,3	-10,4	85	34	24	4,8	96,19		-16	Neige
06:00‡	-9,0	-11,9	80	34	32	4,8	96,25		-18	Neige
07:00‡	-10,2	-13,2	79	34	27	3,2	96,36		-19	Neige
08:00‡	-10,6	-13,6	79	32	25	2,0	96,46		-20	Neige
09:00‡	-11,0	-14,3	77	32	24	2,0	96,51		-20	Neige
10:00‡	-11,0	-14,8	74	30	22	3,6	96,57		-20	Neige
11:00‡	-9,9	-15,1	66	33	29	4,8	96,64		-19	Neige,Poudrerie élevée
12:00‡	-10,1	-14,4	71	30	25	2,4	96,70		-19	Neige
13:00‡	-9,7	-14,2	70	31	22	2,0	96,78		-18	Neige
14:00‡	-9,4	-14,1	69	30	26	4,0	96,86		-18	Neige
15:00‡	-9,2	-14,3	67	32	27	6,4	96,94		-18	Neige
16:00‡	-9,4	-12,9	76	32	24	6,4	97,02		-18	Neige
17:00‡	-9,7	-14,6	68	30	24	6,4	97,10		-18	Neige
18:00‡	-10,1	-13,2	78	30	17	4,8	97,18		-17	Neige
19:00‡	-10,8	-13,6	80	33	33	2,4	97,25		-21	Neige
20:00‡	-11,9	-15,5	75	31	18	9,7	97,32		-20	Neige
21:00‡	-12,5	-15,6	78	31	12	12,9	97,35		-19	Neige
22:00‡	-13,0	-16,7	74	30	19	24,1	97,34		-21	Neige
23:00‡	-13,3	-16,8	75	29	17	19,3	97,31		-21	Neige

Légende
M = Données manquantes
E = Valeur estimée
ND = non disponible
‡ = Données fournies par un partenaire, non assujetties à un révision par les Archives climatiques nationales du Canada

Rapport de données horaires pour le 02 avril 2013

Toutes les heures sont exprimées en heure normale locale (HNL). Pour convertir l'heure locale en heure avancée, ajoutez 1 heure s'il y a lieu.

ROUYN-NORANDA
QUEBEC

Latitude: 48°12'22,000" N Longitude: 78°50'08,000" O Altitude: 301,10 m

Identification Climat: 7086719 Identification OMM: Identification TC: YUY

Rapport de données horaires pour le 2 avril 2013

Heure	Temp. °C	Point de rosée °C	Hum. rel. %	Dir. du vent 10s deg	Vit. du vent km/h	Visibilité km	Pression à la station kPa	Hmdx	Refroid. éolien	Temps
00:00‡	-13,7	-17,2	75	29	12	24,1	97,27		-20	Neige
01:00‡	-13,9	-17,3	76	30	14	24,1	97,27		-21	Neige
02:00‡	-14,3	-17,5	77	27	18	24,1	97,22		-23	Neige
03:00‡	-14,2	-17,6	76	28	18	24,1	97,21		-23	Neige
04:00‡	-14,4	-17,6	77	28	17	12,9	97,21		-23	Neige
05:00‡	-14,5	-17,7	77	28	17	8,1	97,25		-23	Neige
06:00‡	-14,6	-17,5	79	28	18	4,0	97,26		-23	Neige
07:00‡	-14,6	-18,4	73	28	16	8,1	97,28		-23	Neige
08:00‡	-14,4	-18,4	72	28	25	6,4	97,29		-24	Neige
09:00‡	-13,4	-18,1	68	30	20	6,4	97,29		-22	Neige,Poudrerie élevée
10:00‡	-12,2	-18,1	62	28	31	8,1	97,26		-23	Neige,Poudrerie élevée
11:00‡	-11,4	-16,6	66	27	30	6,4	97,27		-21	Neige,Poudrerie élevée
12:00‡	-10,0	-16,0	62	30	17	12,9	97,28		-17	Neige
13:00‡	-9,4	-15,0	64	28	24	6,4	97,30		-18	Neige
14:00‡	-8,5	-15,2	59	28	26	24,1	97,34		-17	ND
15:00‡	-7,3	-14,9	55	29	25	24,1	97,36		-15	ND
16:00‡	-7,4	-14,3	58	28	32	24,1	97,41		-16	Généralement nuageux
17:00‡	-6,7	-13,9	57	31	14	24,1	97,47		-12	ND
18:00‡	-7,1	-14,5	56	30	21	24,1	97,54		-14	ND
19:00‡	-7,7	-14,6	58	31	20	24,1	97,62		-15	Généralement nuageux
20:00‡	-8,0	-14,9	58	29	23	24,1	97,64		-16	ND
21:00‡	-8,2	-15,1	58	29	23	24,1	97,66		-16	ND
22:00‡	-8,6	-15,5	58	31	17	24,1	97,68		-15	Dégagé
23:00‡	-9,1	-15,9	58	31	26	24,1	97,71		-18	ND

Légende
M = Données manquantes
E = Valeur estimée
ND = non disponible
‡ = Données fournies par un partenaire, non assujetties à un révision par les Archives climatiques nationales du Canada

Rapport de données horaires pour le 03 avril 2013

Toutes les heures sont exprimées en heure normale locale (HNL). Pour convertir l'heure locale en heure avancée, ajoutez 1 heure s'il y a lieu.

ROUYN-NORANDA
QUEBEC

Latitude: 48°12'22,000" N Longitude: 78°50'08,000" O Altitude: 301,10 m

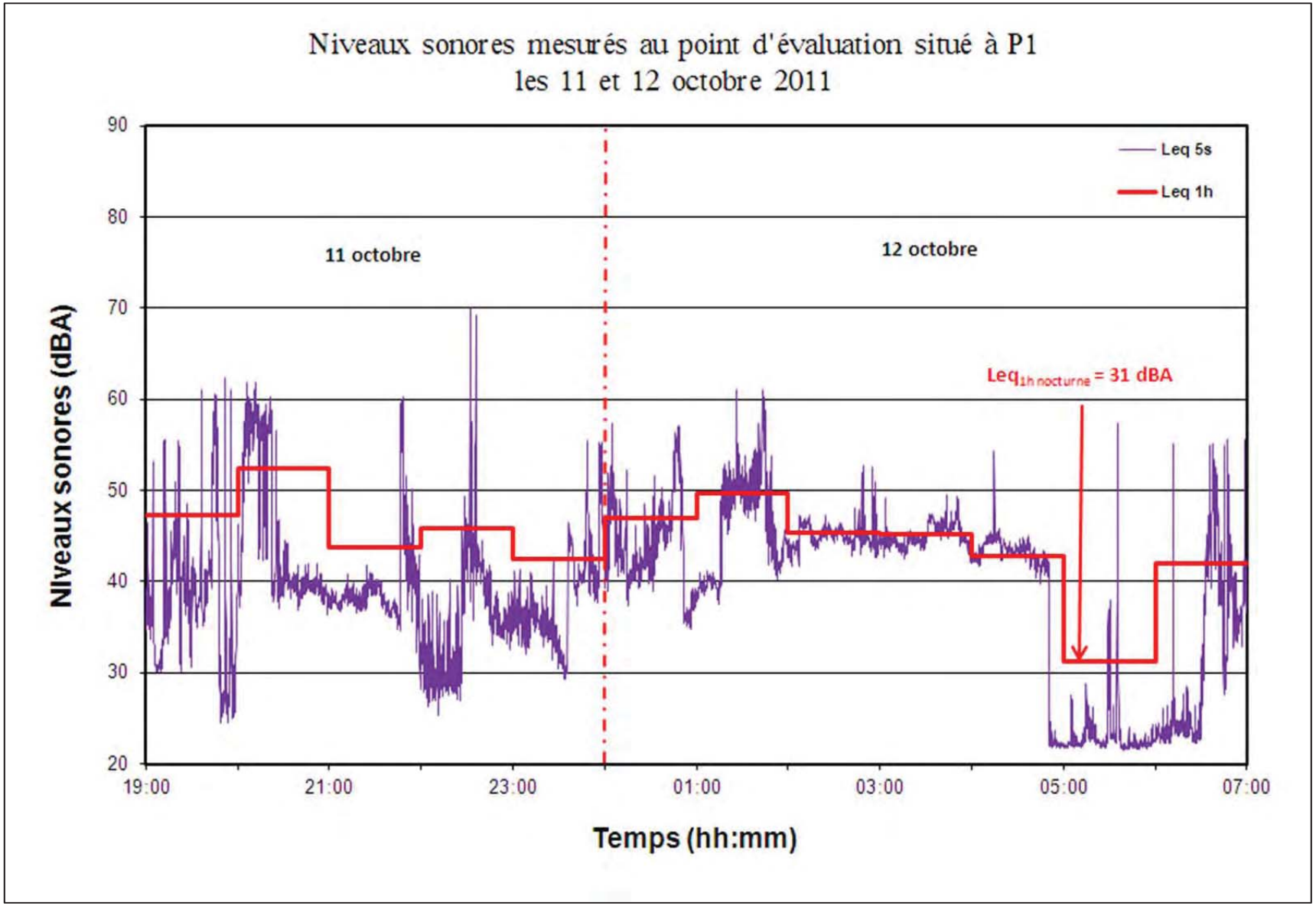
Identification Climat: 7086719 Identification OMM: Identification TC: YUY

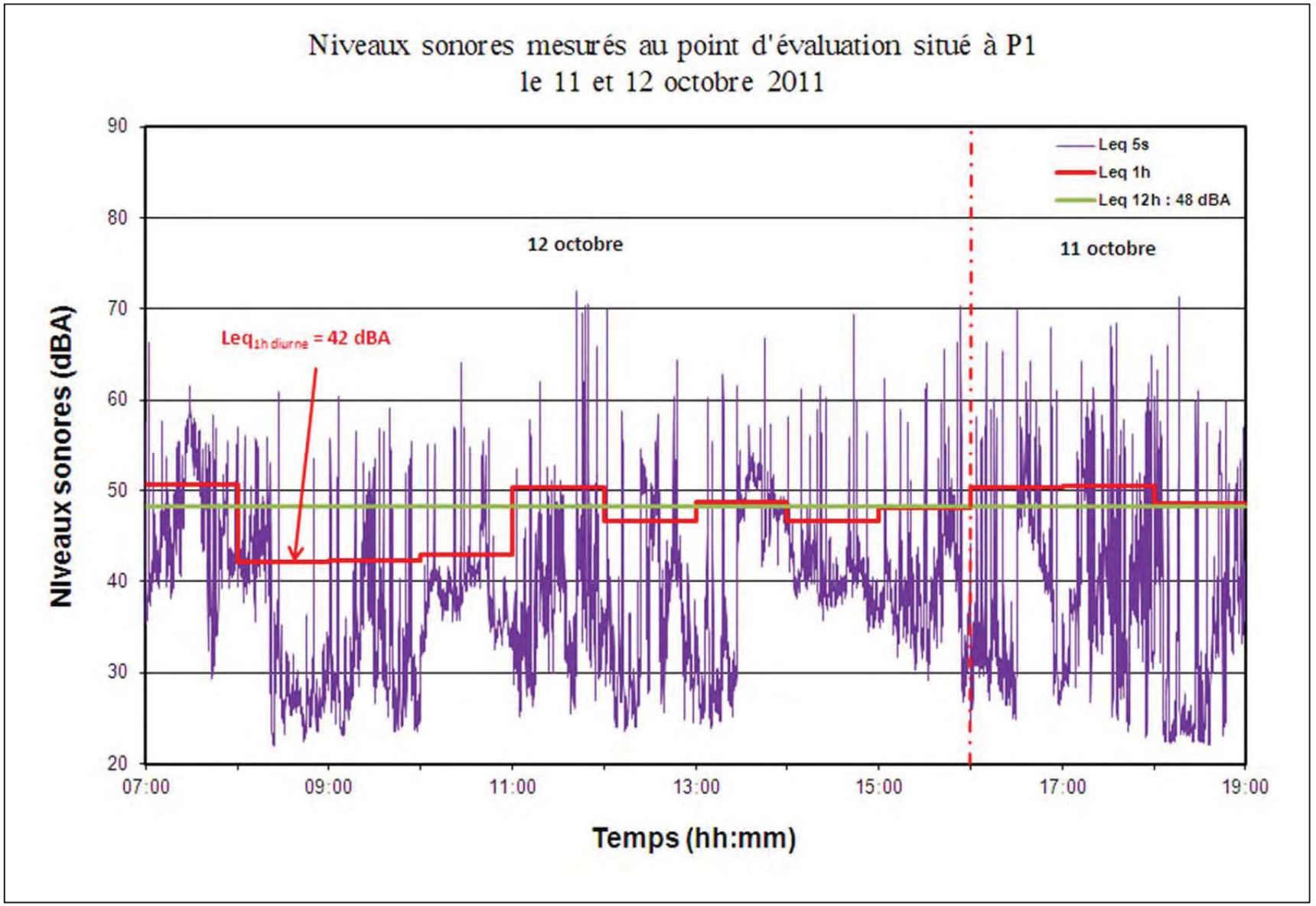
Rapport de données horaires pour le 3 avril 2013

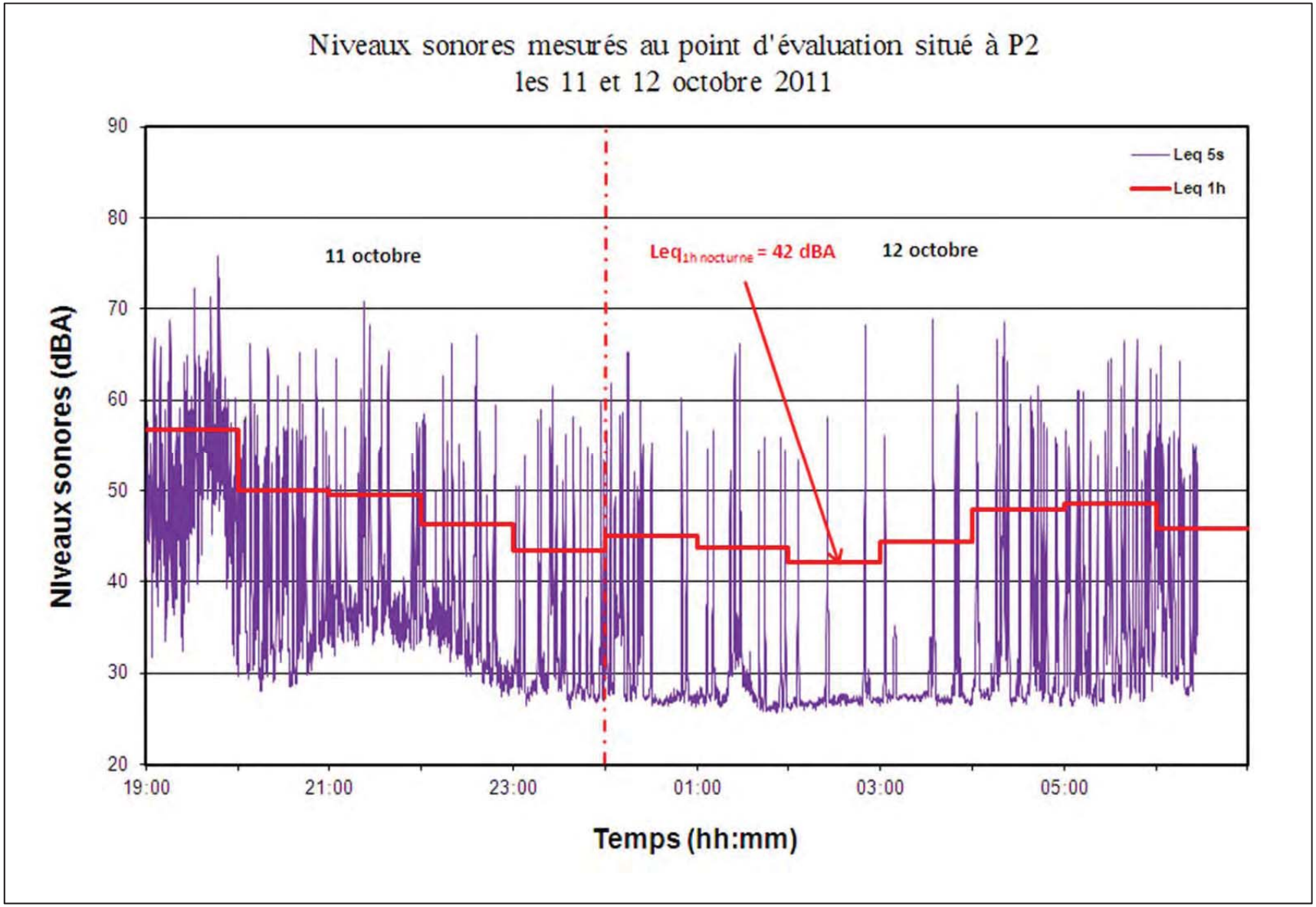
Heure	Temp. °C	Point de rosée °C	Hum. rel. %	Dir. du vent 10s deg	Vit. du vent km/h	Visibilité km	Pression à la station kPa	Hmdx	Refroid. éolien	Temps
00:00‡	-10,0	-16,2	61	30	22	24,1	97,72		-18	ND
01:00‡	-10,6	-16,4	63	30	21	24,1	97,74		-19	Dégagé
02:00‡	-11,1	-16,6	64	29	19	24,1	97,74		-19	ND
03:00‡	-11,4	-16,7	65	30	17	24,1	97,74		-19	ND
04:00‡	-11,6	-16,8	66	30	14	24,1	97,79		-18	Neige
05:00‡	-12,1	-16,9	68	29	20	24,1	97,83		-21	Neige
06:00‡	-12,0	-16,1	72	31	21	4,8	97,89		-21	Neige
07:00‡	-11,8	-14,9	78	29	15	4,8	97,96		-19	Neige
08:00‡	-11,0	-14,4	76	29	19	4,8	98,00		-19	Neige
09:00‡	-9,3	-13,6	71	30	26	4,8	98,06		-18	Neige,Poudrerie élevée
10:00‡	-7,5	-14,0	60	32	26	24,1	98,15		-16	Neige,Poudrerie élevée
11:00‡	-5,9	-15,3	48	31	21	24,1	98,21		-13	ND
12:00‡	-4,1	-15,5	41	32	27	24,1	98,27		-11	ND
13:00‡	-2,7	-15,2	38	31	28	24,1	98,30		-10	Dégagé
14:00‡	-1,6	-15,6	34	30	31	24,1	98,33		-9	ND
15:00‡	-0,7	-15,5	32	30	23	24,1	98,37		-7	ND
16:00‡	-0,2	-14,7	33	33	25	24,1	98,43		-6	Dégagé
17:00‡	-0,1	-14,9	32	31	19	24,1	98,47		-5	ND
18:00‡	-0,7	-14,7	34	32	17	24,1	98,45		-6	ND
19:00‡	-2,2	-15,7	35	28	6	24,1	98,48		-5	Dégagé
20:00‡	-5,1	-14,3	49	25	6	24,1	98,47		-8	ND
21:00‡	-8,0	-15,8	54	24	6	24,1	98,48		-11	ND
22:00‡	-8,4	-15,3	58	23	5	24,1	98,39		-11	Dégagé
23:00‡	-8,5	-14,4	63	22	5	24,1	98,33		-11	ND

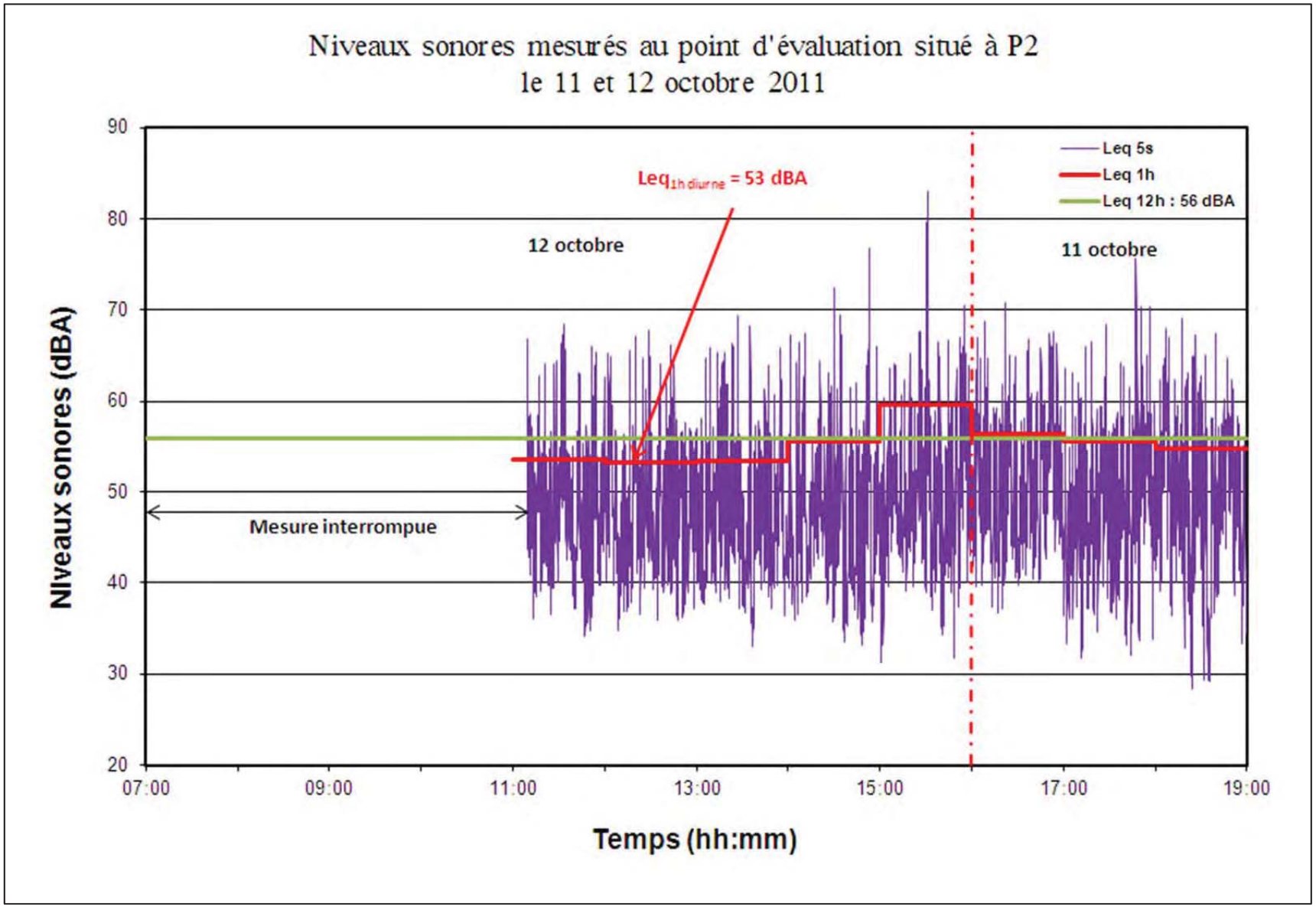
Légende
M = Données manquantes
E = Valeur estimée
ND = non disponible
‡ = Données fournies par un partenaire, non assujetties à un révision par les Archives climatiques nationales du Canada

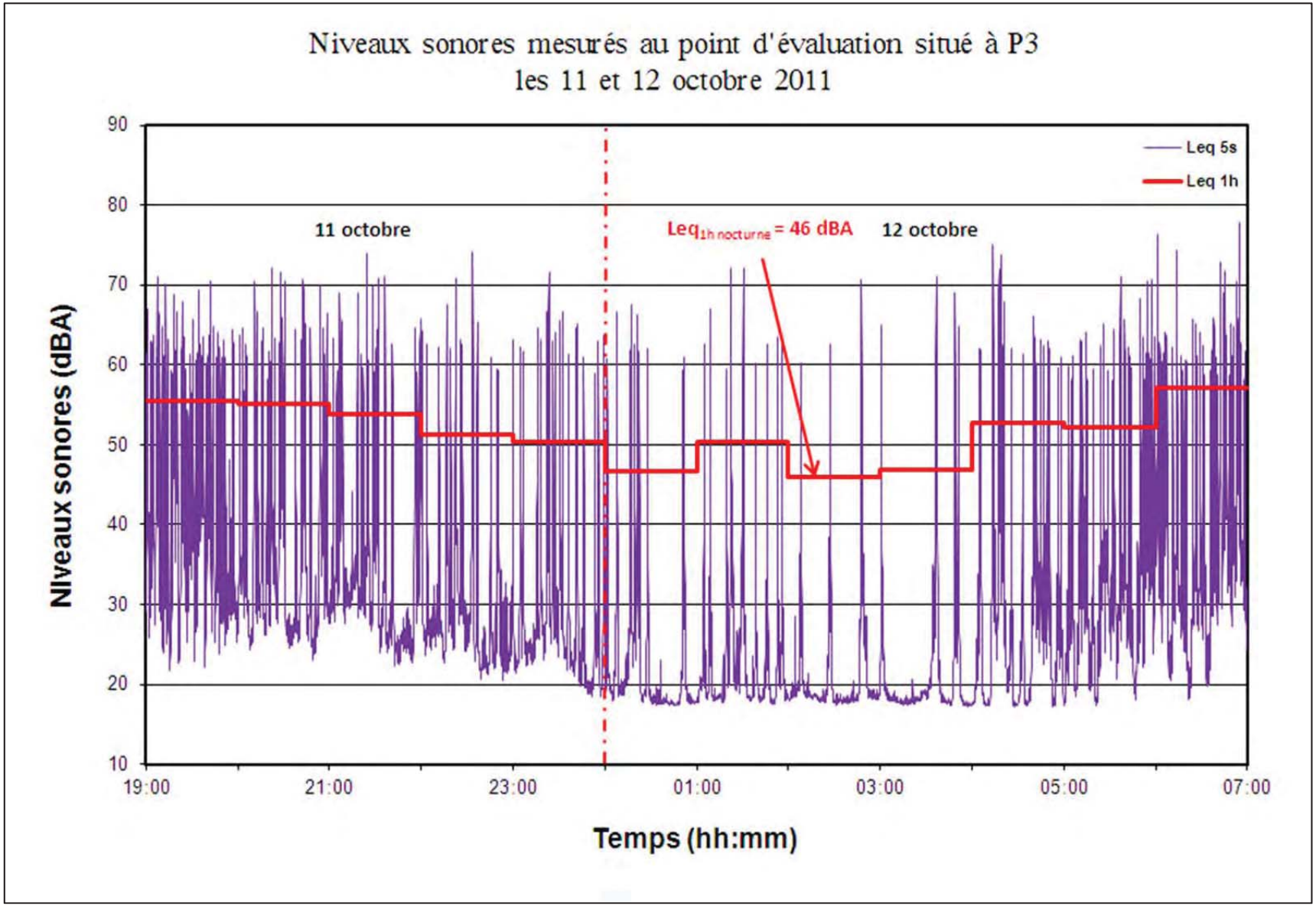
Annexe 11-2
Graphiques des relevés sonores

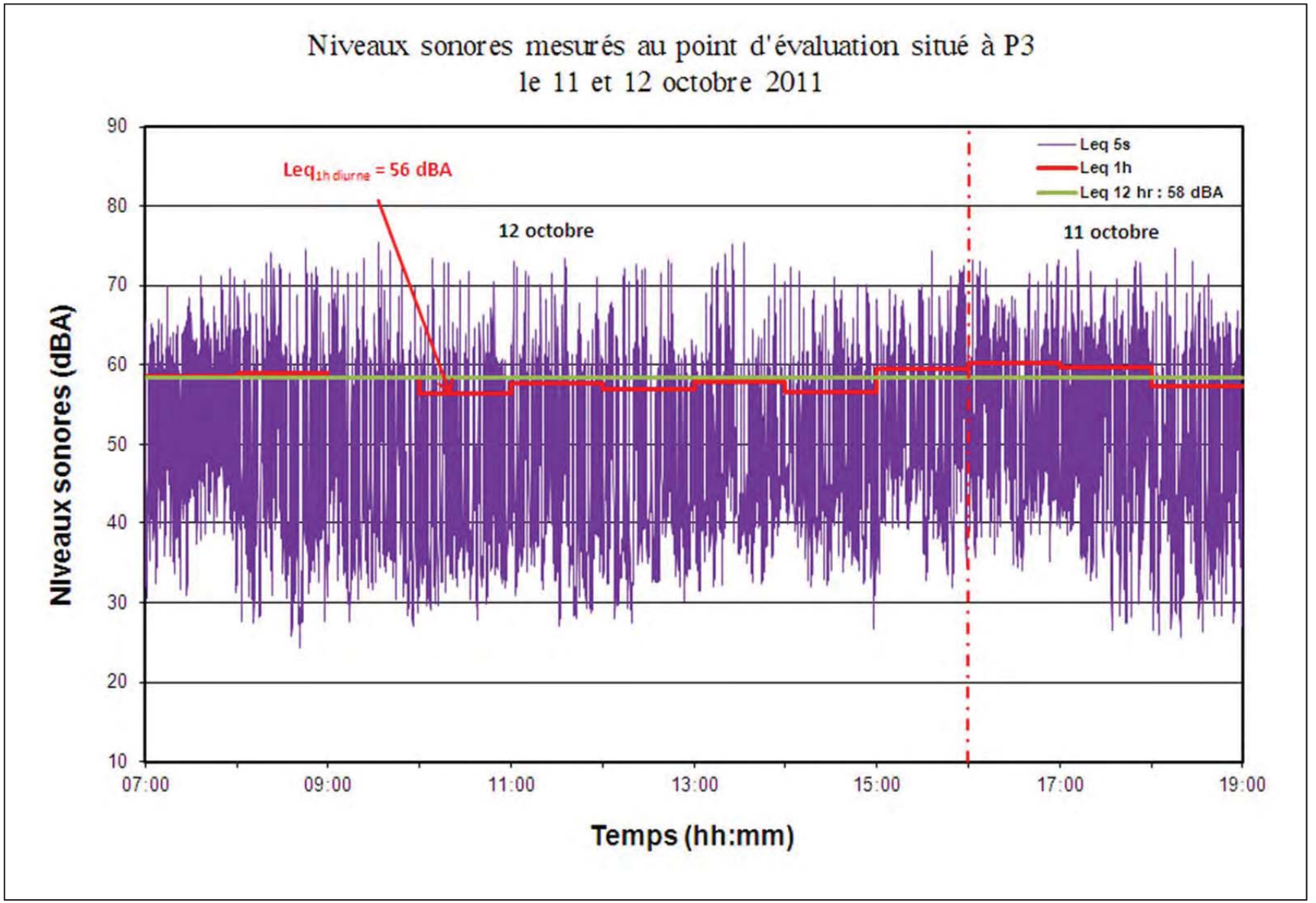

Niveaux sonores mesurés au point d'évaluation situé à P1
les 11 et 12 octobre 2011
Leq 5s
Leq 1h
11 octobre
12 octobre
Leq1h nocturne = 31 dBA
Niveaux sonores (dBA)
90
80
70
60
50
40
30
20
19:00
21:00
23:00
01:00
03:00
05:00
07:00
Temps (hh:mm)

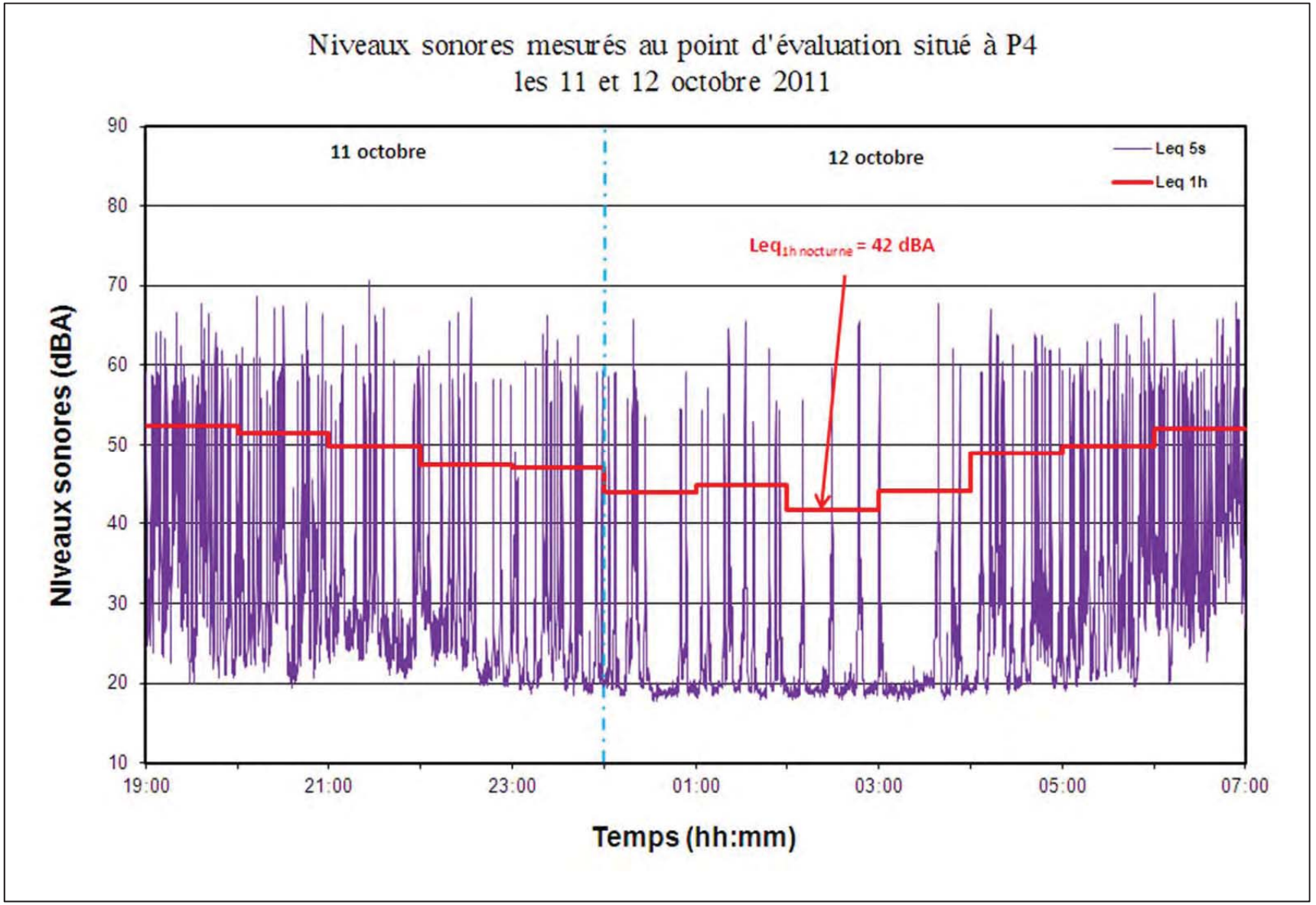

Niveaux sonores mesurés au point d'évaluation situé à P1
le 11 et 12 octobre 2011
Leq 5s
Leq 1h
Leq 12h : 48 dBA
12 octobre
11 octobre
Leq1h diurne = 42 dBA
Niveaux sonores (dBA)
Temps (hh:mm)
90
80
70
60
50
40
30
20
07:00
09:00
11:00
13:00
15:00
17:00
19:00


Niveaux sonores mesurés au point d'évaluation situé à P2
les 11 et 12 octobre 2011
Leq 5s
Leq 1h
11 octobre
Leq1h nocturne = 42 dBA
12 octobre
Niveaux sonores (dBA)
90
80
70
60
50
40
30
20
19:00
21:00
23:00
01:00
03:00
05:00
Temps (hh:mm)

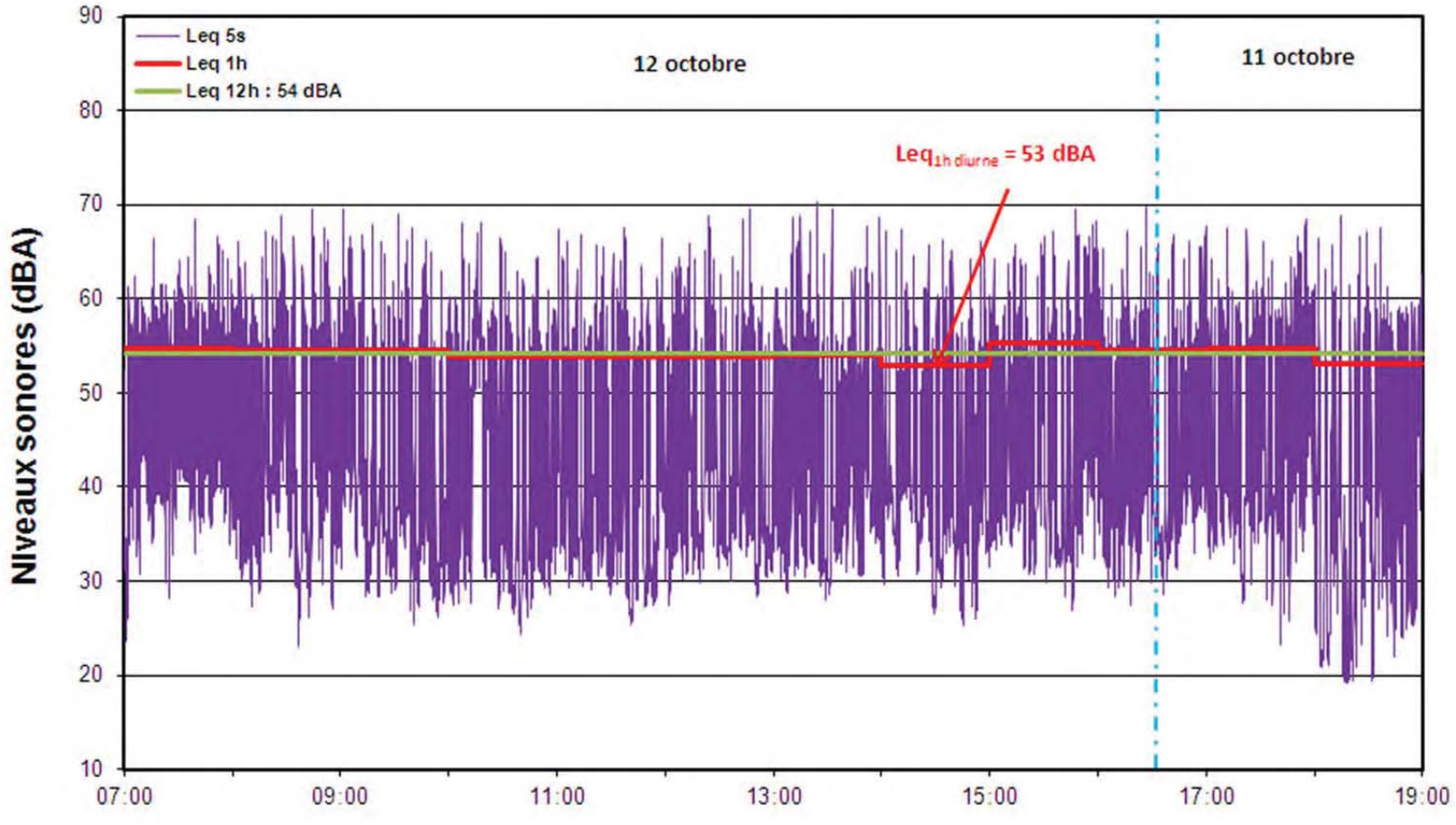

Niveaux sonores mesurés au point d'évaluation situé à P2
le 11 et 12 octobre 2011
Leq 5s
Leq 1h
Leq 12h : 56 dBA
Leq1h diurne = 53 dBA
12 octobre
11 octobre
Mesure interrompue
Niveaux sonores (dBA)
Temps (hh:mm)
90
80
70
60
50
40
30
20
07:00
09:00
11:00
13:00
15:00
17:00
19:00

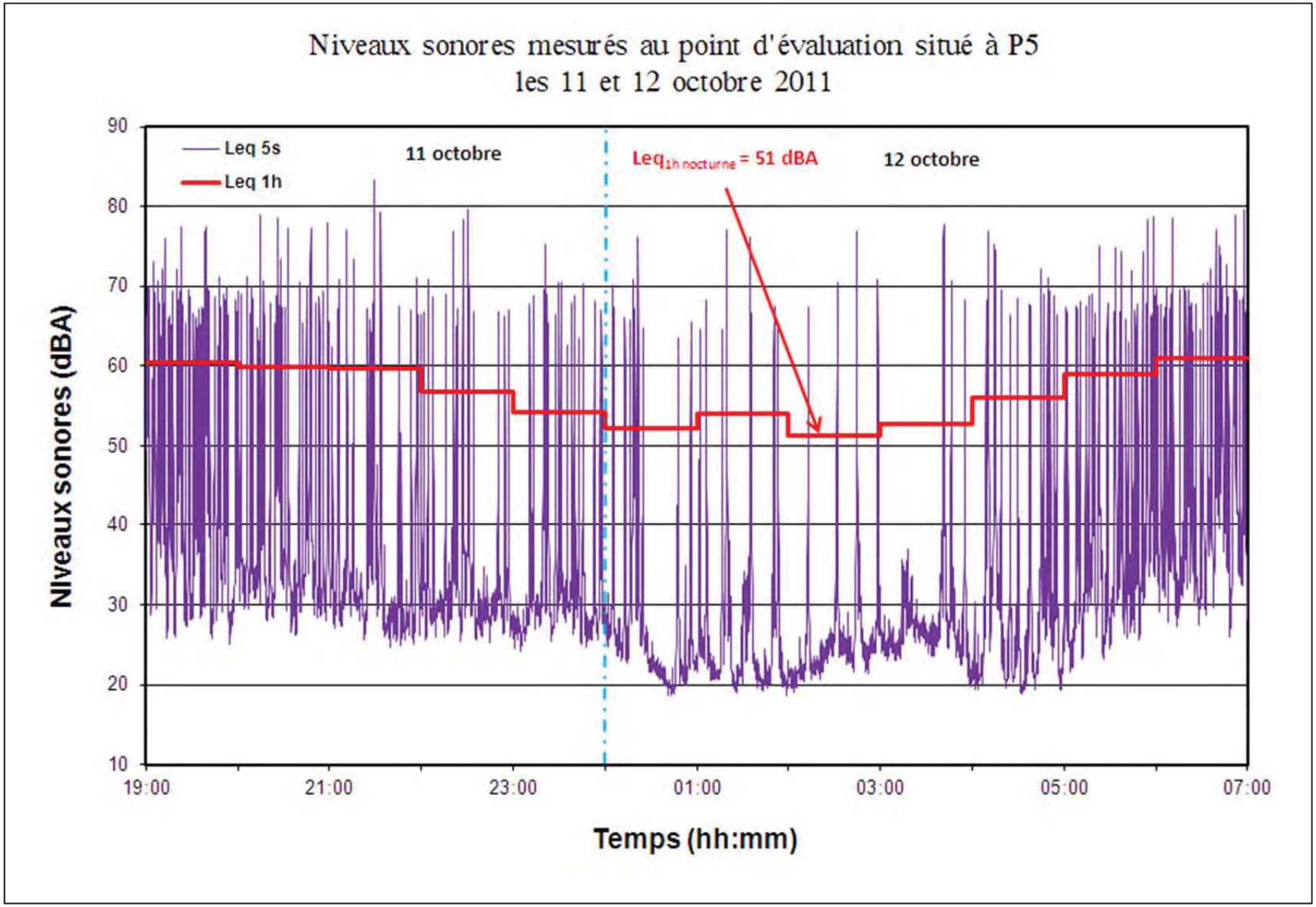

Niveaux sonores mesurés au point d'évaluation situé à P3
les 11 et 12 octobre 2011
Leq 5s
Leq 1h
11 octobre
Leq1h nocturne = 46 dBA
12 octobre
Niveaux sonores (dBA)
90
80
70
60
50
40
30
20
10
19:00
21:00
23:00
01:00
03:00
05:00
07:00
Temps (hh:mm)

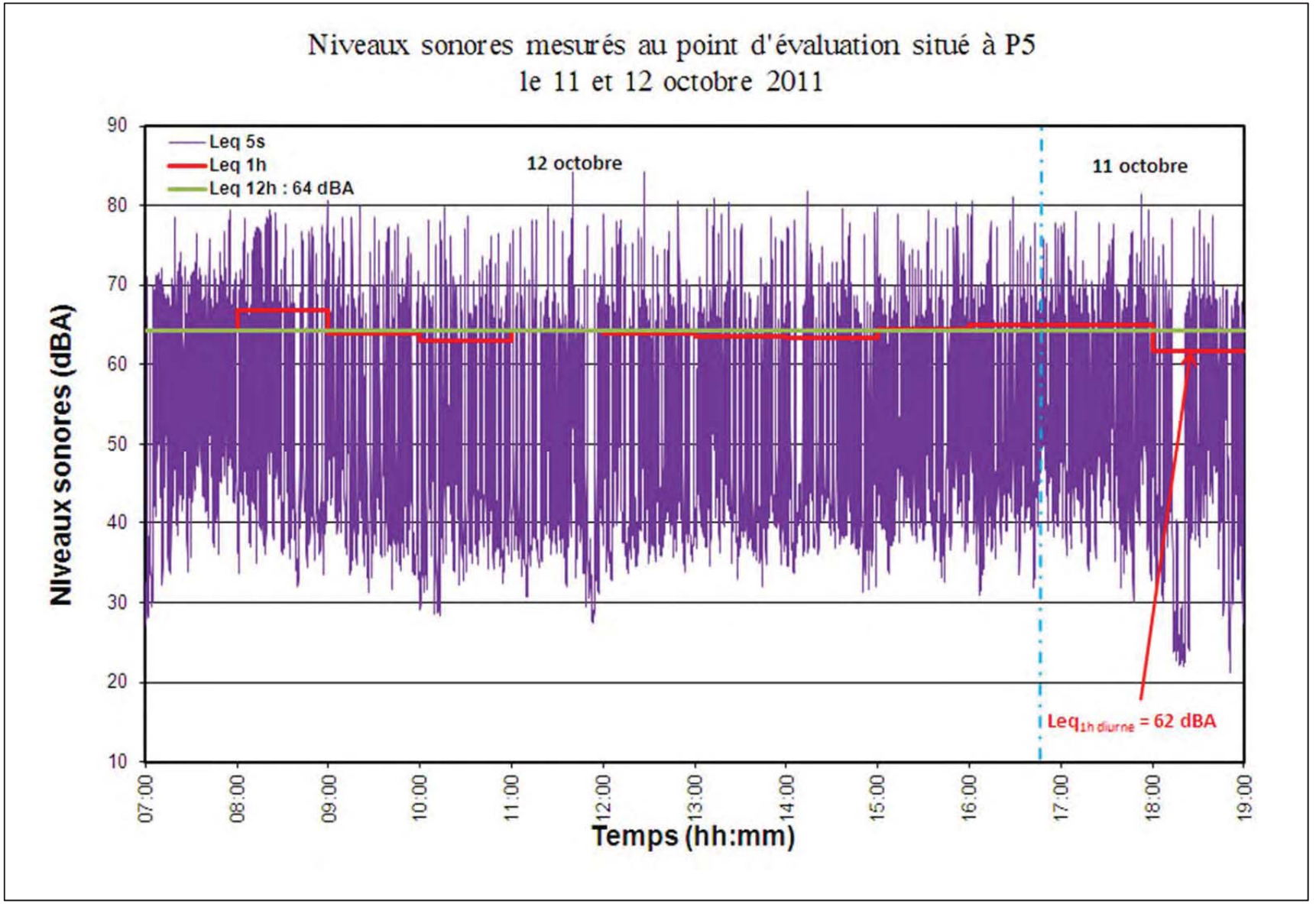

Niveaux sonores mesurés au point d'évaluation situé à P3
le 11 et 12 octobre 2011
Leq 5s
Leq 1h
Leq 12 hr : 58 dBA
Leq1h diurne = 56 dBA
12 octobre
11 octobre
Niveaux sonores (dBA)
90
80
70
60
50
40
30
20
10
07:00
09:00
11:00
13:00
15:00
17:00
19:00
Temps (hh:mm)

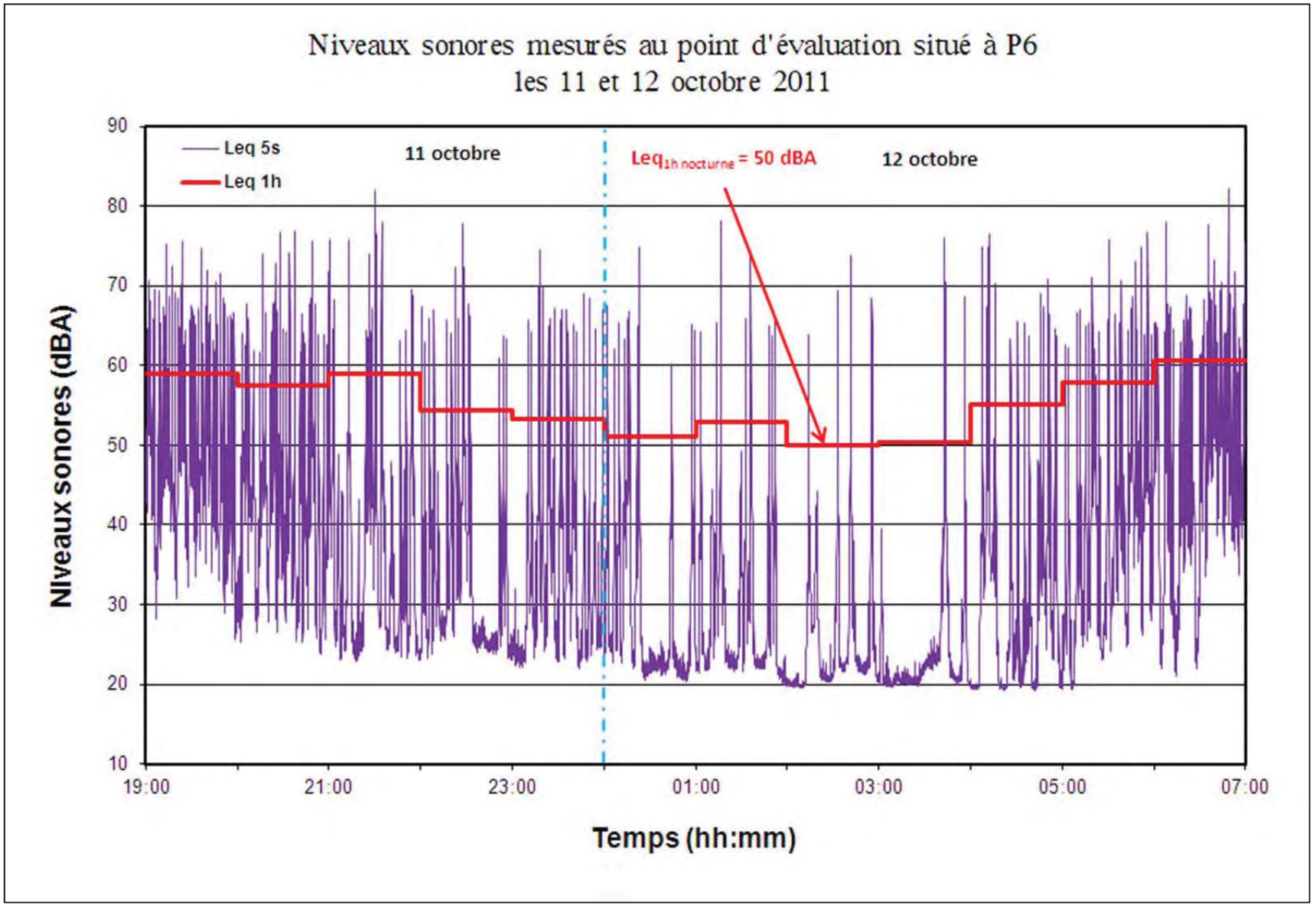

Niveaux sonores mesurés au point d'évaluation situé à P4
les 11 et 12 octobre 2011
11 octobre
12 octobre
Leq 5s
Leq 1h
Leq1h nocturne = 42 dBA
Niveaux sonores (dBA)
90
80
70
60
50
40
30
20
10
19:00
21:00
23:00
01:00
03:00
05:00
07:00
Temps (hh:mm)

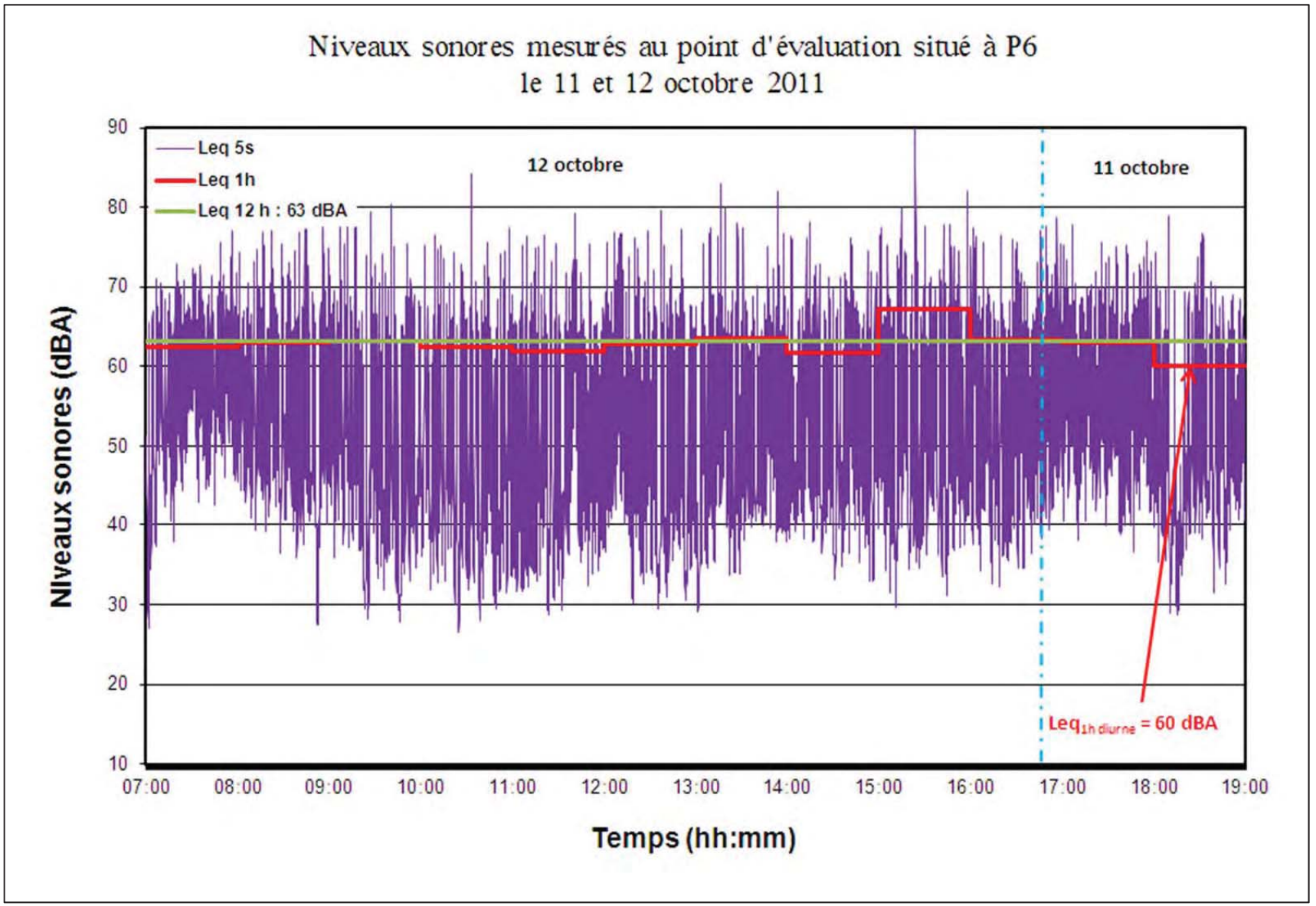
Niveaux sonores mesurés au point d'évaluation situé à P4
le 11 et 12 octobre 2011

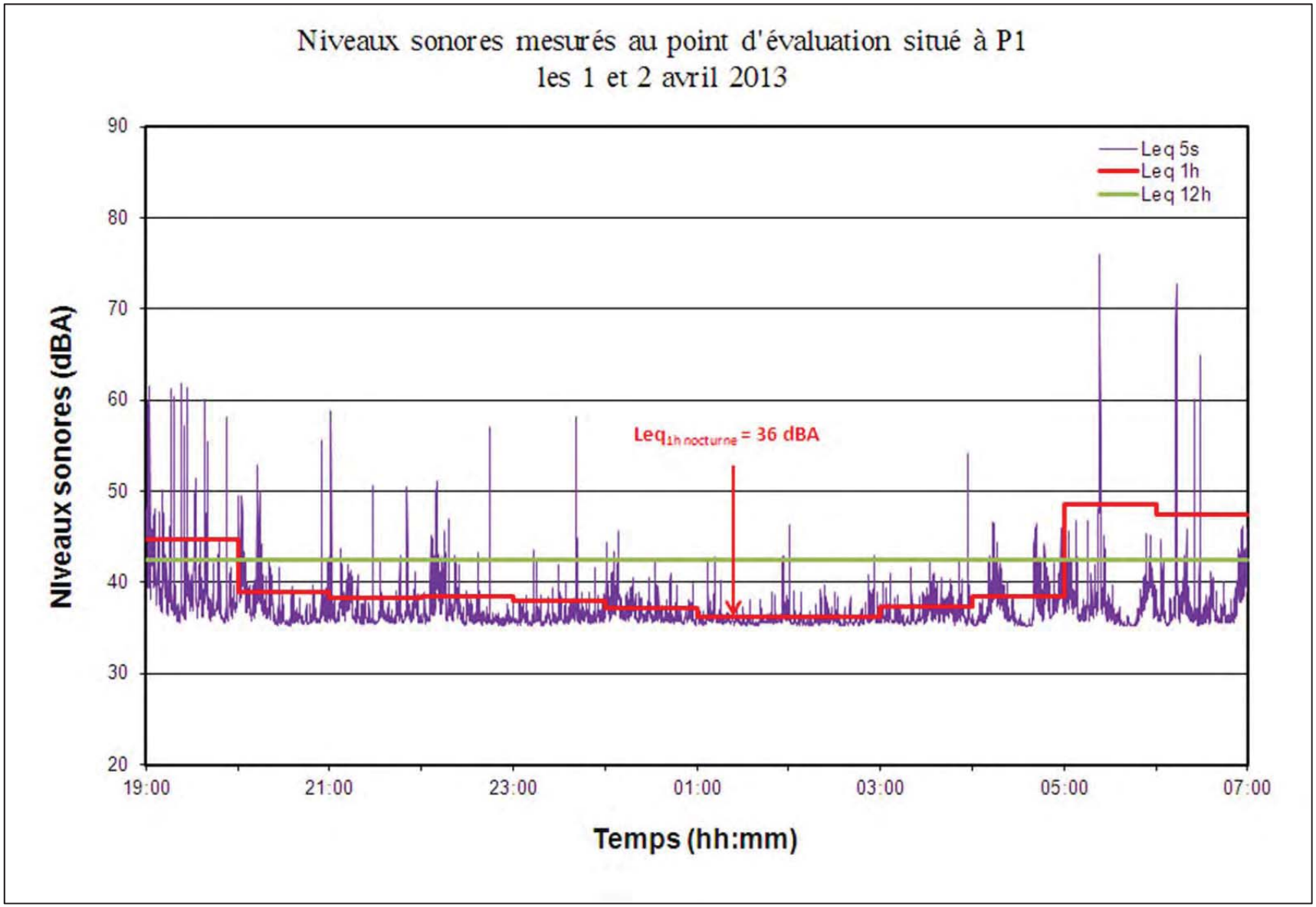


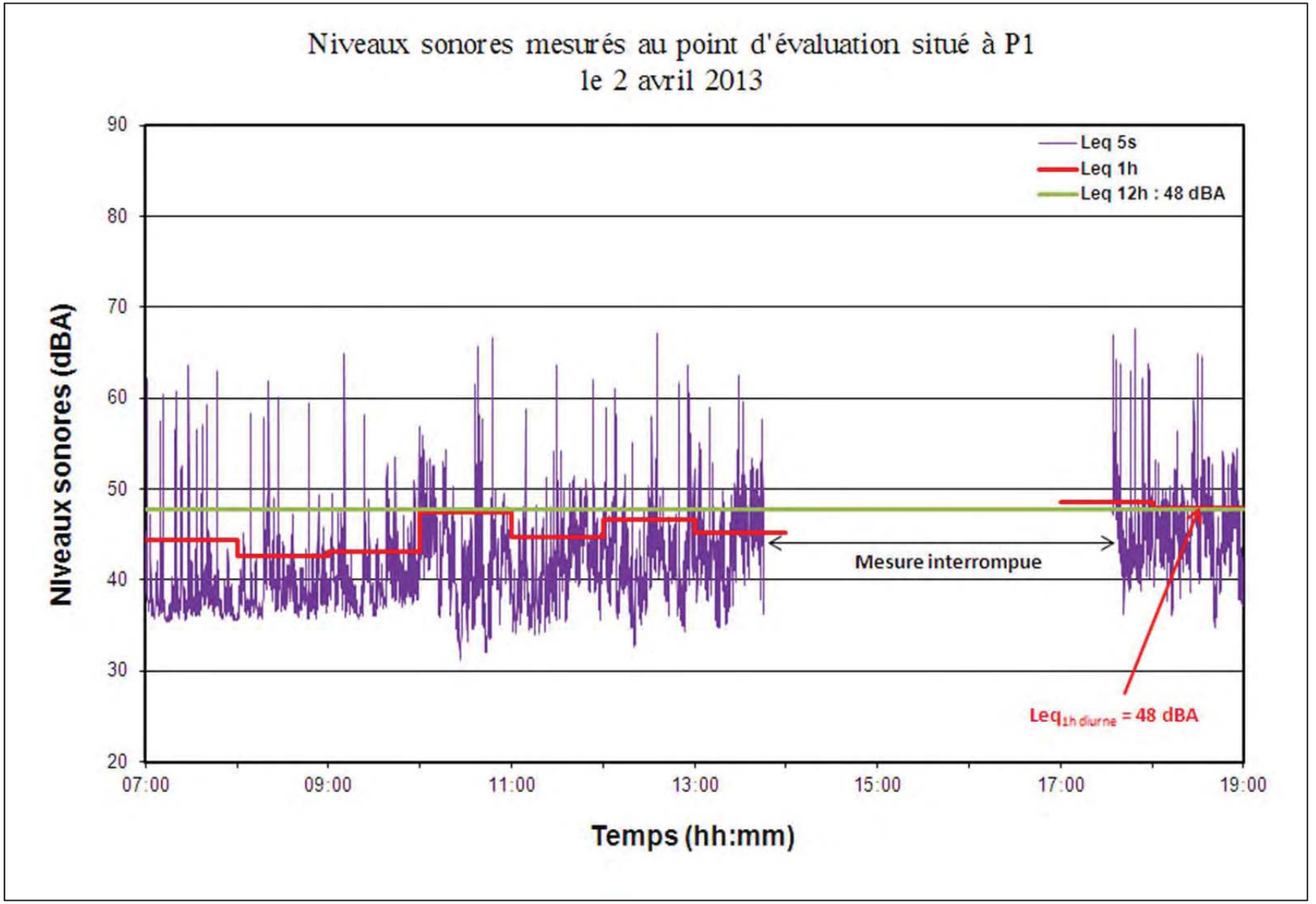

Niveaux sonores mesurés au point d'évaluation situé à P5
les 11 et 12 octobre 2011
Leq 5s
Leq 1h
11 octobre
12 octobre
Leq1h nocturne = 51 dBA
Niveaux sonores (dBA)
90
80
70
60
50
40
30
20
10
19:00
21:00
23:00
01:00
03:00
05:00
07:00
Temps (hh:mm)

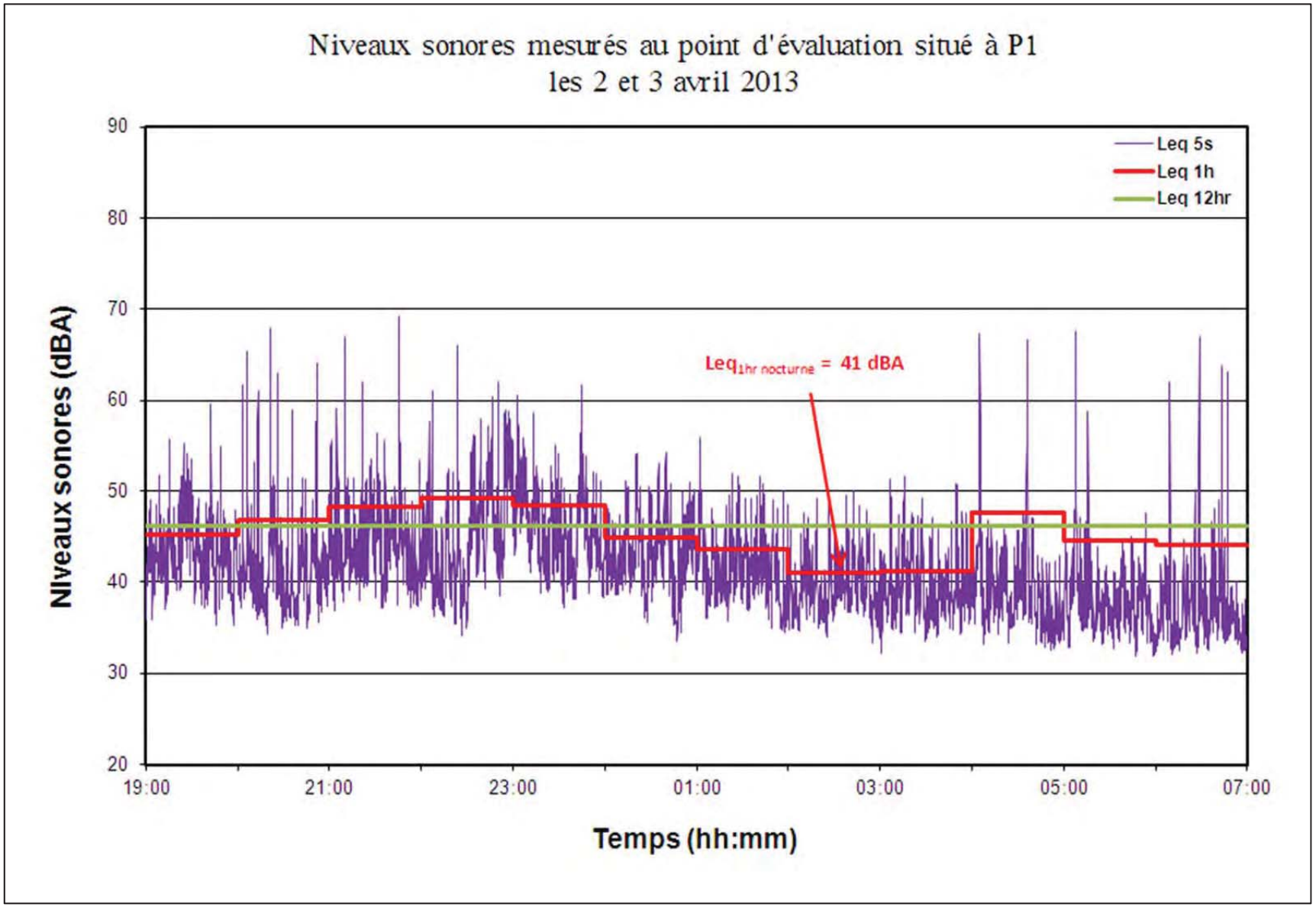

Niveaux sonores mesurés au point d'évaluation situé à P5
le 11 et 12 octobre 2011
Leq 5s
Leq 1h
Leq 12h : 64 dBA
12 octobre
11 octobre
Leq1h diurne = 62 dBA
Niveaux sonores (dBA)
Temps (hh:mm)
90
80
70
60
50
40
30
20
10
07:00
08:00
09:00
10:00
11:00
12:00
13:00
14:00
15:00
16:00
17:00
18:00
19:00

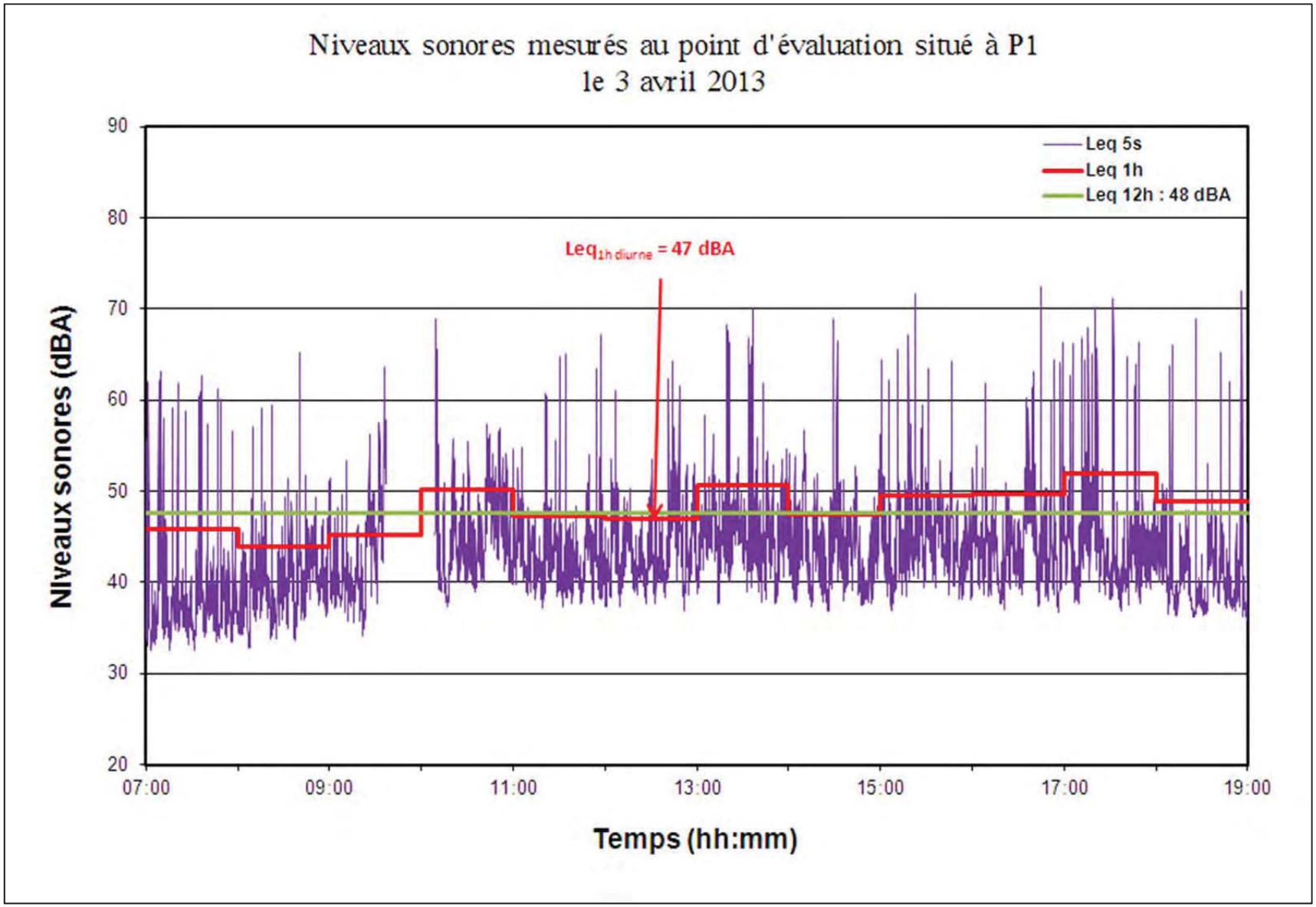

Niveaux sonores mesurés au point d'évaluation situé à P6
les 11 et 12 octobre 2011
Leq 5s
Leq 1h
11 octobre
12 octobre
Leq1h nocturne = 50 dBA
Niveaux sonores (dBA)
90
80
70
60
50
40
30
20
10
19:00
21:00
23:00
01:00
03:00
05:00
07:00
Temps (hh:mm)

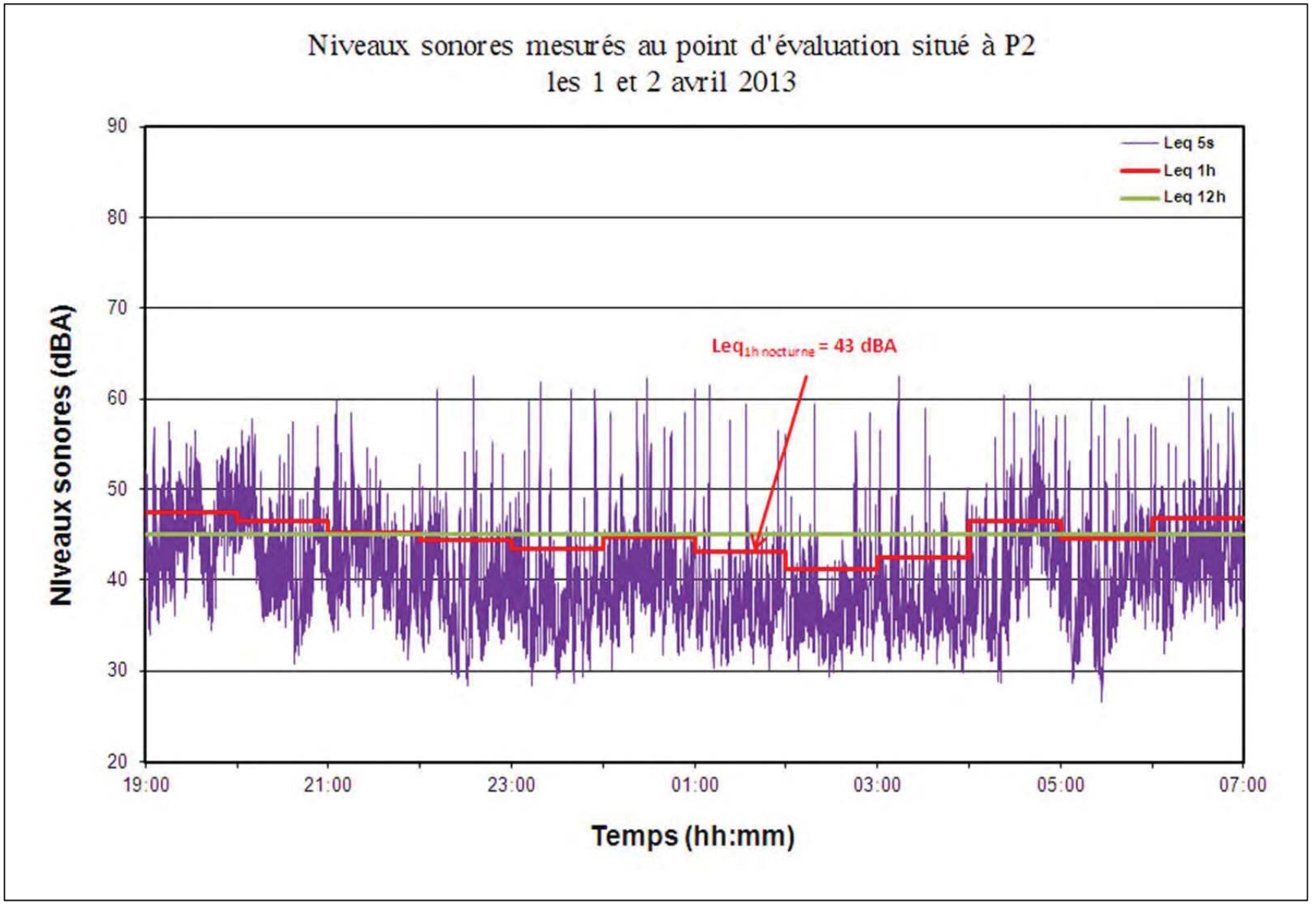

Niveaux sonores mesurés au point d'évaluation situé à P6
le 11 et 12 octobre 2011
Leq 5s
Leq 1h
Leq 12 h : 63 dBA
12 octobre
11 octobre
Leq1h diurne = 60 dBA
Niveaux sonores (dBA)
Temps (hh:mm)
90
80
70
60
50
40
30
20
10
07:00
08:00
09:00
10:00
11:00
12:00
13:00
14:00
15:00
16:00
17:00
18:00
19:00

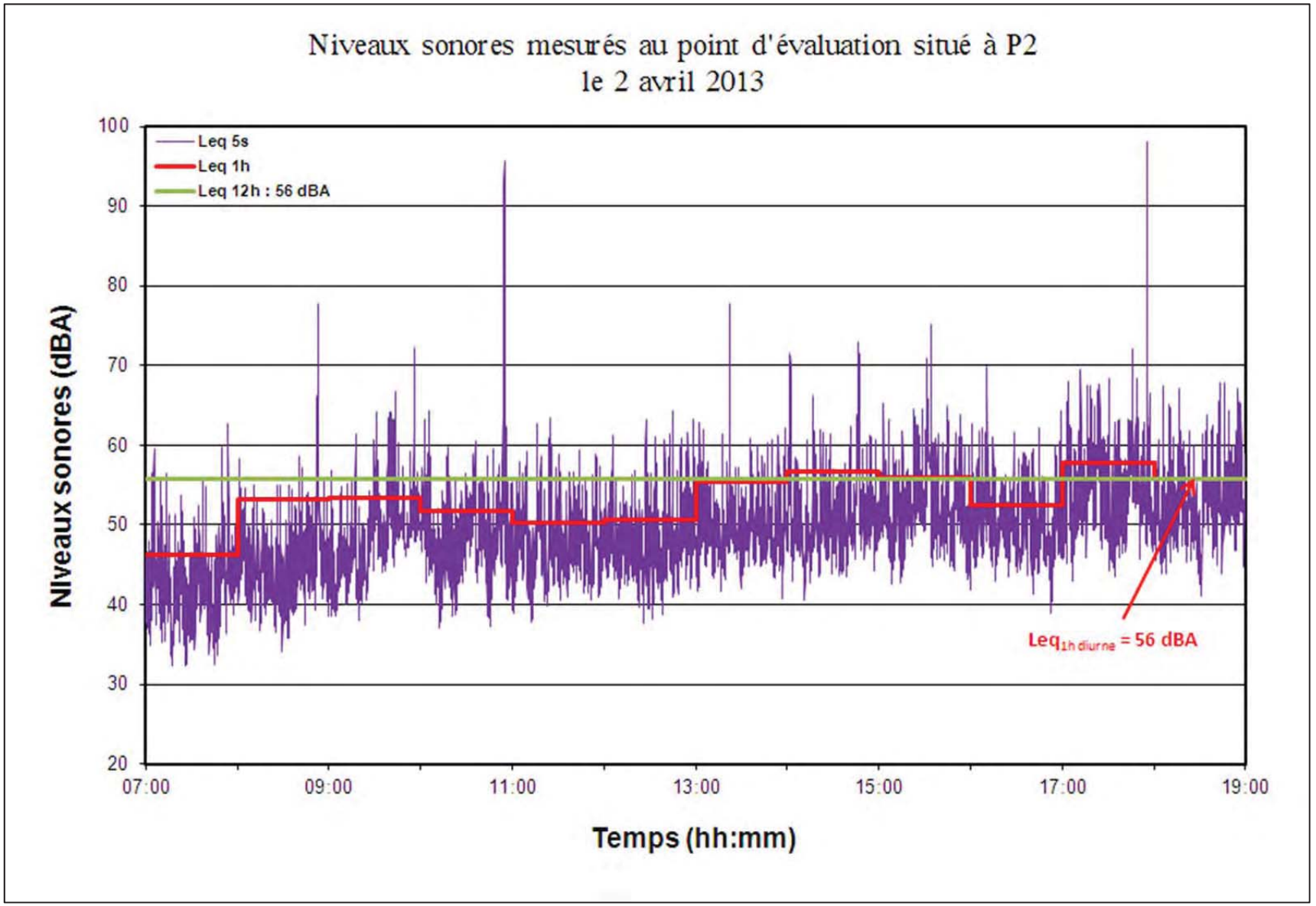

Niveaux sonores mesurés au point d'évaluation situé à P1
les 1 et 2 avril 2013
Leq 5s
Leq 1h
Leq 12h
Leq1h nocturne = 36 dBA
Niveaux sonores (dBA)
90
80
70
60
50
40
30
20
19:00
21:00
23:00
01:00
03:00
05:00
07:00
Temps (hh:mm)

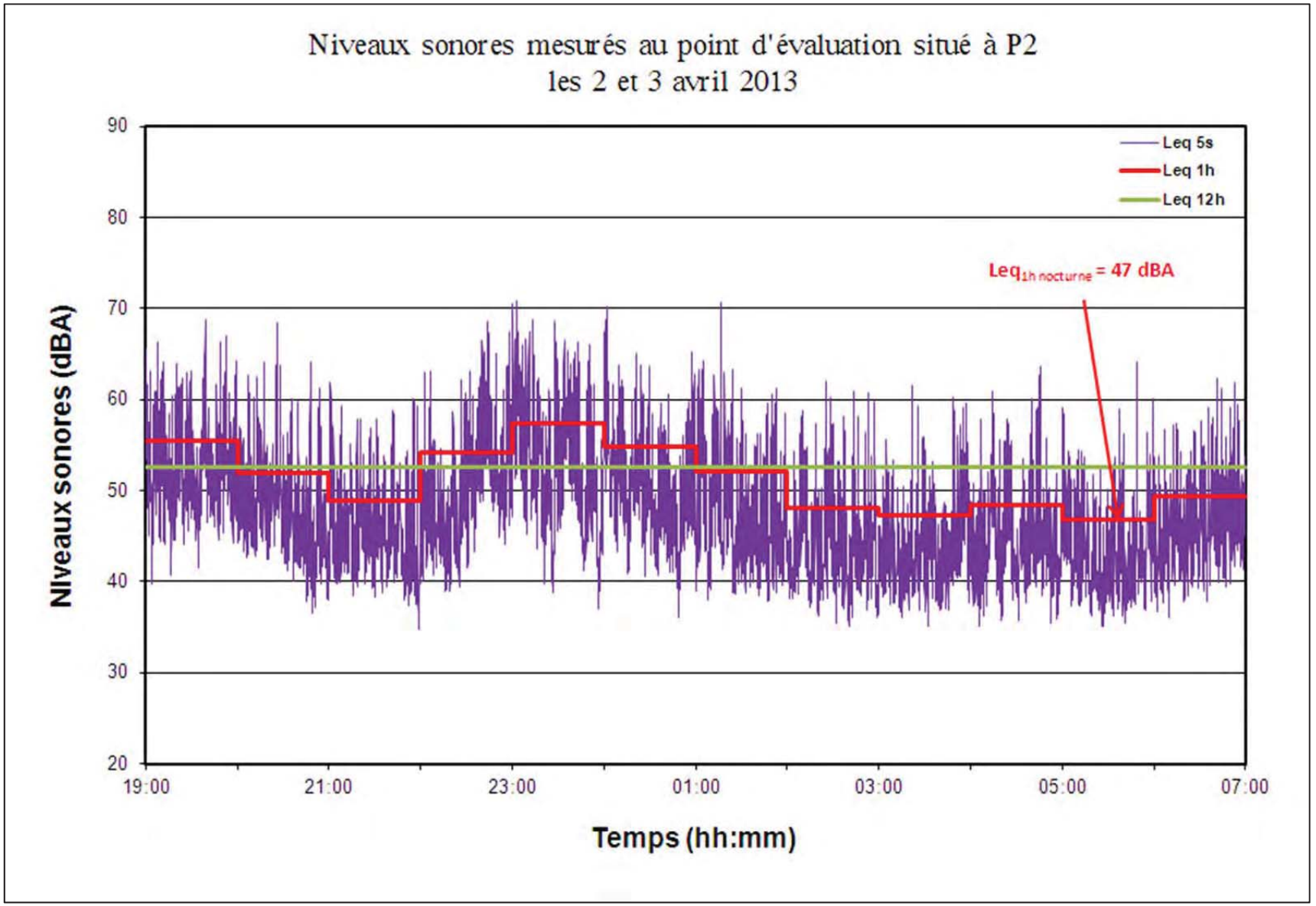

Niveaux sonores mesurés au point d'évaluation situé à P1
le 2 avril 2013
Leq 5s
Leq 1h
Leq 12h : 48 dBA
Niveaux sonores (dBA)
90
80
70
60
50
40
30
20
07:00
09:00
11:00
13:00
15:00
17:00
19:00
Temps (hh:mm)
Mesure interrompue
Leq1h diurne = 48 dBA

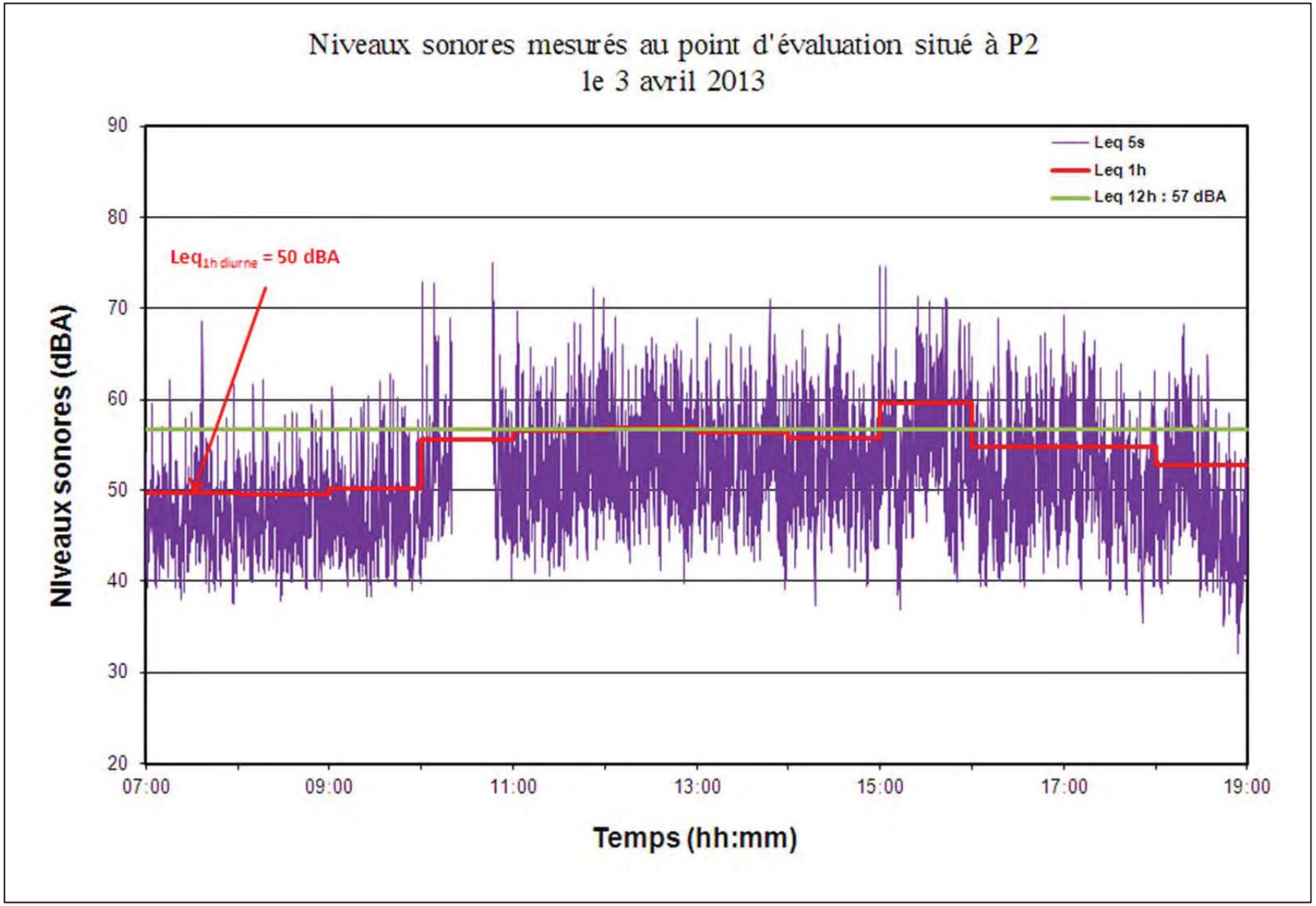

Niveaux sonores mesurés au point d'évaluation situé à P1
les 2 et 3 avril 2013
Leq 5s
Leq 1h
Leq 12hr
Leq1hr nocturne = 41 dBA
Niveaux sonores (dBA)
Temps (hh:mm)
90
80
70
60
50
40
30
20
19:00
21:00
23:00
01:00
03:00
05:00
07:00

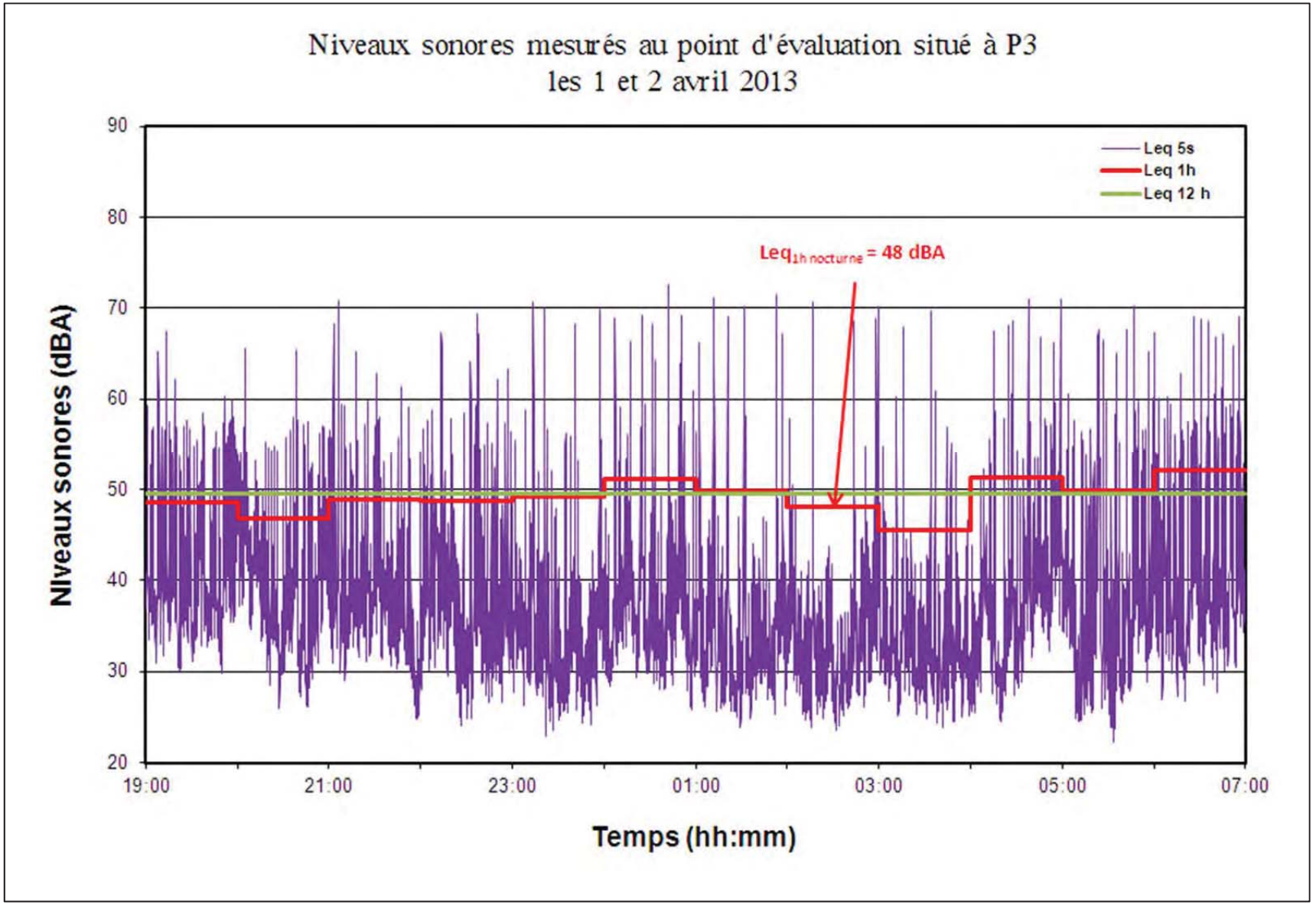

Niveaux sonores mesurés au point d'évaluation situé à P1
le 3 avril 2013
Leq 5s
Leq 1h
Leq 12h : 48 dBA
Leq1h diurne = 47 dBA
Niveaux sonores (dBA)
90
80
70
60
50
40
30
20
07:00
09:00
11:00
13:00
15:00
17:00
19:00
Temps (hh:mm)

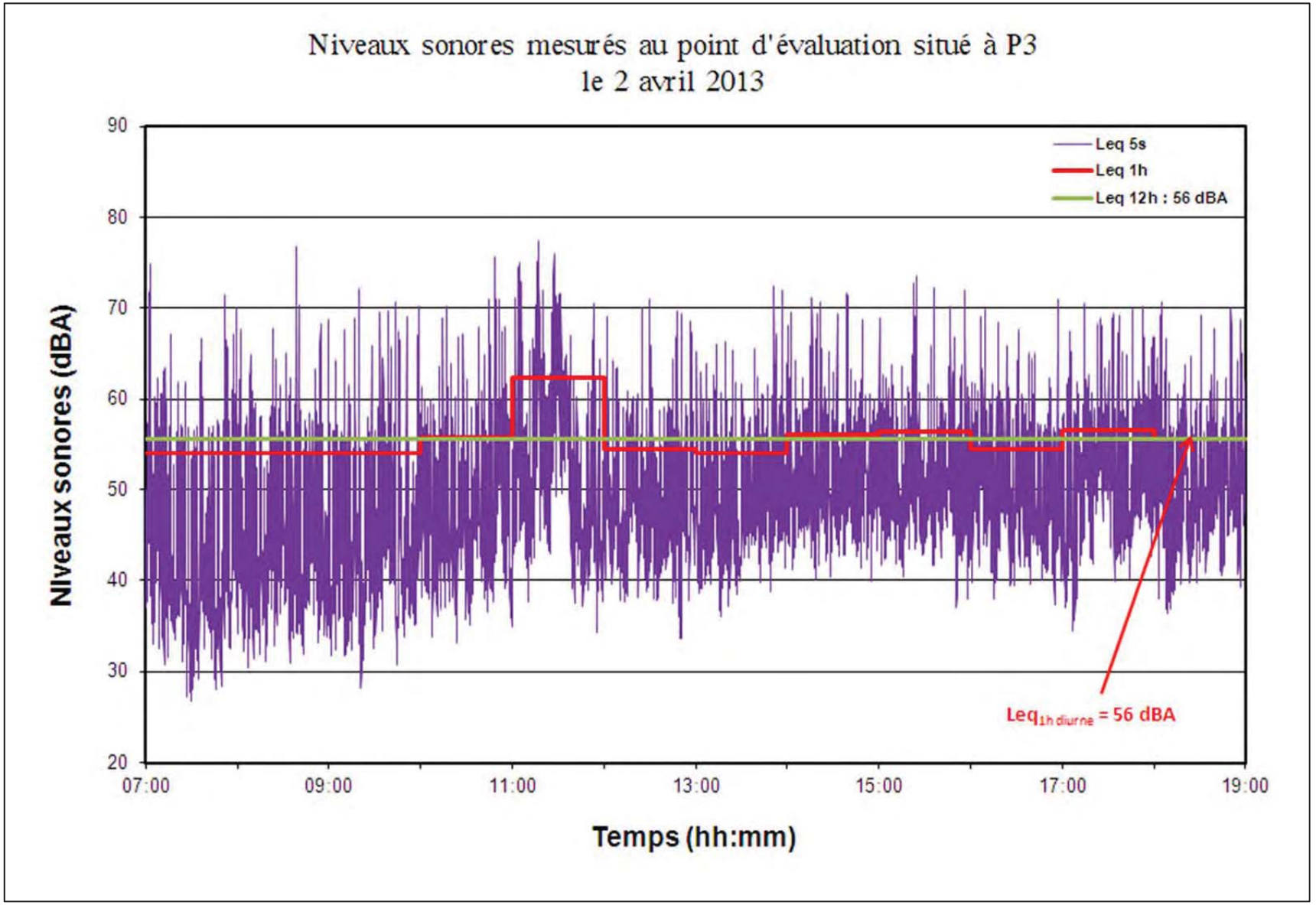

Niveaux sonores mesurés au point d'évaluation situé à P2
les 1 et 2 avril 2013
Leq 5s
Leq 1h
Leq 12h
Leq1h nocturne = 43 dBA
Niveaux sonores (dBA)
90
80
70
60
50
40
30
20
19:00
21:00
23:00
01:00
03:00
05:00
07:00
Temps (hh:mm)

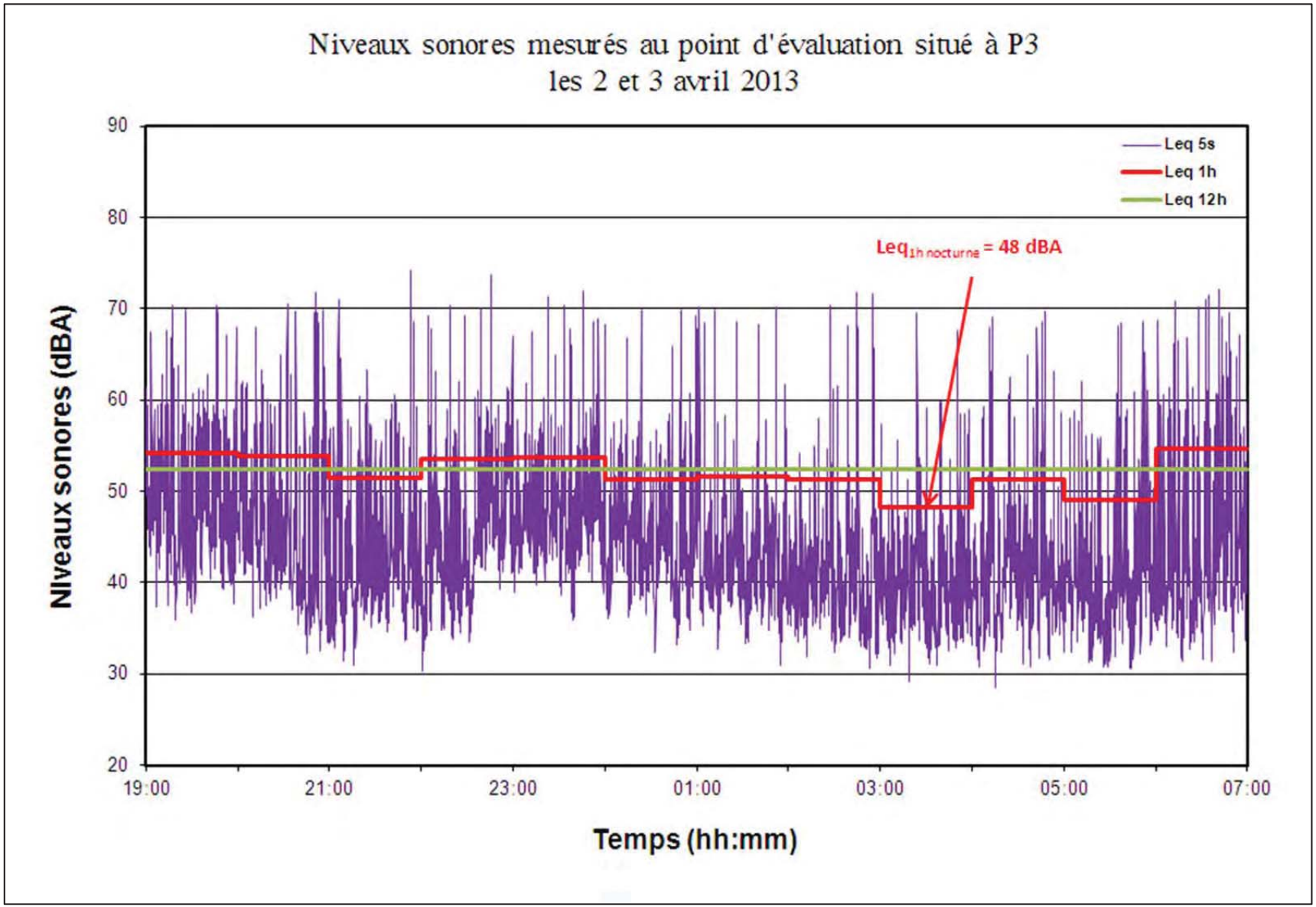

Niveaux sonores mesurés au point d'évaluation situé à P2
le 2 avril 2013
Leq 5s
Leq 1h
Leq 12h : 56 dBA
Niveaux sonores (dBA)
100
90
80
70
60
50
40
30
20
07:00
09:00
11:00
13:00
15:00
17:00
19:00
Temps (hh:mm)
Leq1h diurne = 56 dBA

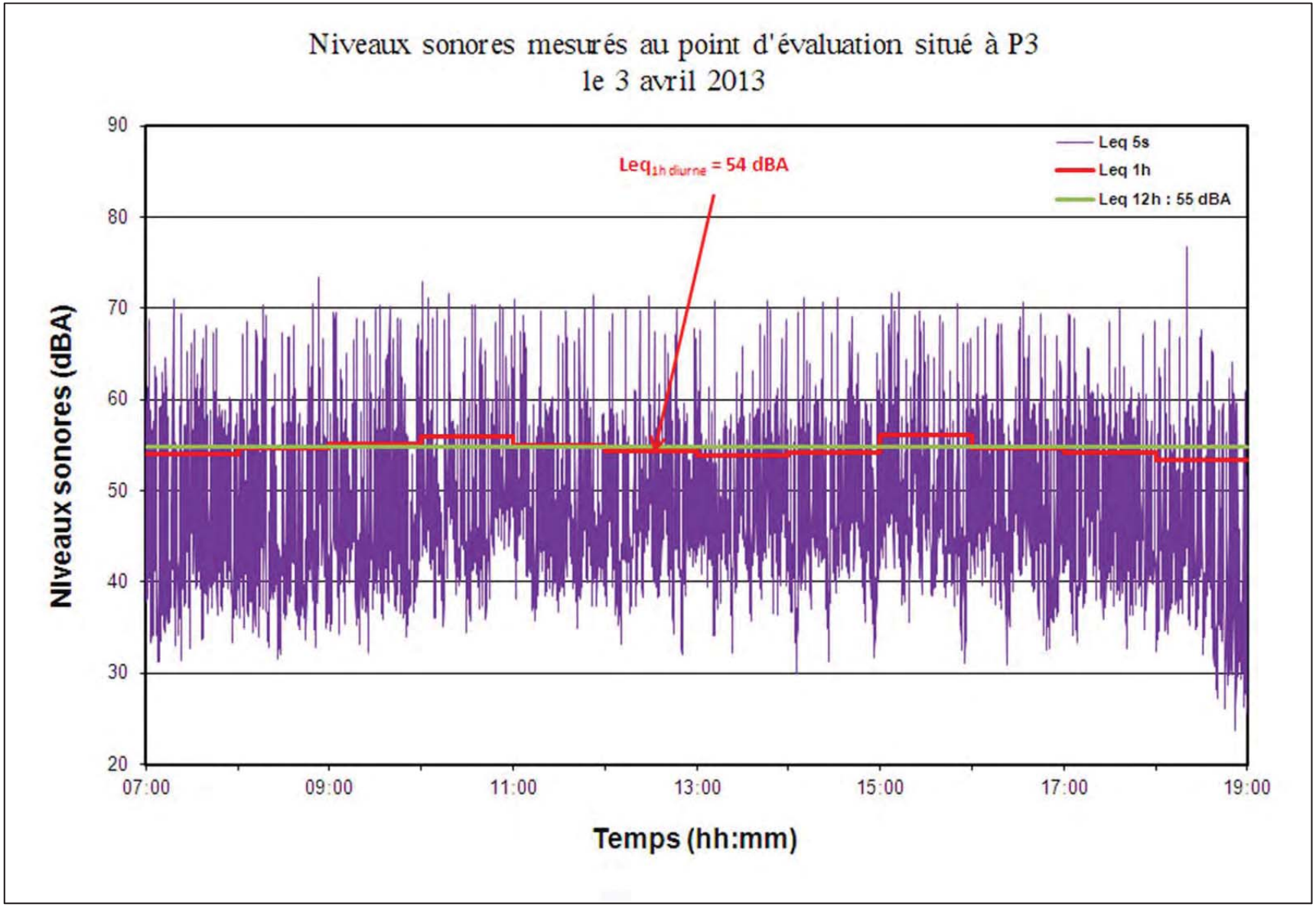

Niveaux sonores mesurés au point d'évaluation situé à P2
les 2 et 3 avril 2013
Leq 5s
Leq 1h
Leq 12h
Leq1h nocturne = 47 dBA
Niveaux sonores (dBA)
90
80
70
60
50
40
30
20
19:00
21:00
23:00
01:00
03:00
05:00
07:00
Temps (hh:mm)

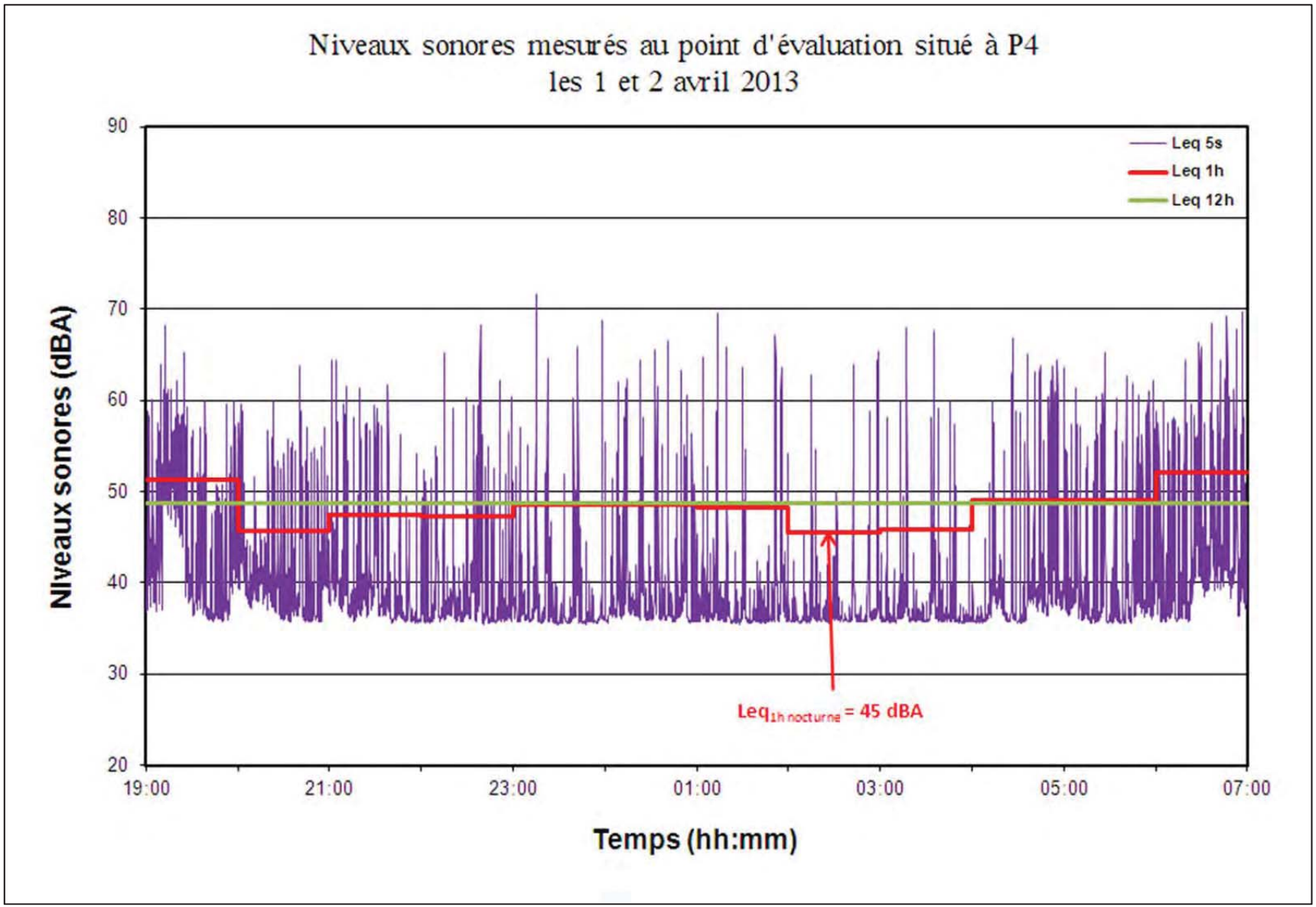

Niveaux sonores mesurés au point d'évaluation situé à P2
le 3 avril 2013
Leq 5s
Leq 1h
Leq 12h : 57 dBA
Leq1h diurne = 50 dBA
Niveaux sonores (dBA)
90
80
70
60
50
40
30
20
07:00
09:00
11:00
13:00
15:00
17:00
19:00
Temps (hh:mm)

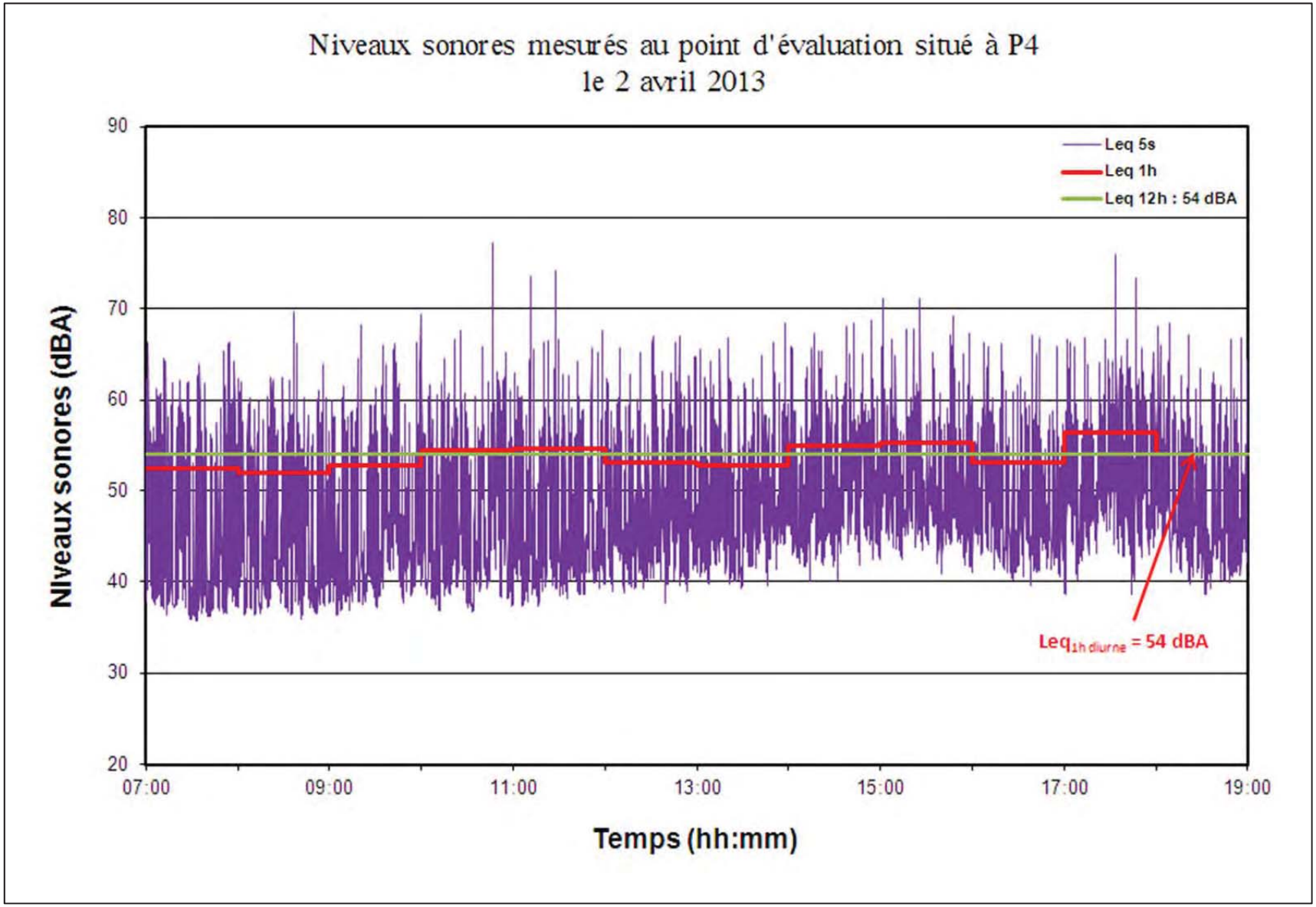

Niveaux sonores mesurés au point d'évaluation situé à P3
les 1 et 2 avril 2013
Leq 5s
Leq 1h
Leq 12 h
Leq1h nocturne = 48 dBA
Niveaux sonores (dBA)
90
80
70
60
50
40
30
20
19:00
21:00
23:00
01:00
03:00
05:00
07:00
Temps (hh:mm)

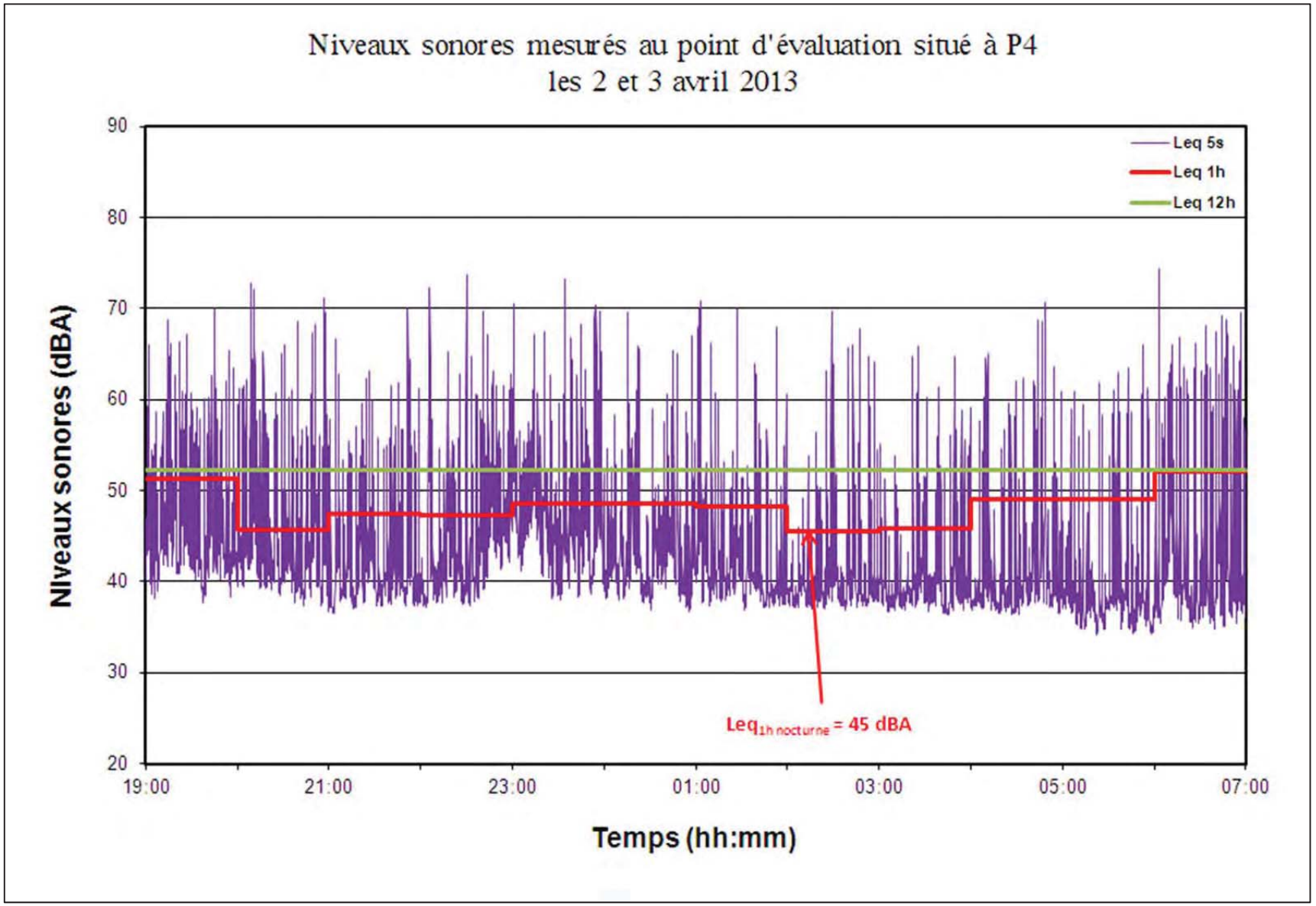

Niveaux sonores mesurés au point d'évaluation situé à P3
le 2 avril 2013
Leq 5s
Leq 1h
Leq 12h : 56 dBA
Niveaux sonores (dBA)
90
80
70
60
50
40
30
20
07:00
09:00
11:00
13:00
15:00
17:00
19:00
Temps (hh:mm)
Leq1h diurne = 56 dBA

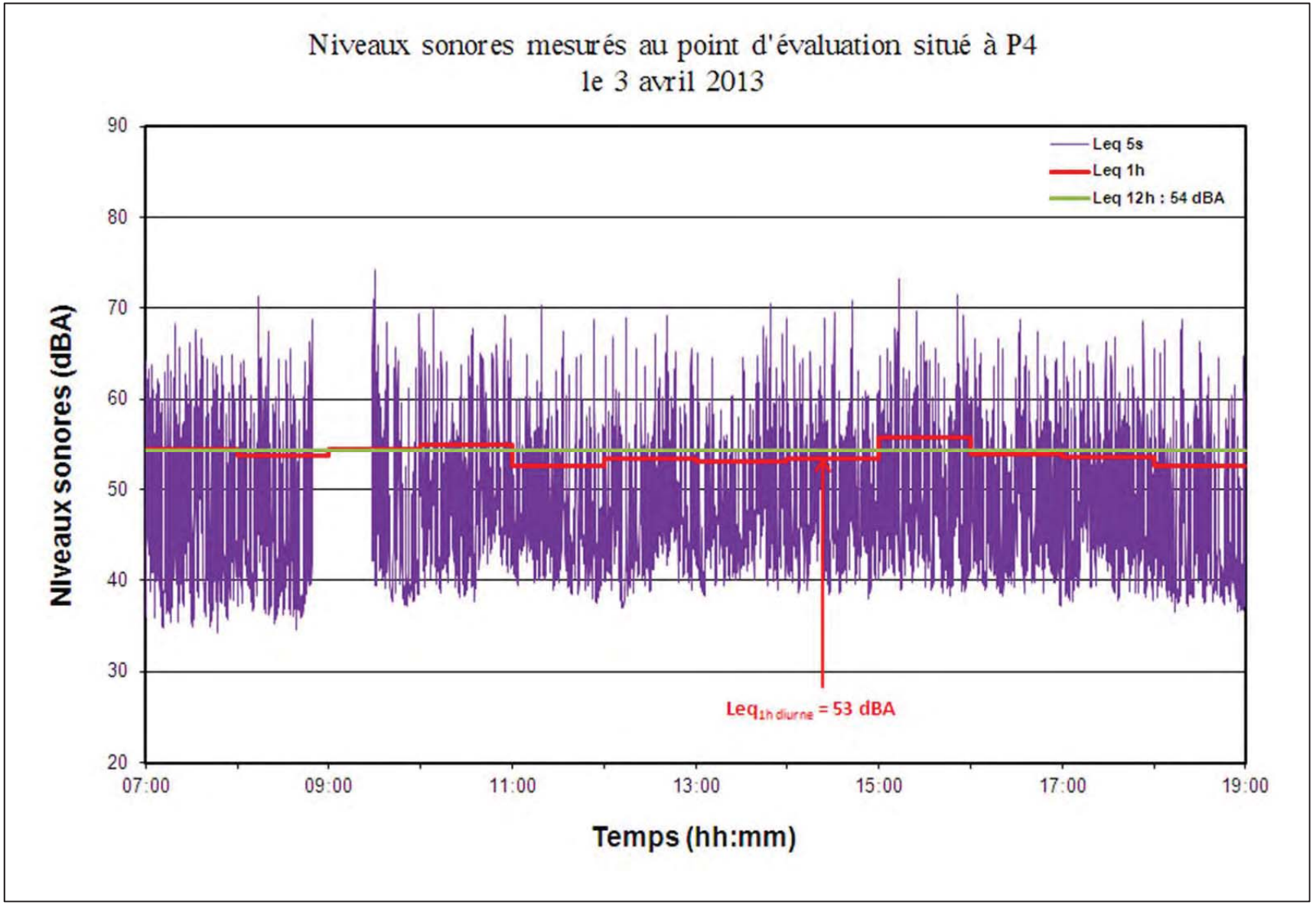

Niveaux sonores mesurés au point d'évaluation situé à P3
les 2 et 3 avril 2013
Leq 5s
Leq 1h
Leq 12h
Leq1h nocturne = 48 dBA
Niveaux sonores (dBA)
90
80
70
60
50
40
30
20
19:00
21:00
23:00
01:00
03:00
05:00
07:00
Temps (hh:mm)

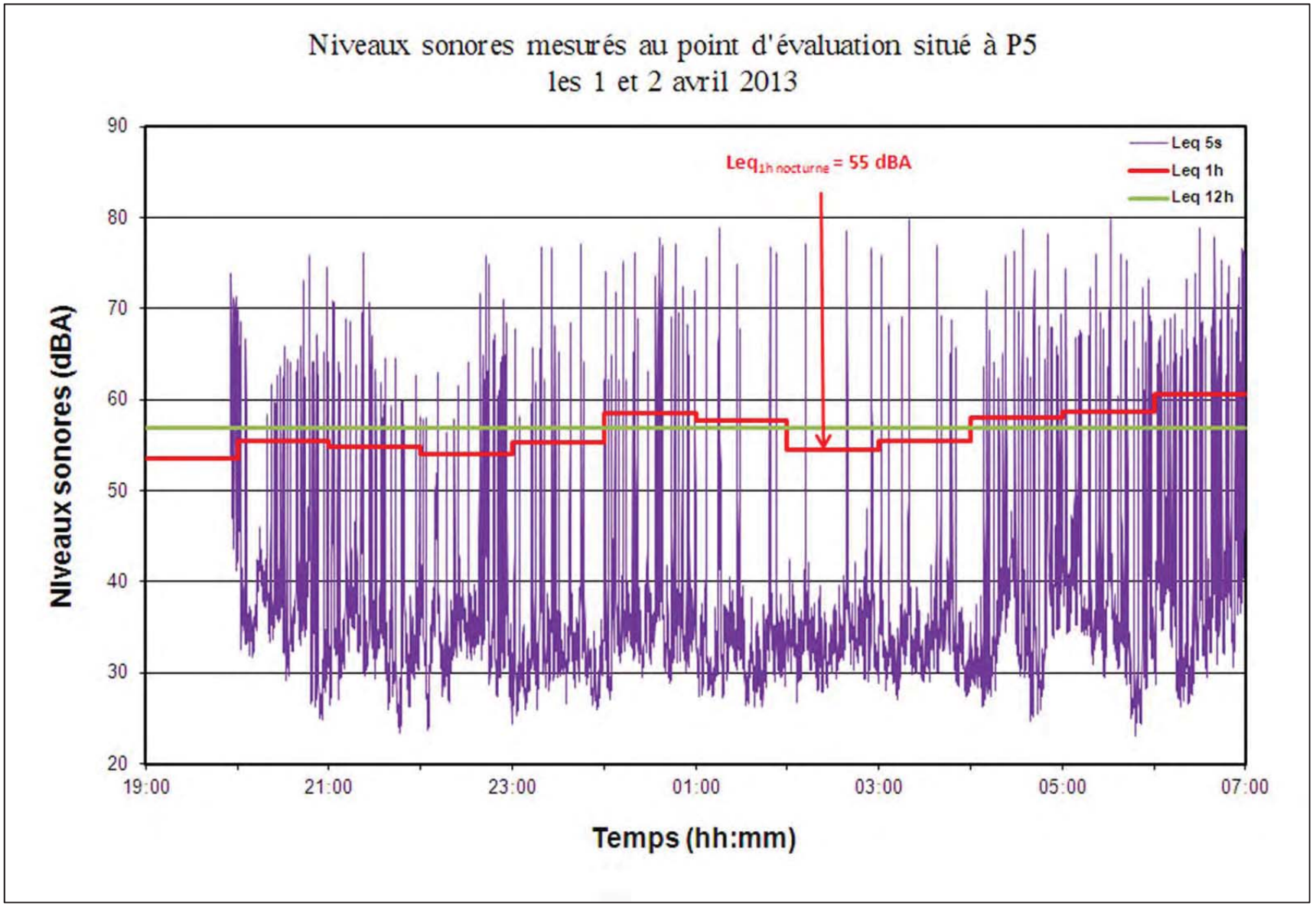

Niveaux sonores mesurés au point d'évaluation situé à P3
le 3 avril 2013
Leq 5s
Leq 1h
Leq 12h : 55 dBA
Leq1h diurne = 54 dBA
Niveaux sonores (dBA)
90
80
70
60
50
40
30
20
07:00
09:00
11:00
13:00
15:00
17:00
19:00
Temps (hh:mm)

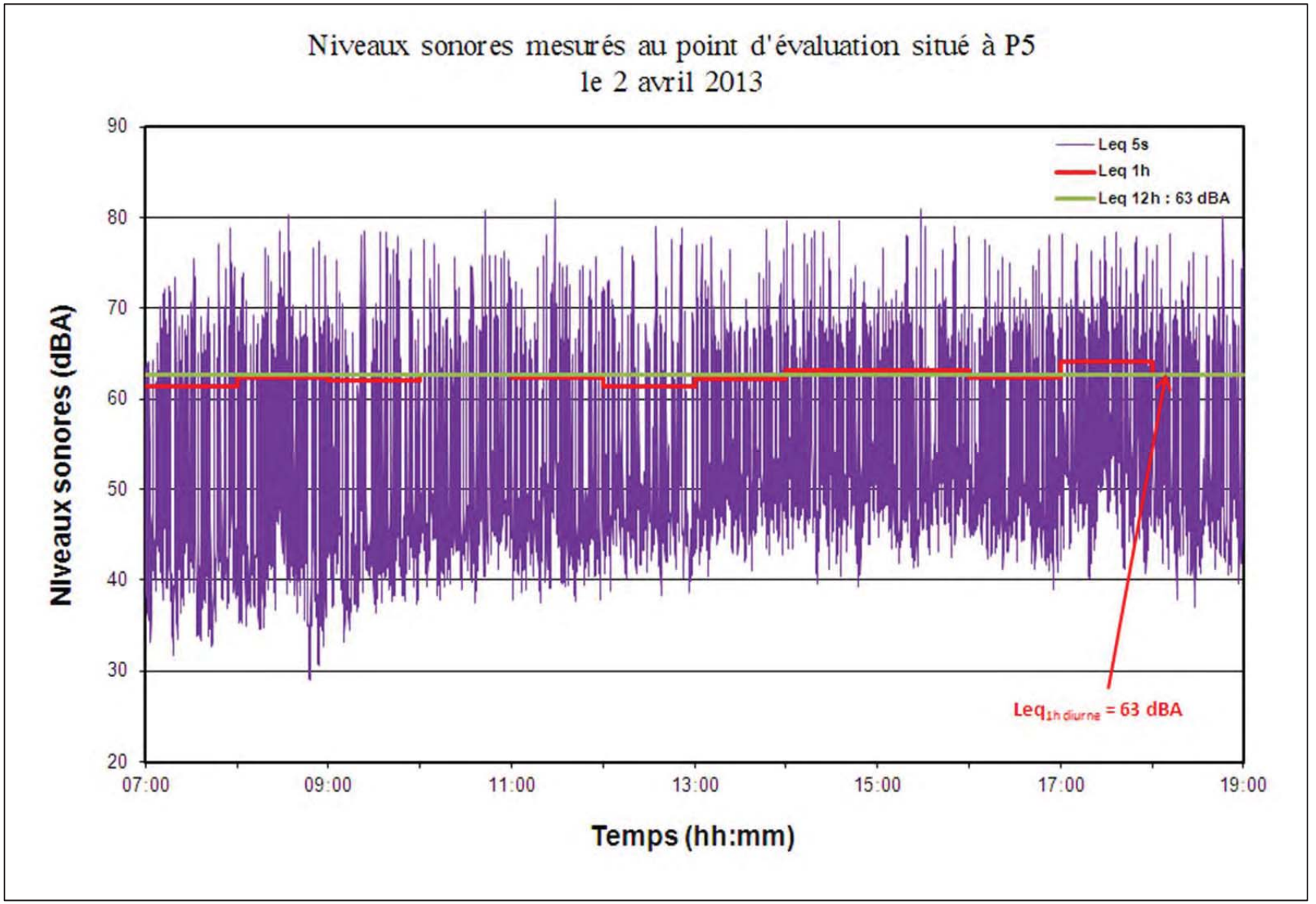

Niveaux sonores mesurés au point d'évaluation situé à P4
les 1 et 2 avril 2013
Leq 5s
Leq 1h
Leq 12h
Niveaux sonores (dBA)
90
80
70
60
50
40
30
20
19:00
21:00
23:00
01:00
03:00
05:00
07:00
Temps (hh:mm)
Leq1h nocturne = 45 dBA

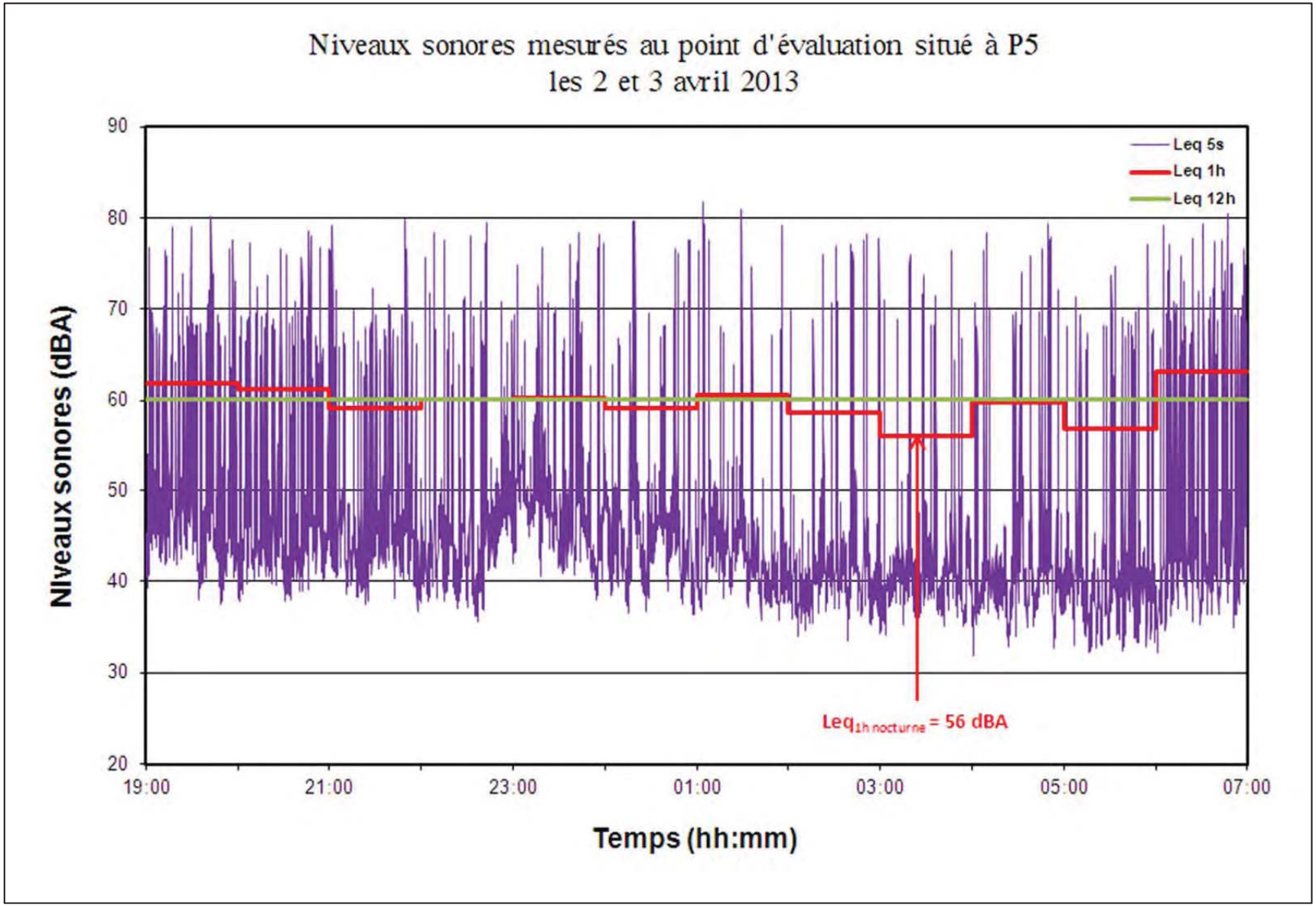

Niveaux sonores mesurés au point d'évaluation situé à P4
le 2 avril 2013
Leq 5s
Leq 1h
Leq 12h : 54 dBA
Niveaux sonores (dBA)
90
80
70
60
50
40
30
20
07:00
09:00
11:00
13:00
15:00
17:00
19:00
Temps (hh:mm)
Leq1h diurne = 54 dBA

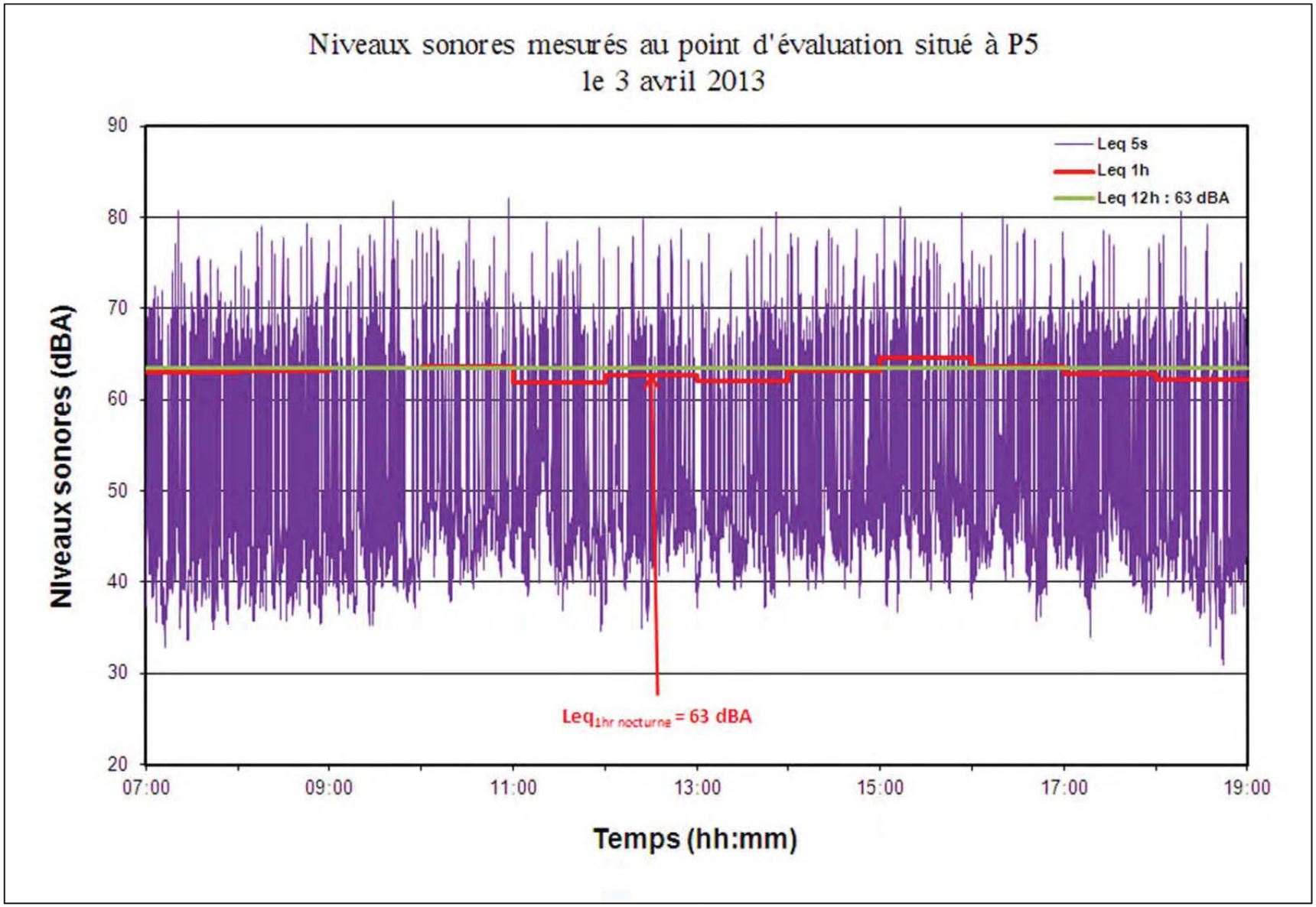

Niveaux sonores mesurés au point d'évaluation situé à P4
les 2 et 3 avril 2013
Leq 5s
Leq 1h
Leq 12h
Niveaux sonores (dBA)
90
80
70
60
50
40
30
20
19:00
21:00
23:00
01:00
03:00
05:00
07:00
Temps (hh:mm)
Leq1h nocturne = 45 dBA

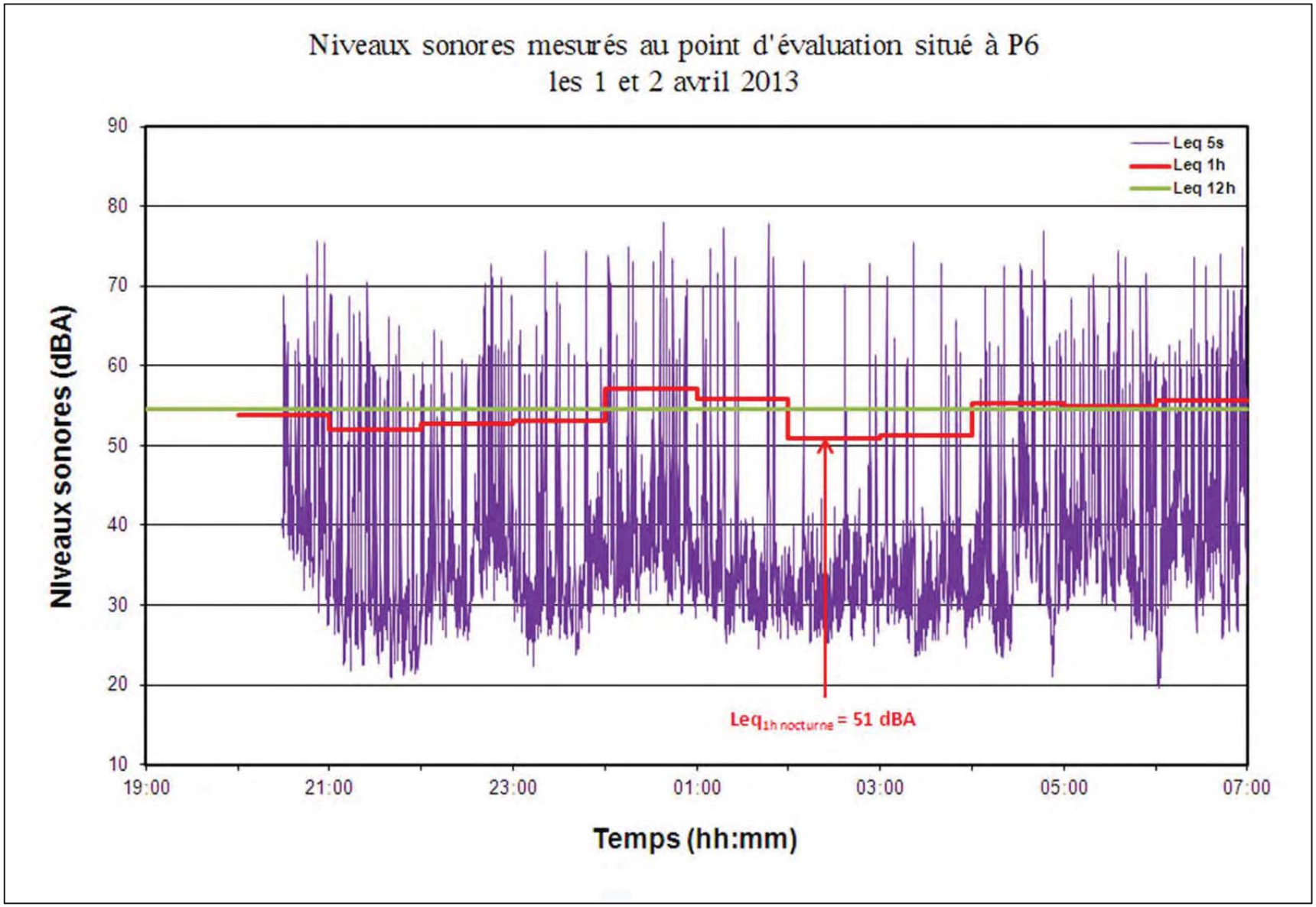

Niveaux sonores mesurés au point d'évaluation situé à P4
le 3 avril 2013
Leq 5s
Leq 1h
Leq 12h : 54 dBA
Niveaux sonores (dBA)
90
80
70
60
50
40
30
20
07:00
09:00
11:00
13:00
15:00
17:00
19:00
Temps (hh:mm)
Leq1h diurne = 53 dBA

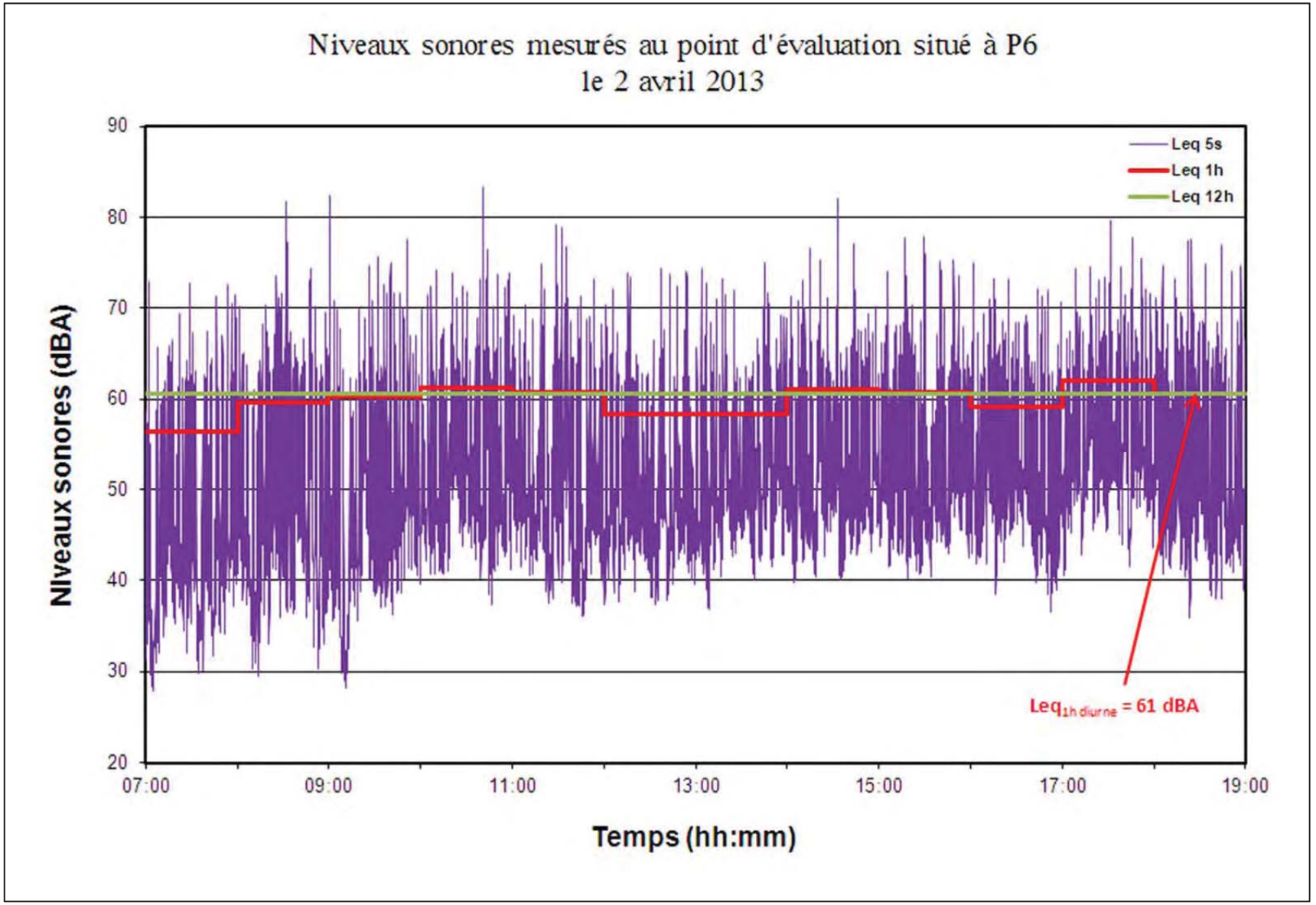

Niveaux sonores mesurés au point d'évaluation situé à P5
les 1 et 2 avril 2013
Leq 5s
Leq 1h
Leq 12h
Leq1h nocturne = 55 dBA
Niveaux sonores (dBA)
90
80
70
60
50
40
30
20
19:00
21:00
23:00
01:00
03:00
05:00
07:00
Temps (hh:mm)

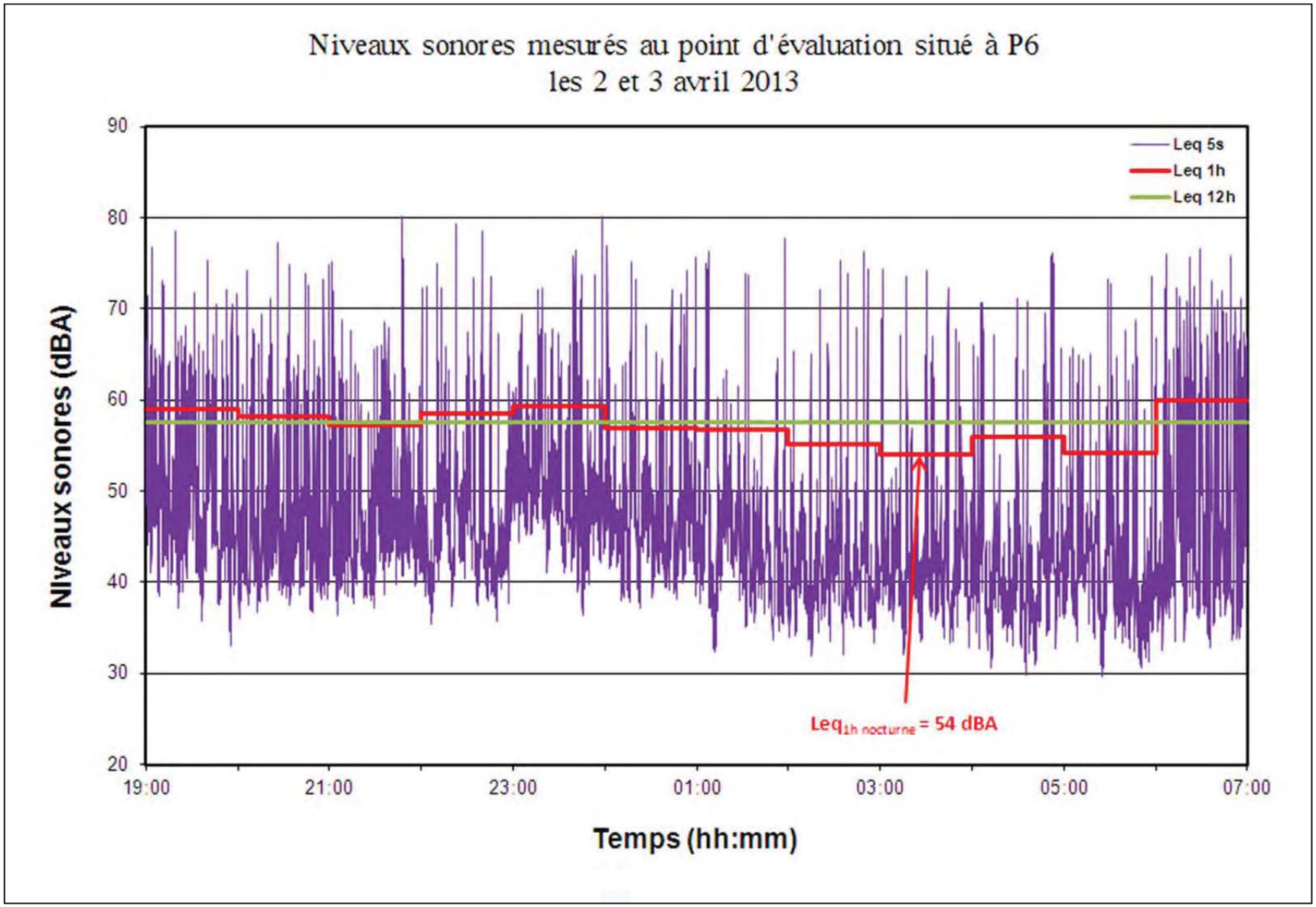

Niveaux sonores mesurés au point d'évaluation situé à P5
le 2 avril 2013
Leq 5s
Leq 1h
Leq 12h : 63 dBA
Niveaux sonores (dBA)
90
80
70
60
50
40
30
20
07:00
09:00
11:00
13:00
15:00
17:00
19:00
Temps (hh:mm)
Leq1h diurne = 63 dBA

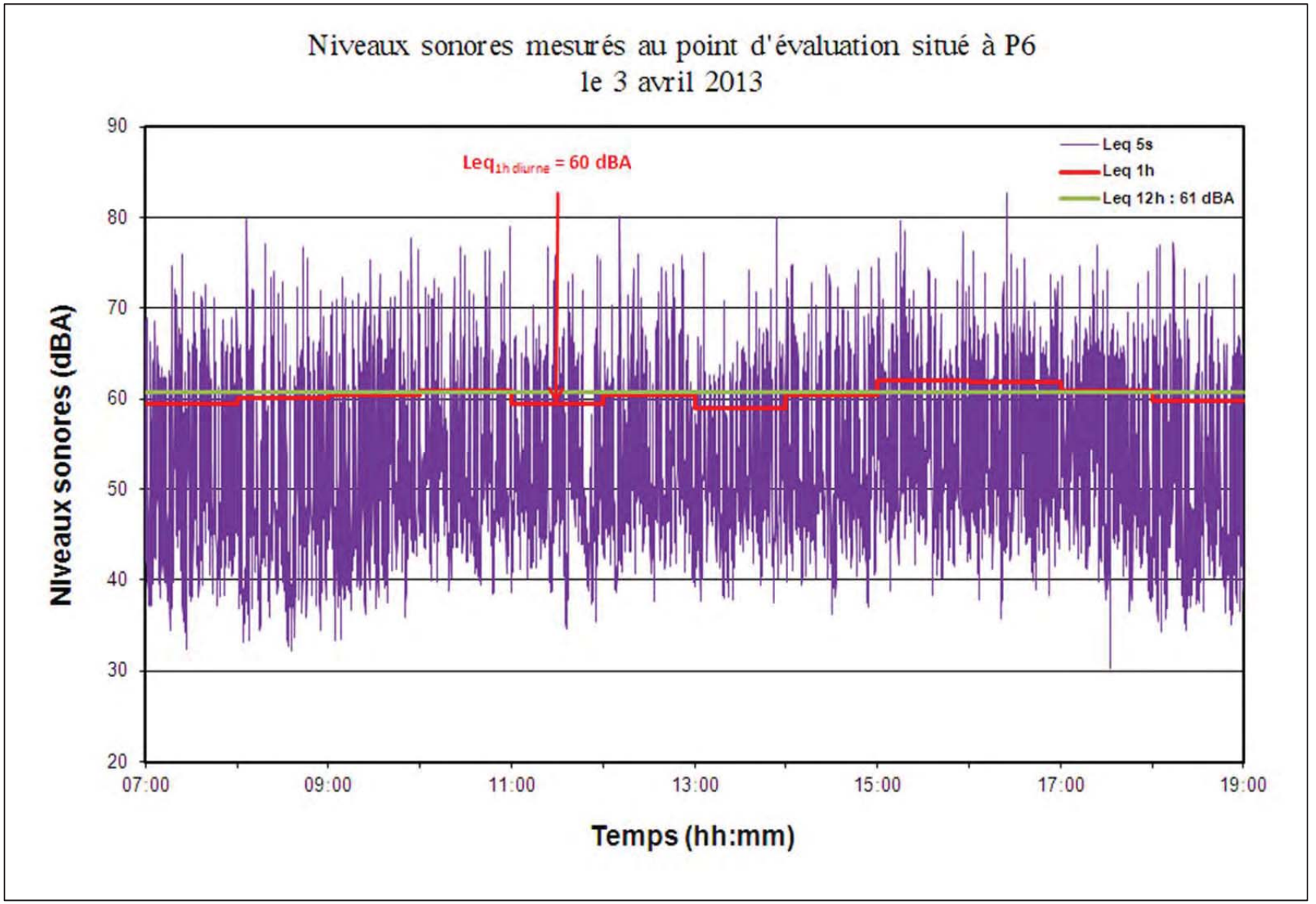

Niveaux sonores mesurés au point d'évaluation situé à P5
les 2 et 3 avril 2013
Leq 5s
Leq 1h
Leq 12h
Niveaux sonores (dBA)
90
80
70
60
50
40
30
20
19:00
21:00
23:00
01:00
03:00
05:00
07:00
Temps (hh:mm)
Leq1h nocturne = 56 dBA


Niveaux sonores mesurés au point d'évaluation situé à P5
le 3 avril 2013
Leq 5s
Leq 1h
Leq 12h : 63 dBA
Niveaux sonores (dBA)
90
80
70
60
50
40
30
20
07:00
09:00
11:00
13:00
15:00
17:00
19:00
Temps (hh:mm)
Leq1hr nocturne = 63 dBA


Niveaux sonores mesurés au point d'évaluation situé à P6
les 1 et 2 avril 2013
Leq 5s
Leq 1h
Leq 12h
Niveaux sonores (dBA)
90
80
70
60
50
40
30
20
10
19:00
21:00
23:00
01:00
03:00
05:00
07:00
Temps (hh:mm)
Leq1h nocturne = 51 dBA


Niveaux sonores mesurés au point d'évaluation situé à P6
le 2 avril 2013
Leq 5s
Leq 1h
Leq 12h
Niveaux sonores (dBA)
90
80
70
60
50
40
30
20
07:00
09:00
11:00
13:00
15:00
17:00
19:00
Temps (hh:mm)
Leq1h diurne = 61 dBA


Niveaux sonores mesurés au point d'évaluation situé à P6
les 2 et 3 avril 2013
Leq 5s
Leq 1h
Leq 12h
Niveaux sonores (dBA)
90
80
70
60
50
40
30
20
19:00
21:00
23:00
01:00
03:00
05:00
07:00
Temps (hh:mm)
Leq1h nocturne = 54 dBA


Niveaux sonores mesurés au point d'évaluation situé à P6
le 3 avril 2013
Leq1h diurne = 60 dBA
Leq 5s
Leq 1h
Leq 12h : 61 dBA
Niveaux sonores (dBA)
90
80
70
60
50
40
30
20
07:00
09:00
11:00
13:00
15:00
17:00
19:00
Temps (hh:mm)