

Note

Direction du suivi de l'état de l'environnement
Service des avis et des expertises

DESTINATAIRE : Madame Mireille Paul
Direction de l'évaluation environnementale des projets nordiques et
miniers

EXPÉDITEUR : Yves Grimard

DATE : Le 13 mars 2015

OBJET : Objectifs environnementaux de rejet pour le projet de mine
d'apatite du Lac à Paul
N/Réf. : SAVEX-14059 et 14060
V/Réf. : 3211-16-007

Voici un avis de la part de Mmes Lucie Wilson et Suzanne Minville en réponse au dossier mentionné en objet. S'il y a lieu, vous pouvez joindre Lucie Wilson au numéro de téléphone 418 521-3820, poste 7063.

Nous demeurons à votre disposition pour tout renseignement supplémentaire et nous vous prions d'agréer, Madame, nos meilleures salutations.

Le chef du Service des avis et des expertises,



Yves
Yves Grimard

p. j. 1

DESTINATAIRE : Monsieur Yves Grimard

EXPÉDITRICES : Suzanne Minville et Lucie Wilson

DATE : Le 13 mars 2015

OBJET : Objectifs environnementaux de rejet pour le projet de mine
d'apatite du Lac à Paul

N/Réf. : SAVEX-14059 et 14060

V/Réf. : 3211-16-007

Dans le cadre de l'analyse de recevabilité de l'étude d'impact sur l'environnement du projet de mine d'apatite du lac à Paul par Ariane Phosphate, quatre avis de recevabilité de l'étude d'impact ont été transmis à la Direction de l'évaluation environnementale des projets nordiques et miniers. Pour compléter ceux-ci, voici les objectifs environnementaux de rejet (OER) qui ont été établis pour les différents effluents du projet minier. Situé à environ 200 km au nord-est du lac Saint-Jean, le projet du lac à Paul consiste en une mine à ciel ouvert et une usine de traitement du minerai afin de produire un concentré d'apatite (P₂O₅) utilisé pour la fabrication d'engrais.

Objectifs environnementaux de rejet

Au ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC), l'acceptabilité des rejets à l'environnement aquatique est évaluée sur la base des objectifs environnementaux de rejet. Ceux-ci définissent les concentrations et charges maximales de contaminants qui peuvent être rejetées dans un plan d'eau tout en respectant les critères de qualité à la limite d'une zone de mélange restreinte (MDDEP, 2007). Ils sont établis à partir de la sensibilité du milieu récepteur, du débit de l'effluent, des données représentatives de la qualité de l'eau du milieu et des critères de qualité de l'eau (MDDEFP, 2013) permettant la protection des usages présents dans le milieu. Les OER spécifiques au projet minier d'apatite du Lac à Paul sont joints à la présente note.

...2

Le projet à l'étude comptera quatre effluents miniers :

- le parc à résidus miniers dont l'émissaire se rejettera en amont du lac Épinette;
- les eaux d'exhaure dont l'émissaire se rejettera en amont du lac à Paul;
- deux effluents pour la halde à stériles (bassins A et D) avec rejets dans la rivière Naja et dans un tributaire de la rivière Manouane.

Ces effluents proviendront de bassins de sédimentation. Aucun traitement mis à part la décantation, n'est prévu pour ces effluents, à l'exception de celui du parc à résidus où un système de traitement d'eau serait ajouté.

Pour trois de ces effluents, les OER correspondent aux critères de qualité de l'eau en raison de l'absence de dilution dans le milieu. Pour un des effluents de la halde à stériles (bassin A), la dilution est de l'ordre de 1 dans 2,2 pour les substances toxiques et de 1 dans 5,6 pour les paramètres conventionnels basée sur des débits d'étiage annuels.

Enjeux environnementaux

Cas particulier des rejets de phosphore en amont de lacs

Dans le cas du site à l'étude où on retrouve une grande proportion de lacs, une de nos principales préoccupations concerne le phosphore. Les lacs constituent des milieux particulièrement sensibles aux apports de nutriments.

Un avis technique produit par M. Louis Roy de la DSEE, et joint à la présente, fait état des conséquences appréhendées des rejets liquides et atmosphériques issus de l'exploitation de la mine. En résumé, le plus grand risque de ce projet est d'augmenter la charge entrante en phosphore dans le lac à Paul. En effet, en utilisant l'équation de bilan de masse à l'équilibre, la concentration actuelle modélisée pour le lac à Paul se situerait entre 4,4 µg/L et 6,6 µg/L. Les données de phosphore mesurées pour ce lac sont pratiquement inexistantes. Un seul dosage a été réalisé en 2012 et la concentration était sous la limite de détection de la méthode (<10 µg/L). En raison des caractéristiques de ce lac et sur la base de la teneur en phosphore mesurée dans les lacs en amont, il est raisonnable de croire que la concentration actuelle dans le lac à Paul se situe dans l'ordre de grandeur de la concentration modélisée. Avec les charges supplémentaires provenant de la minière, basées sur un rejet de 0,3 mg/L selon la norme mensuelle proposée dans un autre dossier minier, la concentration en phosphore dans le lac à Paul pourrait atteindre des valeurs allant jusqu'à 19,3 µg/L. Cette concentration correspond à celle d'un lac mésotrophe.

Un suivi de l'eau de surface du lac à Paul devrait être initié afin de documenter la variabilité temporelle de sa qualité. À cet effet, le phosphore total à l'état de traces (méthode MA. 303-P 5.2 du CEAEQ), la chlorophylle A et la transparence de l'eau (avec un disque de Secchi) devraient être mesurés dans ce lac. La sensibilité de la méthode d'analyse du phosphore est essentielle pour bien percevoir les changements dans l'état du lac. Les stations d'échantillonnage devront permettre d'évaluer l'étendue de l'impact des effluents acheminés vers le lac à Paul.

Sensibilité du milieu aux métaux

En raison de la sensibilité particulière du milieu aux métaux (faibles valeurs de dureté et de carbone organique dissous) et du fait que la plupart des effluents sont rejetés dans de très petits cours d'eau, il appert que le respect des normes de la *Directive 019* pourrait s'avérer insuffisant pour assurer le maintien de l'intégrité du milieu. À ce titre, le promoteur devrait s'engager à respecter des valeurs plus basses que les normes établies dans la *Directive 019*, entre autres, pour les métaux.

Recommandations finales

Dans le but de protéger les milieux récepteurs, il est recommandé qu'une norme en phosphore soit établie par la *Direction des eaux industrielles* (DEI) pour tous les effluents, y compris ceux qui se rejettent dans la rivière Naja (compte tenu des OER qui sont contraignants). Elle devrait être la plus basse possible et un suivi hebdomadaire du phosphore total à l'effluent final, avec une limite de détection plus petite ou égale à 0,05 mg/L P, est recommandé.

De plus, afin d'assurer une cohérence avec les autres projets miniers évalués, une norme en matières en suspension plus basse devrait aussi être établie par la DEI pour l'ensemble des effluents. Cette exigence est renforcée par le peu de dilution disponible aux points de rejet et par la sensibilité particulière du milieu aux métaux.

De façon à évaluer les risques sur les eaux de surface, un suivi des effluents miniers, pour les contaminants et les essais de toxicité faisant l'objet d'un OER, devra être réalisé. Ce suivi complétera les suivis déjà établis en vertu de la *Directive 019* sur l'industrie minière (*Directive 019*) et du *Règlement sur les effluents des mines de métaux* (REMM) et des études demandées dans le cadre du Programme de réduction des rejets industriels (PRRI).

- La fréquence du suivi pour tous les contaminants et les essais de toxicité faisant l'objet d'un OER, ainsi que pour les éléments nécessaires à l'interprétation des résultats des essais, à savoir la dureté, les solides dissous totaux (idéalement tous les anions et cations), la conductivité et l'alcalinité devrait être d'au moins 4 fois par année;

- Un suivi hebdomadaire du phosphore à tous les effluents devrait être effectué, et les charges rejetées devraient être les plus faibles possibles, considérant les OER et les milieux récepteurs qui sont propices à l'eutrophisation;
- Les limites de détection des méthodes d'analyse utilisées devront permettre de vérifier, dans la mesure du possible, le respect des OER;
- Trois ans après le début de l'exploitation générant un effluent, et aux trois ans par la suite, le promoteur devra présenter à l'Administrateur un rapport d'analyse sur les données de suivi de la qualité des effluents. Ce rapport présentera la comparaison entre les objectifs environnementaux de rejet et les résultats obtenus en utilisant les principes du document *Lignes directrices pour l'utilisation des objectifs environnementaux de rejet relatifs aux rejets industriels dans le milieu aquatique* publié par le MDDELCC. Si des dépassements d'OER sont observés, il devra présenter à l'Administrateur, la cause de ces dépassements et les moyens qu'il compte mettre en œuvre pour les respecter ou s'en approcher le plus possible;
- Rappelons qu'un suivi mensuel du lac à Paul pour le phosphore total est effectué à l'état de traces, la chlorophylle A et la transparence de l'eau. Ce suivi devra être réalisé dès le début de l'exploitation minière. À la lumière des résultats obtenus, une mise à jour des modalités de ce suivi pourra être effectuée par le MDDELCC.

lw

LW-SM-md-mg/ml

p.j. Avis technique de Louis Roy
Document OER

c.c M. Claude Langevin, DEI
M. Louis Roy, DSEE
Mme Marie-Christine Bouchard, DGAER-02
M. Daniel Lapierre, DPRRI

OBJECTIFS ENVIRONNEMENTAUX DE REJET POUR LE PROJET DE MINE D'APATITE DU LAC À PAUL

2015-03-13

1. Introduction

Les objectifs environnementaux de rejet (OER) applicables aux effluents du projet de mine d'apatite du Lac à Paul vous sont transmis avec la description des différents éléments retenus pour leur calcul.

La détermination des OER a pour but le maintien et la récupération de la qualité du milieu aquatique. Des objectifs de rejet qualitatifs et quantitatifs pour les contaminants chimiques et pour la toxicité globale de l'effluent sont définis pour atteindre ce but. Les critères de qualité de l'eau de surface sur la base desquels sont établis ces objectifs sont présentés dans le document *Critères de qualité de l'eau de surface* (MDDEFP, 2013).

Les objectifs qualitatifs sont reliés principalement à la protection de l'aspect esthétique des plans d'eau. Les objectifs quantitatifs sont spécifiques aux différents contaminants présents dans l'effluent. Ils définissent les concentrations et charges maximales de ces contaminants qui peuvent être rejetées dans le milieu aquatique tout en respectant les critères de qualité de l'eau à la limite d'une zone de mélange restreinte.

La toxicité globale de l'effluent est, pour sa part, vérifiée à l'aide d'essais de toxicité aiguë et chronique. Son suivi est nécessaire pour s'assurer de l'absence d'effets toxiques potentiels sur la vie aquatique liés à la présence simultanée de multiples contaminants.

2. Contexte d'utilisation des OER

Les OER ne tiennent pas compte des contraintes analytiques, économiques et technologiques. Ils permettent d'évaluer l'acceptabilité environnementale des activités d'une entreprise ou d'un projet. Ces activités peuvent ainsi être jugées préoccupantes pour l'environnement sur la base du nombre de paramètres qui dépassent les OER, de la fréquence des dépassements ou de leur amplitude.

Dans tous les cas, l'utilisation des OER se fait en complémentarité avec une approche technologique. Lorsque les OER sont peu contraignants par rapport à la technologie couramment disponible, les normes doivent correspondre, au minimum, à la performance de cette technologie.

Des OER qui sont contraignants peuvent servir à identifier les substances les plus problématiques, à rechercher des produits de remplacement, à utiliser des technologies de traitement plus avancées, à favoriser un meilleur contrôle à la source et la mise en place de technologies propres visant la réduction du débit et des charges polluantes. Ils peuvent également conduire à la relocalisation du point de rejet pour protéger certains milieux récepteurs plus sensibles ou justifier le refus d'un projet ou d'une activité proposée.

Les OER peuvent aussi servir à établir des exigences supplémentaires de rejet ou de suivi. Ils ne doivent cependant pas être transférés directement comme normes dans un certificat

d'autorisation sans analyse préalable des technologies de traitement existantes. En effet, les normes inscrites dans un certificat d'autorisation doivent être atteignables avec une technologie dont la performance est connue.

Les explications concernant la méthode de calcul des OER sont présentées dans le document *Calcul et interprétation des objectifs environnementaux de rejet pour les contaminants du milieu aquatique, 2^e édition* (MDDEP, 2007). Toute l'information liée à l'utilisation des OER apparaît dans les *Lignes directrices pour l'utilisation des objectifs environnementaux de rejet relatifs aux rejets industriels dans le milieu aquatique* (MDDEP, 2008).

3. Description sommaire de l'entreprise

Le projet de mine d'apatite du Lac à Paul est situé dans la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean à environ 200 km au nord de la ville de Saguenay dans une zone comportant une forte densité de lacs et de cours d'eau. Il est entièrement localisé à l'intérieur des limites du terrain de la pourvoirie du Lac-Paul qui appartient à la compagnie minière Ariane Phosphate. Le concentré d'apatite qui sera produit sur le site servira principalement à la fabrication de fertilisants pour la production agricole.

Le projet comporte une mine et une usine de concentration. À partir de 2016, le complexe minier devrait produire 3 Mt de concentré d'apatite par année, ce qui nécessitera l'extraction d'environ 18 Mt de minerai annuellement. L'usine traitera environ 50 000 tonnes/jour de minerai et produira environ 10 000 tonnes/jour d'un concentré ayant un contenu de 39 % en oxyde de phosphore P_2O_5 . Cette teneur est supérieure à la moyenne mondiale qui se situe autour de 32 %. Bien que le gisement soit aussi riche en ilménite ($FeTiO_3$), la récupération du titane n'est pas envisagée dans le présent projet. La durée de vie de la mine est évaluée à 25 ans.

Le gisement d'apatite sera exploité par une fosse à ciel ouvert dont les dimensions finales seront de 2,3 km de longueur par 600 m de largeur, avec une profondeur de 450 m. La fosse sera enchâssée entre le Lac à Paul au sud et les lacs du Kodiak, de l'Ours Polaire, du Coyote et D au nord. Après extraction, le minerai sera concassé et broyé. De l'eau sera ajoutée au broyeur, permettant ainsi de transférer le minerai sous forme d'une pulpe plus ou moins dense. Cette pulpe sera dirigée vers le procédé de concentration par flottation où différents réactifs seront ajoutés afin d'éliminer les minéraux indésirables et améliorer la récupération de l'apatite. Le concentré du circuit de flottation sera ensuite épaissi, filtré et séché. Le transport du produit fini s'effectuera par camions jusqu'à un terminal portuaire qui serait localisé à Sainte-Rose-du-Nord.

Les stériles seront entassés dans une halde située au nord de la fosse, soit au-delà des lacs du Kodiak, de l'Ours Polaire, du Coyote et D. Les résidus du concentrateur seront épaissis, puis envoyés dans un parc à résidus localisé à la limite sud de la pourvoirie. Le parc à résidus se drainera vers un bassin de polissage qui sera aménagé à même le lac G. Ce dernier est un lac naturel considéré en voie d'eutrophisation.

L'eau nécessaire au procédé proviendra principalement de l'épaississeur de résidus et aussi de la recirculation à partir du bassin de polissage du parc à résidus. L'eau en excès du bassin de polissage sera rejetée après traitement (coagulation/floculation) dans un petit ruisseau tributaire du lac Épinette, lequel se déverse dans le lac à Paul par la rivière Naja est. Le débit moyen

annuel de cet effluent serait de l'ordre de 179 m³/h, avec une variabilité allant de 0 m³/h (février) à 378 m³/h (août).

Les eaux de ruissellement de la halde à stériles seront dirigées vers l'un des cinq bassins de décantation A à E. Il y aura seulement deux points de rejet de ces eaux à l'environnement (bassins A et D), les eaux du bassin B étant pompées dans le bassin A et les eaux des bassins C et E, dans le bassin D. L'effluent du bassin A sera rejeté dans la rivière Naja ouest et son débit variera annuellement entre 0 et 490 m³/h (moyenne de 133 m³/h). L'effluent du bassin D sera rejeté dans un petit tributaire de la rivière Manouane et son débit variera entre 0 et 630 m³/h (moyenne de 171 m³/h). Notons que le bassin A sera construit environ 10 ans après le démarrage du projet.

Les eaux d'exhaure de la fosse seront pompées vers un bassin de sédimentation dont l'effluent sera rejeté dans l'exutoire du lac A, lequel rejoint ensuite la rivière Naja est, puis le lac à Paul. Le débit de cet effluent est estimé à 87 m³/h la 5^e année et à 313 m³/h la 25^e année d'exploitation.

Les eaux de ruissellement des secteurs de l'usine, du concasseur et du campement des travailleurs seront captées par des fossés de drainage, puis envoyées dans des bassins permettant la sédimentation des particules. Les eaux de ruissellement ainsi traitées seront rejetées dans différents milieux récepteurs. Des OER ne seront pas calculés pour ces effluents en raison de leur faible débit.

Le promoteur prévoit diriger les eaux usées sanitaires vers des champs d'épuration.

4. Objectifs qualitatifs

Les eaux rejetées dans le milieu aquatique ne devraient contenir aucune substance en quantité telle qu'elle puisse causer des problèmes d'ordre esthétique. Cette exigence s'applique, entre autres, aux débris flottants, aux huiles et graisses, à la mousse et aux substances qui confèrent à l'eau un goût ou une odeur désagréable, de même qu'une couleur et une turbidité pouvant nuire à quelques usages du cours d'eau.

L'effluent ne devrait pas contenir de matières décantables en quantité telle qu'elles puissent causer l'envasement des frayères, le colmatage des branchies des poissons, l'accumulation de polluants sur le lit du cours d'eau ou une détérioration esthétique du milieu récepteur.

Enfin, l'effluent devrait être exempt de toute substance en concentration telle qu'elle puisse entraîner une production excessive de plantes aquatiques, de champignons ou de bactéries et qu'elle puisse nuire, être toxique ou produire un effet physiologique néfaste ou une modification de comportement à toute forme de vie aquatique, semi aquatique et terrestre. L'effluent doit aussi être exempt de substances en concentration telle qu'elles augmentent les risques pour la santé humaine (MDDEFP, 2013).

5. Objectifs quantitatifs

Le calcul des OER est généralement basé sur un bilan de charge appliqué sur une portion du cours d'eau allouée pour la dilution de l'effluent. Ce bilan est établi de façon à ce que la charge de contaminants présente en amont du rejet, à laquelle est ajoutée la charge de l'effluent,

respecte la charge maximale admissible à la limite de la zone de mélange. Cette charge maximale est déterminée à partir des critères de qualité de l'eau en vue d'assurer la protection ou la récupération des usages du milieu. En l'absence de zone de mélange, les critères de qualité de l'eau s'appliquent directement à l'effluent. Aucun bilan de charge n'est alors effectué.

5.1 Sélection des contaminants

Les paramètres faisant l'objet d'une norme en vertu de la *Directive 019 sur l'industrie minière* ont été automatiquement retenus, à l'exception des cyanures totaux puisqu'il n'y a pas de traitement du minerai aurifère sur le site.

La sélection des paramètres repose également sur les résultats des essais de lixiviation statiques, des essais cinétiques en colonnes et des analyses chimiques effectués sur le minerai, les stériles et les résidus miniers, ainsi que sur les concentrations mesurées dans l'eau souterraine. Ces informations nous renseignent sur les contaminants susceptibles d'être présents dans les eaux minières pour lesquels il nous faut vérifier s'ils entraînent un risque pour l'écosystème aquatique.

Les nitrites, les nitrates et l'azote ammoniacal ont aussi été retenus en raison de l'utilisation d'explosifs à base de composés nitrés. Le phosphore a également été retenu en raison de la sensibilité du milieu récepteur (lac à Paul) et de la minéralisation du gisement.

Toute modification de la nature des produits utilisés dans le cadre du projet, de même que toute nouvelle information sur ceux-ci, pourrait conduire à une mise à jour des OER.

5.2 Éléments de calcul des objectifs environnementaux de rejet

Les OER ont été calculés en considérant les éléments qui suivent :

- ***Les usages du milieu récepteur***

La zone d'étude locale chevauche le territoire de la pourvoirie du Lac-Paul située dans le bassin versant de la rivière Manouane. Les activités de pêche se font majoritairement sur le lac à Paul, mais également sur la rivière Manouane et les lacs Siamois, Naja, Épinette, du Grizzli, de l'Ours Polaire, du Kodiak, du Coyote, Loup, de l'Ourson et du Lynx. Des pêches expérimentales (Genivar, 2013) ont permis de recenser cinq espèces de poissons, soit l'omble de fontaine, le meunier noir, le meunier rouge, le méné de lac et le méné jaune. L'omble de fontaine est l'espèce la plus répandue dans la zone d'étude locale.

Outre la pêche, on retrouve aussi des activités de chasse. Également, une plage naturelle, située en rive nord du lac à Paul, dans la deuxième baie à l'est du site du débarcadère, est fréquentée à l'occasion pour la baignade. De plus, la pourvoirie possède quelques kayaks qui sont utilisés pour de courtes promenades sur le lac à Paul, à proximité de l'île sur laquelle se trouve la base d'opérations de l'entreprise.

Finalement, la rivière Manouane est reconnue comme un parcours canotable par la Fédération québécoise du canot et du kayak. Elle fait partie d'un circuit canotable de plus de 500 km qui comprend la remontée de la rivière Péribonka et la traversée du lac Manouane.

- ***Les critères de qualité de l'eau pour la protection et la récupération des usages***

Les critères de qualité considérés pour le calcul des OER sont les critères de vie aquatique chronique (CVAC) et les critères de prévention de la contamination des organismes aquatiques (CPC(O)) qui assurent la protection de la vie aquatique et la prévention de la contamination de l'eau et des organismes aquatiques pouvant nuire à la consommation humaine. Ces critères proviennent de la publication *Critères de qualité de l'eau de surface* (MDDEFP, 2013).

Les métaux, les composés azotés (azote ammoniacal, nitrites et nitrates), les solides dissous et les matières en suspensions (MES) constituent des contaminants caractéristiques des activités minières. La biodisponibilité, et, par conséquent, la toxicité de certains métaux sont influencées par les caractéristiques locales particulières du milieu récepteur : le pH, la dureté et le carbone organique dissous. Les critères génériques de qualité de l'eau de surface prennent en considération ces éléments que de façon partielle. Ces critères demeurent cependant sécuritaires pour la plupart des situations. Ils permettent de faire une première évaluation sommaire de l'impact potentiel du rejet à venir.

Le promoteur peut, s'il le désire, procéder à la détermination de critères de qualité propres au site. Ces critères permettent de préciser le risque associé au rejet d'un contaminant lorsqu'un exploitant considère que des conditions particulières du milieu le nécessitent (MDDEFP, 2013). Ces procédures sont principalement utilisées pour déterminer des critères particuliers pour certains métaux, bien qu'elles peuvent servir pour d'autres paramètres. Elles sont décrites dans U.S. EPA (1994 et 2001) et CCME (2003).

Les critères de qualité du phosphore du Québec peuvent être utilisés pour évaluer la détérioration d'un lac. Ils ne doivent toutefois pas servir à évaluer les charges en phosphore qui peuvent y être rejetées. En conséquence, aucun OER ne peut être calculé pour ce paramètre lorsque le rejet est situé dans un lac ou en amont. Le rejet de ce contaminant devra être minimisé et faire l'objet d'une norme et d'un suivi.

- ***Les données représentatives de la qualité des eaux du milieu récepteur***

La teneur d'un contaminant dans le cours d'eau doit être considérée afin d'évaluer la quantité qui peut être ajoutée sans porter atteinte aux usages de l'eau. Des valeurs médianes représentatives du plan d'eau sont retenues à titre de concentration amont du milieu récepteur pour le calcul des OER (MDDEP, 2007).

Pour le calcul des OER de l'effluent du bassin de sédimentation A de la halde à stériles, les teneurs médianes en métaux proviennent des mesures effectuées sur la rivière Naja lors des campagnes d'échantillonnage en traces du 30 juillet, 21 août et 10 septembre 2014. Les valeurs amont en nitrates, nitrites et sulfates proviennent des données mesurées sur la rivière Naja en 2013. Pour les MES, la valeur médiane des concentrations mesurées en rivière par le promoteur entre 2011 et 2014 a été retenue (WSP, 2014c).

La toxicité de certains contaminants pour la vie aquatique varie avec les caractéristiques physico-chimiques du milieu récepteur, tels le pH, la dureté, la température, les MES et la concentration en chlorures. Pour ces contaminants, le critère de qualité de l'eau varie alors en fonction d'une ou de plusieurs caractéristiques de l'eau. La dureté du cours d'eau

récepteur est à la base des critères de qualité de certains métaux, le pH et la température permettent d'évaluer le critère de l'azote ammoniacal et les chlorures celui du critère en nitrites.

Pour la dureté, le pH et les chlorures, les teneurs médianes ont été déterminées à partir de l'ensemble des données recueillies par le promoteur sur les plans d'eau (lacs et rivières) du site à l'étude entre 2011 et 2014 (Genivar, 2013). Pour les MES, seules les données en rivières ont été retenues.

- ***Le débit d'effluent***

Il y aura 4 principaux effluents sur le site de la mine pour lesquels des OER sont établis :

- effluent du bassin de polissage en aval du parc à résidus, débit moyen de 179 m³/h;
- effluent du bassin de sédimentation des eaux d'exhaure, débit de 87 m³/h;
- effluent du bassin de sédimentation D de la halde à stériles, débit moyen de 171 m³/h;
- effluent du bassin de sédimentation A de la halde à stériles, débit moyen de 133 m³/h.

Notons que le bassin A sera construit une dizaine d'années après le démarrage du projet.

- ***Le débit du cours d'eau alloué pour la dilution de l'effluent***

La méthode de calcul des OER intègre plusieurs paramètres, dont le débit du cours d'eau considéré pour la dilution de l'effluent à l'aval immédiat du point de rejet en conditions critiques (MDDEP, 2007). Dans un petit cours d'eau où l'effluent se mélange rapidement dans toute la masse d'eau, le débit alloué pour la dilution de l'effluent est fonction du débit d'étiage.

Pour la protection de la vie aquatique (critère CVAC), les débits d'étiage annuels retenus pour les calculs sont le Q₁₀₋₇ pour les contaminants toxiques et le Q₂₋₇ pour les paramètres conventionnels. Ces débits sont basés sur des étiages d'une durée de 7 jours qui se produisent respectivement une fois en 10 ans et une fois en 2 ans. Pour la prévention de la contamination des organismes aquatiques (critère CPC(O)), usages pour lesquels les effets toxiques se manifestent à plus long terme que ceux sur la vie aquatique, le débit critique retenu est le Q₅₋₃₀. Ce débit est basé sur un étiage de 30 jours susceptible de revenir aux 5 ans. Pour les contaminants conventionnels, 100 % du débit d'étiage est retenu pour établir le facteur de dilution, alors que pour les contaminants toxiques, ce n'est que 50 % du débit d'étiage qui est alloué pour la dilution.

- 1) L'effluent du bassin de polissage du parc à résidus sera rejeté à l'année dans un petit ruisseau affluent du lac Épinette. Au point de rejet, les débits d'étiage annuels de cet affluent sont donnés au tableau suivant et ils correspondent à la valeur inférieure de l'intervalle présenté au tableau QC-180a dans le document de réponses aux questions d'avril 2014 (WSP, 2014). Ces estimations ont été validées par le CEHQ (Joëlle Bérubé à Vincent Veilleux, comm. pers., fév. 2015).

Débits d'étiage retenus pour le ruisseau affluent du lac Épinette

Quantile	Débit d'étiage annuel (L/s)	Débit d'étiage estival (L/s)
Q ₂₋₇	28	71
Q ₁₀₋₇	15	45
Q ₅₋₃₀	20	74

Sur la base de ces débits, les dilutions suivantes ont été allouées pour le calcul des OER des différents paramètres et sont présentées dans le tableau suivant.

Dilutions de l'effluent du bassin de polissage (débit moyen d'effluent de 179 m³/h) dans le ruisseau affluent du lac Épinette

Paramètres (usages)	Débit d'étiage	Dilution dans le milieu récepteur	Dilution retenue
Toxiques (CVAC)	Q ₁₀₋₇ /2	1 dans 1,15	1 dans 1
Toxiques (CPC(O))	Q ₅₋₃₀ /2	1 dans 1,2	1 dans 1
Azote ammoniacal (CVAC)	Q ₁₀₋₇ /2	1 dans 1,15 annuel 1 dans 1,45 estival	1 dans 1
Conventionnels (CVAC)	Q ₂₋₇	1 dans 1,56	1 dans 1

Toutefois, à des fins de simplification, les facteurs de dilution de l'effluent du bassin de polissage ont été arrondis à 1. Les OER vont donc correspondre aux critères de qualité de l'eau.

2) L'effluent du bassin de sédimentation des eaux d'exhaure sera rejeté dans l'exutoire du lac A, lequel rejoint l'embouchure de la rivière Naja est, puis le lac à Paul. Comme mentionné dans le document de réponses aux questions de décembre 2014 (WSP, 2014), les débits d'étiage au point de rejet sont considérés nuls car la superficie du bassin versant drainé est inférieure à 5 km² (0,51 km²). En effet, compte tenu des incertitudes liées à l'estimation des débits d'étiage dans de très petits bassins versants et de la possibilité d'assèchement de ceux-ci, le CEHQ ne calcule pas de débits d'étiage pour les bassins versants dont la superficie est inférieure à 5 km². Les débits d'étiage sont considérés nuls dans le calcul des OER et aucune zone de mélange n'est accordée pour la dilution de l'effluent. Les OER correspondent donc aux critères de qualité de l'eau.

3) L'effluent du bassin de sédimentation D de la halde à stériles sera rejeté dans un petit tributaire de la rivière Manouane. Comme mentionné dans le document de réponses aux questions de décembre 2014 (WSP, 2014), les débits d'étiage au point de rejet sont considérés nuls car la superficie du bassin versant au point de rejet est inférieure à 5 km²

(0,48 km²). Aucune zone de mélange n'est donc allouée pour la dilution de cet effluent et les OER correspondent aux critères de qualité de l'eau.

4) L'effluent du bassin de sédimentation A de la halde à stériles, sera en fonction environ 10 ans après le démarrage du projet minier et il sera rejeté dans la rivière Naja ouest. Au point de rejet, les débits d'étiage annuels de la rivière Naja (point de calcul J3) sont donnés au tableau suivant et ils correspondent à la valeur inférieure de l'intervalle présenté au tableau QC-180a dans le document de réponses aux questions d'avril 2014 (WSP, 2014). Ces estimations ont également été validées par le CEHQ.

Débits d'étiage retenus pour le ruisseau affluent du lac Épinette

Quantile	Débit d'étiage annuel (L/s)	Débit d'étiage estival (L/s)
Q ₂₋₇	170	440
Q ₁₀₋₇	90	280
Q ₅₋₃₀	130	460

Les dilutions suivantes ont été allouées pour le calcul des OER des différents paramètres.

Dilutions de l'effluent du bassin de sédimentation A (débit moyen d'effluent de 133 m³/h) dans la rivière Naja

Paramètres (usages)	Débit d'étiage	Dilution dans le milieu récepteur
Toxiques (CVAC)	Q ₁₀₋₇ /2	1 dans 2,2
Toxiques (CPC(O))	Q ₅₋₃₀ /2	1 dans 2,75
Azote ammoniacal (CVAC)	Q ₁₀₋₇ /2	1 dans 2,2 annuel 1 dans 4,79 estival
Conventionnels (CVAC)	Q ₂₋₇ annuel	1 dans 5,6
Phosphore total (CVAC)	Q ₂₋₇ estival	1 dans 12,9

5.3 Présentation des objectifs environnementaux de rejet

Les OER applicables aux effluents du bassin de polissage, du bassin des eaux d'exhaure et au bassin de sédimentation D sont présentés au tableau 1. En l'absence de dilution, ces OER correspondent aux critères de qualité de l'eau de surface. Ceux-ci sont exprimés en terme de concentration uniquement puisque dans ces conditions, c'est la concentration allouée à l'effluent qui contrôle la concentration résultante dans le milieu récepteur.

Tableau 1 : Projet de mine d'apatite du lac à Paul
Objectifs environnementaux de rejet (OER) pour les effluents du bassin de
polissage du parc à résidus, du bassin des eaux d'exhaure et du bassin D
de la halde à stériles

13 mars 2015

Contaminants	Usages	Critères (mg/L)	Concentrations allouées à l'effluent ⁽¹⁾ (mg/L)	Périodes d'application
Conventionnels				
Matières en suspension	CVAC	9,0 (2)	9,0 *	Année
Phosphore total (mg/L-P)	CVAC	s.o. (3)	Suivi (3)	Année
Métaux				
Aluminium	CVAC	0,087 (4)	0,087 *	Année
Argent	CVAC	0,00010 (5)	0,00010 (6) *	Année
Arsenic	CPC(O)	0,021	0,021	Année
Baryum	CVAC	0,038 (5)	0,038 *	Année
Cadmium	CVAC	4,9E-05	4,9E-05 (6) *	Année
Chrome total	CVAC	0,011 (7)	0,011 *	Année
Cobalt	CVAC	0,10	0,10 *	Année
Cuivre	CVAC	0,0013 (5)	0,0013 *	Année
Fer	CVAC	1,3	1,3 *	Année
Manganèse	CVAC	0,26 (5)	0,26 *	Année
Molybdène	CVAC	3,2	3,2 *	Année
Nickel	CVAC	0,0074 (5)	0,0074 *	Année
Plomb	CVAC	0,00017 (5)	0,00017 (6) *	Année
Sélénium	CVAC	0,0050	0,0050 *	Année
Zinc	CVAC	0,017 (5)	0,017 *	Année
Autres paramètres				
Azote ammoniacal (hivernal) (mg/L-N)	CVAC	1,90 (8)	1,90 *	1er déc-31 mai
Azote ammoniacal (estival) (mg/L-N)	CVAC	1,22 (8)	1,22 *	1er juin-30 nov
Fluorures	CVAC	0,20	0,20 *	Année
Hydrocarbures pétroliers (C ₁₀ -C ₅₀)			(6,9)	Année
Nitrates	CVAC	2,9 (10)	2,9 *	Année
Nitrites (mg/L-N)	CVAC	0,020 (11)	0,020 *	Année
pH	s.o.	s.o.	6 à 9,5 (12)	Année
Essais de toxicité				
Toxicité aiguë	VAFe	1 UTa	1 UTa (13)	Année
Toxicité chronique	CVAC	1 UTc	1 UTc (14)	Année
Paramètres intégrateurs				
Alcalinité	s.o.	s.o.	Suivi (15)	Année
Conductivité	s.o.	s.o.	Suivi (15)	Année
Dureté	s.o.	s.o.	Suivi (15)	Année
Solides dissous totaux	s.o.	s.o.	Suivi (15)	Année

CPC(O) : Critère de prévention de la contamination des organismes aquatiques

CVAC : Critère de vie aquatique chronique

VAFe: Valeur aiguë finale à l'effluent

s.o.: Sans objet

* Les concentrations allouées à l'effluent marquées d'un astérisque doivent être divisées par 2 avant d'être comparées à la concentration attendue à l'effluent ou à la moyenne des données.

(1) Pour les différents contaminants, cette concentration doit correspondre à la forme totale à l'exception des métaux pour lesquels la concentration doit correspondre à la forme extractible totale.

Tableau 1 : Projet de mine d'apatite du lac à Paul
Objectifs environnementaux de rejet (OER) pour les effluents du bassin de polissage du parc à résidus, du bassin des eaux d'exhaure et du bassin D de la halde à stériles

13 mars 2015

- (2) Le calcul du critère des matières en suspension (MES) correspond à une augmentation de 5 mg/L par rapport à la concentration naturelle. Celle-ci a été évaluée à partir de la concentration médiane de 4 mg/L provenant des données recueillies en rivières par le promoteur entre 2011 et 2014.
- (3) Les critères de qualité du phosphore peuvent être utilisés pour évaluer la détérioration d'un lac. Ils ne peuvent toutefois pas servir à évaluer les charges de phosphore qui peuvent y être rejetées. En conséquence, aucun OER ne peut être calculé pour ce paramètre. Le rejet de ce contaminant devra être minimisé et faire l'objet d'une norme et d'un suivi. La limite de détection de la méthode devra être inférieure ou égale à 0,05 mg/L P_{tot}.
- (4) Le critère de l'aluminium a été défini pour des eaux de faible dureté et de pH aux environs de 6,5. Comme le milieu répond à ces conditions, un OER a été calculé.
- (5) Critère calculé pour un milieu récepteur dont la dureté médiane est de 10 mg/L CaCO₃, valeur plancher utilisée pour le calcul des critères de qualité de la majorité des métaux. Le milieu a une dureté d'environ 5,4 mg/L selon les données recueillies sur le site par le promoteur entre 2011 et 2014.
- (6) Il est nécessaire d'utiliser pour le suivi de tous les contaminants, des méthodes analytiques ayant une limite de détection plus petite ou égale à l'OER. Les paramètres suivants ont une limite de détection plus élevée que l'OER : argent 5E-04 mg/L; cadmium 2E-04 mg/L; plomb 1E-03 mg/L; hydrocarbures pétroliers C10-C50 0,1 mg/L. Pour ces paramètres, l'absence de détection, à la limite demandée, sera interprété comme le respect de l'OER.
- (7) Pour le chrome, bien qu'il existe un critère de qualité de l'eau pour une ou des formes spécifiques de ce contaminant, l'OER est établi pour la forme totale. Une analyse des différentes formes permet de préciser le risque lorsque la concentration mesurée à l'effluent est supérieure à l'OER.
- (8) Les critères applicables à l'azote ammoniacal sont déterminés pour une température de 20 °C en été et de 7 °C en hiver et pour une valeur médiane de pH de 6,5 selon les données recueillies sur le site par le promoteur entre 2011 et 2014.
- (9) En ce qui concerne les hydrocarbures pétroliers, leur diversité permet seulement de spécifier une gamme de toxicité, c'est pourquoi on retient une valeur guide d'intervention plutôt qu'un OER. En considérant le taux de dilution (1 dans 1), la valeur guide de 0,01 mg/L se traduit en une concentration allouée à l'effluent de 0,01 mg/L. Cette teneur sert à orienter la mise en place des meilleures pratiques d'entretien et d'opération ou de meilleures technologies d'assainissement.
- (10) Le critère des nitrates a été révisé par le CCME. La Recommandation canadienne pour la qualité des eaux (RCQE) est de 3 mg/L pour des expositions de longue durée. Cette valeur sera adoptée en 2015.
- (11) Le critère des nitrites est calculé pour un milieu récepteur dont la concentration médiane en chlorures est de 0,12 mg/L selon les données recueillies sur le site par le promoteur entre 2011 et 2014.
- (12) Cette exigence de pH, requise dans la directive sur les mines et la majorité des règlements existants sur les rejets industriels, satisfait l'objectif de protection du milieu aquatique.
- (13) L'unité toxique aiguë (UTA) correspond à 100/CL50 (%v/v) (CL50 : concentration létale pour 50 % des organismes testés). Les essais de toxicité demandés sont spécifiés à l'annexe 1.
- (14) L'unité toxique chronique (UTC) correspond à 100/CSEO (CSEO : concentration sans effet observable) ou 100/CI25 (CI25 : concentration inhibitrice pour 25% des organismes testés). Les essais de toxicité sont spécifiés à l'annexe 1.
- (15) Le suivi de ce paramètre devrait être effectué 4 fois par année et réalisé au même moment que les essais de toxicité aiguë et chronique.

Tableau 2 : Projet de mine d'apatite du Lac à Paul

Objectifs environnementaux de rejet pour l'effluent du bassin A de la halde à stériles

13 mars 2015

Contaminants	Usages	Critères (mg/L)	Concentrations amont (mg/L)	Concentrations allouées à l'effluent ⁽¹⁾ (mg/L)	Charges allouées à l'effluent (kg/d)	Périodes d'application
Conventionnels						
Matières en suspension	CVAC	9,0 (2)	4,0 (2)	s.o. (3)	s.o.	Année
Phosphore total (mg/L-P)	CVAC	0,03	0,011 (4)	0,26 (5)	0,82	15 mai-15 oct
Métaux						
Aluminium	CVAC	0,087 (6)	0,051 (7)	0,13 *	0,42	Année
Argent	CVAC	0,00010 (8)	0,00005 (7)	0,00016 *	0,00051	Année
Arsenic	CPC(O)	0,021	9,0E-05 (7)	0,058 (7)	0,18	Année
Baryum	CVAC	0,038 (8)	0,015 (7)	0,065 *	0,21	Année
Cadmium	CVAC	4,9E-05	3,0E-06 (7)	0,00010 (9) *	0,00033	Année
Chrome total	CVAC	0,011 (10)	0,00023 (7)	0,024 *	0,076	Année
Cobalt	CVAC	0,10	0,00020 (7)	0,22 *	0,70	Année
Cuivre	CVAC	0,0013 (8)	0,00027 (7)	0,0025 (9) *	0,0081	Année
Fer	CVAC	1,3	0,28 (7)	2,5 *	8,1	Année
Manganèse	CVAC	0,26 (8)	0,0099 (7)	0,55 *	1,8	Année
Molybdène	CVAC	3,2	0,00014 (7)	7,0 *	22	Année
Nickel	CVAC	0,0074 (8)	0,00035 (7)	0,016 *	0,051	Année
Plomb	CVAC	0,00017 (8)	0,00015 (7)	0,00019 (9) *	0,00062	Année
Sélénium	CVAC	0,0050	0,00010 (7)	0,011 *	0,035	Année
Zinc	CVAC	0,017 (8)	0,00070 (7)	0,037 *	0,12	Année
Autres paramètres						
Azote ammoniacal (hivernal) (mg/L-N)	CVAC	1,90 (11)	0,02 (12)	4,19 *	13,4	1er déc-31 mai
Azote ammoniacal (estival) (mg/L-N)	CVAC	1,22 (11)	0,02 (12)	5,77 *	18,4	1er juin-30 nov
Fluorures	CVAC	0,20	0,050 (13)	0,38 *	1,2	Année
Hydrocarbures pétroliers (C ₁₀ -C ₅₀)				(9,14)		Année
Nitrates	CVAC	2,9 (15)	0,010 (13)	6,4 *	20	Année
Nitrites (mg/L-N)	CVAC	0,020 (16)	0,0050 (13)	0,038 *	0,12	Année
pH		s.o.	s.o.	6 à 9,5 (17)		Année
Essais de toxicité						
Toxicité aiguë	VAFe	1 UTa	s.o.	1 UTa (18)	s.o.	Année
Toxicité chronique	CVAC	1 UTc	s.o.	2,2 UTc (19) *	s.o.	Année
Paramètres intégrateurs						
Alcalinité	s.o.	s.o.	s.o.	Suivi (20)	s.o.	Année
Conductivité	s.o.	s.o.	s.o.	Suivi (20)	s.o.	Année
Dureté	s.o.	s.o.	s.o.	Suivi (20)	s.o.	Année
Solides dissous totaux	s.o.	s.o.	s.o.	Suivi (20)	s.o.	Année

CPC(O) : Critère de prévention de la contamination des organismes aquatiques

CVAC : Critère de vie aquatique chronique

VAFe: Valeur aiguë finale à l'effluent

s.o.: Sans objet

(1) Pour les différents contaminants, cette concentration doit correspondre à la forme totale à l'exception des métaux pour lesquels la concentration doit correspondre à la forme extractible totale.

(2) Le calcul du critère des matières en suspension (MES) correspond à une augmentation de 5 mg/L par rapport à la concentration naturelle. Celle-ci a été évaluée à partir de la concentration médiane de 4 mg/L provenant des données recueillies en rivières par le promoteur entre 2011 et 2014.

Tableau 2 : Projet de mine d'apatite du Lac à Paul
Objectifs environnementaux de rejet pour l'effluent du bassin A de la halde à stériles

13 mars 2015

- (3) Comme l'objectif environnemental de rejet (OER) est plus élevé que la concentration moyenne actable de la Directive 019 sur l'industrie minière, cette dernière s'applique.
- (4) Concentration amont par défaut.
- (5) Le rejet de ce contaminant devra être minimisé et faire l'objet d'une norme et d'un suivi. La limite de détection de la méthode d'analyse devra être inférieure ou égale à 0,05 mg/L P_{tot} .
- (6) Le critère de l'aluminium a été défini pour des eaux de faible dureté et de pH aux environs de 6,5. Comme le milieu répond à ces conditions, un OER a été calculé.
- (7) Concentration médiane en métaux traces obtenue à partir des valeurs mesurées par le promoteur sur la rivière Naja lors des campagnes d'échantillonnage du 30 juillet, du 21 août et du 10 septembre 2014. Pour l'aluminium et le fer, un facteur de correction a été appliqué sur les données d'eau de surface pour réduire la fraction du métal associée aux particules fines. Les médianes correspondant à une valeur sous le seuil de détection sont rapportées comme la moitié de celui-ci.
- (8) Critère calculé pour un milieu récepteur dont la dureté médiane est de 10 mg/L $CaCO_3$, valeur plancher qui est utilisée pour le calcul des critères de qualité de la majorité des métaux. Le milieu a une dureté de 5,4 mg/L selon les données recueillies sur le site par le promoteur entre 2011 et 2014.
- (9) Il est nécessaire d'utiliser pour le suivi de tous les contaminants, des méthodes analytiques ayant une limite de détection plus petite ou égale à l'OER. Les paramètres suivants ont une limite de détection plus élevée que l'OER : argent 5E-04 mg/L; cadmium 2E-04 mg/L; plomb 1E-03 mg/L; hydrocarbures pétroliers C10-C50 0,1 mg/L. Pour ces paramètres, l'absence de détection, à la limite demandée, sera interprétée comme le respect de l'OER.
- (10) Pour le chrome, bien qu'il existe un critère de qualité de l'eau pour une ou des formes spécifiques de ce contaminant, l'OER est établi pour la forme totale. Une analyse des différentes formes permet de préciser le risque lorsque la concentration mesurée à l'effluent est supérieure à l'OER.
- (11) Les critères applicables à l'azote ammoniacal sont déterminés pour une température de 20°C en été et de 7 °C en hiver et pour une valeur médiane de pH de 6,5 selon les données recueillies par le promoteur entre 2011 et 2014.
- (12) Concentration médiane estimée à partir du pourcentage des superficies forestières (100 %) du bassin de drainage et des concentrations typiques de ces milieux.
- (13) Concentration médiane obtenue à partir des données recueillies par le promoteur sur la rivière Naja en 2013.
- (14) En ce qui concerne les hydrocarbures pétroliers, leur diversité permet seulement de spécifier une gamme de toxicité, c'est pourquoi on retient une valeur guide d'intervention plutôt qu'un OER. En considérant le taux de dilution (1 dans 2,2), la valeur guide de 0,01 mg/L se traduit en une concentration allouée à l'effluent de 0,022 mg/L. Cette teneur sert à orienter la mise en place des meilleures pratiques d'entretien et d'opération ou de meilleures technologies d'assainissement.
- (15) Le critère des nitrates a été révisé par le CCME. La Recommandation canadienne pour la qualité des eaux (RCQE) est de 3 mg/L pour des expositions de longue durée. Cette valeur sera adoptée en 2015.
- (16) Le critère des nitrites est calculé pour un milieu récepteur dont la concentration médiane en chlorures est de 0,12 mg/L selon les données recueillies sur le site par le promoteur entre 2011 et 2014.
- (17) Cette exigence de pH, requise dans la directive sur les mines et la majorité des règlements existants sur les rejets industriels, satisfait l'objectif de protection du milieu aquatique.
- (18) L'unité toxique aiguë (UTA) correspond à 100/CL50 (%v/v) (CL50 : concentration létale pour 50 % des organismes testés). Les essais de toxicité demandés sont spécifiés à l'annexe 1.
- (19) L'unité toxique chronique (UTC) correspond à 100/CSEO (CSEO : concentration sans effet observable) ou 100/CI25 (CI25 : concentration inhibitrice pour 25% des organismes testés) Les essais de toxicité sont spécifiés à l'annexe 1.
- (20) Le suivi de ce paramètre devrait être effectué 4 fois par année et réalisé au même moment que les essais de toxicité aiguë et chronique.

Les OER applicables à l'effluent du bassin de sédimentation A sont présentés au tableau 2. L'OER le plus restrictif a été retenu pour chaque contaminant dans le but d'assurer la protection de tous les usages du milieu récepteur.

5.4 Comparaison des rejets avec les objectifs environnementaux de rejet

La comparaison directe entre les OER et la concentration attendue ou mesurée à l'effluent (moyenne à long terme ou MLT) ne permet pas toujours de vérifier correctement le respect des OER puisqu'elle ne prend pas en considération la variabilité de l'effluent et le mode d'action des contaminants dans le milieu. Pour tenir compte de ces éléments, le MDDELCC utilise une simplification de la méthode américaine qui s'appuie sur certaines lois statistiques. Selon celle-ci, la concentration attendue ou mesurée à l'effluent¹ est comparée à la moitié de l'OER pour les contaminants pour lesquels un OER a été calculé à partir des critères de vie aquatique chronique (CVAC). Lorsque l'OER est calculé à partir du critère de prévention de la contamination des organismes (CPC(O)), de même que pour l'OER relatif à la toxicité aiguë et au phosphore, la MLT est comparée directement à l'OER. Des informations sur la comparaison de la qualité des rejets avec les OER peuvent être obtenues dans les *Lignes directrices pour l'utilisation des objectifs environnementaux de rejet relatifs aux rejets industriels dans le milieu aquatique* (MDDEP, 2008).

Par ailleurs, il est nécessaire d'utiliser des méthodes analytiques ayant un seuil de détection plus petit ou égal à l'objectif de rejet ou à la moitié de l'objectif de rejet. Dans le cas où l'OER d'un contaminant est inférieur au seuil de détection, l'absence de détection, à la limite précisée au bas des tableaux, sera interprétée comme un respect de l'OER.

Les résultats de suivi doivent être exprimés en concentration totale pour tous les contaminants, à l'exception des métaux pour lesquels ils doivent être exprimés en métal extractible total. La forme extractible totale d'un métal est celle contenue dans un échantillon non filtré. Elle correspond à la somme du métal dissous et du métal lié aux particules, sans digestion du réseau silicaté (CEAEQ, 2012).

5.5 Toxicité globale de l'effluent

Le contrôle de la toxicité des eaux usées à l'aide d'essais de toxicité permet d'intégrer les effets cumulatifs de la présence simultanée de plusieurs contaminants, de même que l'influence des substances toxiques non mesurées.

Les effluents du bassin de polissage, du bassin des eaux d'exhaure et du bassin de sédimentation D ne doivent pas dépasser une unité toxique pour les essais de toxicité aiguë (1 UTa) et 1 unité toxique pour les essais de toxicité chronique (1 UTc). L'effluent du bassin de sédimentation A ne doit pas dépasser une unité toxique pour les essais de toxicité aiguë (1 UTa) et 2,2 unités toxiques pour les essais de toxicité chronique (2,2 UTc). Les essais de toxicité recommandés pour vérifier la toxicité de l'effluent sont présentés à l'annexe 1. Ces essais devraient être réalisés 4 fois par année.

¹ Selon la méthode américaine, la comparaison avec l'OER est effectuée avec la moyenne d'un minimum de 10 données représentatives de la période du rejet.

Dans une situation où il n'y a pas ou très peu de dilution de l'effluent dans le milieu récepteur, comme c'est le cas pour le projet minier du lac à Paul, l'absence de toxicité aiguë à l'effluent n'assure pas à elle seule la protection des organismes aquatiques exposés à un rejet continu. Le suivi de la toxicité chronique s'avère donc essentiel pour vérifier l'impact potentiel que peut présenter l'effluent final sur les organismes aquatiques du milieu récepteur.

RÉFÉRENCES

- Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ), 2012. *Terminologie recommandée pour l'analyse des métaux*, 4^e éd., Ministère du Développement durable de l'Environnement et des Parcs du Québec, 15 pages.
- Conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME), 2003. *Recommandations canadiennes pour la qualité des eaux : protection de la vie aquatique. Établissement d'objectifs spécifiques au lieu*, dans : *Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement du CCME*, Winnipeg, Le Conseil, 187 p.
- Genivar, 2013. *Projet de mine d'apatite du lac à Paul. Étude d'impact sur l'environnement. Rapport principal*. Pagination multiple + 2 volumes annexes.
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP), 2007. *Calcul et interprétation des objectifs environnementaux de rejet pour les contaminants du milieu aquatique*, 2^e édition, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ISBN-978-2-550-49172-9 (PDF), 57 p. et 4 annexes.
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP), 2008. *Lignes directrices pour l'utilisation des objectifs environnementaux de rejet relatifs aux rejets industriels dans le milieu aquatique*. Direction des politiques de l'eau, 41 p. et 3 annexes.
En ligne : <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/eaux-usees/ld-oer-rejet-indust-milieu-aqua.pdf>
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement de la Faune et des Parcs (MDDEFP), 2013. *Critères de qualité de l'eau de surface*, 3^e édition, Québec, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ISBN 978-2-550-68533-3 (PDF), 510 p. et 16 annexes. En ligne : http://www.mddefp.gouv.qc.ca/eau/criteres_eau/index.asp.
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC), 2014. *Protocole d'échantillonnage de l'eau de surface pour l'analyse des métaux en traces*, Québec, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ISBN 978-2-550-69205-8 (PDF), 19 p.
- U.S. Environmental protection agency (U.S. EPA), 1994. *Interim Guidance on Determination and Use of Water-Effect Ratios for Metals*, Washington (DC), U.S. EPA, Office of Water, Office of Science and Technology, Office of Research and Development, Environmental Research Laboratories, 154 p. (EPA-823-B-94-001).
- U.S. Environmental protection agency (U.S. EPA), 2001. *Streamlined Water-Effect Ratio Procedure for Discharges of Copper*, Washington (DC), U.S. EPA, Office of Water, Office of Science and Technology, 35 p. (EPA-822-R-01-005).
- WSP, 2014a. *Projet de mine d'apatite du lac à Paul. Étude d'impact sur l'environnement. Réponses aux questions et commentaires du ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs*. 202 p. + annexes.

RÉFÉRENCES - Suite

WSP, 2014b. *Projet de mine d'apatite du lac à Paul. Étude d'impact sur l'environnement. Réponses aux questions et commentaires du ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques – Deuxième série.* 129 p. + annexes.

WSP, 2014c. *Projet de mine d'apatite du lac à Paul. Étude d'impact sur l'environnement. Réponses aux questions et commentaires du ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques – Troisième série.* 62 p. + annexes.

Annexe 1 : ESSAIS DE TOXICITÉ SÉLECTIONNÉS POUR LA VÉRIFICATION DU RESPECT DES CRITÈRES DE TOXICITÉ GLOBALE À L'EFFLUENT POUR LE PROJET DE MINE D'APATITE DU LAC À PAUL

Essais de toxicité aiguë

- détermination de la toxicité létale (CL₅₀ 48h) chez le microcrustacé *Daphnia magna*

Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ), 2011. Détermination de la toxicité létale CL₅₀ 48h *Daphnia magna*. MA 500 – D.mag. 1.1. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 18 p.

- détermination de la létalité aiguë (CL₅₀ 96h) chez la truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*)

Environnement Canada, 2000, modifié 2007. Méthode d'essai biologique : méthode de référence pour la détermination de la létalité aiguë d'effluents chez la truite arc-en-ciel, Section de l'élaboration et de l'application des méthodes, Ottawa, Publication SPE 1/RM/13, 2^e édition.

Essais de toxicité chronique

- détermination de la toxicité : inhibition de la croissance (CI₂₅ 96h) chez l'algue *Pseudokirchneriella subcapitata*

Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ), 2011. Détermination de la toxicité : inhibition de la croissance chez l'algue *Pseudokirchneriella subcapitata*, MA 500 – P. sub. 1.0, révision 2, Québec, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 21 p.

- détermination de la toxicité : inhibition de la croissance (CI₂₅ 7j) chez le cladocère *Ceriodaphnia dubia*

Environnement Canada, 2007. Méthode d'essai biologique : essai de reproduction et de survie du cladocère *Ceriodaphnia dubia*, Section de l'élaboration et de l'application des méthodes, Ottawa, Publication SPE 1/RM/21.

AVIS TECHNIQUE

Préparé par : Louis Roy

Date : Le 20 février 2015

Objet : Évaluation de l'impact du projet de mine d'apatite du lac à Paul sur la concentration en phosphore des lacs Épinette et à Paul

Cet avis a été préparé, à la demande du Service des avis et des expertises, comme contribution à l'évaluation de l'effet des rejets de phosphore dans le milieu aquatique dans le cadre de l'analyse de recevabilité de l'étude d'impact du projet de mine d'apatite du lac à Paul.

L'exploitation de l'apatite dans le secteur du lac Paul va induire des rejets de phosphore dans l'environnement qui peuvent contribuer à l'eutrophisation des lacs. Sur la base de l'information produite dans le cadre de l'étude d'impact, une analyse sommaire de l'effet potentiel sur la concentration de phosphore dans le lac Épinette et dans le lac à Paul a été réalisée à l'aide des modalités de la modélisation explicite (bilan massique à l'équilibre) :

$$[PT_{lac}] = (L_{ent} / Q_{an}) * (1 - R_p)$$

Dans cette équation, l'expression L_{ent}/Q_{an} est égale à la concentration entrante $[PT_{ent}]$, que l'on multiplie par l'inverse du coefficient de rétention $(1-R_p)$ pour obtenir la concentration en phosphore dans le lac.

Les scénarios d'augmentation de la concentration dans ces lacs sont basés sur le phosphore total. Dans les milieux naturels, le phosphore présent dans les écosystèmes aquatiques provient de l'altération des dépôts meubles et de la roche mère. Le phosphore libéré entre dans le cycle biogéochimique. Le phosphore rejeté aux effluents des eaux d'exhaure et du parc à résidus miniers ont un potentiel d'augmenter la concentration en phosphore dans les lacs et leur niveau de production, comme tout autre phosphore présent dans les bassins versants en milieu naturel. Il est d'usage dans l'évaluation de l'eutrophisation des lacs de travailler avec le phosphore total. La proportion de phosphore sous forme d'ortho-phosphate biodisponible est toujours très faible dans l'environnement puisqu'il s'agit de l'élément nutritif limitant la production primaire. Les méthodes d'évaluation ne font pas de distinction entre les différentes formes de phosphore (dissous vs particulaire, organique vs minéral).

Lac Épinette

Pour le lac Épinette, la démarche a consisté à estimer la charge annuelle actuelle L_{ent} (ou L_p) à laquelle on ajoute la charge maximale moyenne annuelle estimée de l'effluent du parc à résidus miniers. Cette dernière est le produit de la concentration moyenne maximale et du débit annuel de l'effluent (voir annexe). La charge annuelle actuelle est obtenue en multipliant la concentration mesurée par le débit annuel (Q_{an}). La concentration projetée dans le lac est alors simplement le rapport entre la charge totale (actuelle plus effluent) et le débit annuel moyen (somme du débit à l'exutoire du lac et du débit du parc de résidus). Ce scénario est basé sur une rétention nulle du phosphore dans le lac. En raison de sa très faible profondeur, le lac Épinette a probablement une rétention nulle ou très faible. Le recyclage interne du phosphore dans ces lacs est important simplement par l'effet du brassage. Le petit bassin plus profond au sud du lac montre un déficit important en oxygène dissous. Ce phénomène est typique de milieux plus productifs, surtout si le volume de l'hypolimnion est faible comme ça semble être le cas. Il est fréquent que ces milieux aient une rétention nulle en phosphore et parfois une charge interne. Pour le scénario, nous avons considéré la rétention comme nulle.

Sur la base de ce scénario, les résultats montrent que la concentration passerait de 30 à près de 43 $\mu\text{g/l}$.

Lac à Paul

Le plus grand risque de ce projet est d'augmenter la charge entrante en phosphore dans le lac à Paul. La modélisation permet d'évaluer l'ordre de grandeur de l'effet potentiel sur la concentration en phosphore et la productivité du lac. La modélisation ne permet pas de déterminer avec certitude que le scénario d'augmentation de la concentration va se produire tel quel. La modélisation explicite de type bilan massique à l'équilibre est basée sur la prémisse que le lac se comporte en réacteur homogène à flux constants. Les lacs se rapprochent plus ou moins de ce modèle selon leurs caractéristiques. Le lac à Paul n'est pas un lac de tête de premier ordre et les apports en phosphore arrivent en grande partie avec les apports en eau provenant des lacs en amont. Dans ces lacs, la modélisation explicite permet d'exprimer généralement relativement bien le comportement du phosphore.

Dans le cas du lac à Paul, un exercice exploratoire de modélisation a été réalisé en utilisant et adaptant les données disponibles dans l'étude d'impact. Cet exercice est suffisamment robuste pour montrer globalement comment le lac peut réagir. La modélisation avec des données plus précises sur l'utilisation du territoire des bassins versants des lacs impliqués ne donnerait pas un portrait opposé, mais pourrait nuancer le facteur d'augmentation de la concentration.

Les paramètres de la modélisation selon différents scénarios d'exportation ainsi que les résultats sont présentés dans le fichier Excel joint.

- *Occupation du territoire*

L'occupation du territoire du lac à Paul a été déterminée en considérant que la ventilation des proportions des différentes catégories dans le bassin versant du lac

est la même que pour l'ensemble de l'aire d'étude. Puisque le bassin versant du lac à Paul forme la majeure partie de l'aire d'étude, cette approche devrait refléter assez bien le bassin versant du lac. L'ensemble des milieux humides, l'ensemble du couvert forestier et la superficie en eau sont les trois catégories retenues. La catégorie « dénudé sec » a été regroupée avec la forêt en arrondissant cette catégorie à 77 % et les milieux humides à 6,4 %. La superficie occupée par chaque catégorie a été établie par règle de proportionnalité appliquée à la superficie du bassin versant (44,53 km²).

- *Charge et concentration actuelles modélisées*

Deux scénarios d'évaluation de la charge actuelle en phosphore au lac à Paul sont présentés en faisant varier les coefficients d'exportation (CE). Le scénario A utilise un CE de 5 kg/km²/an pour la forêt, de 120 kg/km²/an pour les milieux humides et de 6 kg/km²/an pour les dépôts atmosphériques directs sur la surface en eau. Ces coefficients ont été établis lors des travaux de recherche de Richard Carignan sur l'eutrophisation des lacs des Laurentides. Le scénario B réduit les CE de 50% pour les milieux humides et les retombées atmosphériques dans l'hypothèse que ceux-ci puissent être plus faibles dans ce secteur (moins d'activité du castor et bruit de fond atmosphérique plus faible).

Le coefficient de rétention du phosphore (R_p) dans le lac par sédimentation est estimée à 0,35 selon le modèle de Larsen et Mercier. Les travaux de recherche de Richard Carignan ont montré que ce modèle représente le mieux la rétention mesurée dans les lacs stratifiés des Laurentides. En utilisant l'équation de bilan de masse à l'équilibre, la concentration actuelle modélisée serait de 6,6 µg/l selon le scénario A et de 4,4 µg/l pour le scénario B. Les données de phosphore mesuré pour le lac à Paul sont pratiquement inexistantes. Un seul dosage a été réalisé en 2012 et la concentration était sous la limite de détection de la méthode (<10 µg/l). Des analyses de phosphore total ont été effectuées en 2013 avec une méthode plus précise sur plusieurs lacs du secteur à l'étude, mais pas sur le lac à Paul. En raison des caractéristiques de ce lac et sur la base de la teneur en phosphore mesurée dans les lacs en amont, il est raisonnable de croire que la concentration actuelle dans le lac à Paul se situe dans l'ordre de grandeur de la concentration modélisée selon les deux scénarios. En ne tenant pas compte de la rétention possible du phosphore dans certains lacs en amont du lac à Paul, l'exercice sommaire peut induire un petit biais à la hausse dans la concentration actuelle modélisée.

- *Charge et concentration modélisées avec le projet*

Les scénarios C et D représentent la charge en phosphore selon les mêmes paramètres d'occupation du territoire que les scénarios A et B auxquels s'ajoutent les charges ponctuelles de l'effluent du parc de résidus et de l'effluent des eaux d'exhaure qui ont été estimées considérant des rejets avec une concentration de 0,3 mg/l. Le scénario C comprend une augmentation arbitraire de la charge provenant des dépôts atmosphériques découlant de la poussière générée par les activités de la mine, alors que le scénario D utilise le coefficient mesuré dans les Laurentides plus méridionales. La rétention dans le lac Épinette est considérée comme nulle et à long terme la charge de l'effluent dans ce lac devrait être exportée au lac à Paul. L'effluent des eaux d'exhaure sera rejeté dans un tributaire du lac à

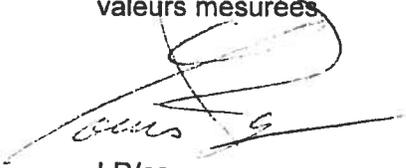
Paul et sa capacité de rétention sera nulle. Avec ces charges supplémentaires, la concentration en phosphore dans le lac à Paul atteindrait 15,8 µg/l selon le scénario C et 13,3 µg/l selon le scénario D, soit un niveau de concentration correspondant à un lac mésotrophe. Cette augmentation représenterait une augmentation de l'ordre de 3 à 4 fois la concentration actuelle si celle-ci se situe autour de 4 µg/l et une augmentation de l'ordre 2 fois si celle-ci se situe à 7 µg/l. Une telle augmentation aura nécessairement un effet sur les autres caractéristiques du lac.

Le coefficient de 12 kg/km² pour les retombées atmosphériques directes sur la surface en eau associées aux poussières générées par les activités de la mine n'est pas alarmiste et pourrait être plus élevé. Dans ce cas, les scénarios C et D d'effet d'augmentation de la charge sur la concentration en phosphore seraient optimistes. Par exemple, une valeur de 50 kg/km² aurait pour effet d'augmenter la concentration modélisée à 19,3 µg/l dans le scénario C. De plus, l'accumulation de poussière sur le milieu terrestre environnant pourrait faire en sorte que le coefficient d'exportation de la forêt augmente avec les années.

Discussion

L'exercice de modélisation effectué comporte un degré d'incertitude difficile à évaluer. Globalement, il n'y a pas lieu de croire que la modélisation ne représente pas bien les apports et la concentration du phosphore. La réserve la plus importante concerne le comportement du lac Épinette comme bassin de rétention de la charge provenant des résidus miniers. À court terme, il est possible que le lac retienne une partie du phosphore. Toutefois, à long terme, il y a peu de chance que le lac puisse retenir le phosphore rejeté et il est possible, à un moment donné, que la charge interne du lac augmente (libération du phosphore qui aurait pu s'accumuler). Pour ces raisons, l'hypothèse de rétention nulle n'est pas irréaliste.

L'incertitude de la modélisation découle également de la précision des intrants, notamment sur l'occupation du territoire et les dépôts atmosphériques avec le projet, ainsi que la non-prise en compte de la rétention dans les lacs en amont autre que le lac Épinette. La charge apportée par les effluents a été calculée sur la base de rejet théorique à 0,3 mg/l de phosphore total. Idéalement, il faudrait refaire l'exercice avec des données plus précises et des résultats d'analyses à la sortie des traitements et faire la modélisation sur l'ensemble des lacs du bassin. Il y a aussi une déficience majeure en données sur les teneurs actuelles en phosphore qui naturellement montrent une variabilité. Cette déficience ne permet pas et ne permettra pas, même dans un exercice plus complet, une bonne comparaison des valeurs modélisées avec les valeurs mesurées.



LR/cc

p.j. 1

**Annexe 1 Données utilisées et résultats de la modélisation des apports et de la concentration en phosphore dans les lacs Épinette et à Paul
Projet de mine d'apatite du lac à Paul**

Données lacs Épinette et à Paul

Lac Épinette

Concentration lac (µg/l)	30	
Volume lac (M3 X 1000)	1032	
Volume lac (l)	1032000000	
Débit moyen exutoire (l/s)	991	
Débit annuel moyen (l/an) Q	31252176000	
Masse PT lac instantané (µg)	30960000000	30,96 kg
Charge PT sortant annuel (µg)	9,37565E+11	937,57 kg

Effluent

Concentration PT effluent (µg/l)	300	
Débit effluent (l/h)	179000	
Débit annuel effluent (l/an)	1568040000	
Charge annuelle PT effluent (µg)	4,70412E+11	470,41 kg

Projection lac

Charge entrante annuelle PT lac	1,40798E+12	1407,98 kg
Charge en eau annuelle (l/an)	32820216000	
Concentration PT (µg/l) sans rétention	42,90	

Lac à Paul

Superficie BV (ha)	4453	
Superficie forêt (77%)	3429	
Superficie Milieu humide (6 %)	267	
Superficie eau (16,6 %)	739	
Débit moyen exutoire (l/s)	1675	
Débit annuel moyen (l/an) Q	52822800000	
Volume lac (l)	14666450000	
TSE (an)	0,28	
Effluent installation humaine		
Concentration PT effluent (µg/l)	300	
Débit effluent (l/h)	87000	
Débit annuel effluent (l/an)	762120000	
Charge annuelle PT effluent (µg/l)	2,28636E+11	228,64 kg

Tableau des résultats de la modélisation explicite des apports en PT et de la concentration en PT

Scénario : basé principalement sur les coefficients d'exportation des travaux de Richard Carignan et des adaptations

Lac à Paul

Scénario charge actuelle modélisée A

CHARGE Lp

Occupation territoire	Charges actuelles modélisées			
	Importance (km2 ou pers/an)	Coefficient (kg/km2 ou ka/pers/an)	Charge (kg/an)	Charge %
Forêt	34,29	5,00	171,45	32%
Milieux humides	2,67	120,00	320,40	60%
Dépôts atmosphérique eau	7,39	6,00	44,34	8%
Total			536,19	100%

Scénario B : diminution de 50% des coefficients MH et ATM

La ventilation de l'occupation du territoire du BV est basé sur les proportions établies pour l'aire d'étude

Concentration de Pt (µg/l) dans le lac : $[P]=(Lp/Q)(1-Rp)$

TSE	Modèle de rétention	Coefficient Rp	[P] act mod
TSE= 0,28 ans	Larsen et Mercier (1976)	0,35	6,6

$Rp=1/(1 + 1/tsc^{0.5})$; Larsen et Mercier (1976)

Scénario augmentation de la charge avec projet C

CHARGE Lp

Occupation territoire	Charges actuelles modélisées + augmentation effluent			
	Importance (km2 ou pers/an)	Coefficient (kg/km2 ou ka/pers/an)	Charge (kg/an)	Charge %
Forêt	34,29	5,00	171,45	13%
Milieux humides	2,67	120,00	320,40	25%
Dépôts atmosphérique eau	7,39	12,00	88,68	7%
Effluent minier			470,41	37%
Effluent installation humaine			228,60	
Total			1279,54	82%

Rejets de l'effluent minier et de l'effluent des installations humaines basés sur des concentrations moyennes maximales de 300 µg/l et des débits respectivement de 179 000 et 87 000 l/s

Concentration de Pt (µg/l) dans le lac : $[P]=(Lp/Q)(1-Rp)$

TSE	Modèle de rétention	Coefficient Rp	[P] projet mod
TSE= 0,28 ans	Larsen et Mercier (1976)	0,35	15,8

$Rp=1/(1 + 1/tsc^{0.5})$; Larsen et Mercier (1976)

Tableau des résultats de la modélisation explicite des apports en PT et de la concentration en PT (suite)

Scénario : basé principalement sur les coefficients d'exportation des travaux de Richard Carignan et des adaptations

Scénario charge actuelle modélisée B

Occupation territoire	Charges actuelles modélisées			Charge %
	Importance (km2 ou pers/an)	Coefficient (kg/km2 ou kg/pers/an)	Charge (kg/an)	
Forêt	34,29	5,00	171,45	48%
Milieux humides	2,67	60,00	160,20	45%
Dépôts atmosphérique eau	7,39	3,00	22,17	6%
Total			353,82	100%

Concentration de Pt ($\mu\text{g/l}$) dans le lac : $[P]=(Lp/Q)(1-Rp)$

TSE	Modèle de rétention	Coefficient Rp	[P] act mod
TSE= 0,28 ans	Larsen et Mercier (1	0,35	4,4

Scénario augmentation de la charge avec projet D

Occupation territoire	Charges actuelles modélisées + augmentation effluent			Charge %
	Importance (km2 ou pers/an)	Coefficient (kg/km2 ou kg/pers/an)	Charge (kg/an)	
Forêt	34,29	5,00	171,45	16%
Milieux humides	2,67	60,00	160,20	15%
Dépôts atmosphérique eau	7,39	6,00	44,34	4%
Effluent minier			470,41	44%
Effluent installation humaine			228,60	
Total			1075,00	79%

Concentration de Pt ($\mu\text{g/l}$) dans le lac : $[P]=(Lp/Q)(1-Rp)$

TSE	Modèle de rétention	Coefficient Rp	[P] projet mod
TSE= 0,28 ans	Larsen et Mercier (1	0,35	13,3

$Rp=1/(1 + 1/tsc^{0,5})$; Larsen et Mercier (1976)