

Annexe 13

Étude de l'impact d'une rupture de digue sur la qualité de l'eau dans les cours d'eau en aval du parc à résidus Norbec

Étude de l'impact d'une rupture de digue sur la qualité de l'eau dans les cours d'eau en aval du parc à résidus Norbec

Projet de la mine d'or Horne 5

Soumis à :

Hélène Cartier, ing.

Ressources Falco Resources Ltd.
1100, av. des Canadiens-de-Montréal, Bureau 300
Montréal, QC, Canada H3B 2S2

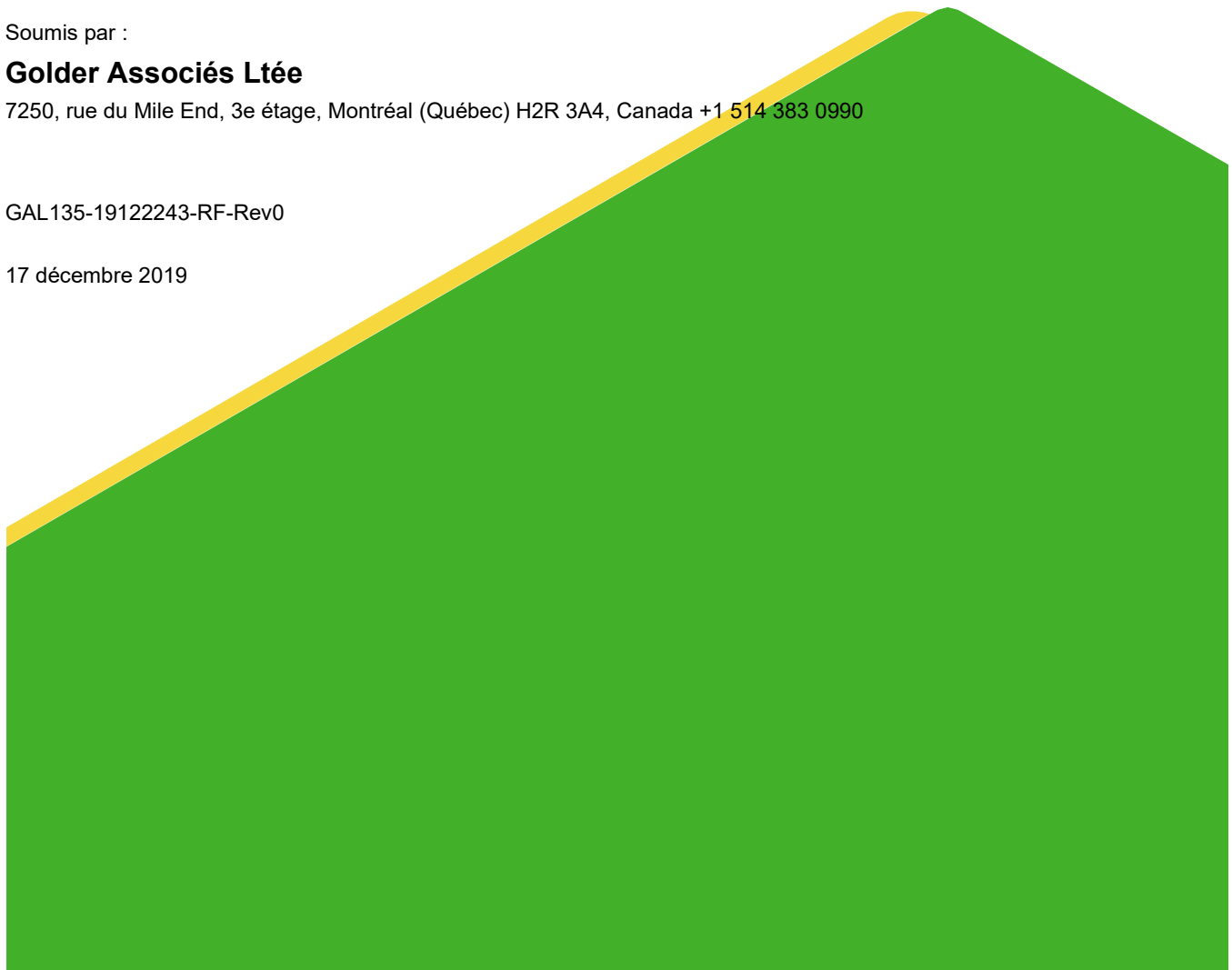
Soumis par :

Golder Associés Ltée

7250, rue du Mile End, 3e étage, Montréal (Québec) H2R 3A4, Canada +1 514 383 0990

GAL135-19122243-RF-Rev0

17 décembre 2019



Liste de distribution

Ressources Falco Ltée : 1 copie électronique

Golder Associés Ltée : 1 copie électronique

Table des matières

1.0 INTRODUCTION	1
1.1 Contexte	1
1.2 Mandat	1
2.0 MÉTHODOLOGIE	2
2.1 Aménagement du site	2
2.2 Scénarios de rupture de digue au site	3
2.3 Considérations générales sur les conséquences d'une rupture de digue sur la qualité de l'eau des cours d'eau et des lacs en aval du parc à résidus	5
2.4 Approche de modélisation.....	7
2.5 Données d'entrée pour la qualité de l'eau	10
2.6 Normes et critères de référence pour la qualité de l'eau	12
2.7 Données d'entrée hydrologiques	14
2.8 Autres hypothèses et limitations du modèle	15
3.0 RÉSULTATS DE MODÉLISATION	16
3.1 Rupture de la digue RFP-1	16
3.2 Rupture de la digue RFP-2	20
4.0 SOMMAIRE DE L'ÉTUDE ET CONCLUSION	23
5.0 RÉFÉRENCES	28

TABLEAUX

Tableau 1: Données d'entrée pour la qualité de l'eau	11
Tableau 2: Normes et critères pour la qualité de l'eau.	12
Tableau 3: Moyennes mensuelles historiques (1970 – 2019) des débits de la rivière Kinojévis à la station d'Environnement Canada 043012	14
Tableau 4: Débits de crue de la rivière Kinojévis à la station d'Environnement Canada 043012.....	15
Tableau 5: Rupture de la digue RFP-1 – qualité moyenne de l'eau au lac Dufault – Sommaire des paramètres d'intérêt environnemental dépassant au moins une norme.....	18
Tableau 6: Rupture de la digue RFP-1 – qualité moyenne de l'eau au lac Dufault – Durée nécessaire (jours) pour que les concentrations reviennent sous le seuil des normes	19

Tableau 7: Rupture de la digue RFP-1 – qualité moyenne de l'eau au lac Dufault – sommaire des paramètres d'intérêt environnemental dont concentration initiale (de référence) dépasse déjà une norme	20
Tableau 8: Rupture de la digue RFP-2 – qualité moyenne de l'eau au lac Waite – Sommaire des paramètres d'intérêt environnemental dépassant au moins une norme.....	21
Tableau 9: Rupture de la digue RFP-2 – qualité moyenne de l'eau au lac Waite – sommaire des paramètres d'intérêt environnemental dont concentration initiale (de référence) dépasse déjà des normes.....	22
Tableau 10: Rupture de la digue RFP-2 – Qualité moyenne de l'eau au lac Duprat – Sommaire des paramètres d'intérêt environnemental dépassant au moins une norme.....	23
Tableau 11: Rupture de la digue RFP-2 – Qualité moyenne de l'eau au lac Duprat – Sommaire des paramètres d'intérêt environnemental dont la concentration initiale (de référence) dépasse déjà l'une des normes	23

FIGURES

Figure 1: Aménagement général du site	3
Figure 2: Digue RFP-1 - Zone recouverte par des résidus lors d'une rupture hypothétique - Extrait de Golder (2019a)	4
Figure 3: Digue RFP-2 - Zone recouverte par des résidus lors d'une rupture hypothétique - Extrait de Golder (2019a)	5
Figure 4: Rupture hypothétique de la digue RFP-1 – Définition des zones de mélange du lac Dufault à considérer dans l'analyse de la qualité de l'eau moyenne dans le lac	9
Figure 5: Rupture hypothétique de la digue RFP-2 – Définition des zones de mélange du lac Dufault à considérer dans l'analyse de la qualité de l'eau moyenne dans le lac	10

ANNEXES

ANNEXE A : Information importante et limitations de ce rapport

ANNEXE B : Résultats de modélisation

1.0 INTRODUCTION

1.1 Contexte

Dans le cadre du développement du projet de la mine Horne 5 situé dans la municipalité de Rouyn-Noranda, Québec, Ressources Falco Ltée (Falco) a mandaté Golder Associés Ltée (Golder) afin de réaliser plusieurs études, dont des études en soutien à l'étude d'impact environnemental (ÉIE), et d'apporter son assistance au processus d'obtention des permis requis.

Golder (2019a) a effectué une étude de bris de digue pour les structures de rétention du parc à résidus en surface situé au site Norbec. L'étude a identifié les zones potentiellement affectées en cas de rupture de digue. Falco a ensuite mandaté Golder afin d'étudier l'impact des ruptures de digue décrites par Golder (2019a) sur la qualité de l'eau des cours d'eau et des lacs en aval du parc à résidus. L'étude s'est concentrée en particulier sur l'impact d'un bris sur la qualité de l'eau du lac Dufault, du lac Duprat et du lac Waite. Ce rapport présente l'approche proposée pour mener cette étude et les résultats clés qui en découlent.

Tout comme l'étude de bris de digue (Golder, 2019a), l'objectif de cette étude est de dresser le portrait général des conséquences d'une rupture. Ce type d'étude vise à répondre à la question « *qu'en est-il si jamais une rupture d'une structure en particulier se produisait* » afin de permettre une planification adéquate et détaillée. Cette étude n'aborde pas la probabilité qu'un tel événement survienne. Cette probabilité est extrêmement faible et est gérée par l'effort de conception et de suivi de la performance des ouvrages.

Ce rapport doit être lu conjointement avec le document intitulé « Informations importantes et limitations de ce rapport », présenté à l'annexe A.

1.2 Mandat

La présente étude vise les objectifs suivants :

- Identifier les scénarios de rupture de digue à étudier en fonction de l'étude de bris de digue (Golder, 2019a) ;
- Décrire de manière qualitative les impacts d'une rupture hypothétique de digue sur les cours d'eau et les lacs en aval du parc à résidus ;
- Quantifier les impacts d'une rupture hypothétique de digue sur la qualité de l'eau des lacs Dufault, Duprat, et Waite pour estimer :
 - les impacts de la rupture sur la qualité de l'eau du lac à proximité de la prise d'eau potable dans le lac Dufault ;
 - les impacts de la rupture sur la qualité de l'eau des lacs Dufault, Duprat et Waite en utilisant comme référence les normes de qualité de l'eau pour la protection de la vie aquatique et pour l'usage des lacs à des fins récréatives.

2.0 MÉTHODOLOGIE

2.1 Aménagement du site

L'aménagement général du site est présenté à la figure 1 ci-après :

- Le site Norbec se trouve dans le nord-ouest du bassin versant du lac Dufault, à environ 10 km au nord-ouest de la ville de Rouyn Noranda, Québec.
- Le lac Dufault a une superficie d'environ 18,5 km² et possède un bassin versant d'environ 153 km². Les deux affluents principaux du lac Dufault sont la rivière Duprat et le ruisseau Vauze ; de plus petits tributaires se jettent dans le lac le long de son périmètre. L'exutoire du Lac Dufault, la rivière Dufault, s'écoule dans la direction sud-est vers la rivière Kinojevis, affluent de la rivière des Outaouais. Le lac Dufault, relativement peu profond, a une profondeur moyenne de 5 m. La profondeur de l'eau est d'environ 2 m dans la partie sud-ouest du lac.
- La prise d'eau potable municipale de Rouyn-Noranda est située dans le coin le plus au sud du lac Dufault, dans une petite baie. En moyenne, 12 000 m³/jour sont prélevés dont un tiers sert d'eau potable pour la municipalité et deux tiers servent à l'approvisionnement en eau de procédé pour les opérations de Glencore à Rouyn-Noranda (Ville Rouyn-Noranda, 2018).
- Le lac Waite est situé dans le coin nord-ouest du bassin versant du lac Dufault, à moins de 2 km à l'ouest du site Norbec. Après le développement du parc à résidus Norbec dans le projet Horne 5, le lac aura un bassin versant de 2,1 km² pour une superficie du lac de 0,25 km². La profondeur d'eau moyenne est d'environ 2,6 m.
- Le lac Duprat est situé en aval et au sud-ouest du lac Waite, à l'ouest du lac Dufault. Il a un bassin versant de 20 km² pour une superficie du lac de 3,1 km². La profondeur d'eau moyenne est d'environ 3,4 m.

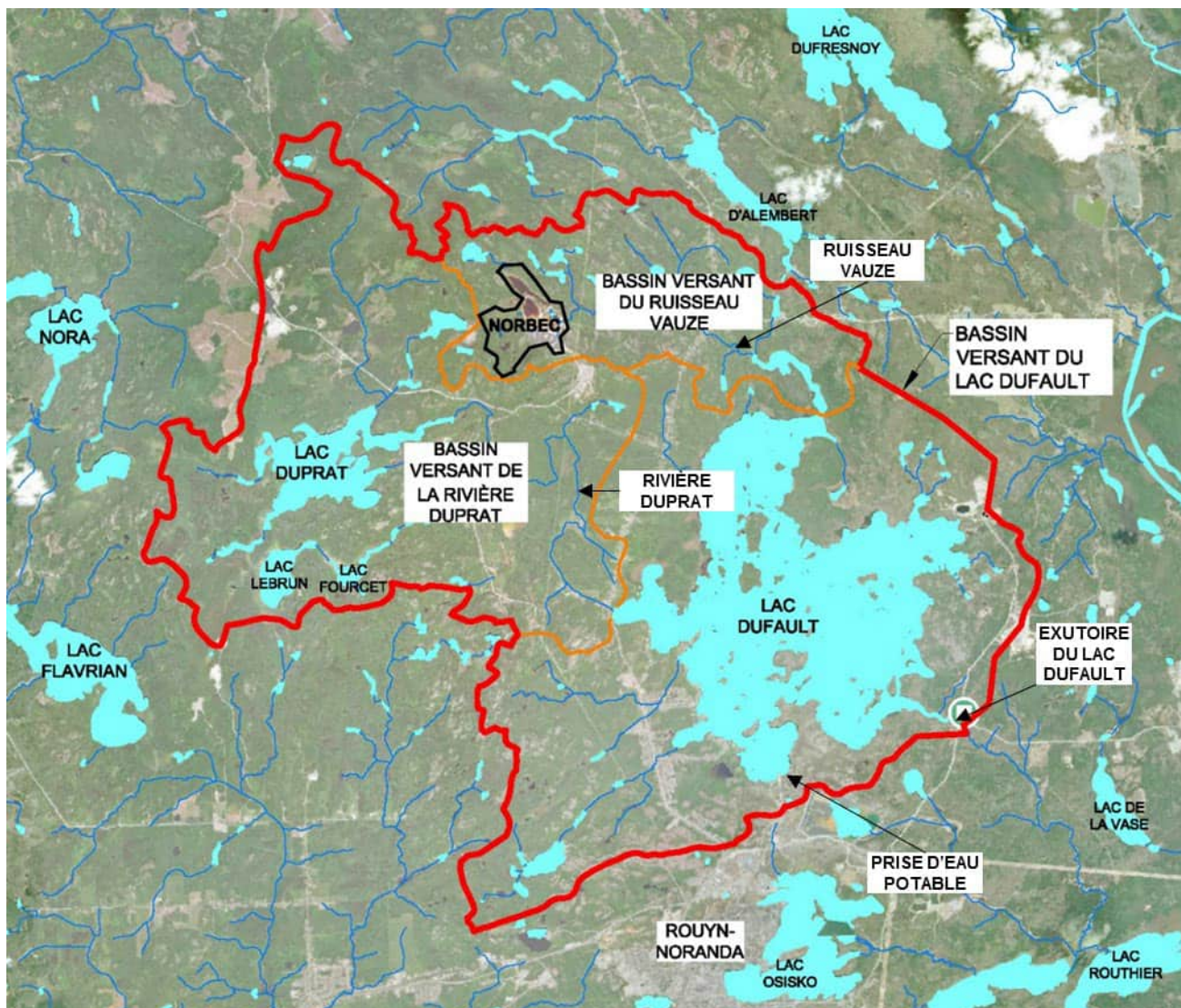


Figure 1: Aménagement général actuel du site

2.2 Scénarios de rupture de digue au site

Golder (2019a) présente les scénarios de rupture de digue étudiés ainsi que les résultats de l'étude. Les faits saillants de cette étude sont résumés ici :

- L'étude s'est concentrée sur la rupture hypothétique des digues RFP-1 et RFP-2, dont les conséquences ont été jugées comme les plus importantes. Les scénarios de rupture analysés consistent en une rupture par érosion interne qui serait simultanée à un niveau d'eau élevé correspondant à la crue de projet. La configuration du parc à résidus lors de la rupture est celle à la fin de l'étape 5 du projet Horne 5, quand les dimensions des digues et les volumes de résidus dans le parc sont à leur maximum.

- Dans le scénario de rupture de la digue RFP-1 (figure 2), la zone inondable résultante couvre une aire d'environ 0,37 km² dans la vallée du ruisseau Vauze. Les résidus s'immobilisent à environ 1,2 km en aval de la digue après environ 5 heures.
- Dans le scénario de rupture de la digue RFP-2 (figure 3), la zone inondable résultante couvre une aire d'environ 0,055 km². Les résidus s'écoulent à environ 350 m en aval de la digue et s'immobilisent à cet endroit après environ 1 heure. Les résultats de modélisation indiquent que les résidus s'immobilisent à environ 100 m de la limite du lac Waite.

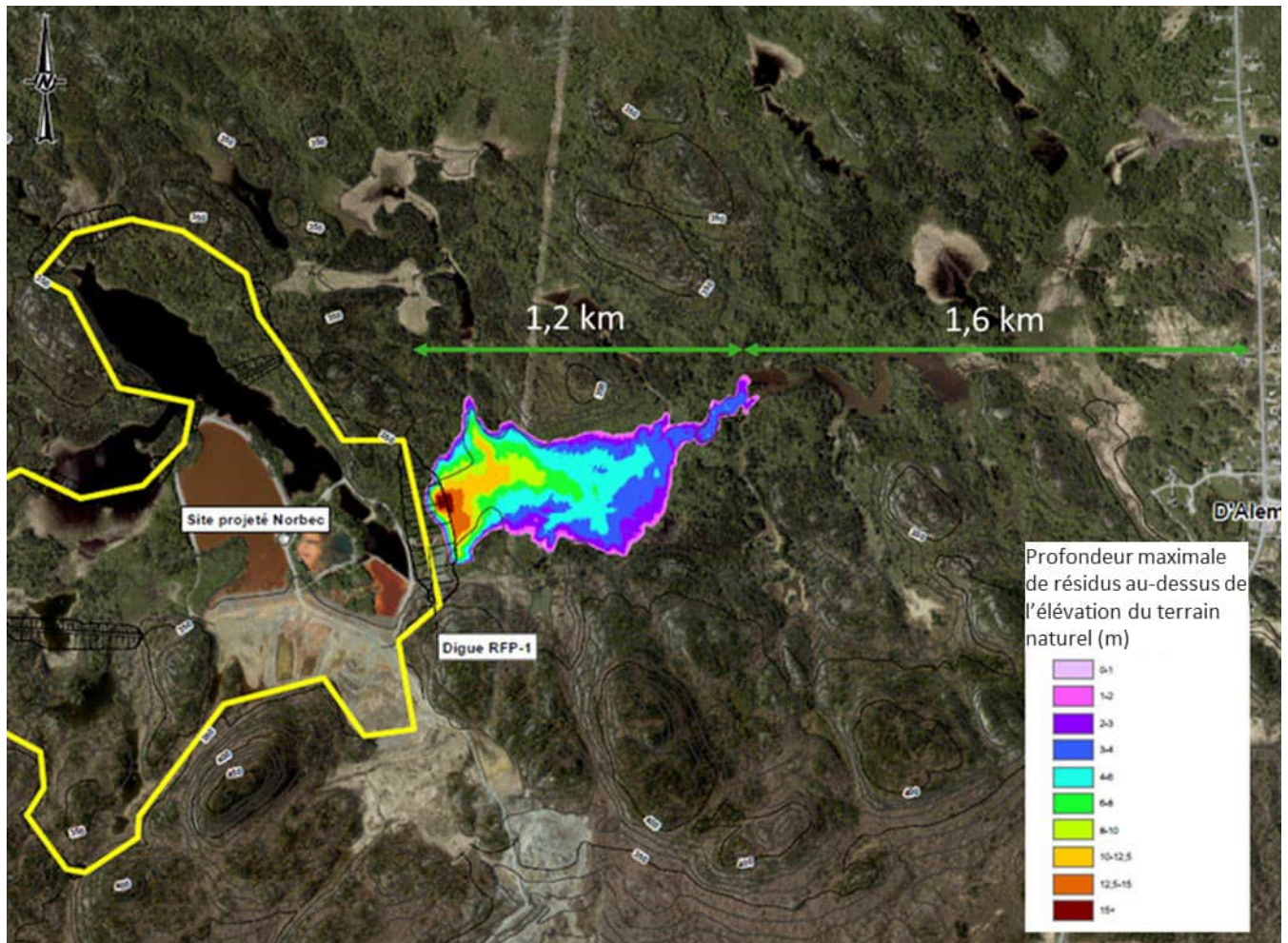


Figure 2: Digue RFP-1 - Zone recouverte par des résidus lors d'une rupture hypothétique - Extrait de Golder (2019a)

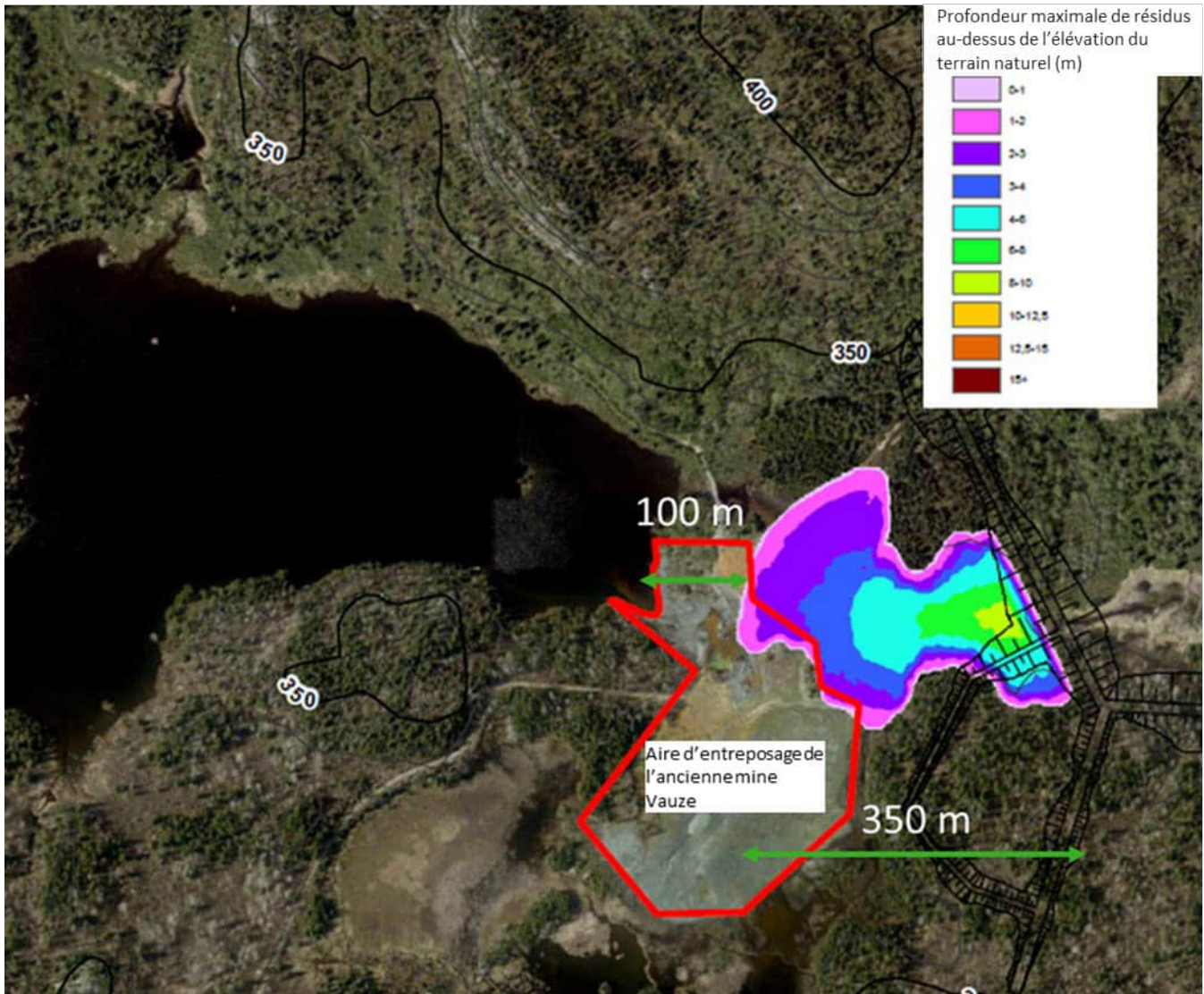


Figure 3: Digue RFP-2 - Zone recouverte par des résidus lors d'une rupture hypothétique - Extrait de Golder (2019a)

2.3 Considérations générales sur les conséquences d'une rupture de digue sur la qualité de l'eau des cours d'eau et des lacs en aval du parc à résidus

Les paragraphes suivants décrivent de manière qualitative les conséquences d'une rupture de digue présentées dans le rapport de Golder (2019a) sur la qualité de l'eau des cours d'eau et des lacs en aval du parc à résidus :

- Le déversement des résidus aurait un impact important sur le segment du cours d'eau situé à l'aval immédiat de la digue qui serait recouvert de résidus. Le lit du cours d'eau serait rempli de résidus et l'habitat de ces cours d'eau serait éliminé. Selon Golder (2019a), la zone affectée s'étendrait sur 1,2 km le long du ruisseau Vauze en cas de rupture de la digue RFP-1. En cas de rupture de la digue RFP-2, certains fossés de dérivation, que Falco construira au pied de la digue, seraient affectés par l'inondation et les résidus déversés couvriraient une aire de 0,055 km² en amont du lac Waite.

- Selon Falco, les plans de préparation et de réponse en cas d'urgence du projet minier incluront l'identification de l'équipement et des procédures nécessaires pour arrêter la propagation des résidus et de l'eau dans les 24 heures après une rupture potentielle de digue.
- Golder (2019a) indique un % de solides par masse de résidus épaissis autour de 75 %. À ce pourcentage, le flux d'eau exfiltrant des résidus, qui ont été déversés en aval de la digue, sera très faible et jugé comme négligeable pour cette étude.
- Des deux points précédents, il s'ensuit que le ruissellement naturel de la zone recouverte par les résidus ainsi que le pourtour de cette zone serait la principale source d'eau potentiellement contaminée qui pourrait affecter la qualité de l'eau des cours d'eau en aval de la zone recouverte par les résidus. Un déversement vers l'aval de ruissellement potentiellement contaminé aurait lieu seulement dans les premières 24 heures après la rupture puisqu'après, on suppose que des mesures de mitigation seraient mises en place pour arrêter la propagation de l'eau contaminée.
- Dans le scénario de rupture de la digue RFP-1, la zone recouverte par les résidus en aval des digues a une surface de 0,37 km², le bassin versant de cette zone est de 3,7 km² pour une surface totale de 4,1 km² (figure 2). Les valeurs similaires pour le scénario de rupture de la digue RFP-2 sont de 0,055 km² et 0,86 km² pour un total de 0,94 km².
- Si la rupture des digues avait lieu en conditions climatiques normales (c.-à-d. hors des conditions de crue), les volumes de ruissellement naturel correspondant à ces superficies seraient réduits. Si, par contre, la rupture des digues avait lieu en conditions de crue, les volumes de ruissellement naturel seraient plus importants et les conséquences de la propagation de l'eau vers l'aval seraient aussi plus importantes.
- Afin de présenter une évaluation conservatrice des conséquences d'une rupture hypothétique des digues sur la qualité de l'eau dans les cours d'eau et les lacs, Golder a analysé un cas pour lequel les conditions d'une crue sont également présentes en aval de la digue lors de la rupture. Il s'agit d'une hypothèse très conservatrice car les scénarios de rupture de Golder (2019a) considéreraient que la rupture, par érosion interne, aurait lieu après la fin de la crue de projet (définie selon la Directive 019). Dans la présente étude, on ajoute un autre événement de crue (par exemple, une pluie intense) lors ou immédiatement après la rupture. Cet événement favoriserait le transport des contaminants vers l'aval. Pour l'estimation quantitative, Golder a posé donc l'hypothèse que des débits 1:100-ans, 24-heures sont générés en aval de la rupture. Cette hypothèse mènerait à une estimation conservatrice pour l'analyse actuelle. La section 2.7 présente les calculs liés à cette estimation.
- Le ruissellement naturel des aires recouvertes par des résidus ou des aires se drainant gravitairement vers cette zone serait contaminé par le contact avec les résidus. Pour garder le conservatisme de l'analyse, Golder a attribué au ruissellement la même qualité que l'eau retrouvée dans le parc à résidus. On note toutefois que la qualité effectivement observée lors d'une rupture sera, selon une très forte probabilité, meilleure que la qualité considérée dans l'analyse étant donné que ce ne sera pas toute la quantité d'eau qui précipite qui sera en contact avec les résidus déversés.
- Les deux hypothèses précédentes donnent aux résultats présentés dans ce rapport un caractère très prudent. Les résultats se situent à l'extrémité défavorable de l'intervalle d'incertitude plutôt qu'au centre de ce même intervalle.
- Pour le scénario de rupture de la digue RFP-1 :

- L'eau contaminée s'écoulerait vers l'aval dans le ruisseau Vauze, jusqu'à l'entrée dans le lac Dufault. Une partie des particules solides de résidus, qui pourraient être entraînées par le ruissellement, sédimenterait dans le ruisseau à cause de la pente généralement faible du terrain naturel (0,7 %). La fraction plus fine des particules sédimenterait à l'entrée du lac Dufault. Des particules de très faible diamètre pourraient rester plus longtemps en suspension dans le lac.
- Les concentrations des paramètres chimiques de l'eau contaminée se dilueraient lors du mélange avec les débits de crue dans le ruisseau Vauze et, très significativement, avec l'eau du lac Dufault. Le facteur de dilution augmenterait avec le temps lors de la propagation du panache de contaminant dans le volume du lac.
- On note que la prise d'eau potable du lac Rouyn-Noranda est située à l'extrémité sud-est du lac alors que l'entrée du ruisseau Vauze est à l'extrémité nord du lac Dufault. Le panache de contaminant serait dilué par une grande partie du volume du lac avant d'atteindre l'emplacement de la prise d'eau.
- Suivant le mélange initial, le ruissellement naturel entrant dans le lac contribuerait à augmenter la dilution du panache de contaminant. Les réactions chimiques, physiques et biologiques pourraient aussi modifier et, généralement, atténuer l'impact du déversement.
- Pour le scénario de rupture de la digue PFT-2 :
 - Les processus seraient très similaires à ceux présentés plus haut. Par contre, le ruissellement contaminé se déverserait premièrement dans le lac Waite. Du lac Waite, l'eau s'écoulerait vers le lac Duprat et du lac Duprat vers le lac Dufault via la rivière Duprat. Le mélange et la dilution de l'eau contaminée dans les lacs Waite et Duprat diminuerait l'impact sur le lac Dufault.

2.4 Approche de modélisation

Le logiciel GoldSim a été utilisé pour simuler le bilan d'eau global des lacs Waite, Duprat et Dufault, et pour estimer l'évolution de la composition chimique de l'eau après une rupture hypothétique de digue du parc à résidus Norbec. Deux scénarios distincts ont été simulés, soit une rupture de la digue RFP-1 et une rupture de la digue RFP-2.

GoldSim est un logiciel de simulation dynamique qui permet la modélisation des processus physiques et chimiques complexes. Il est couramment utilisé pour des modèles de bilan et de qualité de l'eau. Le modèle mis au point pour cette étude a quantifié l'évaluation de la qualité moyenne de l'eau dans les lacs en supposant un mélange du contaminant dans la masse des lacs. L'approche proposée donne ainsi une image d'ensemble des impacts sur la qualité de l'eau des lacs.

Le modèle GoldSim a simulé pour les trois lacs les flux d'eau variant dans le temps des entrants et sortants. Le débit d'eau, qui correspond au volume de l'eau de ruissellement potentiellement contaminée lors d'une rupture de digue, a été ajouté ponctuellement à l'entrée du système (directement dans le lac Dufault pour une rupture de la digue RFP-1 et dans le lac Waite pour une rupture de la digue RFP-2) sur une période de 24 heures. Un constituant conservateur générique de qualité de l'eau (c.-à-d. un traceur) a été ajouté au débit déversé pendant les 24 heures. Comme décrit ci-dessous, le traceur a été utilisé pour calculer l'évolution des concentrations de tous les autres constituants de la qualité de l'eau. Le traceur a été ajouté à une concentration constante de 100 milligrammes par litre, sa concentration dans les flux d'eau naturelle et dans les lacs étant mise à zéro.

Il a été considéré que le traceur se comporterait de manière conservatrice dans la colonne d'eau, ce qui signifie qu'il ne subirait pas de réactions chimiques (c'est-à-dire de précipitation) ou de processus physique (c'est-à-dire de

sédimentation). Pour les constituants qui ne se comportent pas de manière conservatrice, les concentrations modélisées par cette approche seraient plus élevées que celles susceptibles d'être observées en cas de déversement.

Les concentrations du traceur ont été estimées à l'aide de l'équation suivante :

$$C_M = CG * (C_{eff} - C_B) + C_B \text{ Équation 1}$$

où C_M représente la concentration résultante dans le lac après la rupture; CG la concentration générique du constituant (traceur) dans le lac; C_{eff} la concentration de l'eau contaminée déversée ; et C_B la concentration de référence dans le lac.

Pour chaque constituant intervenant dans la qualité de l'eau, la série des temps des concentrations calculées a été comparée avec les normes de références (voir section 2.6). Après la rupture, les constituants pour lesquels les concentrations calculées dépassent au moins l'un des critères ou des normes ont été identifiés et étudiés. La durée nécessaire pour que les concentrations retombent sous les critères ou les normes a été calculée.

Si les concentrations initiales de l'eau des lacs, en l'absence de toute rupture de digue, dépassent déjà une ou plusieurs normes de référence, l'étude a quantifié la durée nécessaire pour que les concentrations reviennent à moins de 10 % des valeurs initiales. Le seuil de 10 % a été utilisé comme la valeur au-delà de laquelle un impact non négligeable sur la qualité de l'eau pourrait avoir lieu. Un changement de moins de 10 % est dans la marge d'incertitude des analyses de laboratoire et de modélisation.

Pour les lacs Waite et Duprat, le modèle a supposé que l'eau potentiellement contaminée se mélangerait instantanément à toute l'eau du lac. Cette hypothèse est raisonnable étant donné la taille plus réduite des deux lacs. La même hypothèse n'aurait pas été admissible pour le cas du lac Dufault qui est beaucoup plus grand :

- La qualité de l'eau a été simulée en supposant le mélange avec seulement une partie du volume d'eau du lac (20 % pour le scénario de rupture de la digue RFP-1 et 40 % pour le scénario de rupture de la digue RFP-2, voir figure 4 et figure 5). Ces résultats sont représentatifs de la qualité de l'eau moyenne dans la zone du lac autour du point d'entrée du contaminant (la confluence du ruisseau Vauze pour le scénario de rupture de la digue RFP-1 et la confluence de la rivière Duprat pour le scénario de rupture de la digue RFP-2) dans les jours et les semaines après une rupture.
- La qualité de l'eau a été aussi simulée en supposant qu'elle se mélangeait avec une grande partie du volume du lac (80 % et 100 %). Ces résultats sont représentatifs de la qualité de l'eau moyenne dans l'ensemble du lac, pour la prise d'eau potable et pour l'exutoire du lac.

À noter que l'approche proposée n'indique pas les concentrations maximales des constituants pour un point fixe dans un des lacs. De plus, les résultats n'excluent pas la possibilité que certaines zones d'un lac restent plus longtemps à des concentrations de constituants plus élevées que ce que l'analyse indique, l'analyse étant valable pour le lac entier (pour les lacs Waite et Duprat) et pour la plus grande partie du lac Dufault.

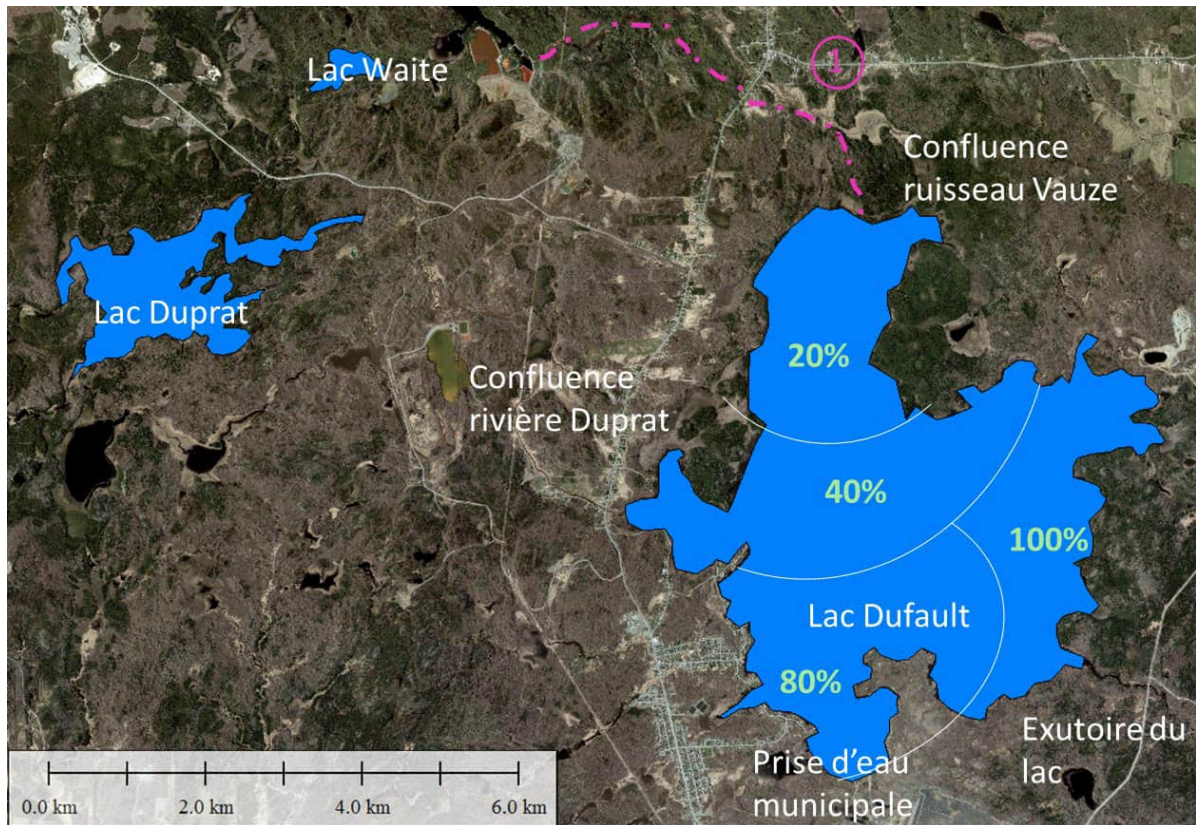


Figure 4: Rupture hypothétique de la digue RFP-1 – Définition des zones de mélange du lac Dufault à considérer dans l’analyse de la qualité de l’eau moyenne dans le lac

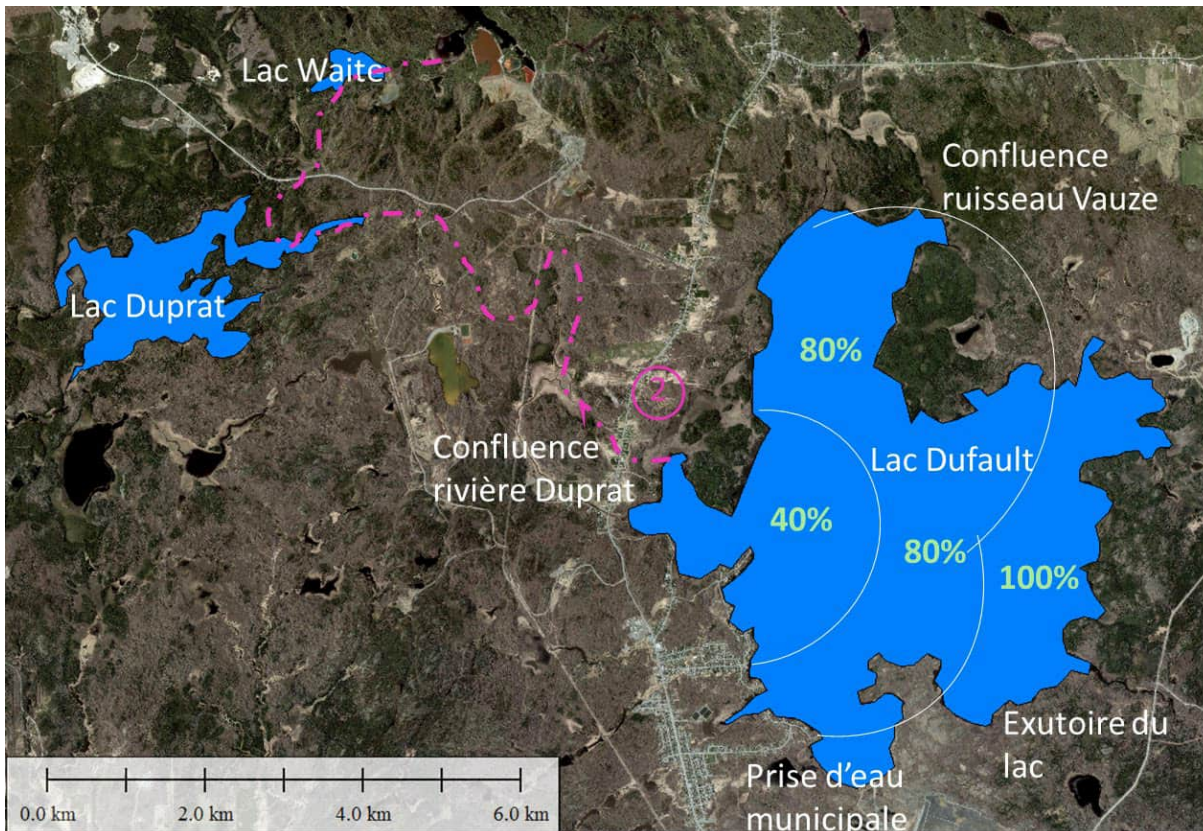


Figure 5: Rupture hypothétique de la digue RFP-2 – Définition des zones de mélange du lac Dufault à considérer dans l'analyse de la qualité de l'eau moyenne dans le lac

2.5 Données d'entrée pour la qualité de l'eau

Pour évaluer les impacts d'une rupture de digue sur la qualité de l'eau des lacs en aval du parc à résidus, les données suivantes ont été définies :

- la qualité attribuée à l'eau de ruissellement contaminée après le contact avec les résidus déversés suivant une rupture de digue a été définie de manière conservatrice. Il a ainsi été considéré que l'eau de ruissellement naturel entrant en contact avec la masse des résidus déversés vers l'environnement après une rupture de digue aurait la composition de l'eau contenue dans les résidus. Cette qualité a été évaluée à l'aide du travail de modélisation de la qualité d'eau (Golder, 2019b). Étant donné la recirculation de l'eau du bassin interne vers l'usine de traitement du minerai et le retour de cette eau avec les résidus, l'approche retenue a consisté à retenir la valeur maximale, pour chacun des paramètres, calculée sur la période des opérations au bassin interne ou à la sortie de l'usine de traitement du minerai (eau des pores des résidus). Il est à noter que les concentrations en nitrates et azote ammoniacal proviennent directement des analyses des eaux de procédé sur les essais métallurgiques et que la concentration en cyanure a été fixée en fonction du niveau qui doit être atteint après l'étape de destruction des cyanures à l'usine de traitement du minerai tel qu'indiqué dans Golder (2019b).
- la composition chimique de référence de l'eau des lacs a été déterminée sur la base des 22 échantillons collectés entre 2016 et 2018 dans le lac Dufault, tel que documenté par WSP (2017) et Golder (2018).

Les données d'entrée pour la qualité de l'eau sont présentées au tableau 1 ci-après.

Tableau 1: Données d'entrée pour la qualité de l'eau

Paramètre	Unité	Qualité attribuée à l'eau de ruissellement contaminée après le contact avec les résidus déversés suite à une rupture de digue (note 1)	Qualité de l'eau de référence des lacs Waite, Duprat et Dufault (note 2)
Alcalinité totale	mg/L	103	31
Solides dissous totaux	mg/L	4903	81
Calcium	mg/L	518	12
Chlorures	mg/L	62	4,4
Cyanure	mg/L	13	0,00057
Fluorures	mg/L	3,7	0,054
Magnésium	mg/L	195	2,4
Potassium	mg/L	109	0,48
Sodium	mg/L	647	3,6
Sulfates	mg/L	3425	22
Nitrates	mg/L	35	0,24
Azote ammoniacal	mg/L	136	0,045
Phosphore total	mg/L	4,0	0,016
Aluminium	mg/L	5,1	0,089
Antimoine	mg/L	0,053	0,0002
Arsenic	mg/L	0,078	0,0011
Baryum	mg/L	0,083	0,0058
Béryllium	mg/L	0,0011	0,00022
Bore	mg/L	0,5	0,0039
Cadmium	mg/L	0,0016	0,00019
Chrome	mg/L	0,37	0,00023
Cobalt	mg/L	0,096	0,00022
Cuivre	mg/L	8,7	0,016
Fer	mg/L	0,57	0,23
Plomb	mg/L	0,022	0,0013
Manganèse	mg/L	0,46	0,024
Molybdène	mg/L	0,073	0,00018

Tableau 1: Données d'entrée pour la qualité de l'eau

Paramètre	Unité	Qualité attribuée à l'eau de ruissellement contaminée après le contact avec les résidus déversés suite à une rupture de digue (note 1)	Qualité de l'eau de référence des lacs Waite, Duprat et Dufault (note 2)
Nickel	mg/L	0,049	0,00057
Sélénium	mg/L	0,45	0,00051
Argent	mg/L	0,047	0,000027
Strontium	mg/L	1,8	0,028
Uranium	mg/L	0,0095	0,00017
Vanadium	mg/L	0,018	0,0003
Zinc	mg/L	41	0,039
Nitrites - Nitrates	mg/L	0,37	0,13
Mercurure	mg/L	0,0024	0,0000096
Bromures	mg/L	4,3	0,0064
Nitrites	mg/L	6,3	0,24

Note 1 : déterminées sur la base de Golder (2019b)

Note 2 : déterminée sur la base des 20 échantillons pris entre 2016 et 2018 dans le lac Dufault tel que documenté par WSP (2017) et Golder (2018).

2.6 Normes et critères de référence pour la qualité de l'eau

La réglementation applicable en matière de qualité de l'eau a été choisie pour évaluer les impacts d'une rupture hypothétique de digue sur la qualité de l'eau des lacs (voir le tableau 2) :

- Critères de qualité de l'eau pour la vie aquatique (effets chroniques et aigus) (MELCC, 2017) ;
- Exigences au point de rejet de l'effluent de la Directive 019 sur l'industrie minière (MELCC, 2012) ;
- Normes sur la qualité de l'eau potable (MDDELCC, 2016) ;
- Critères de qualité de l'eau de surface à des fins d'activités récréatives (MELCC, 2018).

Tableau 2: Normes et critères pour la qualité de l'eau.

Paramètres	Unité	Effets sur la vie aquatique*		Effluent Directive 019 ^c	Eau potable	Usage récréatif ^d
		Chroniques ^a	Aigus ^b			
Alcalinité totale	mg/L	-	-	-	-	-
Solides dissous totaux	mg/L	-	-	-	-	-
Calcium	mg/L	-	-	-	-	-
Chlorures	mg/L	230	860	-	-	-

Tableau 2: Normes et critères pour la qualité de l'eau.

Paramètres	Unité	Effets sur la vie aquatique*		Effluent Directive 019 ^c	Eau potable	Usage récréatif ^d
		Chroniques ^a	Aigus ^b			
Cyanure	mg/L	0,005	0,022	1	0,2	-
Fluorures	mg/L	0,2	4	-	1,5	-
Magnésium	mg/L	-	-	-	-	-
Potassium	mg/L	-	-	-	-	-
Sodium	mg/L	-	-	-	-	-
Sulfates	mg/L	500	500	-	-	-
Nitrates	mg/L	3	124	-	10	-
Azote ammoniacal	mg/L	1,9	21	-	-	-
Phosphore total	mg/L	-	-	-	-	0,03
Aluminium	mg/L	0,69	2,3	-	-	-
Antimoine	mg/L	0,24	1,1	-	0,006	-
Arsenic	mg/L	0,15	0,34	0,2	0,01	-
Baryum	mg/L	0,161	0,46	-	1	-
Béryllium	mg/L	0,0014	0,012	-	-	-
Bore	mg/L	5	28	-	5	-
Cadmium	mg/L	0,00013	0,0008	-	0,005	-
Chrome	mg/L	0,011	0,016	-	0,05	-
Cobalt	mg/L	0,1	0,37	-	-	-
Cuivre	mg/L	0,0042	0,0058	0,3	1	-
Fer	mg/L	1,3	3,4	3	-	-
Plomb	mg/L	0,00096	0,025	0,2	0,01	-
Manganèse	mg/L	0,84	1,8	-	-	-
Molybdène	mg/L	3,2	29	-	-	-
Nickel	mg/L	0,024	0,21	0,5	-	-
Sélénium	mg/L	0,005	0,062	-	0,01	-
Argent	mg/L	0,0001	0,0004	-	-	-
Strontium	mg/L	21	40	-	5	-
Uranium	mg/L	0,014	0,32	-	0,02	-
Vanadium	mg/L	0,012	0,11	-	-	-
Zinc	mg/L	0,054	0,054	0,5	-	-
Nitrites - Nitrates	mg/L	-	-	-	10	-
Mercure	mg/L	0,00091	0,0016	-	0,001	-

Tableau 2: Normes et critères pour la qualité de l'eau.

Paramètres	Unité	Effets sur la vie aquatique*		Effluent Directive 019 ^c	Eau potable	Usage récréatif ^d
		Chroniques ^a	Aigus ^b			
Bromures	mg/L	0,00027	0,0024	-	-	-
Nitrites	mg/L	0,02	0,06	-	1	-

Note :

* PH de 7 considéré, température de 7°C et une dureté de 39 mg/L (reflétant les conditions sur le site).

** Augmentation maximale par rapport aux conditions de référence (sans l'influence d'une source spécifique de matières en suspension, des pluies intenses ou de la fonte des neiges).

a : Critères de qualité de l'eau sur la vie aquatique – effets chroniques (MELCC, 2017)

b : Critères de qualité de l'eau sur la vie aquatique – effets aigus (MELCC, 2017)

c : Exigences pour l'effluent - Directive 019 sur l'industrie minière (MELCC, 2012)

d : Critères de qualité de l'eau de surface à des fins d'activités récréatives (MELCC, 2018)

2.7 Données d'entrée hydrologiques

Les données hydrologiques suivantes ont été utilisées dans la modélisation :

- Les valeurs moyennes mensuelles des débits de ruissellement unitaires ($m^3/j/km^2$) applicables aux bassins versants des trois lacs modélisés (tableau 3). Les données moyennes historiques (1970 à 2019) publiées par Environnement Canada (2019) pour la station sur la rivière Kinojévis (station à 0,3 km en amont du pont, route à Cléricy, station n° 043012) ont été utilisées comme référence. La station d'Environnement Canada a un bassin versant de 2 594 km^2 qui inclut le bassin versant du lac Dufault.
- Le débit unitaire de crue 1:100 ans 24-heures de $15 m^3/s/km^2$ applicable aux bassins versants des trois lacs modélisés (tableau 4). Les données historiques journalières (1970 à 2019) de la même station sur la rivière Kinojévis ont été utilisées pour l'estimation. Ce débit unitaire conduit à un volume de ruissellement potentiellement contaminé par le contact avec les résidus déversés de 0,060 M m^3 (60 000 m^3) en 24 heures pour le scénario de rupture de la digue RFP-1 et de 0,014 M m^3 (14 000 m^3) en 24 heures pour le scénario de rupture de la digue RFP-2.
- Pour rester cohérent avec les scénarios de rupture, soit une rupture en conditions humides, le débit d'eau potentiellement contaminé et égal au débit 1:100 ans 24-heures a été rajouté dans la série de temps au début du mois de mai.
- Pour la simulation de la précipitation et l'évaporation sur les surfaces du lac Dufault, Golder a utilisé les données climatiques documentées par Golder (2017).

Tableau 3: Moyennes mensuelles historiques (1970 – 2019) des débits de la rivière Kinojévis à la station d'Environnement Canada 043012

Mois	Débit unitaire - normalisation avec l'aire du bassin versant ($m^3/j/m^2$)
Janvier	0,53
Février	0,43
Mars	0,56

Mois	Débit unitaire - normalisation avec l'aire du bassin versant ($m^3/j/m^2$)
Avril	3,1
Mai	3,3
Juin	1,6
Juillet	1,0
Aout	0,75
Septembre	0,83
Octobre	1,3
Novembre	1,4
Décembre	0,85

Tableau 4: Débits de crue de la rivière Kinojévis à la station d'Environnement Canada 043012

Période de retour (ans)	Débit de crue unitaire - normalisation avec l'aire du bassin versant ($m^3/j/km^2$)
2	8,5
10	12
100	15

2.8 Autres hypothèses et limitations du modèle

Cette section met en évidence les hypothèses et les limitations de la modélisation, qui doivent être prises en compte lors de l'interprétation des résultats issus de la modélisation.

La modélisation nécessite l'utilisation de plusieurs hypothèses en ce qui a trait aux caractéristiques physiques et chimiques d'un système. Les prédictions issues de la modélisation sont basées sur des données d'entrée qui contiennent toutes de l'incertitude. Les résultats de la modélisation devraient donc être utilisés comme outil de planification pour le projet et pour la description des risques potentiels, plutôt que pour indiquer des valeurs absolues de concentrations pour des scénarios futurs.

Toutes les données d'entrée et hypothèses, énumérées à la section 2 du présent rapport, influencent les résultats du modèle. En particulier, on note que l'approche proposée donne une image d'ensemble des impacts sur la qualité moyenne de l'eau des lacs et n'indique pas les concentrations maximales des constituants pour un point fixe dans un des lacs.

Golder a incorporé des hypothèses conservatrices dans l'élaboration des scénarios de rupture, dans l'approche de modélisation et dans la sélection des données d'entrée :

- Il a été considéré dans le modèle de qualité de l'eau que tous les constituants se comportent de manière conservatrice, ce qui signifie qu'ils ne subiraient pas de réactions chimiques (précipitation) ni de processus

physique (c.-à-d. sédimentation). Pour les constituants qui ne se comportent pas de manière conservatrice, les concentrations modélisées par cette approche seraient plus importantes que celles susceptibles d'être réellement observées en cas de déversement.

- Golder s'attend à ce que les concentrations soient plus faibles dans l'eau de ruissellement qui entrerait en contact avec les résidus lors d'une rupture que les concentrations utilisées dans cette étude.
- L'étude considère que des conditions d'une crue naturelle 1 :100 ans sont présente dans les cours d'eau en aval des digues lors de la rupture. Il s'agit d'une hypothèse conservatrice qui va au-delà des scénarios de rupture de digue de Golder (2019a). Celles-ci considéreraient que la rupture aurait lieu après la fin de la crue de projet (établie selon la Directive 019). Si la rupture des digues avait lieu en conditions climatiques normales (c.-à-d. hors des conditions de crue très rare), les volumes d'eau disponibles et potentiellement contaminés, qui s'écouleraient vers l'aval, seraient de beaucoup inférieurs à ceux considérés dans la présente étude.

3.0 RÉSULTATS DE MODÉLISATION

Les paragraphes suivants présentent les résultats de l'étude. Comme déjà indiqué à la section 2, les résultats donnent une image d'ensemble des impacts d'une rupture hypothétique des digues du parc à résidus Norbec sur la qualité moyenne de l'eau des lacs Dufault, Duprat et Waite et n'indiquent pas les concentrations maximales des constituants pour un point fixe dans un des lacs. Les concentrations maximales immédiatement autour des points d'entrée de l'eau contaminée dans les lacs seraient plus élevées que celles calculées par le modèle.

3.1 Rupture de la digue RFP-1

Dans le cas d'une rupture hypothétique de la digue RFP-1 et d'une crue 1:100 ans coïncidant avec cette rupture, un volume de 60 000 m³ d'eau, eau qui serait contaminée par le contact avec les résidus déversés du parc à résidus, pourrait se déverser dans le lac Dufault dans les 24 heures après la rupture, avant que Falco n'ait le temps d'intervenir. Les tableaux 5, 6 et 7 et les figures B-1 à B-11 (annexe B) résument les résultats de simulation étudiant l'impact de ce déversement sur la qualité de l'eau du lac Dufault :

- Aucun constituant chimique ne dépasse les critères de qualité pour l'eau potable après que l'eau contaminée se soit mélangée à 20 % du volume d'eau du lac Dufault. Étant donné l'emplacement de la prise d'eau potable dans le coin du lac opposé à la confluence du ruisseau Vauze avec le lac Dufault, le mélange de l'eau contaminée avec plus de 20 % de l'eau du lac aurait lieu avant que le panache de contaminant n'atteigne la prise d'eau.
- Après la rupture, les concentrations de quatre constituants chimiques (cyanure, phosphore total, argent et zinc) dépasseraient au moins l'une des normes de qualité de l'eau applicables.
- Les critères de qualité de l'eau pour la vie aquatique (effets aigus et chroniques) seraient dépassés par les concentrations en cyanures. Le fait que le modèle utilisé ne tient pas compte de la dégradation des cyanures surestime grandement l'évolution des concentrations prédite. L'expérience de Golder est qu'en condition non hivernale les concentrations en cyanure devraient diminuer dans quelques semaines à un niveau inférieur aux seuils des critères retenus pour la vie aquatique. De plus, la dégradation serait déjà à l'œuvre lors de l'écoulement dans le ruisseau Vauze. En conclusion, les concentrations moyennes en cyanure dans le lac Dufault seraient plus faibles et s'atténuerait plus rapidement que prédit dans le modèle utilisé.

- Les concentrations en phosphore total dépasseraient les critères de qualité de l'eau de surface à des fins d'activité récréatives pendant 128 jours en supposant que le volume d'eau contaminée ne se mélange pas avec plus de 20 % du volume du lac Dufault (et en supposant qu'il n'y ait pas de dégradation et en absence de toute intervention de mitigation post-rupture). Un mélange avec 40 % du volume du lac Dufault garderait les concentrations sous le seuil des critères de qualité. Le fait de ne pas prendre en compte les processus de biodégradation du phosphore place la valeur de 128 à un niveau surestimé.
- Les concentrations en argent dépasseraient les critères de qualité de l'eau pour la vie aquatique (effets chroniques) si le panache se mélangeait avec 20 % ou 40 % du volume du lac Dufault. Ces résultats sont valables pour les critères de qualité de l'eau pour la vie aquatique selon les critères du MELCC (2017). Les concentrations seuil indiquées dans ces critères pour l'argent sont basées sur une étude de 2002 (CCME 2015). Les recommandations canadiennes sur la qualité des eaux pour la protection de la vie aquatique (CCME, 2015) sont plus récentes et représentent l'état actuel des connaissances scientifiques sur le sujet ; elles indiquent, pour l'argent, des concentrations seuil plus élevées que celles des critères de MELCC (2017), c. à d. 0,00025 mg/L par rapport à 0,0001 mg/L. Les concentrations prédites par le modèle ne dépassent pas les concentrations seuils du CCME (2015).
- Les concentrations en zinc dépasseraient les critères de qualité de l'eau pour la vie aquatique (effets chroniques et aigus) même après le mélange dans 100 % du volume du lac Dufault, et cela sur une durée de 395 jours (mélange avec 100 % du volume du lac) en l'absence de toute intervention de mitigation post-rupture. La concentration initiale en zinc, de référence dans l'eau du lac, est de 0,039 mg/L, ce qui très proche de 0,054 mg/L, la valeur seuil des critères pour la vie aquatique (effets chroniques et aigus) de MELCC (2017). Le fait que la concentration de zinc dans l'eau du lac soit très près de celle du critère limite l'atténuation possible.
- En ce qui concerne les trois autres constituants chimiques (cuivre, bromure, et les nitrites) montrant des dépassements, la qualité de l'eau initiale de référence dans le lac Dufault dépasse déjà l'un des critères ou des normes applicables. Le déversement d'eau contaminée dans le lac après une rupture hypothétique augmenterait les concentrations des constituants par rapport aux valeurs initiales de plus de 10 %. Comme expliqué à la section 2.4, le seuil de 10 % a été utilisé comme la valeur au-delà de laquelle un impact non négligeable sur la qualité de l'eau pourrait avoir lieu. L'étude actuelle a calculé les durées nécessaires pour que les concentrations dans l'eau du lac après la rupture reviennent sous 10 % de différence avec les valeurs initiales (tableau 5). Ces durées varient pour chaque constituant et sont aussi fonction du pourcentage du volume du lac considéré dans le calcul de dilution.

Tableau 5: Rupture de la digue RFP-1 – qualité moyenne de l'eau au lac Dufault – Sommaire des paramètres d'intérêt environnemental dépassant au moins une norme

Paramètres	% du volume du lac Dufault considéré dans l'analyse de dilution			
	20 %	40 %	80 %	100 %
	Représentatif pour la zone autour du point d'entrée et sur la période court-terme (jours et semaines) après la rupture		Représentatif pour la majorité du lac Dufault et sur la période long-terme (mois et années) après la rupture	
Cyanure	Critères de qualité de l'eau pour la vie aquatique (effets aigus et chroniques)		Résultats de modélisation non applicables – la dégradation du cyanure n'a pas été prise en compte	
Phosphore total	Critères de qualité de l'eau de surface à des fins d'activités récréatives	Pas de dépassement		
Argent	Critères de qualité de l'eau pour la vie aquatique (effets chroniques) Résultats valables selon les normes de MELCC (2017). Pas de dépassement selon les normes de CCME (2015), qui sont basées sur des études plus récentes.		Pas de dépassement	
Zinc	Critères de qualité de l'eau pour la vie aquatique (impacts aigus et chroniques)			

Tableau 6: Rupture de la digue RFP-1 – qualité moyenne de l'eau au lac Dufault – Durée nécessaire (jours) pour que les concentrations reviennent sous le seuil des normes

Paramètres	% du volume du lac Dufault considéré dans l'analyse de dilution			
	Représentatif pour la zone autour du point d'entrée et sur la période court-terme (jours et semaines) après la rupture		Représentatif pour la majorité du lac Dufault et sur la période long-terme (mois et années) après la rupture	
	20 %	40 %	80 %	100 %
Cyanure	Résultats de modélisation non applicables. Durée estimée à quelques semaines		Résultats de modélisation non applicables – la dégradation du cyanure n'a pas été prise en compte Durée estimée à quelques semaines	
Phosphore total	128 jours (résultats de modélisation probablement une surestimation)	Pas de dépassement		
Argent	407 jours (selon MELCC, 2017)	82 jours (selon MELCC, 2017)	Pas de dépassement	
	Pas de dépassement (selon CCME, 2015)			
Zinc	991 jours	445 jours	429 jours	395 jours

Tableau 7: Rupture de la digue RFP-1 – qualité moyenne de l'eau au lac Dufault – sommaire des paramètres d'intérêt environnemental dont concentration initiale (de référence) dépasse déjà une norme

Paramètres	Norme de qualité de l'eau dépassée par les concentrations initiales (de référence) du lac Dufault	Durée nécessaire pour que les concentrations reviennent à 10 % de différence avec les concentrations initiales en fonction du % du volume du lac considéré dans l'analyse de dilution (jours) ^(Note 1)	
		20 %	100 %
Cuivre	Critères de qualité de l'eau pour la vie aquatique (effets aigus et chroniques)	1259 jours	731 jours
Bromure	Critères de qualité de l'eau pour la vie aquatique (effets aigus et chroniques)	1337 jours	799 jours
Nitrites	Critères de qualité de l'eau pour la vie aquatique (effets aigus et chroniques)	59 jours	< 10%

Note 1 : En considérant l'effet de la dilution seulement. Sans la prise en compte des processus de dégradation ou d'une intervention post-rupture au but de mitigation.

3.2 Rupture de la digue RFP-2

Dans le cas d'une rupture hypothétique de la digue RFP-2 et d'une crue 1:100 ans coïncidant avec la rupture, un volume de 14 000 m³ d'eau, qui serait contaminée par le contact avec les résidus déversés du parc à résidus, pourrait se déverser dans le lac Waite dans les 24 heures après la rupture, avant que Falco n'ait eu le temps d'intervenir. Le surplus d'eau du lac Waite se déverserait vers le lac Duprat et ensuite vers le lac Dufault.

Les tableaux 8 à 11 et les figures B-12 à B-26 (annexe B) résument les résultats de simulation étudiant l'impact de ce déversement sur la qualité de l'eau des trois lacs.

Qualité moyenne de l'eau du lac Waite

Les concentrations des six constituants chimiques (cyanures, azote ammoniacal, phosphore total, sélénium, argent et zinc) dépasseraient au moins une norme de qualité de l'eau après le déversement.

Pour cinq autres constituants chimiques (cadmium, cuivre, plomb, bromure, et les nitrites), la qualité de l'eau initiale de référence dans le lac Waite dépasse déjà l'une des normes applicables et le déversement augmenterait les concentrations de plus de 10 % par rapport aux valeurs initiales. Comme expliqué à la section 2.4, le seuil de 10 % a été utilisé comme la valeur au-delà de laquelle un impact non négligeable sur la qualité de l'eau pourrait avoir lieu.

En l'absence de toute intervention et en ne considérant que l'effet de la dilution naturelle, pour que les concentrations baissent sous le seuil des normes (pour cyanures, azote ammoniacal, phosphore total, sélénium, argent et zinc) ou pour que la différence par rapport aux concentrations initiales baisse sous 10 % (pour cadmium,

civre, plomb, bromure, et les nitrites) varie en fonction des constituants, mais pourrait aller jusqu'à plusieurs années.

Pour les cyanures, en particulier, les résultats de modélisation ne sont pas applicables car la dégradation n'a pas été prise en compte. Selon l'expérience de Golder, les concentrations devraient baisser sous le seuil des normes quelques semaines après la rupture, dans le cas d'un déversement en conditions non hivernales. Pour la même raison, les résultats de modélisation pour l'azote ammoniacal, le phosphore total et les nitrites surestiment probablement les concentrations susceptibles de se produire en cas de déversement.

Tableau 8: Rupture de la digue RFP-2 – qualité moyenne de l'eau au lac Waite – Sommaire des paramètres d'intérêt environnemental dépassant au moins une norme

	Normes de qualité de l'eau dépassées par la qualité de l'eau initiale (de référence)	Durée nécessaire pour que les concentrations baissent sous les seuils des normes (jours) ^(Note 1)
Cyanure	Critères de qualité de l'eau pour la vie aquatique (effets aigus et chroniques) Norme de qualité de l'eau pour l'eau potable	Résultats du modèle non applicables – la dégradation du cyanure n'a pas été prise en compte Durée estimée à quelques semaines
Azote ammoniacal	Critères de qualité de l'eau pour la vie aquatique (effets chroniques)	Résultats du modèle non applicables – la dégradation de l'azote ammoniacal n'a pas été prise en compte
Phosphore total	Critères de qualité de l'eau de surface à des fins d'activités récréatives	Résultats du modèle non applicables – la dégradation du phosphore n'a pas été prise en compte
Sélénium	Critères de qualité de l'eau pour la vie aquatique (effets chroniques)	146 jours
Argent	Critères de qualité de l'eau pour la vie aquatique (effets aigus et chroniques) selon MELCC (2017)	599 jours
Zinc	Critères de qualité de l'eau pour la vie aquatique (effets aigus et chroniques)	934 jours

Note 1 : En considérant l'effet de la dilution seulement. Sans prendre en compte des processus de dégradation ou d'une intervention de mitigation post-rupture.

Tableau 9: Rupture de la digue RFP-2 – qualité moyenne de l'eau au lac Waite – sommaire des paramètres d'intérêt environnemental dont concentration initiale (de référence) dépasse déjà des normes

	Normes de qualité de l'eau dépassées par les concentrations initiales (de référence)	Durée nécessaire pour que les concentrations reviennent sous 10 % de différence a concentrations initiales (jours) ^(Note 1)
Cadmium	Critères de qualité de l'eau pour la vie aquatique (effets chroniques)	53 jours
Cuivre	Critères de qualité de l'eau pour la vie aquatique (effets aigus et chroniques)	1 107 jours
Plomb	Critères de qualité de l'eau pour la vie aquatique (effets chroniques)	280 jours
Bromure	Critères de qualité de l'eau pour la vie aquatique (effets aigus et chroniques)	1 130 jours
Nitrites	Critères de qualité de l'eau pour la vie aquatique (effets aigus et chroniques)	380 jours

Note 1 : En considérant l'effet de la dilution seulement. Sans la prise en compte des processus de dégradation ou d'une intervention de mitigation post rupture au but de mitigation.

Qualité moyenne de l'eau du lac Duprat

Les concentrations des deux constituants chimiques (cyanures et zinc) dépasseraient au moins un critère de qualité de l'eau dans le lac Duprat après le déversement de l'eau contaminée au lac Waite.

Pour deux autres constituants chimiques (cuivre et bromure), la qualité de l'eau initiale de référence dans le lac Duprat dépasse déjà l'un des critères ou normes applicables et le déversement augmenterait les concentrations de plus de 10 % par rapport aux valeurs initiales.

En l'absence de toute intervention et en considérant l'effet de la dilution naturelle seulement, la durée nécessaire pour que les concentrations baissent sous le seuil des critères (pour cyanures et zinc) ou pour que la différence par rapport aux concentrations initiales baisse sous 10 % (pour cuivre et bromure) varie en fonction des constituants, mais pourrait aller jusqu'à plusieurs années.

Comme pour le lac Waite, pour les cyanures en particulier, les résultats de modélisation ne sont pas applicables à cause de la non prise en compte de la dégradation et les concentrations devraient baisser sous les critères dans un délai de quelques semaines dans le cas d'un déversement en conditions non hivernales.

Tableau 10: Rupture de la digue RFP-2 – Qualité moyenne de l'eau au lac Duprat – Sommaire des paramètres d'intérêt environnemental dépassant au moins une norme

	Normes de qualité de l'eau dépassées par la qualité de l'eau initiale (de référence)	Durée nécessaire pour que les concentrations baissent sous les seuils des normes (jours) ^(Note 1)
Cyanure	Critères de qualité de l'eau pour la vie aquatique (effets chroniques)	Résultats du modèle non applicables – la dégradation du cyanure n'a pas été prise en compte Durée estimée à plusieurs semaines
Zinc	Critères de qualité de l'eau pour la vie aquatique (effets aigus et chroniques)	426 jours

Note 1 : En considérant l'effet de la dilution seulement. Sans la prise en compte des processus de dégradation ou d'une intervention post-rupture au but de mitigation.

Tableau 11: Rupture de la digue RFP-2 – Qualité moyenne de l'eau au lac Duprat – Sommaire des paramètres d'intérêt environnemental dont la concentration initiale (de référence) dépasse déjà l'une des normes

	Normes de qualité de l'eau dépassées par les concentrations initiales (de référence)	Durée nécessaire pour que les concentrations reviennent à l'intérieur de 10% de différence des concentrations initiales (jours) ^(Note 1)
Cuivre	Critères de qualité de l'eau pour la vie aquatique (effets aigus et chroniques)	744 jours
Bromure	Critères de qualité de l'eau pour la vie aquatique (effets aigus et chroniques)	790 jours

Note 1 : En considérant l'effet de la dilution seulement. Sans la prise en compte des processus de dégradation ou d'une intervention post-rupture au but de mitigation.

Qualité moyenne de l'eau du lac Dufault

Aucun constituant chimique n'aurait une concentration dépassant les critères et normes de qualité de l'eau. La dilution successive dans le lac Waite et dans le lac Duprat, le mélange avec le ruissellement de la rivière Duprat et le mélange avec une partie de l'eau du lac Dufault diminueraient les concentrations de tous les constituants analysés sous les valeurs seuil des normes. Pour les constituants dont la concentration initiale (de référence) dépasserait l'une des normes, l'augmentation des concentrations après la rupture serait de moins de 10 % des valeurs initiales.

4.0 SOMMAIRE DE L'ÉTUDE ET CONCLUSION

Dans le cadre des études d'impact environnemental du projet de la mine Horne 5 développé par Ressources Falco Ltée., Golder a préparé une étude sur l'impact éventuel qu'une rupture hypothétique de digue au parc à résidus au site Norbec pourrait avoir sur les cours d'eau et les lacs en aval. L'objectif de cette étude est de comprendre les conséquences générales en cas de rupture. Ce type d'étude vise à répondre à la question « *qu'en est-il si jamais une rupture d'une structure en particulier se produisait* » afin de permettre une planification adéquate et approfondie.

Cette étude n'aborde pas la probabilité qu'un tel évènement survienne. Cette probabilité est extrêmement faible et est gérée par l'effort de conception et de suivi de la performance des ouvrages.

Cette étude est une suite de l'étude de Golder (2019a) présentant le développement des scénarios de rupture et les zones potentiellement inondables en cas de rupture de digue. Selon Golder (2019a) :

- Une rupture de la digue RFP-1, à l'est du parc à résidus, pourrait recouvrir de résidus une aire d'environ 0,37 km² dans la vallée du ruisseau Vauze, soit un segment de ruisseau d'environ 1,2 km en aval de la digue. Le ruisseau Vauze est un tributaire du lac Dufault.
- Une rupture de la digue RFP-2, à l'ouest du parc à résidus, pourrait recouvrir de résidus une aire d'environ 0,055 km² dans le bassin versant du lac Waite. Les résidus s'immobiliseraient à environ 100 m en amont de la limite du lac Waite. Le lac Waite se trouve en amont du lac Duprat. L'eau du lac Duprat se draine via la rivière Duprat vers le lac Dufault.

Les résidus à déposer au site Norbec ont une faible teneur en eau, car ils sont déposés sous forme épaissis et que leur drainage se poursuit dans le parc. En conséquence, l'incidence sur la qualité des eaux en aval du parc lors d'une rupture serait limitée puisque les débits d'eau exfiltrée des résidus déversés seraient faibles. Les paramètres utilisés pour l'étude actuelle considèrent de manière très prudente qu'une crue naturelle d'une récurrence de 1 :100 ans et d'une durée de 24 heures coïnciderait avec le déversement des résidus. Le volume d'eau générée par le ruissellement de cette crue naturelle sur l'aire recouverte par les résidus déversés et sur le bassin versant de cette aire pourrait entrer en contact avec les résidus. Ce volume d'eau, serait alors contaminé et s'écoulerait vers l'aval avant que Falco puisse intervenir. Falco planifie mettre en place les procédures et l'équipement de manière à pouvoir arrêter l'écoulement vers l'aval à l'intérieur de 24 heures après une rupture. Selon ces hypothèses, les volumes d'eau potentiellement contaminée qui s'écoulerait vers les cours d'eau et les lacs en aval des zones inondées avec les résidus seraient d'environ 60,000 m³ et 14,000 m³ pour la rupture des digues RFP-1 et RFP-2 respectivement. Il faut noter que, si la rupture des digues avait lieu en conditions climatiques normales (c.-à-d. hors des conditions de crue rare), les volumes de ruissellement naturel correspondant à ces superficies seraient de beaucoup inférieurs.

Ces volumes d'eau contaminée auraient un impact sur la qualité des plans d'eau en aval. La dilution avec le ruissellement naturel et l'eau des lacs ainsi que la dégradation de certains constituants chimiques diminueraient les concentrations. Les concentrations diminueraient aussi avec le temps jusqu'à qu'elles reviennent aux valeurs initiales.

Le ruissellement entraînerait des particules solides de résidus. La plupart des particules sédimenteraient en aval immédiat des zones inondées par des résidus, à cause des pentes généralement faibles du terrain naturel. La fraction plus fine des particules sédimenterait dans les lacs. Des particules de taille très fine resteraient plus longtemps en suspension dans les lacs.

Une analyse de modélisation du bilan d'eau et de la qualité de l'eau a fourni plus de détails sur l'impact des volumes d'eau contaminée, qui pourraient s'écouler vers l'aval lors d'une rupture de digue, sur la qualité de l'eau des lacs Waite, Duprat et Dufault :

- L'analyse suppose que la qualité de l'eau entrant en contact avec les résidus est identique à l'eau contenue dans le parc à résidus. Il s'agit d'une hypothèse très conservatrice qui fait que les résultats doivent être vus comme la limite supérieure et défavorable de l'intervalle d'incertitude de l'analyse.

- L'analyse inclut une modélisation du bilan d'eau des lacs Waite, Duprat et Dufault et le calcul de la dilution du volume de contaminant dans les trois lacs en considérant leurs tailles et le ruissellement naturel de leurs bassins versants.
- La modélisation considère que tous les constituants se comporteraient de manière conservatrice, ce qui signifie qu'ils ne subiraient pas de réactions chimiques (précipitation), ni de processus physique (c.-à-d. sédimentation). Cette approche entraînera des concentrations plus élevées que celles susceptibles de se produire en cas de déversement pour les constituants pour lesquels des réactions chimiques ou des processus physiques seront présents, notamment pour le cyanure.
- Les résultats donnent une image d'ensemble des impacts d'une rupture hypothétique des digues du parc à résidus Norbec sur la qualité moyenne de l'eau des lacs Dufault, Duprat et Waite. Ils n'indiquent pas les concentrations maximales des constituants pour un point fixe dans les lacs. Les concentrations maximales immédiatement aux points d'entrée de l'eau contaminée pourraient être plus grandes que celles calculées par le modèle.
- Pour chaque constituant intervenant dans la qualité de l'eau, la série des temps des concentrations calculées a été comparée avec les normes de référence. Après la rupture, les constituants pour lesquels les concentrations calculées dépassent au moins l'un des critères ou des normes ont été identifiés et étudiés. La durée de temps nécessaire pour que les concentrations retombent sous les critères ou les normes a été calculée.
- Si les concentrations initiales de l'eau des lacs, en l'absence de toute rupture de digue, dépassent déjà une ou plusieurs normes de référence, l'étude a quantifié la durée de temps nécessaire pour que les concentrations reviennent à moins de 10 % des valeurs initiales. Le seuil de 10 % a été utilisé comme la valeur au-delà de laquelle un impact non négligeable sur la qualité de l'eau pourrait avoir lieu. Un changement de moins de 10 % est dans la marge d'incertitude des analyses de laboratoire et de modélisation.

Les faits saillants de cette évaluation de l'impact potentiel d'une rupture hypothétique des digues RFP-1 ou RFP-2 sur la qualité moyenne de l'eau des lacs Waite, Duprat et Dufault sont:

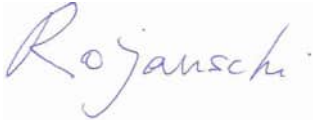
- *Les normes de qualité de l'eau pour l'eau potable ne seraient probablement pas dépassées dans le lac Dufault à l'exception éventuelle de la zone immédiatement autour du point d'entrée. Ce résultat est important vu la présence dans le lac Dufault de la prise d'eau potable de la ville de Rouyn-Noranda. Il faut aussi indiquer que la prise d'eau se trouve dans le coin opposé du lac par rapport aux confluences du ruisseau Vauze et de la rivière Duprat.*
- En cas de rupture de la digue RFP-1, de tous les paramètres modélisés, le modèle indique que seulement les concentrations en cyanure, en phosphore total, en argent, en cuivre, en bromure, en nitrite et en zinc dépasseraient les critères de qualité de l'eau pour la vie aquatique (effets aigus et chroniques) ou à des fins d'activité récréatives pour une période de quelques semaines à quelques années. Il peut être noté que :
 - L'expérience de Golder indique qu'en condition non-hivernale les concentrations en cyanure devraient diminuer dans un délai de quelques semaines à un niveau inférieur aux seuils des critères retenus pour la vie aquatique.
 - L'argent ne dépasse pas les critères les plus récents du CCME (2015).

- Les concentrations initiales (de référence) en cuivre, en bromure et en nitrites dans le lac Dufault dépassent déjà les critères de qualité de l'eau pour la vie aquatique (effets aigus et chroniques) et la rupture causerait une augmentation de plus de 10 % de ces concentrations initiales pour une période de quelques semaines à quelques années.
- En cas de rupture de la digue RFP-2 :
 - Pour le lac Waite, le modèle indique que les concentrations en cyanure, azote ammoniacal, phosphore total, sélénium, argent, zinc dépasseraient un des critères de qualité de l'eau. Comme déjà indiqué plus haut, l'expérience de Golder indique qu'en condition non-hivernale les concentrations en cyanure devraient diminuer dans quelques semaines à un niveau inférieur aux seuils des critères retenus pour la vie aquatique. Les concentrations en cadmium, cuivre, plomb, bromure et nitrites pourraient augmenter de plus de 10 % alors que les valeurs initiales (de référence) de l'eau du lac dépassent déjà un des critères. Plusieurs semaines à plusieurs mois (pour le cyanure, l'azote ammoniacal, le phosphore total, le sélénium, le cadmium, le plomb et les nitrites) ou plusieurs années (pour l'argent, le zinc, le cuivre, le bromure) pourraient être nécessaires pour que ces concentrations diminuent sous le seuil des critères ou, si la valeur initiale dépasse un des critères, sous la limite de 10 % de plus que les valeurs initiales.
 - Pour le lac Duprat, les concentrations en cyanure et zinc dépasseraient les critères de qualité de l'eau pour la vie aquatique. Les concentrations en cuivre et bromure pourraient augmenter de plus de 10 % alors que les valeurs initiales (de référence) de l'eau du lac dépassent déjà un des critères. Plusieurs semaines (pour le cyanure) ou plusieurs années (pour le zinc, le cuivre, le bromure) pourraient être nécessaires pour que ces concentrations diminuent sous les seuils des critères ou, si la valeur initiale dépasse un des critères, sous la limite de 10 % de plus que les valeurs initiales seuils des critères.
 - Pour le lac Dufault, aucun constituant chimique n'aurait une concentration dépassant les critères de qualité de l'eau.

Au-delà de l'intervention dans un délai de 24 heures visant à arrêter tout écoulement d'eau contaminée vers l'aval, Falco planifie de mettre en place des mesures de mitigation pour diminuer l'impact d'une rupture hypothétique de digue sur les cours d'eau et les lacs en aval. L'étude n'a pas pris en compte ces interventions.

Page de signatures

Golder Associés Ltée



Vlad Rojanschi, ing., Dr.-Ing.
Associé, ingénieur en ressources en eau



Alexandre Boutin, ing., M.Sc.
Associé, ingénieur senior en hydrogéologie



Parnian Hosseini, Ph.D.
Spécialiste en ressources en eau

VR/PH/AB/cd

Golder et le concept G sur son logo sont des marques de commerce de Golder Associates Corporation

5.0 RÉFÉRENCES

- CCME (2015). *Recommandations canadiennes pour la qualité des eaux : protection de la vie aquatique*. L'argent. 2015.
- Environnement Canada (2019). *Niveau d'eau et débit*. https://eau.ec.gc.ca/index_f.html. Avril 2019
- Golder (2017). *Horne 5 Feasibility Study - Climate analysis*. GAL001-1774165-TM-ClimateAnalysis-Rev0. 2017
- Golder (2018). *Étude de l'impact d'une rupture de conduite sur le lac Dufault*. Projet de la mine d'or Horne 5. FAL103-1787678-00160-2000-Rev0.
- Golder (2019a). *Rapport technique – Analyse de bris de digues du parc du site de l'IGRM. Projet Horne 5 - Ressources Falco Ltd, Rouyn-Noranda, Québec*. GAL097-1787678-2100-RevC. Novembre 2019.
- Golder (2019b) *Rapport technique – Water quality prediction results for the Horne 5 Gold Project, Rouyn-Noranda, Québec*. Ressources Falco Ltd. GAL136-19122243-RevA.
- MELCC (2012). *La directive 019 pour l'industrie minière*. http://www.mdelcc.gouv.qc.ca/eau/criteres_eau. 2012
- MELCC (2016). Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. Direction de l'eau potable et des eaux souterraines. *Guide d'interprétation du Règlement sur la qualité de l'eau potable*. 127 pages.
http://www.mdelcc.gouv.qc.ca/eau/potable/reglement/guide_interpretation_RQEP.pdf
- MELCC (2017). Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. *Critères de qualité des eaux de surface pour la protection de la vie aquatique (effets chroniques et aigus)*.
http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/criteres_eau/index.asp
- MELCC (2018). Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. *Quebec Surface Water Criteria for Recreational Activities and the Appearance*.
http://www.mdelcc.gouv.qc.ca/eau/criteres_eau/index.asp.
- WSP (2017). *Étude d'impact sur l'environnement - Projet Horne 5, Rouyn-Noranda, Québec*. Dossier: 3211-16-018. Prepared for Ressources Falco.

ANNEXE A

**Information importante et limitations
de ce rapport**

UTILISATION DU RAPPORT ET DE SON CONTENU

Ce rapport a été préparé pour l'usage exclusif du Client ou de ses agents. Les données factuelles, les interprétations, les commentaires ainsi que les recommandations qu'il contient sont spécifiques à l'étude qu'il couvre et ne s'appliquent à aucun autre projet ou autre site. Ce rapport doit être lu dans son ensemble, puisque des sections pourraient être faussement interprétées si elles étaient prises individuellement ou hors contexte. Par ailleurs, le texte de la version finale de ce rapport prévaut sur tout autre texte, opinion ou version préliminaire émis par Golder.

À moins d'avis contraire, les interprétations, commentaires et les recommandations présentés dans ce rapport ont été formulés conformément à la portée de l'expertise. Ces mêmes interprétations, commentaires et recommandations ont été formulés en tenant compte des limitations générales décrites sur cette page de même qu'à la lumière de nos connaissances concernant l'utilisation courante et/ou prévue du site, l'emplacement du site, les règlements, normes et critères environnementaux en vigueur ainsi que les règles et pratiques professionnelles reconnues et acceptées au moment de l'étude.

Golder doit se fier en toute bonne foi à la véracité des renseignements fournis par les personnes contactées et interrogées au cours de l'exécution de ce mandat. À moins qu'il ne soit démontré qu'elle a été négligente, Golder ne pourra pas être tenue responsable des dommages, quels qu'ils soient, qui seraient la conséquence directe ou indirecte de déclarations fausses ou mensongères, de réticence ou de non divulgation d'une information pertinente par les personnes interrogées. Les références aux lois ou aux règlements contenus dans ce rapport sont fournies à titre indicatif, sur une base technique. Comme les lois et règlements sont susceptibles d'être interprétés, Golder recommande au Client de consulter ses conseillers juridiques afin d'obtenir les avis appropriés.

Golder ne pourra être tenue responsable de dommages résultant de conditions imprévisibles, de conditions qui lui seraient inconnues, de l'inexactitude de données provenant d'autres sources que Golder et de changements ultérieurs aux conditions du site à moins d'avoir été prévenue par le Client de tout événement, activité, information, découverte passée ou future susceptible de modifier les conditions décrites dans ce rapport et d'avoir eu la possibilité de réviser les interprétations, commentaires et recommandations formulés dans ce rapport. De plus, Golder ne pourra être tenue responsable de dommages résultant de toute modification future aux règlements, normes ou critères applicables, de toute utilisation faite du présent rapport par un tiers et/ou à des fins autres que celles pour lesquelles il a été rédigé, de perte de valeur réelle ou perçue du site ou de la propriété, ni de l'échec d'une quelconque transaction en raison des informations factuelles contenues dans ce rapport.

ÉVALUATION DES CONDITIONS DU SITE

L'expertise technique effectuée par Golder et décrite dans ce rapport a été réalisée conformément aux règles et pratiques professionnelles reconnues et acceptées au moment de sa réalisation. À moins d'avis contraire, les résultats de travaux antérieurs ou simultanés, provenant d'autres sources que Golder, cités et/ou utilisés dans ce rapport ont été considérés comme ayant été obtenus en respectant les règles et pratiques professionnelles reconnues et acceptées et, conséquemment, comme étant valides.

Dans le cadre de ce mandat, Golder n'a pas réalisé de prise de mesures, d'arpentage, d'inventaire détaillé de sol, des cours d'eau ou des plaines d'inondations sur le site à l'étude ou dans ses environs.

ANNEXE B

Résultats de modélisation

Scénario de rupture de la digue RFP-1

Résultats de modélisation de la qualité de l'eau moyenne au lac Dufault

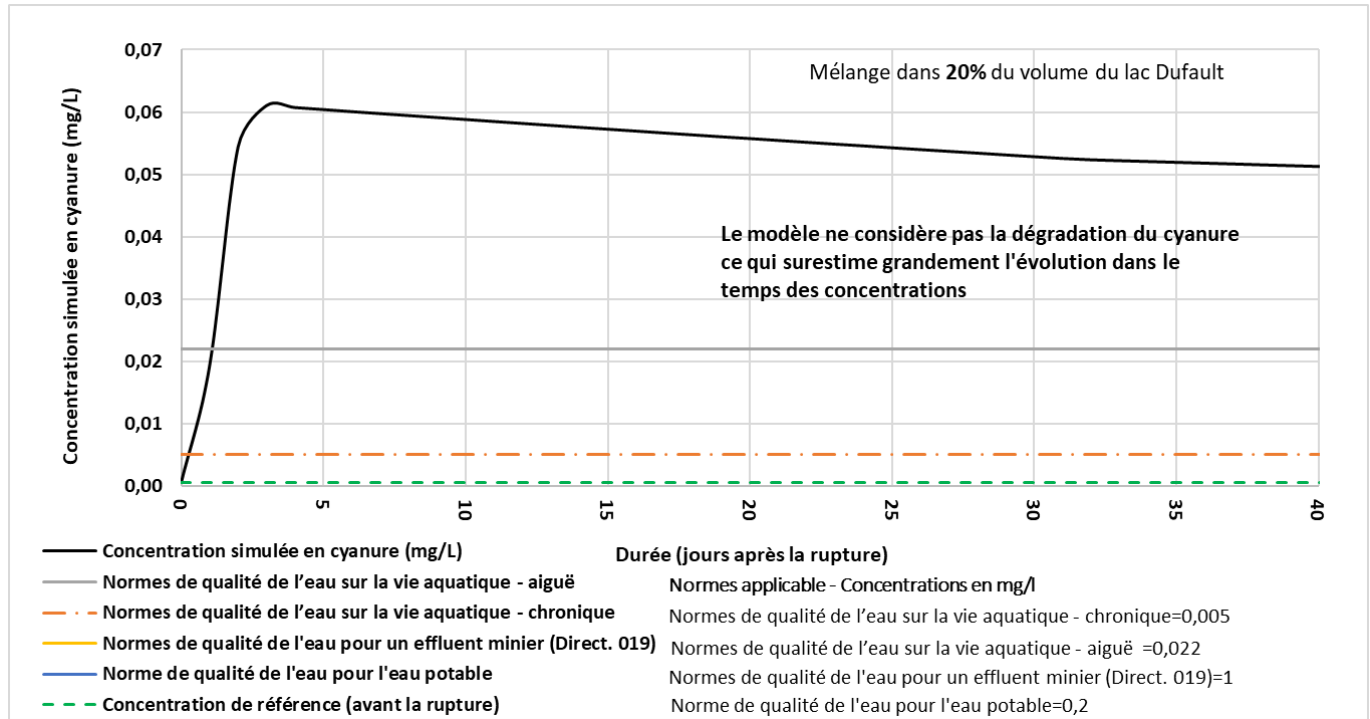


Figure B-1: Scénario de rupture de la digue RFP-1 – Concentrations simulées en cyanure après le mélange avec 20 % du volume du lac Dufault

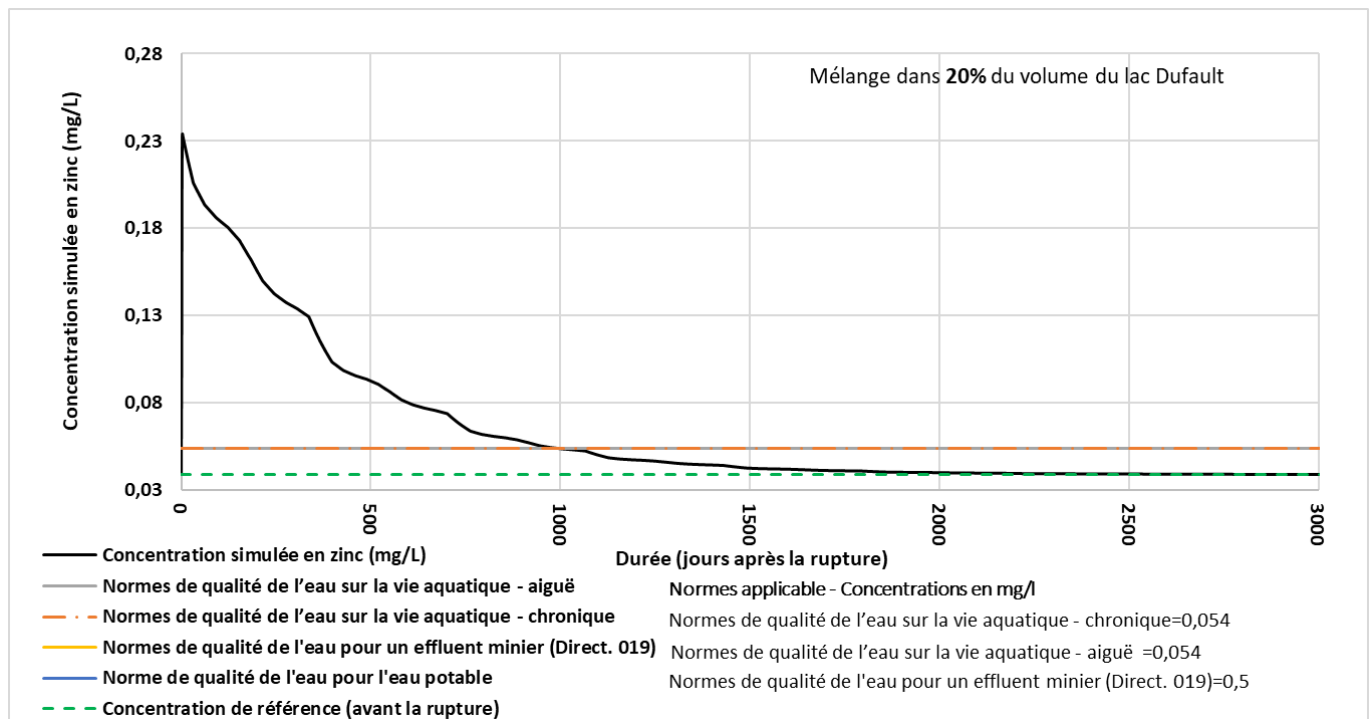


Figure B-4: Scénario de rupture de la digue RFP-1 – Concentrations simulées en zinc après le mélange avec 20 % du volume du lac Dufault

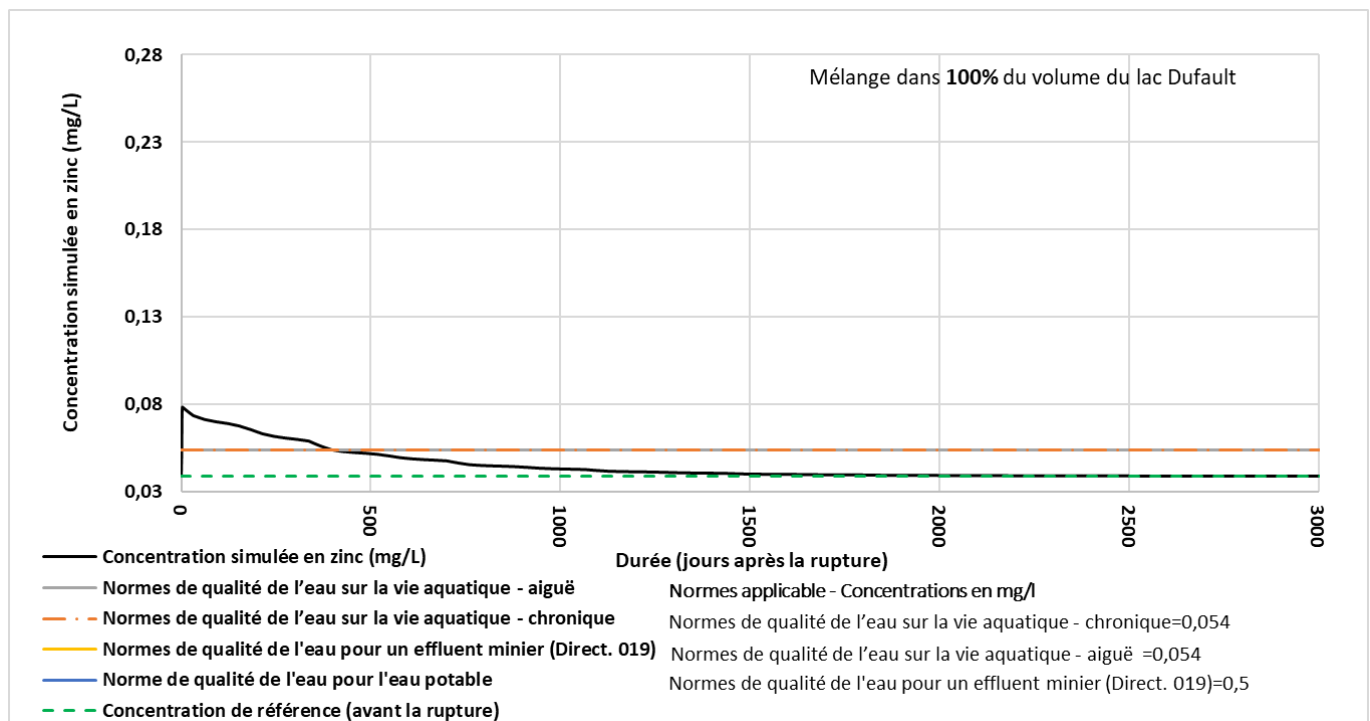


Figure B-5: Scénario de rupture de la digue RFP-1 – Concentrations simulées en zinc après le mélange avec 100 % du volume du lac Dufault

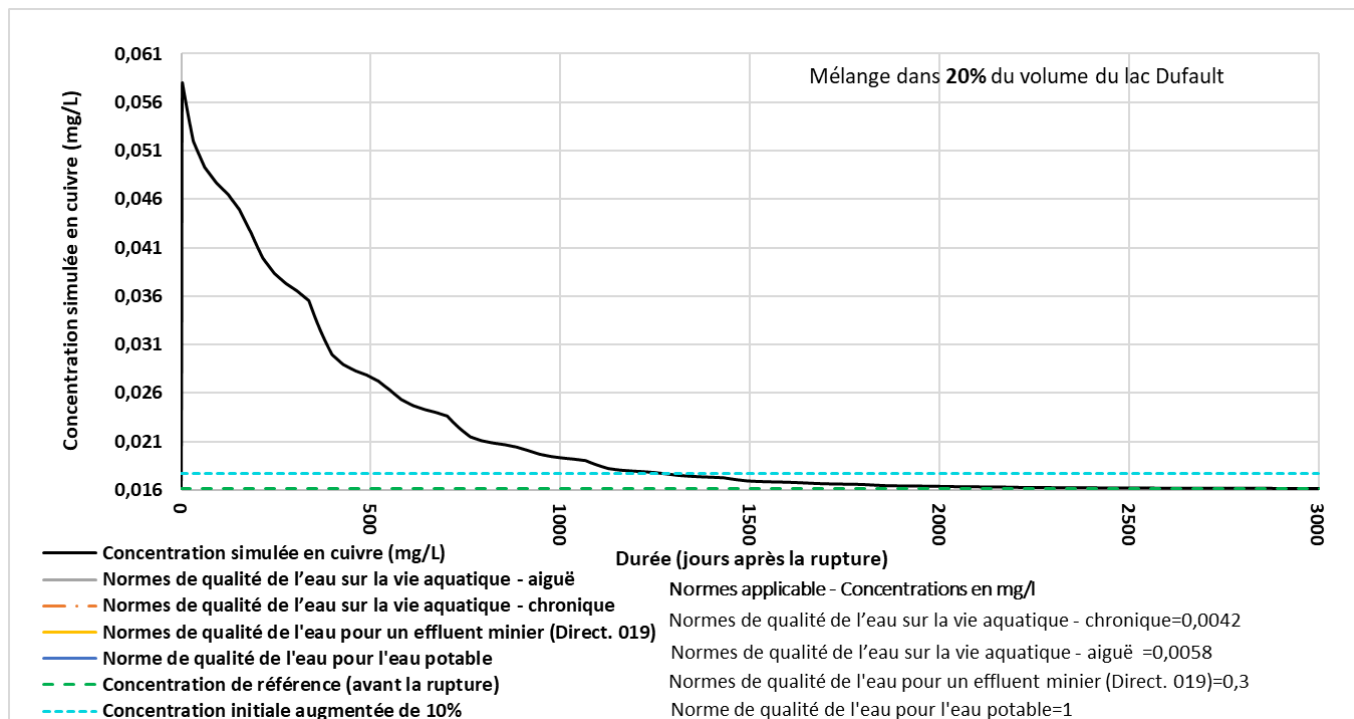


Figure B-6: Scénario de rupture de la digue RFP-1 – Concentrations simulées en cuivre après le mélange avec 20 % du volume du lac Dufault

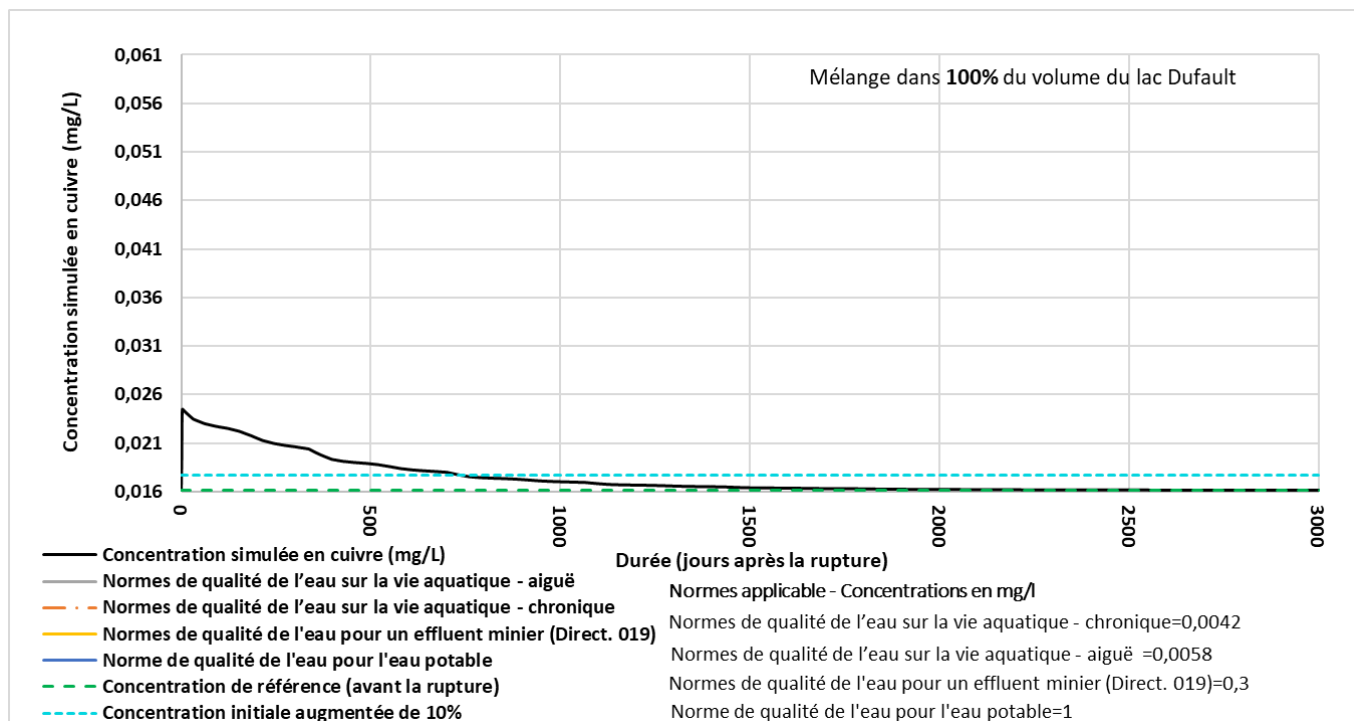


Figure B-7: Scénario de rupture de la digue RFP-1 – Concentrations simulée en cuivre après le mélange avec 100 % du volume du lac Dufault

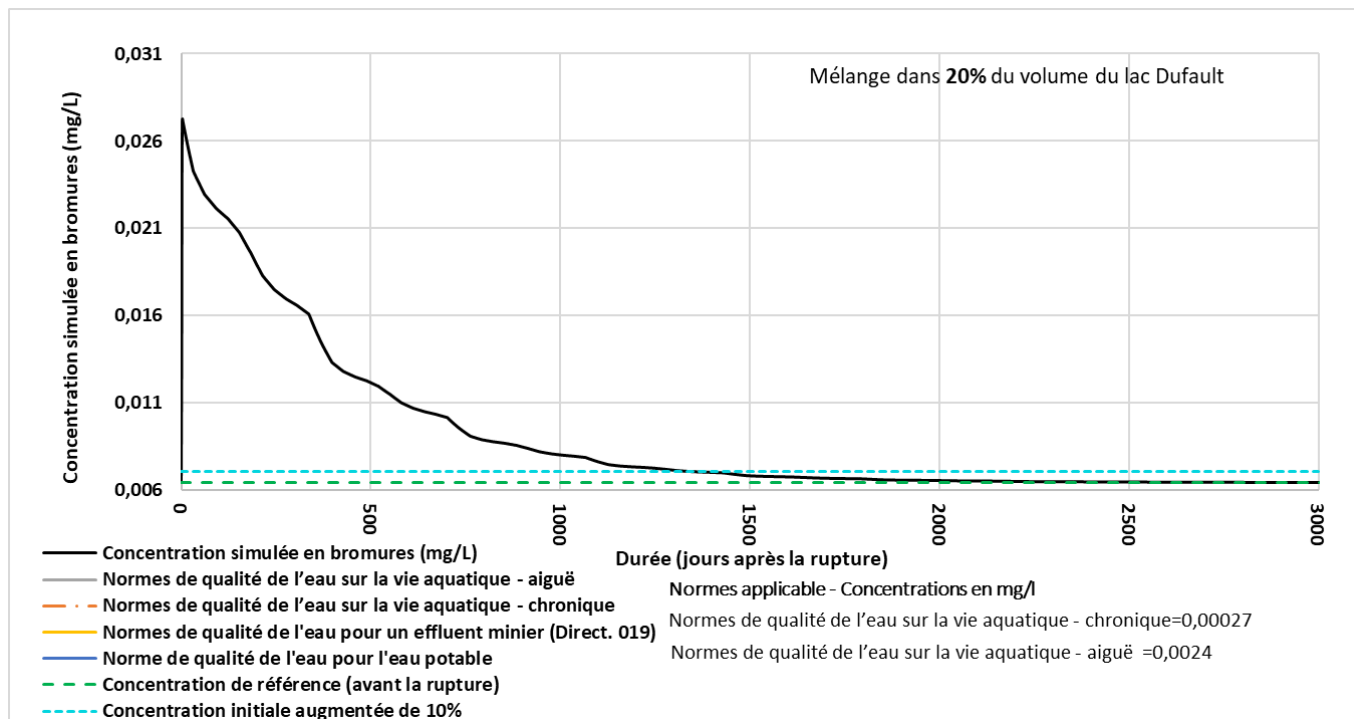


Figure B-8: Scénario de rupture de la digue RFP-1 – Concentrations simulées en bromures après le mélange avec 20 % du volume du lac Dufault

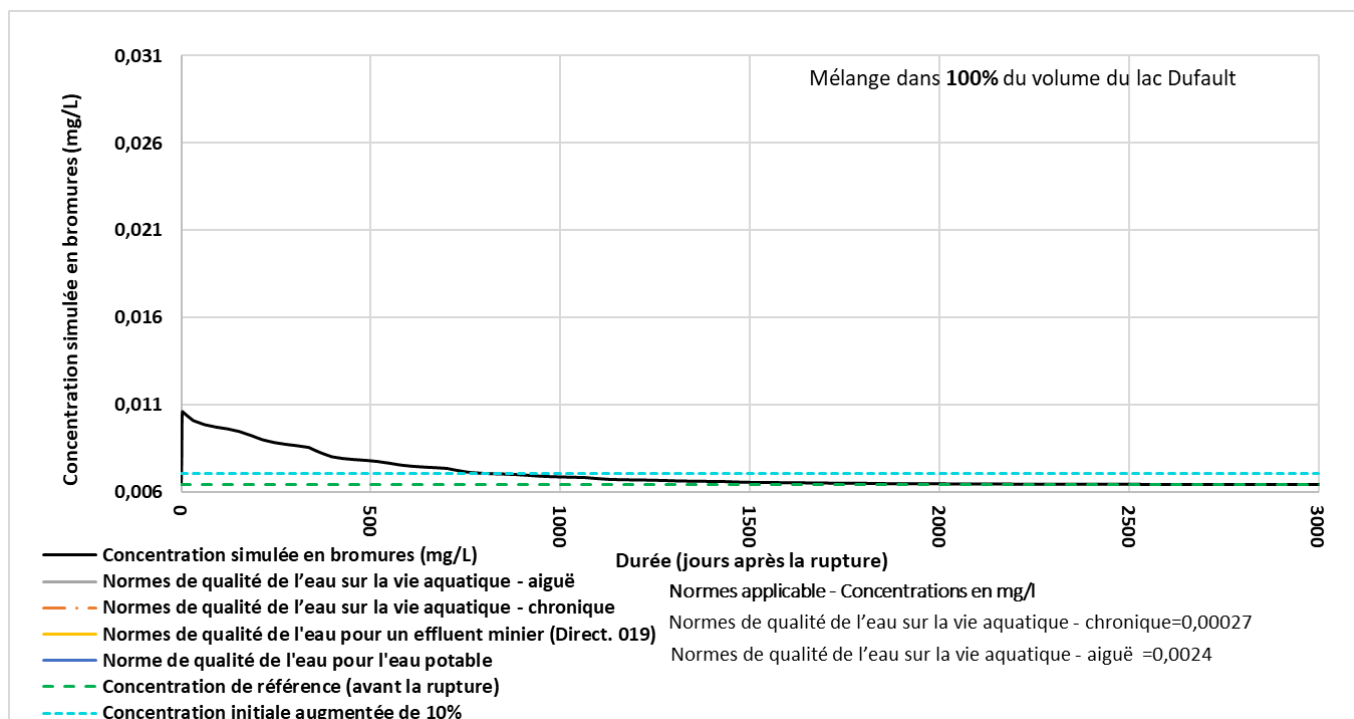


Figure B-9: Scénario de rupture de la digue RFP-1 – Concentrations simulées en bromures après le mélange avec 100 % du volume du lac Dufault

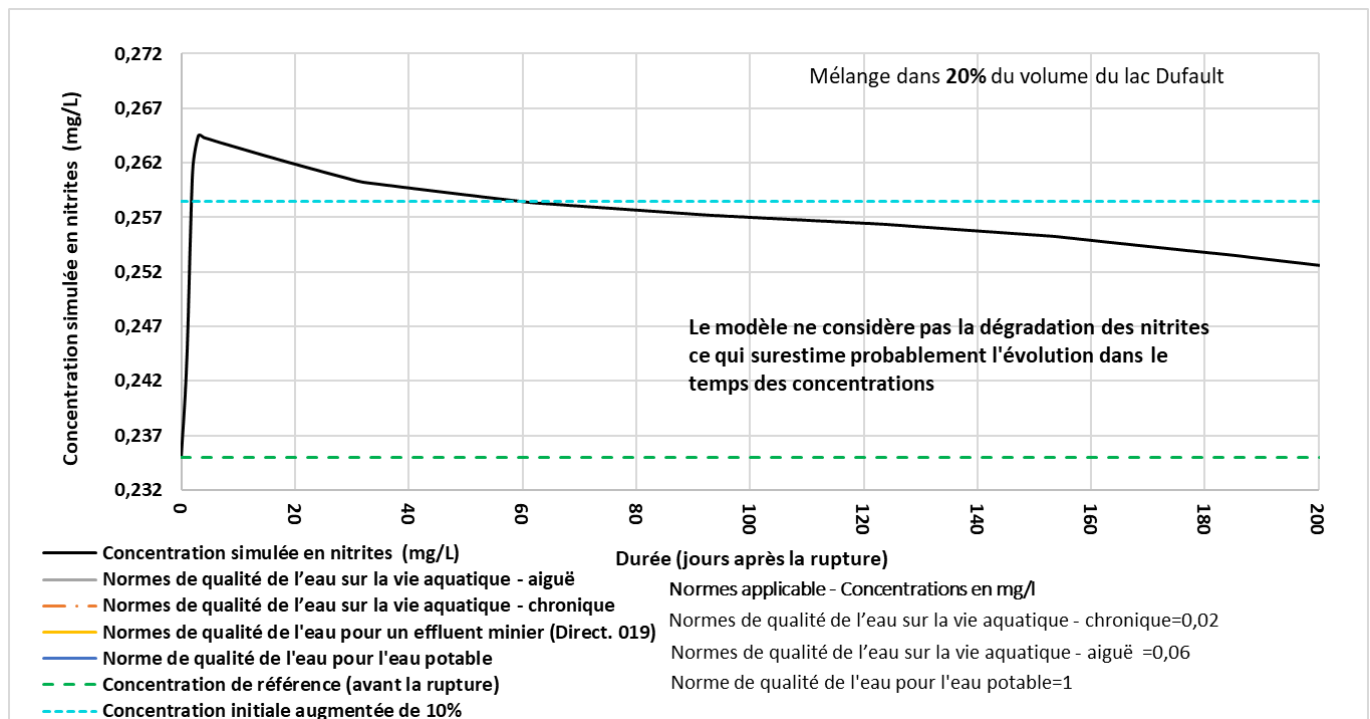


Figure B-10: Scénario de rupture de la digue RFP-1 – Concentrations simulées en nitrites après le mélange avec 20 % du volume du lac Dufault

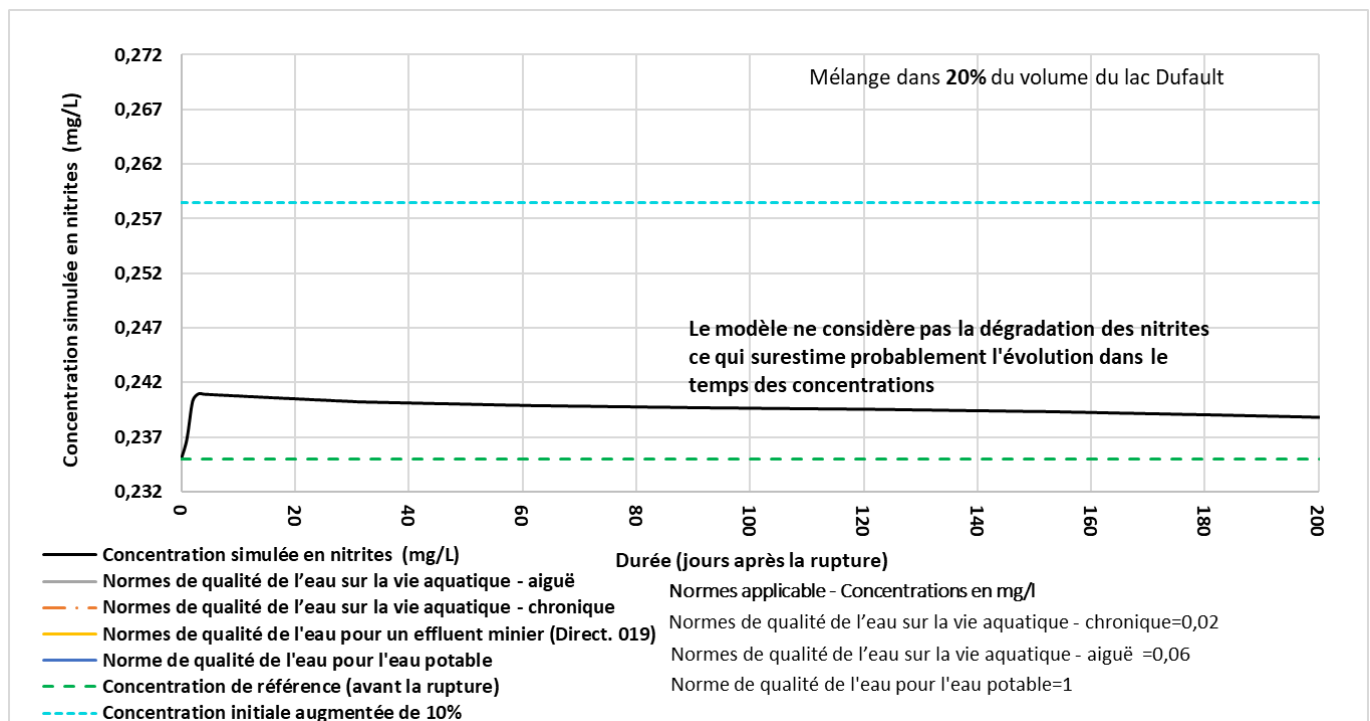


Figure B-11: Scénario de rupture de la digue RFP-1 – Concentrations simulées en nitrites après le mélange avec 100 % du volume du lac Dufault

Scénario de rupture de la digue RFP-2

Résultats de modélisation de la qualité de l'eau moyenne au lac Waite

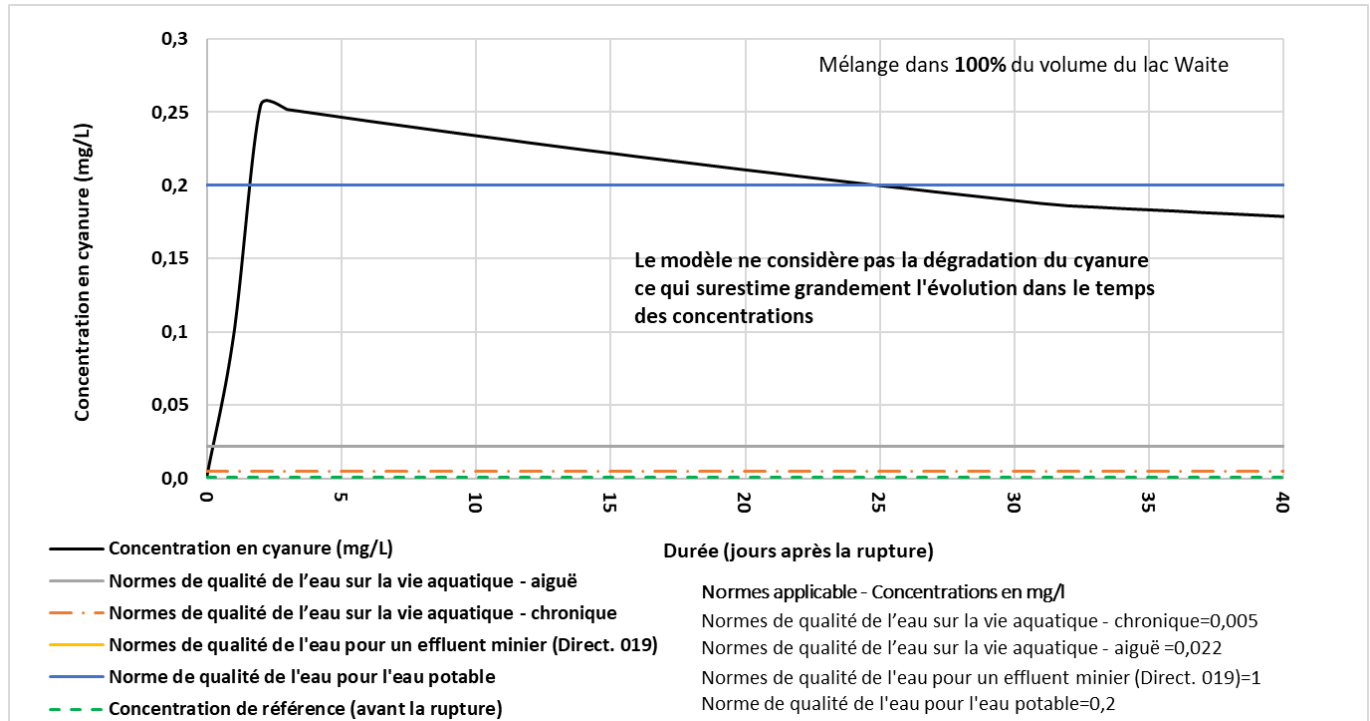


Figure B-12: Scénario de rupture de la digue RFP-2 – Concentrations simulées en cyanure après le mélange avec 100 % du volume du lac Waite

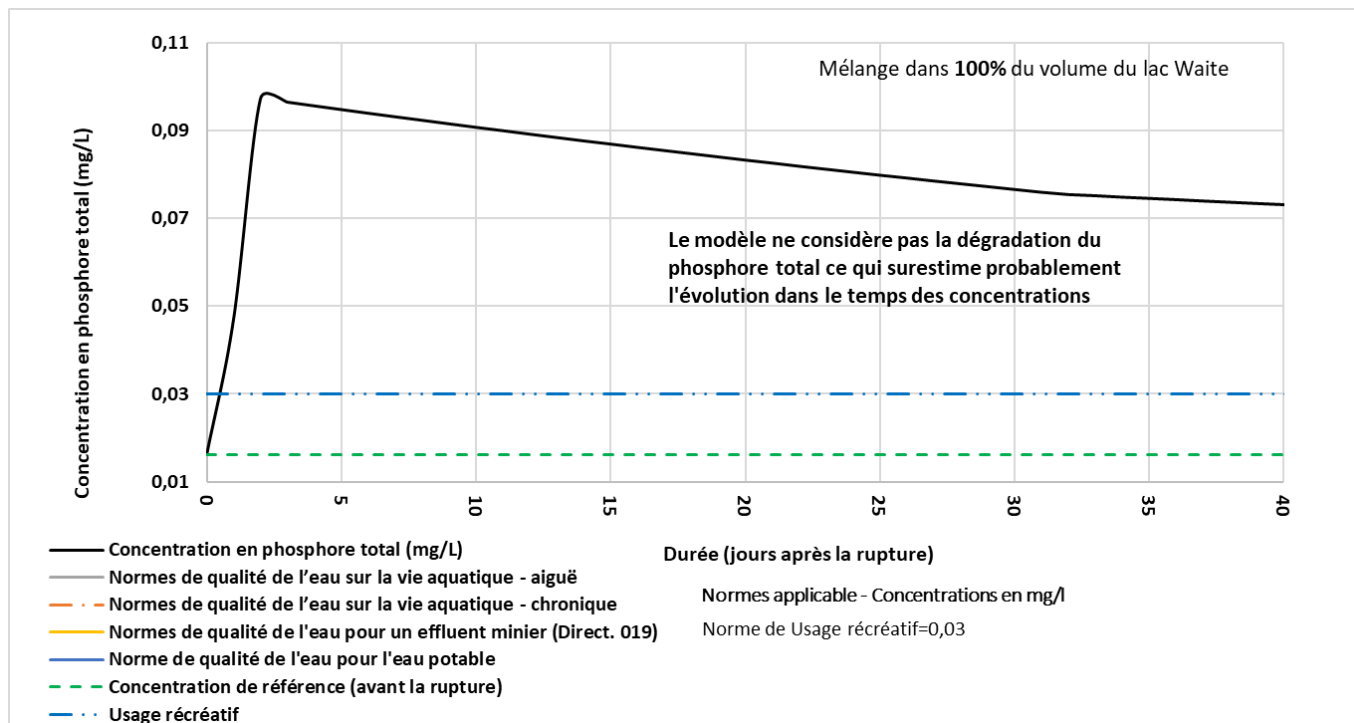


Figure B-13: Scénario de rupture de la digue RFP-2 – Concentrations simulées en phosphore total après le mélange avec 100 % du volume du lac Waite

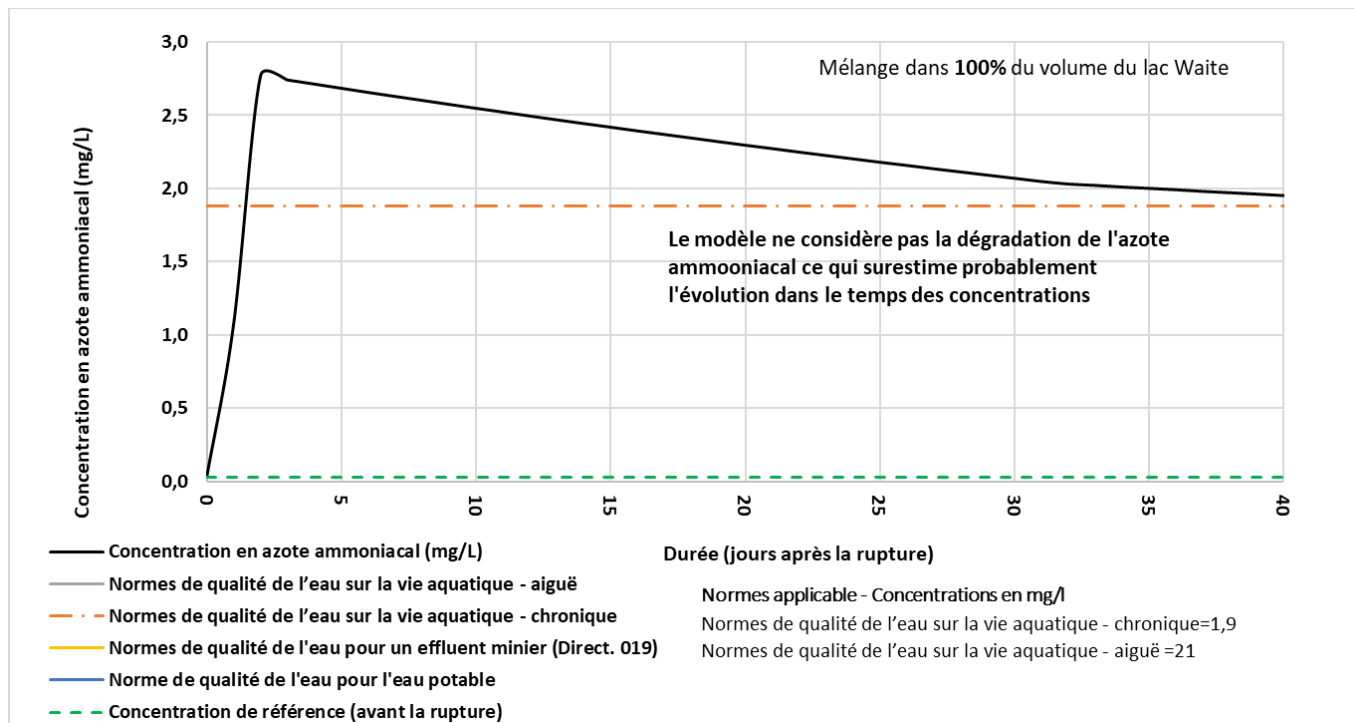


Figure B-14: Scénario de rupture de la digue RFP-2 – Concentrations simulées en azote ammoniacal après le mélange avec 100 % du volume du lac Waite

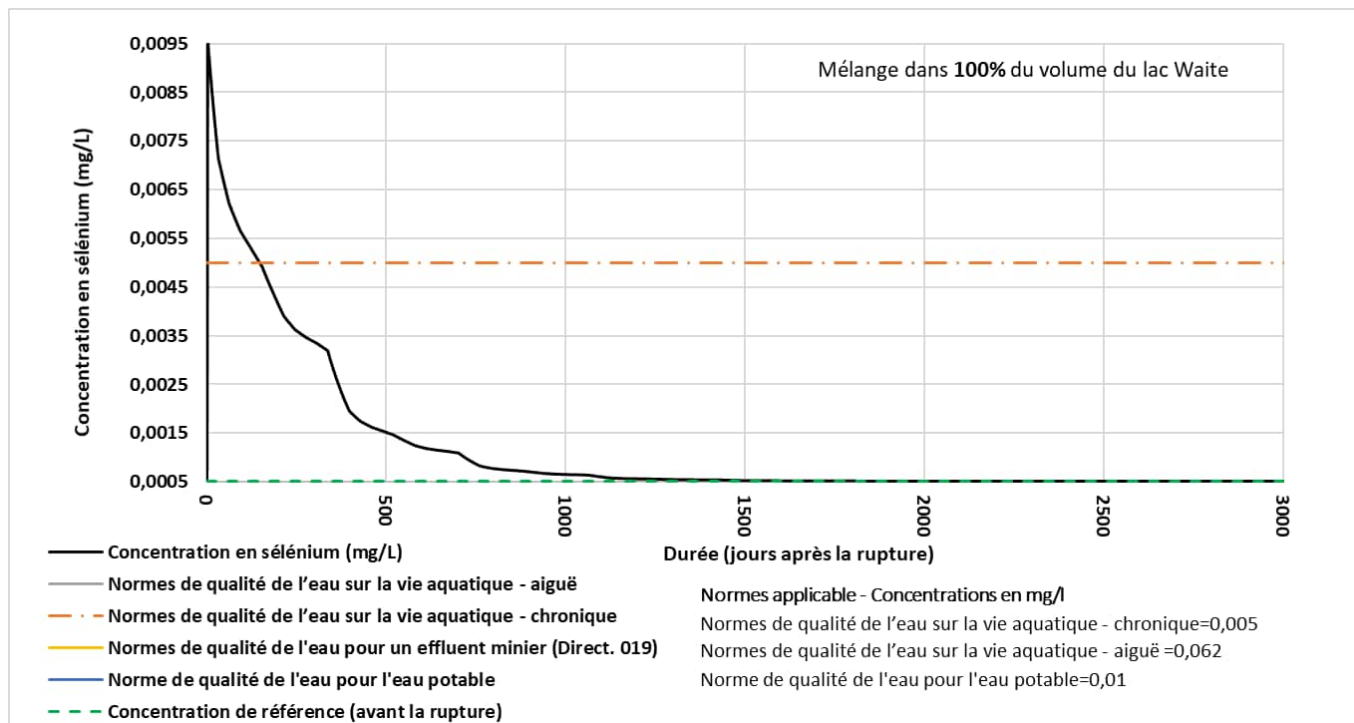


Figure B-15: Scénario de rupture de la digue RFP-2 – Concentrations simulées en sélénium après le mélange avec 100 % du volume du lac Waite

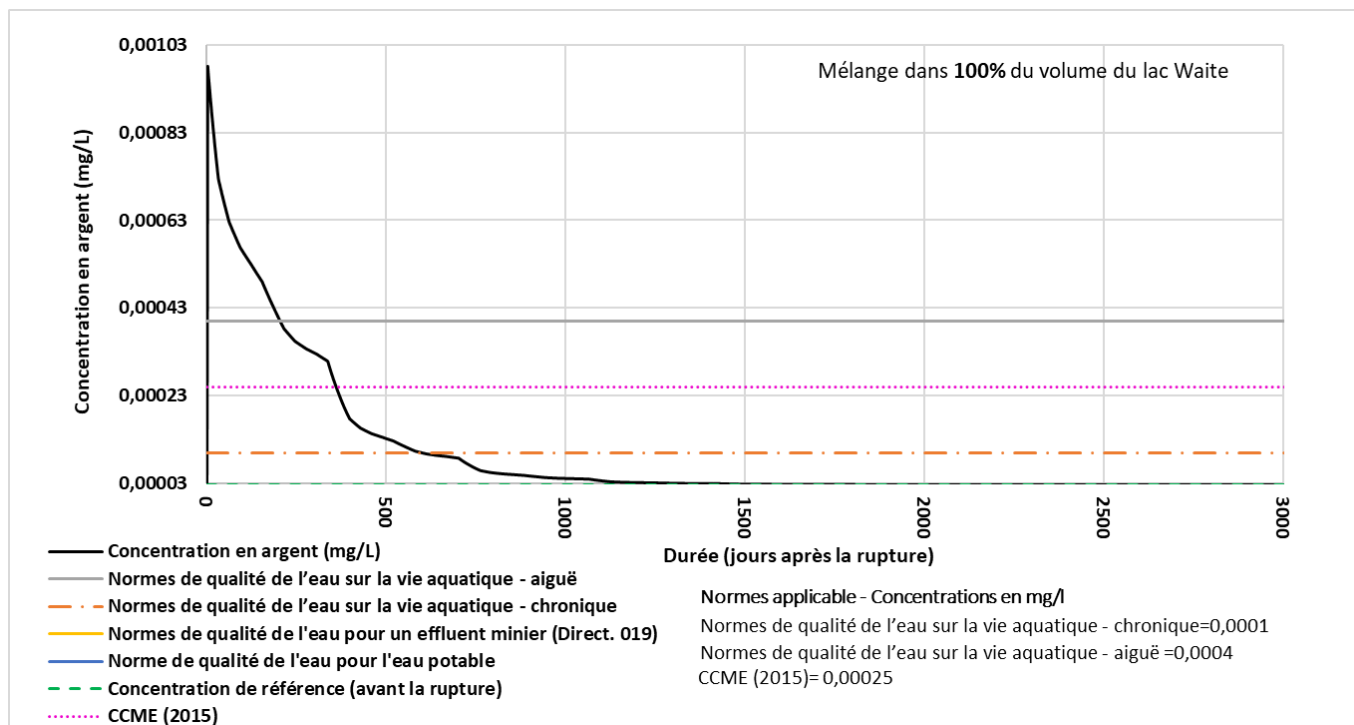


Figure B-16: Scénario de rupture de la digue RFP-2 – Concentrations simulées en argent après le mélange avec 100 % du volume du lac Waite

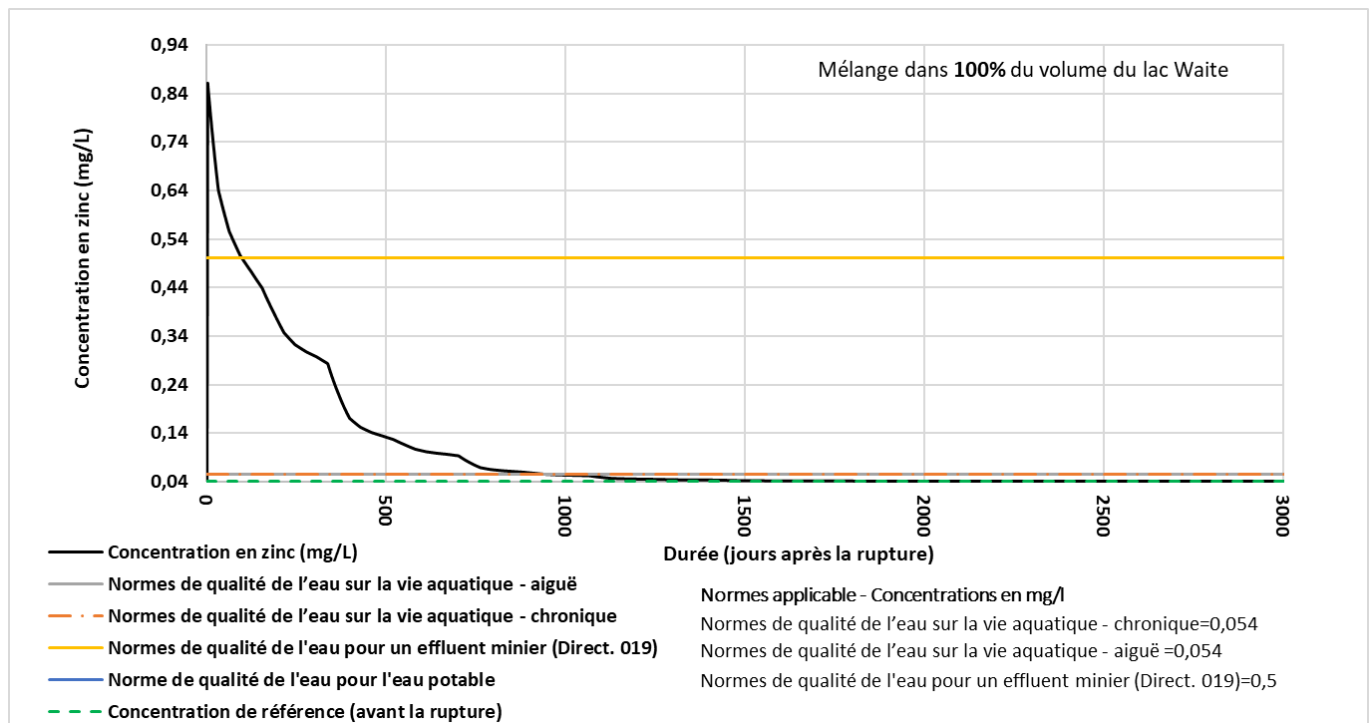


Figure B-17: Scénario de rupture de la digue RFP-2 – Concentrations simulées en zinc après le mélange avec 100 % du volume du lac Waite

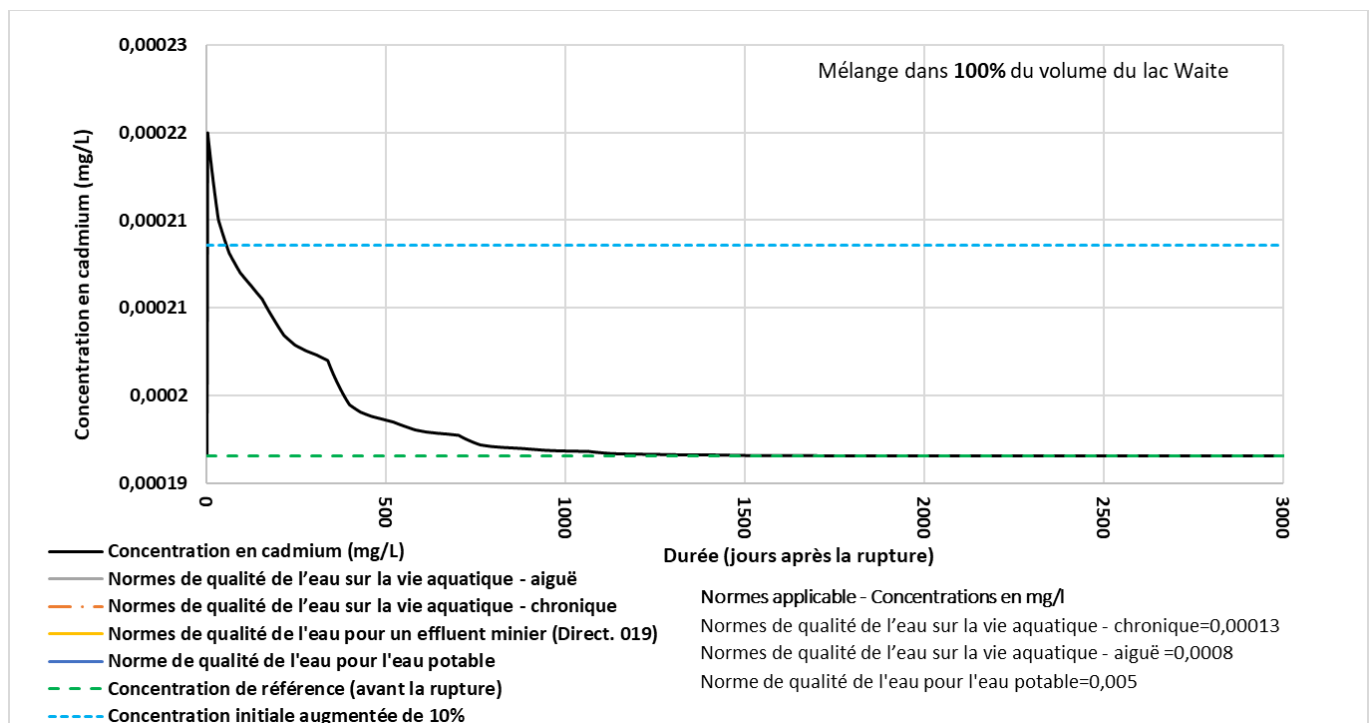


Figure B-18: Scénario de rupture de la digue RFP-2 – Concentrations simulées en cadmium après le mélange avec 100 % du volume du lac Waite

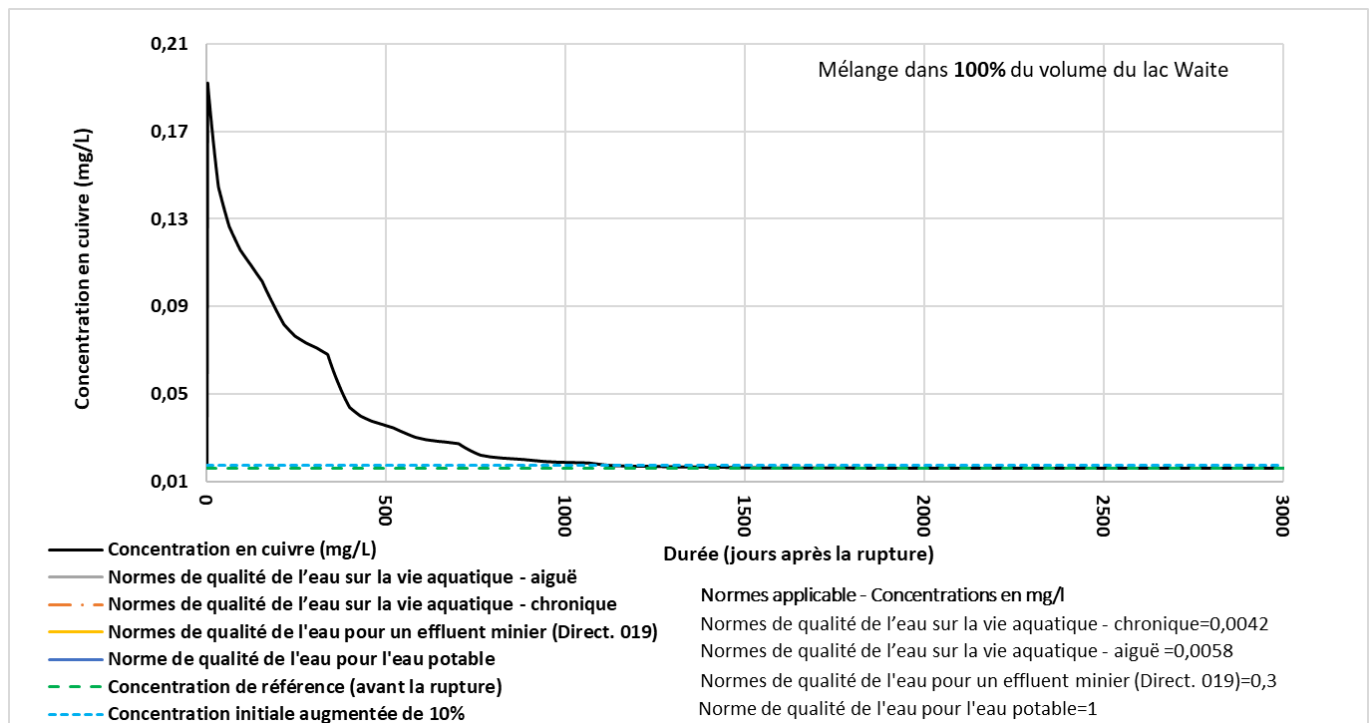


Figure B-19: Scénario de rupture de la digue RFP-2 – Concentrations simulées en cuivre après le mélange avec 100 % du volume du lac Waite

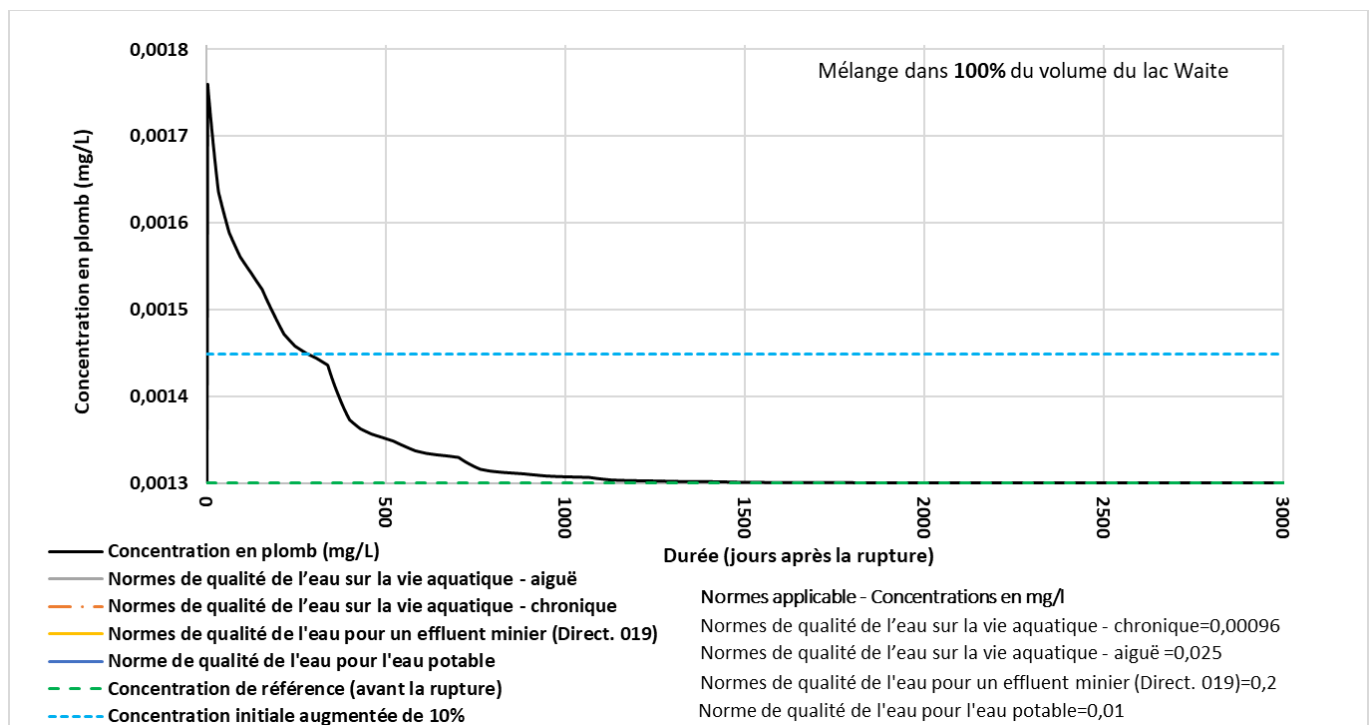


Figure B-20: Scénario de rupture de la digue RFP-2 – Concentrations simulées en plomb après le mélange avec 100 % du volume du lac Waite

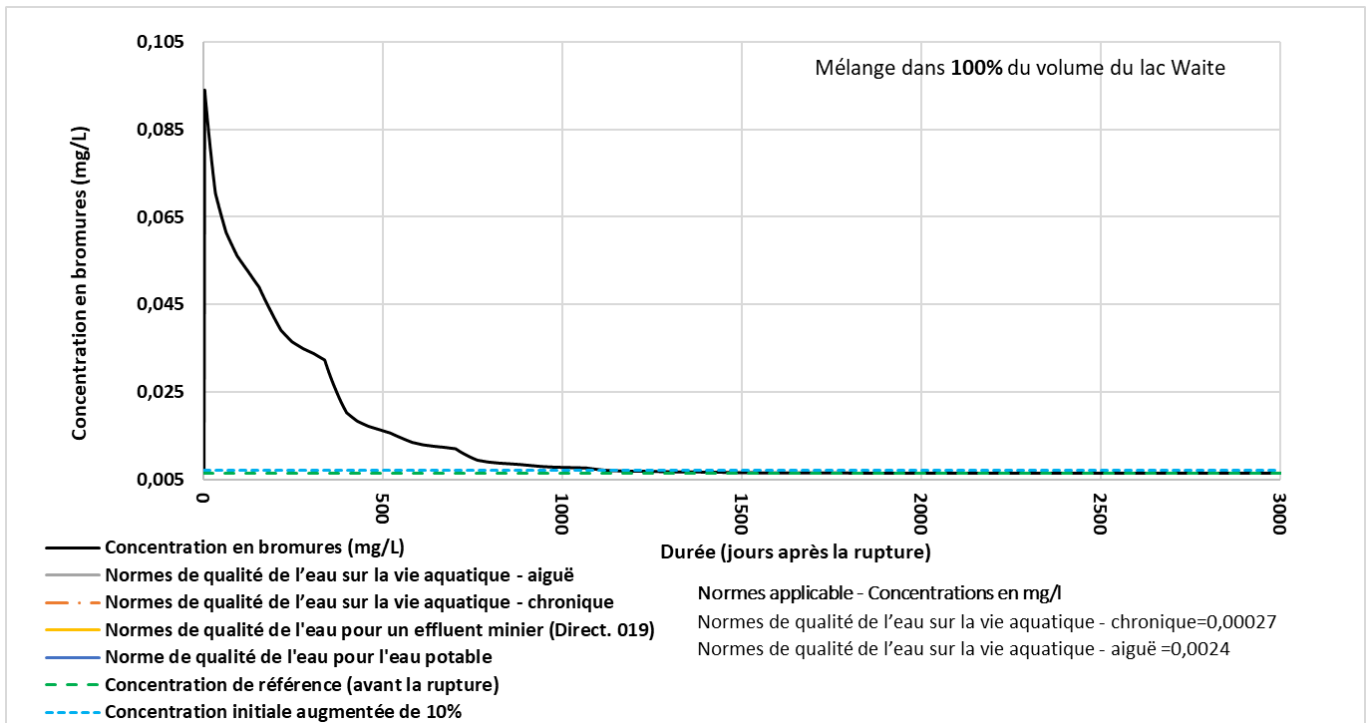


Figure B-21: Scénario de rupture de la digue RFP-2 – Concentrations simulées en bromures après le mélange avec 100 % du volume du lac Waite

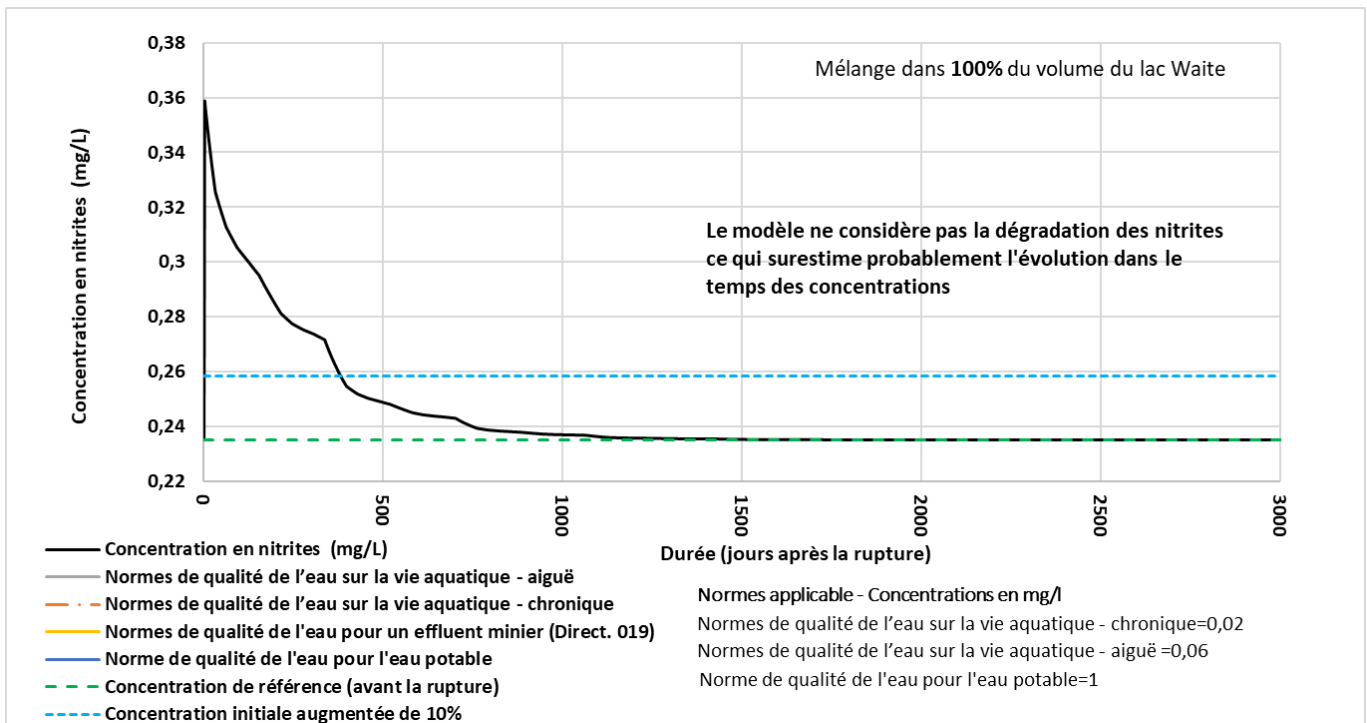


Figure B-22: Scénario de rupture de la digue RFP-2 – Concentrations simulées en nitrites après le mélange avec 100 % du volume du lac Waite

Scénario de rupture de la digue RFP-2

Résultats de modélisation de la qualité de l'eau moyenne au lac Duprat

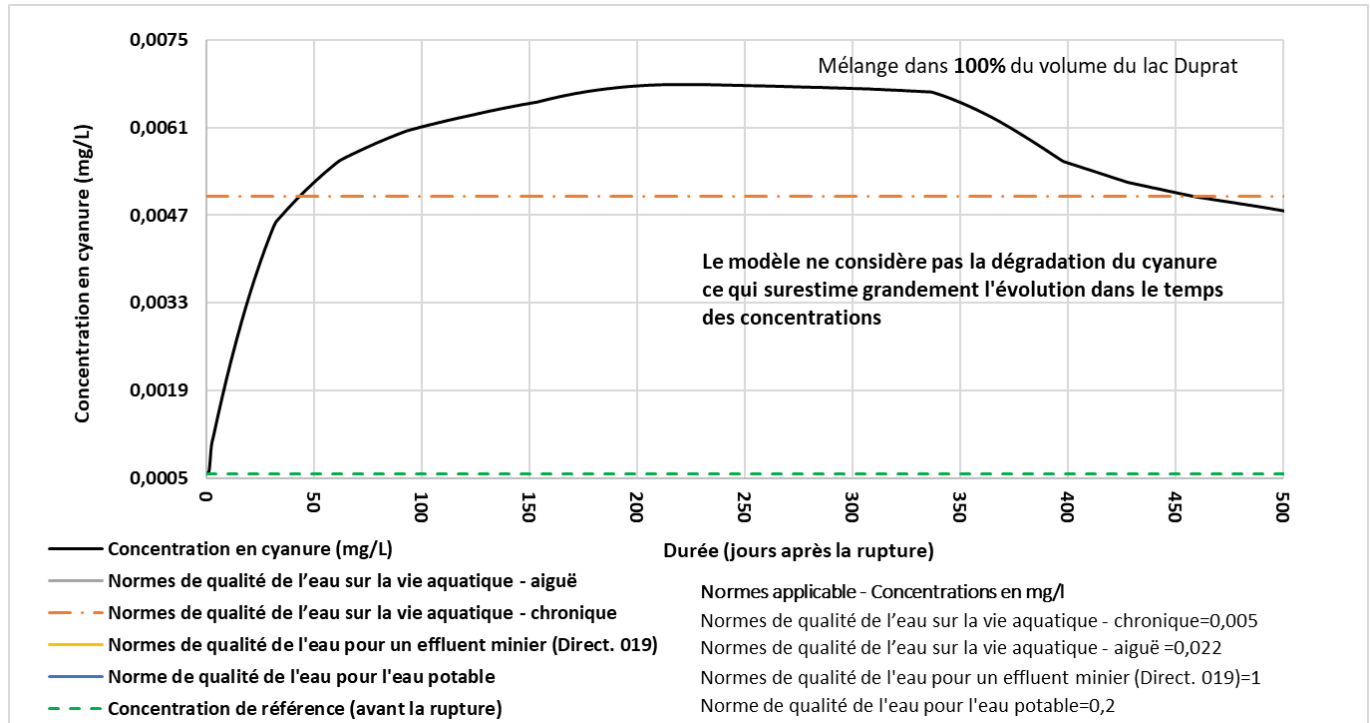


Figure B-23: Scénario de rupture de la digue RFP-2 – Concentrations simulées en cyanure après le mélange avec 100 % du volume du lac Duprat

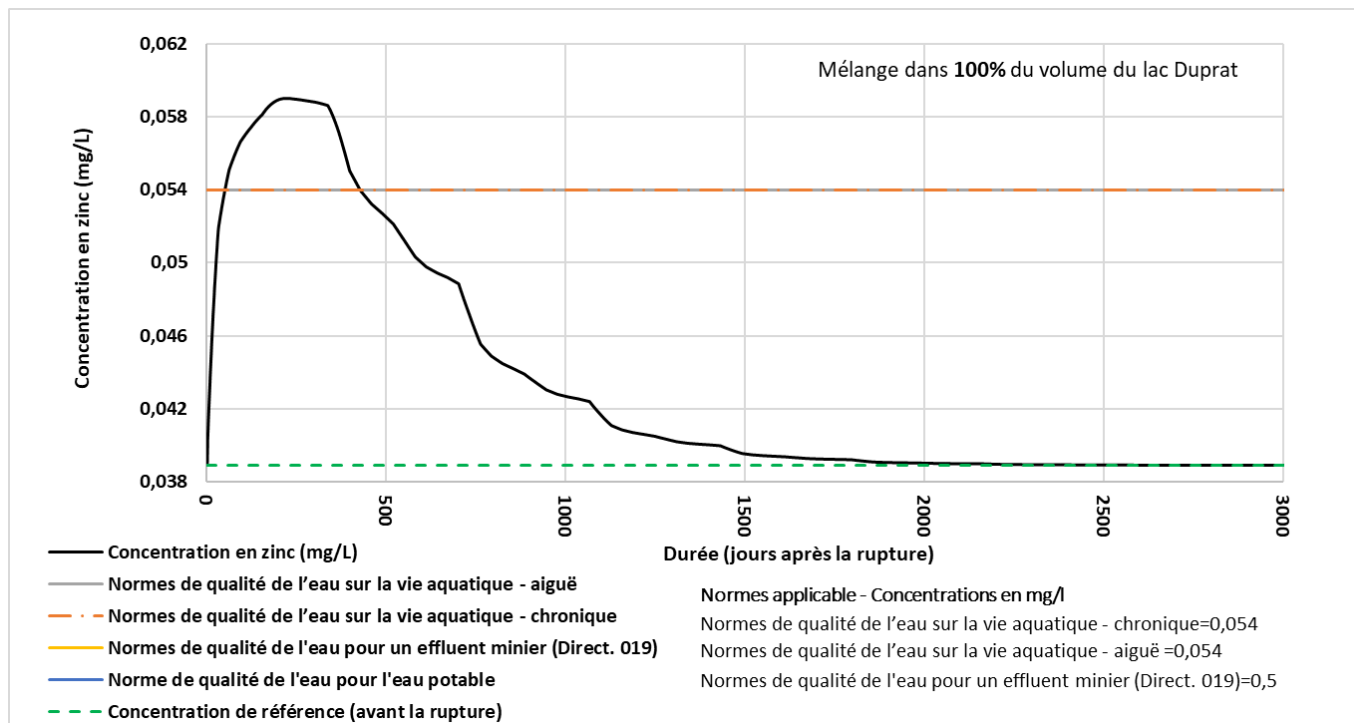


Figure B-24: Scénario de rupture de la digue RFP-2 – Concentrations simulées en zinc après le mélange avec 100 % du volume du lac Duprat

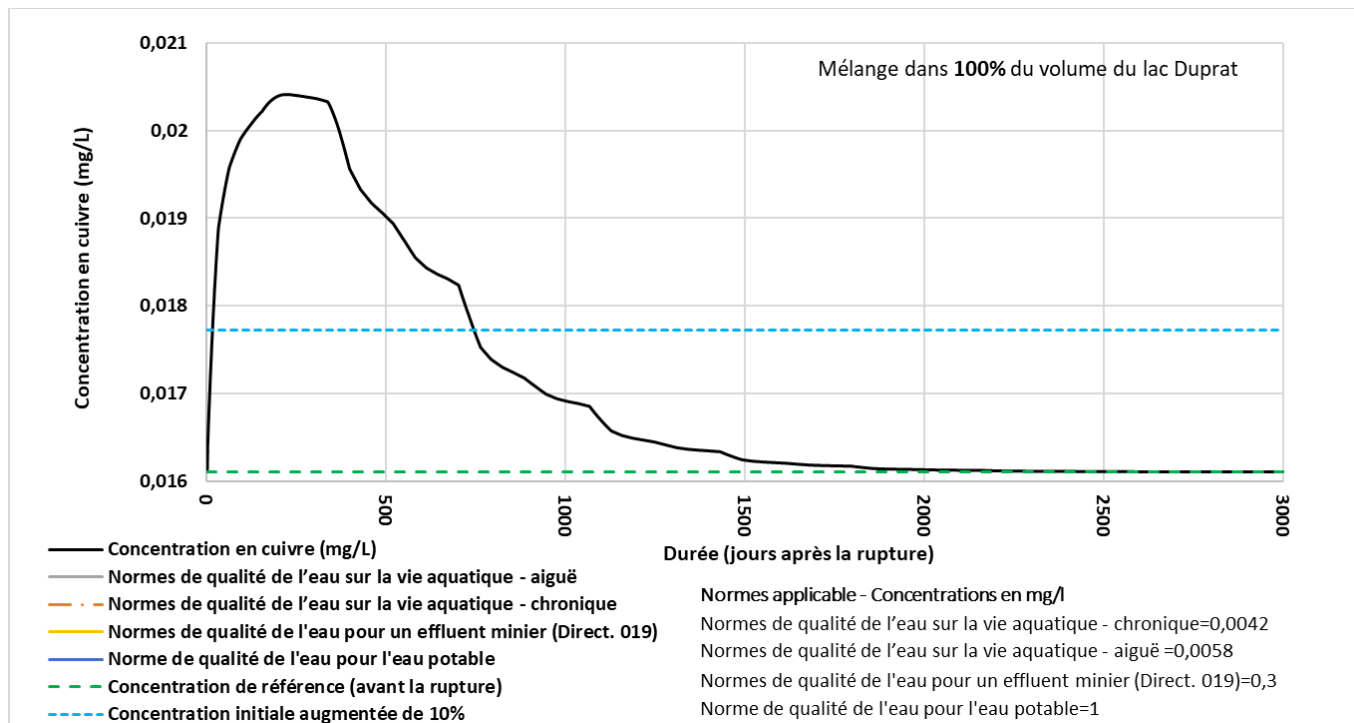


Figure B-25: Scénario de rupture de la digue RFP-2 – Concentrations simulées en cuivre après le mélange avec 100 % du volume du lac Duprat

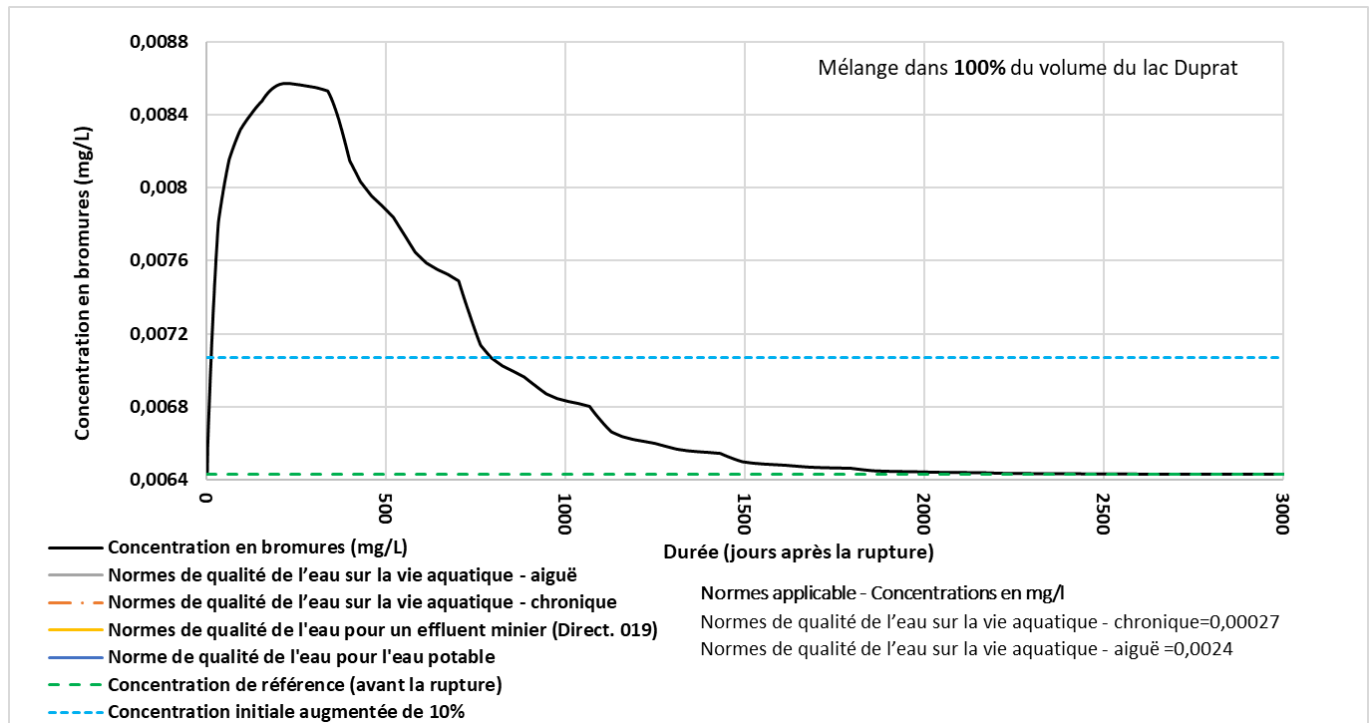


Figure B-26: Scénario de rupture de la digue RFP-2 – Concentrations simulées en bromures après le mélange avec 100 % du volume du lac Duprat