

**ANNEXE QC-208**

**Modélisation de la dispersion atmosphérique du NO<sub>2</sub> dans l'air ambiant  
lors de conditions de sautage particulières**

---



***Modélisation de la dispersion  
atmosphérique du NO<sub>2</sub> dans l'air ambiant  
lors de conditions de sautage particulières***

***Mine aurifère Osisko à Malartic***





***Modélisation de la dispersion  
atmosphérique du NO<sub>2</sub> dans l'air ambiant  
lors de conditions de sautage particulières***

***Mine aurifère Osisko à Malartic***



---

***Modélisation de la dispersion  
atmosphérique du NO<sub>2</sub> dans l'air ambiant  
lors de conditions de sautage particulières***

***Mine aurifère Osisko à Malartic***

Approuvée par :



---

Yvon Courchesne, directeur de projet





# ÉQUIPE DE RÉALISATION

## Osisko

Christine Baribeau

Surintendante en environnement.

## GENIVAR inc.

Yvon Courchesne, biologiste, B. Sc.

Directeur de projet

Pascal Rhéaume, ing., M.Sc.A.

Spécialiste en modélisation

Marie-Claude Piché, M. Env.

Rédaction et révision des textes

Paul-André Biron, cartographe

Cartographie et géomatique

Nancy Laurent, technicienne en éditique

Traitement de texte et édition

### ***Référence à citer :***

---

GENIVAR. Avril 2012. *Modélisation de la dispersion atmosphérique du NO<sub>2</sub> dans l'air ambiant lors de conditions de sautage particulières.* Mine aurifère Osisko à Malartic. 25 pages.



# TABLE DES MATIÈRES

<b>1</b>	<b>CONTEXTE ET OBJECTIF DE L'ÉTUDE</b> .....	<b>1</b>
1.1	Contexte général d'exploitation .....	1
1.2	Contexte de l'événement.....	1
1.3	Objectif de l'étude.....	1
<b>2</b>	<b>PROCÉDURE DE MODÉLISATION</b> .....	<b>3</b>
2.1	Description du modèle CALPUFF.....	3
2.2	Paramétrage du modèle .....	3
2.2.1	Domaine de modélisation et grille des récepteurs .....	3
2.2.2	Grille de récepteurs et récepteurs ponctuels.....	4
2.3	Données météorologiques.....	4
2.3.1	Données météorologiques de l'événement.....	4
2.3.2	Données météorologiques utilisées pour la modélisation .....	4
2.3.3	Données météorologiques utilisées pour valider la dispersion initiale .....	6
2.4	Caractéristique de la source d'émission.....	6
<b>3</b>	<b>NIVEAUX D'EXPOSITION ET NIVEAUX AMBIANTS</b> .....	<b>9</b>
<b>4</b>	<b>RÉSULTATS DE LA MODÉLISATION ET DISCUSSION</b> .....	<b>11</b>
4.1	Scénario 1.....	11
4.2	Scénario 2.....	11
4.3	Scénario 3.....	11
4.4	Niveau d'incertitude .....	12
<b>5</b>	<b>CONCLUSION</b> .....	<b>13</b>
<b>6</b>	<b>BILIOGRAPHIE</b> .....	<b>15</b>

## TABLEAUX

Tableau 1 :	Conditions météorologiques au moment de l'événement (Station Osisko) .....	4
Tableau 2 :	Conditions météorologiques au moment de l'événement (Station Aéroport de Val-d'Or) .....	4
Tableau 3 :	Classe de stabilité de Pasquill et Gifford .....	5
Tableau 4 :	Paramètres météorologiques en fonction des scénarios.....	6
Tableau 5 :	Données météorologiques utilisées pour valider la dispersion initiale .....	6
Tableau 6 :	Émission de dioxyde d'azote (NO <sub>2</sub> ) lors de l'explosion .....	7
Tableau 7 :	Paramètres de modélisation du sautage - 3 novembre 2011 .....	8
Tableau 8 :	Niveaux d'exposition considérés (valeurs AEGL pour le NO <sub>2</sub> ).....	9

## FIGURES

Figure 1 :	Domaine de modélisation et répartition des récepteurs utilisés pour la modélisation de la dispersion atmosphérique .....	17
Figure 2 :	Nuage de dioxyde d'azote capté par les caméras de surveillance le 3 novembre 2011 – 11 h 15 .....	19
Figure 3 :	Concentrations moyennes (ppm) de NO <sub>2</sub> modélisées sur une période de 10 minutes suite à l'incident de sautage – Scénario 1 – Vent 2 m/s Stabilité A .....	21
Figure 4 :	Concentrations moyennes (ppm) de NO <sub>2</sub> modélisées sur une période de 10 minutes suite à l'incident de sautage – Scénario 2 – Vent 3 m/s Stabilité C .....	23
Figure 5 :	Concentrations moyennes (ppm) de NO <sub>2</sub> modélisées sur une période de 10 minutes suite à l'incident de sautage – Scénario 3 – Vent 6 m/s Stabilité D .....	25

# 1 CONTEXTE ET OBJECTIF DE L'ÉTUDE

---

## 1.1 Contexte général d'exploitation

La compagnie minière Osisko exploite une mine d'or à ciel ouvert à Malartic, en Abitibi-Témiscamingue. Elle y opère une station météorologique lui permettant, entre autres, de vérifier la direction des vents pour mieux gérer ses activités de sautage à l'intérieur de la fosse.

De fait, les responsables doivent s'assurer, deux minutes avant le sautage, que les conditions sont favorables, c'est-à-dire que les vents ne soient pas en direction de la ville. Or, lorsque ces conditions ne sont pas rencontrées, le forage doit être reporté au jour suivant ou jusqu'à ce que les vents soient favorables. Plusieurs jours peuvent donc s'écouler, alors que les explosifs sont toujours en place.

## 1.2 Contexte de l'événement

Le 3 novembre 2011, alors que des explosifs étaient demeurés dans les trous de forage pendant une semaine dû à des vents non favorables tel que décrit précédemment, le sautage a finalement eu lieu mais s'est avéré « fragmentaire ». On entend par sautage fragmentaire des explosions incomplètes produisant un nuage de dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) quelques secondes après les détonations. Le dioxyde d'azote se forme lorsque l'oxyde nitrique (NO) entre en contact avec l'air produisant ainsi un gaz toxique qui peut être dangereux à certaines concentrations.

Ce phénomène est dû à un agent explosif utilisé conjointement avec la dynamite de façon à générer des sautages plus efficaces, technique qui est largement répandue dans le domaine minier. Cet agent explosif, constituant une substance liquide versée au fond des forages, s'infiltré progressivement dans les fissures du roc lorsqu'un sautage est retardé. Lors de l'incident, les explosions se sont avérées incomplètes et il y a eu combustion de l'agent explosif infiltré, ce qui a créé un nuage orange de dioxyde d'azote capté par les trois caméras de surveillance de sautage. La figure 1 montre l'emplacement de la zone de sautage tandis que la figure 2 illustre la position des caméras de surveillance et les photos du nuage partiellement orange formé lors de l'incident.

Les agents explosifs utilisés par Osisko sont commercialisés sous le nom de Fortis™ Clear et Fortis™ Extra. Ils sont vendus par Orica Canada et sont principalement constitués de nitrate d'ammonium, d'eau, d'huile minérale et de mazout d'un grade spécial.

## 1.3 Objectif de l'étude

Suite à la déclaration de l'incident aux autorités responsables, le ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) ainsi que le ministère de la Santé et des Services sociaux (MSSS) ont communiqué leurs préoccupations à Osisko concernant les conséquences possibles de cet événement sur la santé humaine. Ainsi, une modélisation de la dispersion atmosphérique du

NO<sub>2</sub> a été demandée de façon à évaluer les concentrations qui pourraient être présentes dans l'air ambiant de Malartic dans un contexte de vents non favorables.

Dans ce contexte, GENIVAR inc. (GENIVAR) a été sollicitée pour assurer un support professionnel à l'équipe d'Osisko responsable de l'étude, afin de réaliser la modélisation de la dispersion atmosphérique du NO<sub>2</sub> et de comparer les résultats obtenus sur la base des niveaux d'exposition définis par le *National Advisory Committee for Acute Exposure Guideline Levels for Hazardous Substances* (NAC/AEGL committee).

La démarche de modélisation préconisée dans l'étude s'appuie sur la méthodologie proposée dans le *Guide de modélisation de la dispersion atmosphérique* du MDDEP (2005). L'étude est aussi basée sur les informations fournies par Osisko et les discussions qui ont eues lieu entre les représentants de GENIVAR et M. Mario Paquin, directeur santé sécurité à la mine d'Osisko à Malartic.

Les sections suivantes présentent la procédure utilisée pour modéliser les concentrations de NO<sub>2</sub> dans l'air ambiant. Le taux d'émission retenu ainsi que les niveaux d'exposition considérés pour évaluer la toxicologie des émissions sont aussi exposés. Enfin, les résultats sont présentés et interprétés en fonction des hypothèses retenues pour la modélisation et du niveau d'incertitude associé. Les figures sont quant à elles regroupées en fin de rapport.

## 2 PROCÉDURE DE MODÉLISATION

---

La modélisation du NO<sub>2</sub> de l'incident de sautage survenu à la mine d'Osisko à Malartic a été réalisée à l'aide du logiciel de dispersion CALPUFF (version 6.26). Ce programme fait partie des modèles de dispersion atmosphérique recommandés par la Direction du suivi de l'état de l'environnement du MDDEP.

### 2.1 Description du modèle CALPUFF

La modélisation visait à documenter la portée géographique et l'ampleur des rejets atmosphériques de NO<sub>2</sub> issus d'un incident de sautage fragmentaire. Or, considérant le caractère ponctuel de cet événement, c'est-à-dire un sautage d'une durée totale de quelques secondes, le choix du modèle CALPUFF, développé par les scientifiques de l'ASG (*Atmospheric Studies Group*) de la firme *TRC Companies inc.*, s'avérait tout indiqué.

En effet, CALPUFF permet de modéliser avec un pas de temps d'une seconde et un fichier météo simplifié de type ISC3-ASCII. Ce dernier permet de générer des directions, vitesses et classes de stabilité différentes pour répondre au besoin des divers scénarios de modélisation.

De plus, la formulation lagrangienne de CALPUFF permet de suivre pas à pas l'évolution d'une parcelle d'air lors de sa trajectoire en atmosphère turbulente et ce, à l'état non stationnaire.

Enfin, l'analyse des fichiers de sortie du modèle CALPUFF est réalisée à l'aide du module CALPOST. Ce module récupère les calculs effectués par CALPUFF et les compile selon les spécifications du modélisateur en termes de concentrations modélisées dans l'air pour chaque récepteur selon différentes périodes.

### 2.2 Paramétrage du modèle

#### 2.2.1 Domaine de modélisation et grille des récepteurs

Le domaine de modélisation CALPUFF proposé est entièrement compris à l'intérieur de la zone d'étude du projet et inclut le noyau urbain de Malartic. Il s'étend de part et d'autres des installations sur une distance de 2,5 par 2,5 kilomètres (voir figure 1).

Le domaine est situé dans la zone UTM 17 de l'hémisphère nord. Le coin sud-ouest du domaine est situé au point X = 712,6 km; Y = 5 334,2 km dans la projection Mercator (UTM) avec le Datum de référence NAD83. Il comporte deux couches verticales de niveaux centrées à 0 m et 3 000 m. Cette structure verticale permet une modélisation avec un fichier de type ISC3-ASCII tout en considérant que les émissions atteignant une altitude supérieure à 3 000 m n'ont aucun effet au niveau du sol, et ce, à l'intérieur du domaine.

## 2.2.2 Grille de récepteurs et récepteurs ponctuels

La grille de récepteurs est constituée de 2 600 points de calculs ponctuels dont la distribution est échelonnée à tous les 50 m. Le réseau de récepteurs est inclus à la figure 1 et couvre la majeure partie de la ville de Malartic.

Rappelons qu'aucun travailleur ne se trouve à proximité dans la fosse lors des opérations de sautage.

## 2.3 Données météorologiques

### 2.3.1 Données météorologiques de l'événement

Le sautage s'est produit à 11 h 15 le 3 novembre 2011. Les données météorologiques utilisées, provenant de la station d'Osisko à Malartic (tableau 1), sont celles observées au moment de l'événement, soit à 11 h 14 et 11 h 16. La direction des vents était alors de 316°, donc provenant du nord-ouest, à une vitesse d'environ 2 m/s.

Tableau 1 : Conditions météorologiques au moment de l'événement (Station Osisko)

Date	HH:MM:SS	Vitesse du vent	Direction	Écart-type de la direction des vents
		(m/s)	(degré)	
2011-11-03	11:14:00	1,33	303,80	45,99
2011-11-03	11:16:00	2,82	327,00	20,99
Moyenne	vers 11:15:00	2,08	315,40	33,49

À noter que pour s'assurer de la validité des données mesurées à la station d'Osisko, celles-ci ont été comparées à celles de la station de l'aéroport de Val-d'Or et dans l'ensemble, les données sont similaires (voir tableau 2).

Tableau 2 : Conditions météorologiques au moment de l'événement (Station Aéroport de Val-d'Or)

Date	HH:MM	Vitesse du vent (m/s)	Direction (degré)	Température (°C)	Humidité relative (%)	Pression barométrique (kPa)
2011-11-03	11:00:00	4,17	310,0	1,80	93,00	97,70

### 2.3.2 Données météorologiques utilisées pour la modélisation

Dans le cadre de ce mandat, il a été nécessaire d'établir des conditions météorologiques théoriques pour la dispersion d'un nuage de NO<sub>2</sub> vers la ville de

Malartic. Rappelons que la minière Osisko ne peut faire d'activité de sautage si les vents sont en direction de la ville. Parmi ces conditions théoriques, les scénarios considérés impliquent une direction des vents de 230°. Cette valeur a été sélectionnée en fonction de la position du sautage à l'ouest de la fosse de façon à simuler des émissions qui se dirigeraient au centre de la zone habitée de Malartic. Outre la direction des vents, d'autres facteurs ont été aussi pris en considération, soit la vitesse des vents et la classe de stabilité, deux facteurs qui influencent la dispersion de façon significative.

En fait, la stabilité atmosphérique représente la tendance à résister ou à intensifier le déplacement vertical de l'air ou, alternativement, à supprimer ou à accentuer la turbulence atmosphérique. L'atmosphère peut donc être minimalement qualifiée en trois conditions distinctes :

**Condition d'instabilité** où l'air instable favorise les mouvements verticaux ascendants, ce qui implique que la masse de contaminants atmosphériques se déplace vers le haut;

**Condition de neutralité** où l'air est déjà mélangé de façon homogène, ce qui implique la présence de mouvements verticaux de faible intensité;

**Condition de stabilité** où l'air stable ne favorise pas les mouvements verticaux, ce qui implique une faible dilution des contaminants atmosphériques (les forces ascensionnelles amortissent le déplacement vertical).

Deux auteurs, Pasquill et Gifford (1976), ont par contre proposé une classification plus étoffée (voir tableau 3) qui varie de A à F (de l'atmosphère la plus instable à la plus stable) et prend en considération la variabilité de l'insolation au cours de la journée.

**Tableau 3 : Classe de stabilité de Pasquill et Gifford**

Vitesse des vents à 10 m	JOUR			NUIT	
	Insolation			Nébulosité	
m/s	Fort	Modéré	Faible	Légèrement opaque ou CN ≥ 4/8	CN ≤ 3/8
< 2	A	A-B	B	-	-
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	C	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
> 6	C	D	D	D	D

A = Très instable  
 B = Modérément instable  
 C = Légèrement instable  
 D = Neutre (pluie)

E = Légèrement stable  
 F = Modérément stable  
 CN = Couverture nuageuse

Or, en ce qui concerne le sautage à la mine d'Osisko à Malartic, puisque celui-ci se fait exclusivement de jour, les choix retenus pour la paramétrisation des fichiers météorologiques utilisés pour les modélisations sont exclusivement les conditions de jour illustrées au tableau 3. De plus, afin de permettre de couvrir un plus large éventail de possibilités météorologiques, les trois scénarios présentés au tableau 4 ont été sélectionnés.

**Tableau 4 : Paramètres météorologiques en fonction des scénarios**

Scénario	Direction du vent (degré)	Vitesse du vent (m/s)	Température (C°)	Stabilité
1	230	2	1,8	A
2	230	3	1,8	C
3	230	6	1,8	D

### 2.3.3 Données météorologiques utilisées pour valider la dispersion initiale

Pour valider sommairement la dispersion initiale, un fichier météorologique a été produit pour s'assurer que le taux d'émission retenu lors de la caractérisation de la source d'émission (section 2.4) était conforme à la réalité du terrain lors de l'événement, c'est-à-dire conforme aux images captées par les caméras de surveillance (figure 2) quelques dizaines de secondes après le sautage. Les données utilisées pour cette validation sont présentées au tableau 5.

**Tableau 5 : Données météorologiques utilisées pour valider la dispersion initiale**

Scénario	Direction du vent (degré)	Vitesse du vent (m/s)	Température (C°)	Stabilité
Validation	315.4	2,08	1,8	A*

\* La stabilité a été établie avec la méthode des sigma-a (EPA 1987).

## 2.4 Caractéristique de la source d'émission

Les considérations techniques retenues pour configurer la source d'émission dans le modèle de dispersion atmosphérique CALPUFF sont présentées dans la présente section.

Le sautage fragmentaire s'est produit à 11 h 15 le 3 novembre 2011. La hauteur du souffle a été estimée à 15 m et la surface totale sautée à 5 175 m<sup>2</sup>. Ces valeurs ont été établies suite à l'examen des données vidéo prises lors de l'événement (voir figure 2). Ainsi, il a été possible d'estimer les dimensions initiales de la source volumique, soit le type de source habituellement utilisé dans les modélisations de dispersion atmosphérique pour représenter un sautage.

Par ailleurs, dans le document du NPI (*National Pollutant Inventory*) de janvier 2012, annexe C, on estime que les facteurs d'émissions du dioxyde d'azote des explosifs ANFO (mélangés sur le site) et des émulsions sont respectivement de 8 kg/t et 0,2 kg/t d'explosif. Or, lors de l'événement du 3 novembre, la charge d'explosif totale était de 138,6 tonnes de Fortis™ Extra 70 (70% émulsion, 30% ANFO), ce qui donne une émission totale de 352 kg de NO<sub>2</sub>.

Finalement, toujours à l'aide des vidéos prises lors de l'événement, la durée des explosions de la zone de sautage a été estimée à 3 secondes, ce qui donne un taux d'émission pour les différents scénarios d'environ 117 348 g/s. Le calcul de ce taux est résumé au tableau 6 et l'ensemble des paramètres de modélisation du volume source pour représenter le sautage sont présentés au tableau 7.

**Tableau 6 : Émission de dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) lors de l'explosion**

Item	Unité	Variable	Valeur	Références
Facteur d'émission (ANFO)	kg/tonne	Ea	8,0	National Pollutant Inventory, January 2012
Facteur d'émission (Émulsion)	kg/tonne	Ee	0,2	National Pollutant Inventory, January 2012
Quantité d'explosif utilisée	tonne	Qe	138,6	Type d'explosif : Fortis™ Extra 70, 138 600 kg (70% émulsion et 30% ANFO) Détonateur I-Kon. Produit vendu par Orica Canada (Réf. Orica & Osisko)
Durée de l'explosion	seconde	Sec	3	Examen de la bande vidéo
Émission totale de NO <sub>2</sub> durant l'événement	kg	TNO <sub>2</sub>	352,044	$TNO_2 = Ea \cdot Qe \cdot 30\% + Ee \cdot Qe \cdot 70\%$
Taux d'émission de NO <sub>2</sub> retenu	g/s	t	117 348	$t = (TNO_2 \cdot 1000) / Sec$
Volume estimé après l'explosion (3 sec)	m <sup>3</sup>	Vol	77 625	Environ 45 m X 115 m X 15 m (examen bande vidéo)
Concentration de NO <sub>2</sub> durant l'événement	µg/m <sup>3</sup>	TNO <sub>2_VOL</sub>	4,54E+06	$TNO_{2\_VOL} = TNO_2 \cdot 1,0E+09 / Vol$
Facteur de conversion µg/m <sup>3</sup> en ppmv	aucune	Conv	1881,39	Facteur de conversion µg/m <sup>3</sup> à ppm (1 atm, 25°C)
Concentration de NO <sub>2</sub> durant l'événement	ppm	TNO <sub>2_ppm</sub>	2411	$TNO_2 = TNO_{2\_VOL} / Conv$

**Tableau 7 : Paramètres de modélisation du sautage - 3 novembre 2011**

<b>Paramètres</b>	<b>Unité</b>	<b>Valeur</b>	<b>Référence</b>
Hauteur du souffle	m	15	Examen de la bande vidéo
Surface du souffle	m <sup>2</sup>	5175	Environ 45 m X 115 m (examen bande vidéo)
Longueur d'un côté	m	71,94	Racine (surface); pour source vol. rectangulaire
Hauteur de relâche	m	7,50	Hauteur du souffle / 2
Dimension initiale latérale du volume	m	16,73	Largeur d'un côté / 4.3
Dimension initiale verticale du volume	m	6,98	Hauteur du souffle / 2.15
Taux d'émission de NO <sub>2</sub> retenu	g/s	117 348	Voir tableau 6

### 3 NIVEAUX D'EXPOSITION ET NIVEAUX AMBIANTS

Le comité A.E.G.L.s (*Acute Exposure Guideline Levels*) a publié les valeurs AEGL pour le dioxyde d'azote. Ce sont des valeurs d'exposition maximales pour la population lors de situations d'urgence où l'exposition varie de moins d'une heure à huit heures. Trois AEGL sont développés pour chacune des cinq périodes d'expositions (10 et 30 minutes, une heure, quatre heures et huit heures). Chaque valeur correspond à un niveau de sévérité d'effets toxiques. L'EPA développe actuellement les AEGL pour plusieurs substances. Les AEGL proposés sont tirés du *National Advisory Committee for Acute Exposure Guideline Levels for Hazardous Substances (NAC/AEGL committee)*.

- AEGL-1 : Concentration d'une substance dangereuse dans l'air à partir de laquelle la population exposée, incluant les personnes sensibles mais excluant les hypersensibles, pourrait éprouver un inconfort important. Les concentrations inférieures au AEGL-1 représentent un niveau d'exposition associé à la perception d'une odeur modérée, d'un goût ou d'autres irritations sensorielles.
- AEGL-2 : Concentration d'une substance dangereuse dans l'air à partir de laquelle la population exposée, incluant les personnes sensibles mais excluant les hypersensibles, pourrait développer des effets sérieux de longue durée ou irréversibles sur la santé ou nuisant à la capacité de fuir les lieux. Les concentrations inférieures au AEGL-2 mais égales ou supérieures au AEGL-1 représentent un niveau d'exposition pouvant provoquer un inconfort important.
- AEGL-3 : Concentration d'une substance dangereuse dans l'air à partir de laquelle la population exposée, incluant les personnes sensibles mais excluant les hypersensibles, pourrait développer des effets menaçant la vie ou entraînant la mort. Les concentrations inférieures au AEGL-3 mais égales ou supérieures au AEGL-2 représentent un niveau d'exposition pouvant provoquer des effets sérieux de longue durée ou irréversibles sur la santé ou nuisant à la capacité de fuir les lieux.

Les niveaux d'exposition retenue pour évaluer les effets des rejets de NO<sub>2</sub> du sautage fragmentaire pour les trois scénarios simulés sont présentés au tableau 8 ci-après.

**Tableau 8 : Niveaux d'exposition considérés (valeurs AEGL pour le NO<sub>2</sub>)**

Classification	10 minutes	Effets potentiels <sup>1</sup>
AEGL-1	0,50 ppm <sup>2</sup>	Légère brûlure des yeux, maux de tête légers, etc.
AEGL-2	20 ppm	Sensation de brûlure au nez et à la poitrine, etc.
AEGL-3	34 ppm	Irritation marquée, fibrose cardiaque, œdème, etc.
1	Certains effets peuvent être retardés.	
2	Odeur perceptible pour la plupart des individus à cette concentration. L'adaptation se fait toutefois rapidement.	



## 4 RÉSULTATS DE LA MODÉLISATION ET DISCUSSION

---

Les sections qui suivent présentent les résultats de la modélisation pour chacun des trois scénarios considérés. Les figures 3 à 5 illustrent les courbes d'isoconcentration associées aux résultats.

### 4.1 Scénario 1

Le scénario 1 correspond à un événement de sautage paramétré selon la caractérisation d'émission présentée à la section 2.4. Les conditions météorologiques sont quant à elles identiques à celles observées lors de l'événement du 3 novembre 2011, soit un vent de 2 m/s et une stabilité A (très instable). Par contre, la direction des vents a été ajustée à 230° pour simuler un panache se dirigeant vers la ville de Malartic.

Les résultats de la modélisation pour ce scénario montrent que les concentrations susceptibles d'être rencontrées dans l'air ambiant aux premières zones habitées, c'est-à-dire tout juste au nord de la butte écran, sont inférieures au niveau d'exposition AEGL-2 (figure 3). En fait, la concentration moyenne de NO<sub>2</sub> calculée sur une période de 10 minutes suite à l'incident de sautage est inférieure à 20 parties par million (ppm) aux premières zones habitées.

Les concentrations maximales modélisées aux premières zones habitées, soit 2 ppm, sont toutefois supérieures au AEGL-1, ce qui représente un niveau d'exposition pouvant provoquer un inconfort important.

### 4.2 Scénario 2

Le scénario 2 est identique au scénario 1, à l'exception de la vitesse des vents augmentée à 3 m/s et de la stabilité ajustée à la classe C, c'est-à-dire légèrement instable.

Les résultats de la modélisation pour ce scénario montrent également que les concentrations susceptibles d'être rencontrées dans l'air ambiant aux premières zones habitées sont inférieures au niveau d'exposition AEGL-2 (figure 4). Tout comme au scénario 1, la concentration moyenne de NO<sub>2</sub> calculée sur une période de 10 minutes suite à l'incident de sautage est inférieure à 20 parties par million (ppm) aux premières zones habitées.

Par contre, les concentrations modélisées dans l'air ambiant d'une bonne partie de la ville de Malartic sont égales ou supérieures au AEGL-1, ce qui représente un niveau d'exposition pouvant provoquer un inconfort important. Plus précisément, les concentrations maximales aux premières zones habitées sont de 7,5 ppm.

### 4.3 Scénario 3

Le scénario 3 reprend également les mêmes paramètres qu'aux scénarios 1 et 2, à l'exception de la vitesse des vents augmentée 6 m/s et de la stabilité ajustée à un niveau neutre, donc de classe D.

Les résultats de la modélisation pour ce scénario sont quant à eux similaires à ceux du scénario 2 en ce qui concerne le niveau d'exposition AEGL-1. En effet, les limites AEGL-1 se retrouvent approximativement dans les mêmes zones de la ville de Malartic (figures 5).

De fait, la différence entre les résultats du scénario 2 et du scénario 3 se situe plutôt au niveau du panache. Le panache du scénario 3 étant plus allongé (dû à une plus grande stabilité de l'atmosphère limitant la dispersion) et son temps de résidence plus faible (étant donné une propagation plus rapide en raison d'une plus grande vitesse des vents).

Par contre, puisqu'une moyenne sur 10 minutes est utilisée afin de déterminer les concentrations associées aux niveaux AEGL, la statistique vient considérablement réduire les disparités entre les deux scénarios pour le niveau d'exposition AEGL-1.

#### 4.4 Niveau d'incertitude

Les considérations techniques concernant le niveau d'incertitude associé aux résultats de modélisation présentés dans le cadre de cette étude sont décrites ci-après.

Dans un premier temps, il est important de préciser qu'afin de s'assurer de la plausibilité du taux d'émission de NO<sub>2</sub> retenu (estimé à partir des valeurs publiées par le NPI en fonction du type d'explosif utilisé la minière Osisko, section 2.4), seule une validation *qualitative* a été faite - en fonction des conditions météorologiques observées au moment de l'événement (tableau 5) - en comparant les concentrations modélisées avec les images captées par les caméras de surveillance (figure 2).

En effet, les concentrations obtenues par la modélisation en dehors de la zone de sautage, une trentaine de secondes après l'explosion, sont approximativement de 825 ppm. Ce résultat semble cohérent avec la couleur orange du nuage de NO<sub>2</sub> observée sur la bande vidéo à la limite de la zone de sautage, puisque selon les analyses effectuées par l'*International Society of Explosives Engineers* (BARNHART, 2004), la concentration de NO<sub>2</sub> avoisinerait les 10 000 ppm lorsque la couleur du nuage est rouge et serait plutôt de 1 000 ppm lorsqu'il est orange.

De plus, soulignons que plusieurs facteurs peuvent influencer directement la production de NO<sub>2</sub> lors d'un sautage (ROWLAND, 2000). C'est le cas notamment de la quantité d'eau contenue dans les explosifs lors du sautage. Le niveau d'incertitude de la source de NO<sub>2</sub> modélisée dans la présente étude est donc *considérable*. Des mesures in situ, lors de sautages comparables, permettraient par contre une calibration plus précise de la source d'émission.

Enfin, précisons que l'effet de la butte écran n'est pas pris en compte dans le calcul de dispersion du panache. En effet, le modèle CALPUFF ne permet pas de représenter les effets associés à un tel obstacle. Dans les faits, les modèles courants ne permettent pas de simuler le comportement du panache au passage d'une butte mais celle-ci pourrait vraisemblablement avoir un effet sur la dispersion du panache de NO<sub>2</sub>.

La compagnie minière Osisko exploite une mine d'or à ciel ouvert à Malartic, en Abitibi-Témiscamingue. Elle y opère une station météorologique lui permettant, entre autres, de vérifier la direction des vents pour mieux gérer les activités de sautage à l'intérieur de sa fosse.

Le 3 novembre 2011, alors que des explosifs étaient demeurés dans les trous de forage pendant une semaine dû à des vents non favorables, le sautage a finalement eu lieu mais s'est avéré « fragmentaire ». On entend par sautage fragmentaire des explosions incomplètes produisant d'un nuage de dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) quelques secondes après les détonations. Dans ce contexte, GENIVAR a été sollicitée pour réaliser la modélisation de la dispersion atmosphérique du NO<sub>2</sub> qui pourrait être émis lors d'un tel événement avec des scénarios de vents non favorables.

Or, les résultats des modélisations indiquent que les concentrations de NO<sub>2</sub> qui pourraient se retrouver dans l'air ambiant de Malartic suite à un sautage fragmentaire, dans un contexte de vents non favorables, pourraient potentiellement provoquer un inconfort important à la population, sans toutefois avoir des effets irréversibles sur la santé de celle-ci. Plus particulièrement, les concentrations modélisées pour les trois scénarios sont inférieures au niveau d'exposition AEGL-2 d'une période d'exposition de 10 minutes (20 ppm), et ce aux premières zones habitées au nord de la butte écran.

Il convient cependant de nuancer ces résultats et de les interpréter correctement puisque la modélisation comporte de nombreuses incertitudes, dont le taux d'émission de NO<sub>2</sub> retenu qui constitue une donnée difficilement quantifiable avec précision dans le cadre de la présente étude.

Finalement, il est important de rappeler que le scénario considéré représente un cas hypothétique et que les responsables d'Osisko doivent s'assurer, deux minutes avant le sautage, que les conditions de vent sont favorables afin d'éviter la propagation d'un éventuel nuage de dioxyde d'azote en direction de la ville.

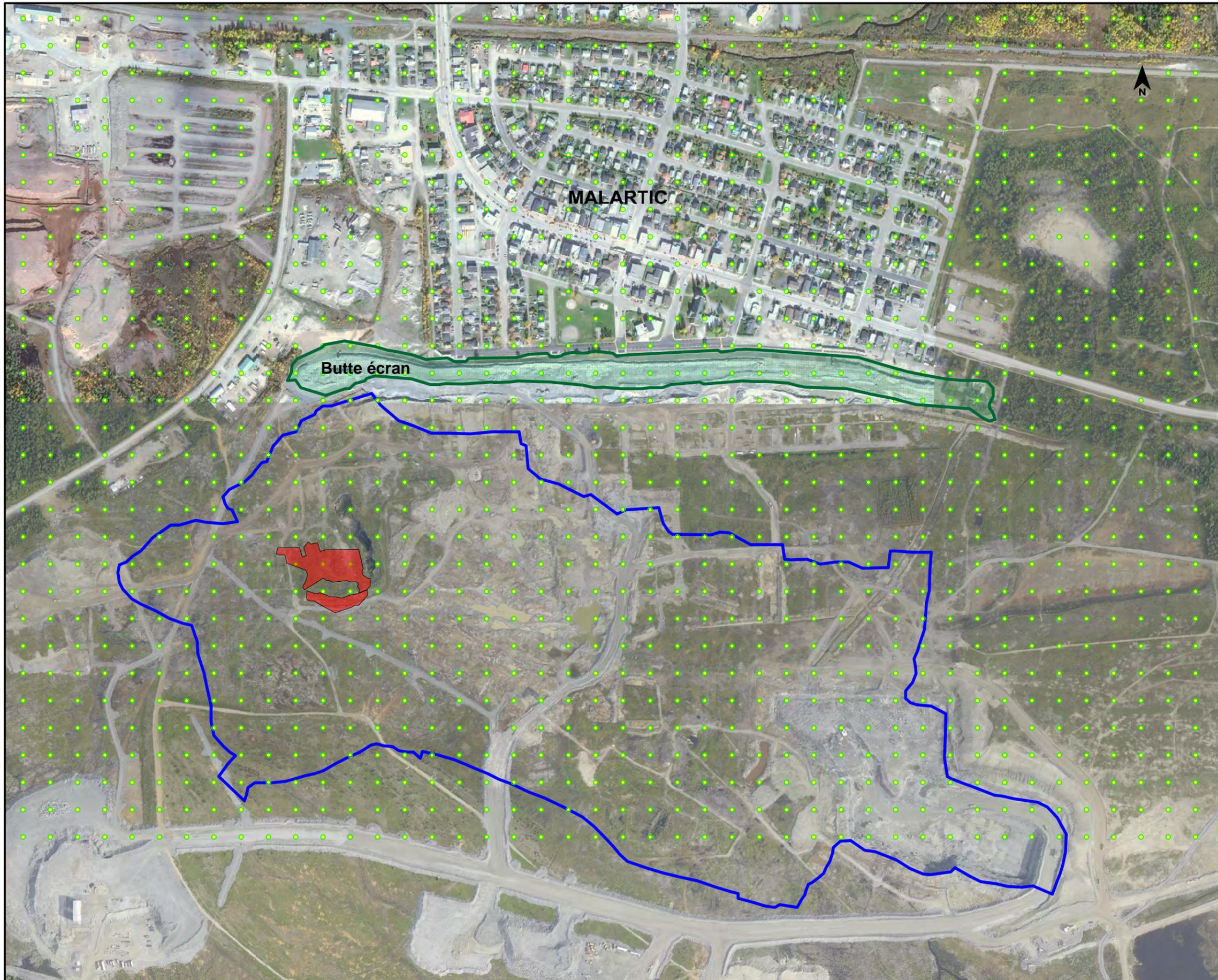


## 6 BIBLIOGRAPHIE

---

- BARNHART, C. R. 2004. *Analytical Measurements in Cast Blasting to Identify the Cause and Cure for "Orange Smoke."* Proceedings of the 30th annual conference on explosives and blasting technique. February 1-4 (pp 1-15) Cleveland, OH: International Society of Explosives Engineers.
- EPA. 1987. *On-Site Meteorological Program Guidance for Regulatory Modeling Applications.* EPA-450/4-87-013.
- GIFFORD, F.A. *Turbulent diffusion-typing schemes: A review*, Nuc. Saf 17(1): 71. 1976.
- GOVERNEMENT DU QUÉBEC. 2010. *Loi sur la qualité de l'environnement, Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère.* c. Q-2, r. 4.1.
- MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DES PARCS (MDDEP). 2005. *Guide de la modélisation de la dispersion atmosphérique.* 32 p.
- NATIONAL ADVISORY COMMITTEE FOR ACUTE EXPOSURE GUIDELINE LEVELS FOR HAZARDOUS SUBSTANCES (NAC/AEGL COMMITTEE). 2008. *Acute Exposure Guideline Levels (AEGLs) for Nitrogen Dioxide.* 74 pages.
- NATIONAL POLLUTANT INVENTORY. January 2012. *National Pollutant Inventory emission Estimation Technique Manual For Explosives Detonation And Firing Ranges, Version 3.0, Australian Gouvernement.* Department of Sustainability, Environment, Water, Population and Communities.
- ROWLAND III J.H, MAINIERO R.J. 2000. *Factors Affecting ANFO Fumes Production.* Proceedings of the 26<sup>th</sup> annual conference on explosives and blasting technique (Anaheim, CA, Feb. 13-16, 2000). Vol. 1. Cleveland, OH: International Society of Explosives Engineers, pp. 163-174.
- SCIRE, J.; STRIMAITIS, D. G.; YAMARTINO, R.J. 2000. *A User's Guide for the CALPUFF Dispersion Model.* Version 5, Earth Tech Inc.



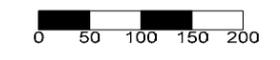


-  Récepteurs
-  Limite approximative de la fosse (3 novembre 2011)
-  Limite approximative de la zone de sautage (3 novembre 2011)



**FIGURE 1**  
**Domaine de modélisation et répartition des récepteurs utilisés pour la modélisation de la dispersion atmosphérique**

*Figures\_Sautage\_Osisko\_v2012-04-24.srf*



Avril 2012    Projet : 101-52220-00







- ✕ Position des caméras
- Limite approximative de la fosse (3 novembre 2011)
- Limite approximative de la zone de sautage (3 novembre 2011)

OSISKO

FIGURE 2

Nuage de dioxyde d'azote capté par les caméras de surveillance le 3 novembre 2011 - 11h15

Figures\_Sautage\_Osisko\_v2012-04-24.srf



Avril 2012    Projet : 101-52220-00







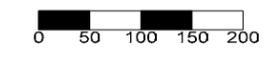
-  Limite approximative de la fosse (3 novembre 2011)
-  Limite approximative de la zone de sautage (3 novembre 2011)
-  Courbe d'isoconcentration aux premières zones habitées (ppm)
-  Courbe d'isoconcentration AEGL-1 de 0,50 ppm sur 10 minutes
-  Courbe d'isoconcentration AEGL-2 de 20 ppm sur 10 minutes
-  Courbe d'isoconcentration AEGL-3 de 34 ppm sur 10 minutes

Direction du vent : 230° degrés



**FIGURE 3**  
**Concentrations moyennes (ppm) de NO<sub>2</sub> modélisées sur une période de 10 minutes suite à l'incident de sautage**  
**Scénario 1 - Vent 2 m/s Stabilité A**

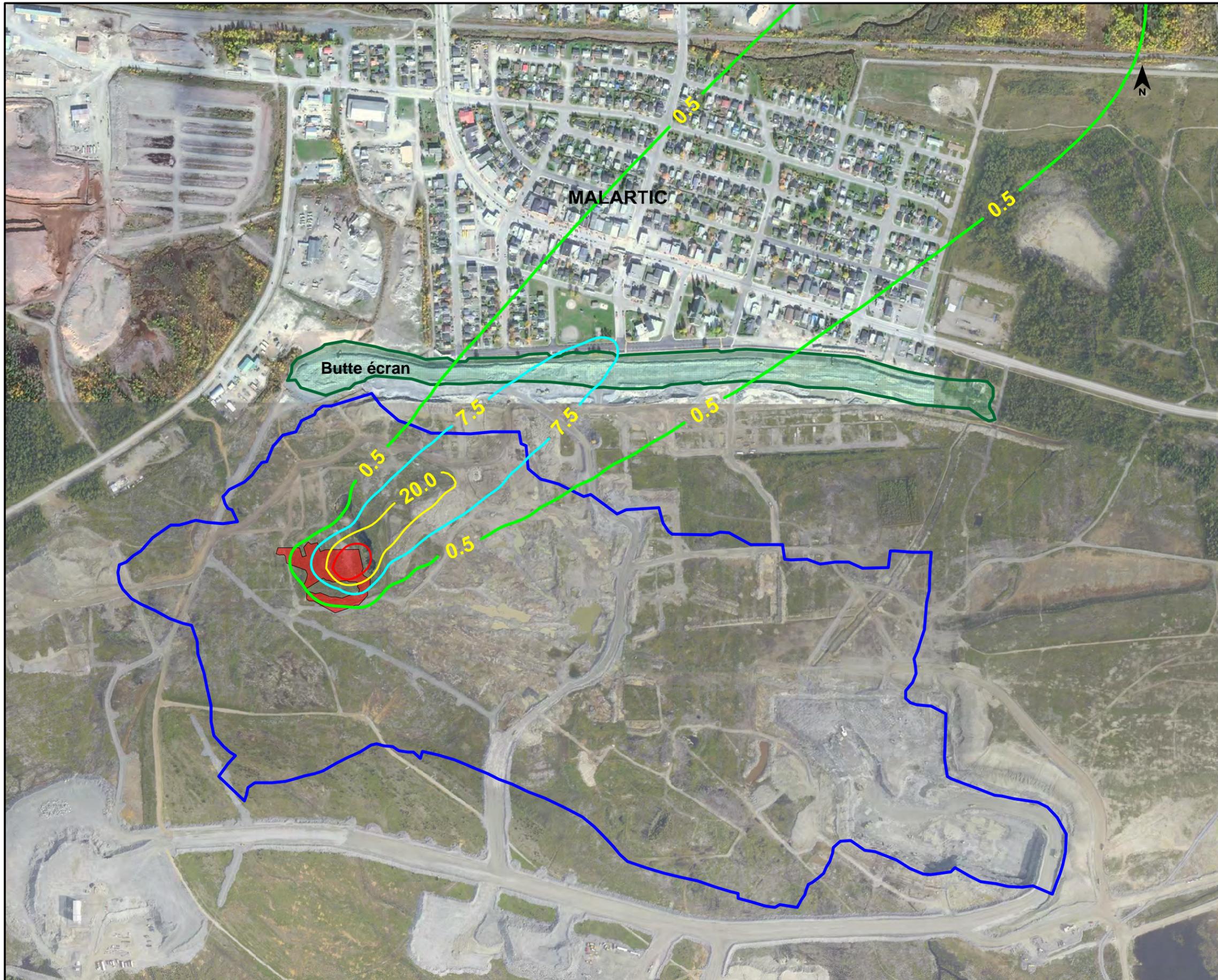
*Figures\_Sautage\_Osisko\_v2012-04-24.srf*



Avril 2012    Projet : 101-52220-00







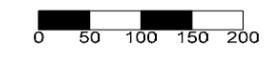
- Limite approximative de la fosse (3 novembre 2011)
- ▨ Limite approximative de la zone de sautage (3 novembre 2011)
- Courbe d'isoconcentration aux premières zones habitées (ppm)
- Courbe d'isoconcentration AEGL-1 de 0,50 ppm sur 10 minutes
- Courbe d'isoconcentration AEGL-2 de 20 ppm sur 10 minutes
- Courbe d'isoconcentration AEGL-3 de 34 ppm sur 10 minutes

Direction du vent : 230° degrés



**FIGURE 4**  
**Concentrations moyennes (ppm) de NO<sub>2</sub> modélisées sur une période de 10 minutes suite à l'incident de sautage**  
**Scénario 2 - Vent 3 m/s Stabilité C**

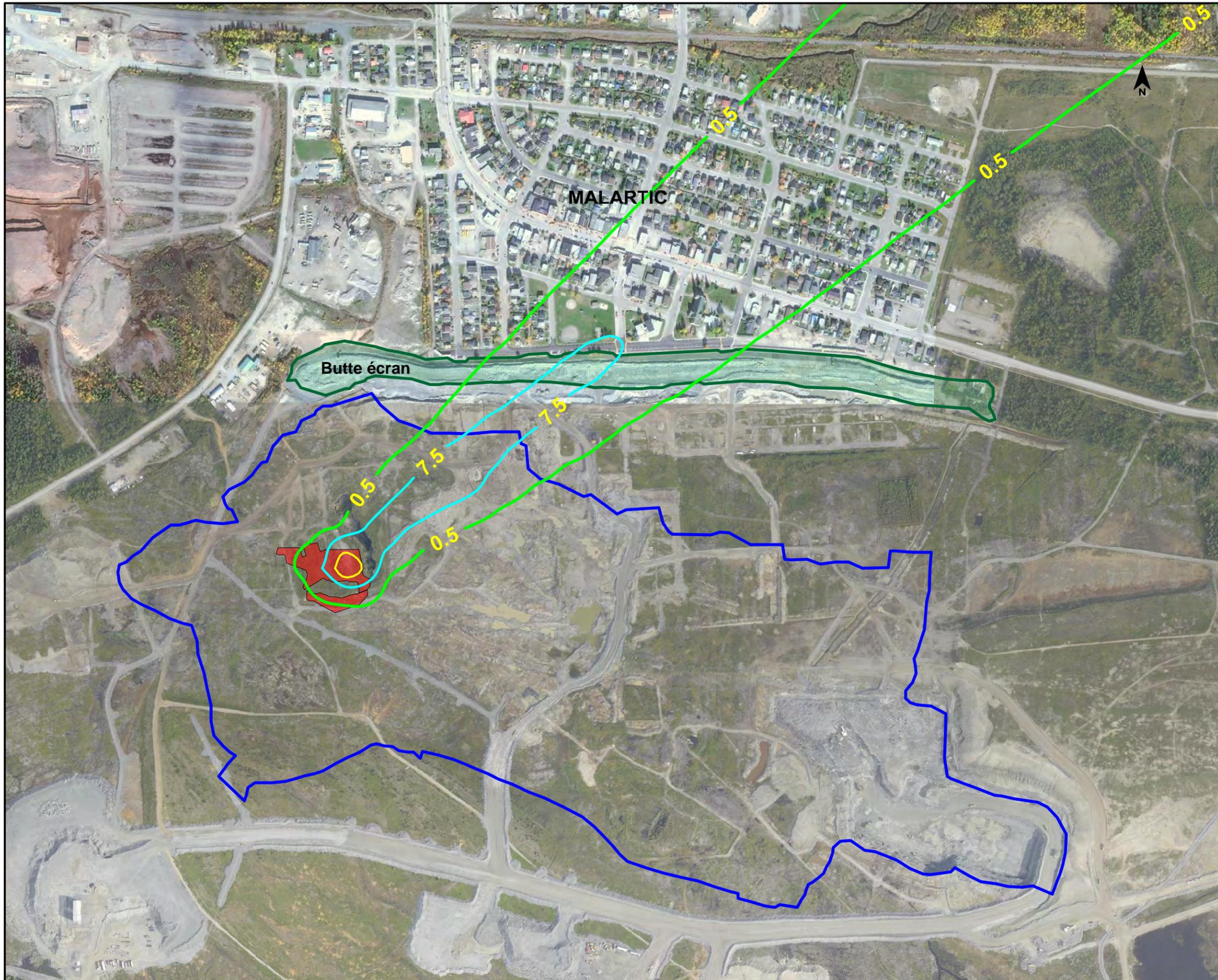
*Figures\_Sautage\_Osisko\_v2012-04-24.srf*



Avril 2012    Projet : 101-52220-00







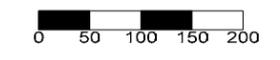
-  Limite approximative de la fosse (3 novembre 2011)
-  Limite approximative de la zone de sautage (3 novembre 2011)
-  Courbe d'isoconcentration aux premières zones habitées (ppm)
-  Courbe d'isoconcentration AEGL-1 de 0,50 ppm sur 10 minutes
-  Courbe d'isoconcentration AEGL-2 de 20 ppm sur 10 minutes
-  Courbe d'isoconcentration AEGL-3 de 34 ppm sur 10 minutes

Direction du vent : 230° degrés



**FIGURE 5**  
**Concentrations moyennes (ppm) de NO<sub>2</sub> modélisées sur une période de 10 minutes suite à l'incident de sautage**  
**Scénario 3 - Vent 6 m/s Stabilité D**

*Figures\_Sautage\_Osisko\_v2012-04-24.srf*



Avril 2012    Projet : 101-52220-00



