



EXAMEN TECHNIQUE DU SCÉNARIO DE RECIRCULATION DE L'EAU PROPOSÉ DANS LE CADRE DU PROJET DE MINE D'OR ET DE CUIVRE NEW PROSPERITY ET DE SES RÉPERCUSSIONS PRÉVUES SUR LE POISSON ET SON HABITAT DANS LE BASSIN HYDROGRAPHIQUE DU LAC FISH

Contexte

La société minière Taseko Mines Ltd. (le promoteur) propose d'aménager et d'exploiter la mine d'or et de cuivre New Prosperity, qui se trouve à environ 125 km au sud-ouest du lac Williams, en Colombie-Britannique (C.-B.). Le projet consiste à construire, exploiter, puis fermer une grande mine d'or et de cuivre. La construction devrait demander deux ans, et la durée de vie de la mine devrait être de 20 ans. L'aménagement d'une mine à ciel ouvert, l'installation d'une ligne électrique de 125 km et d'un concentrateur *in situ* ainsi que la construction d'une nouvelle route d'accès de deux kilomètres et d'un bassin de décantation constituent les principaux volets du projet.

La mine proposée devrait être située dans le bassin hydrographique du ruisseau Fish, composé de plusieurs lacs et ruisseaux fréquentés par des poissons, notamment le lac Fish et le lac Little Fish. Le lac Fish abrite une population de truites arc-en-ciel dont l'effectif a été estimé en 1997 à 27 000 poissons adultes. Parmi les effets directs et indirects du projet figurent l'aménagement d'une mine à ciel ouvert immédiatement en aval du lac Fish et d'un bassin de décantation qui se trouve dans le bassin hydrographique du haut du ruisseau Fish, lequel comprend le lac Little Fish et le cours supérieur du ruisseau Fish. Le promoteur propose de capter et de pomper activement les eaux de la décharge du lac Fish pour les déverser dans les tronçons restants des eaux d'amont, afin de conserver le débit entrant dans le lac. Au moment de la fermeture de la mine et durant environ 50 ans, il est prévu que les eaux s'écoulent librement depuis le bassin de décantation jusqu'au lac Fish, vers le lac de la mine, puis en aval de la rivière Taseko.

Le projet de mine d'or et de cuivre New Prosperity est soumis à une commission d'examen fédérale qui réalisera une évaluation environnementale. Pêches et Océans Canada (MPO) sera invité à participer aux audiences publiques et à présenter à la commission son avis sur le projet. Plus précisément, le MPO devra présenter, au cours des audiences, une soumission faisant état de son mandat et de son expertise concernant les répercussions du projet sur le poisson et son habitat, des mesures d'atténuation et de compensation ainsi que des conclusions du promoteur, des programmes de surveillance et de suivi. Le 12 juin 2013, les responsables du Programme de protection des pêches de la région du Pacifique du MPO ont demandé à ce que la direction des Sciences effectue une évaluation de l'énoncé des incidences environnementales (EIE) fourni par le promoteur en vue de contribuer à préparer la soumission du MPO concernant le projet de mine d'or et de cuivre New Prosperity qui sera présentée devant la commission.

À partir de l'information contenue dans l'EIE de septembre 2012, de l'information supplémentaire fournie en mars et en juin 2013 et de la documentation à l'appui précédemment présentée par le promoteur, l'objectif de la présente réponse des Sciences est d'évaluer si le système proposé de recirculation de l'eau en circuit fermé du lac Fish et de ses tributaires peut soutenir les attributs du poisson et de son habitat qui sont décrits dans l'EIE et si les limites et incertitudes associées à ce système sont adéquatement caractérisées.

La présente réponse des Sciences découle du processus spécial de réponse des Sciences mené en juin 2013.

Renseignements de base

Le lac Fish est un écosystème d'une superficie de 112 ha, productif sur le plan biologique et peu profond, qui se trouve dans le bassin hydrographique du ruisseau Fish, sur le plateau du Fraser. Comme le souligne l'énoncé des incidences environnementales (EIE) et les soumissions subséquentes du promoteur (*voir* le contexte), le projet minier proposé New Prosperity aura des répercussions sur l'hydrologie du bassin hydrographique approvisionnant le lac Fish, sur les propriétés hydrologiques et hydrochimiques de ses tributaires ainsi que sur les caractéristiques limnologiques du lac lui-même. La présente évaluation porte sur les risques que le projet affecte négativement l'habitat d'eau douce et la persistance de la population de *Oncorhynchus mykiss* non anadrome (truite arc-en-ciel) qui est ciblée dans les pêches récréatives ou autochtones.

Comme le souligne l'EIE, plus de 50 % de la zone du bassin hydrographique en amont du lac Fish serait coupée du lac Fish lui-même pendant toute la durée de vie de la mine. Les eaux de la décharge du lac Fish devraient être activement captées et pompées dans les tronçons restants des eaux d'amont, afin de conserver le débit entrant dans le lac. En particulier, la présente évaluation permettra de déterminer si la recirculation des eaux du lac risque d'influer sur l'état trophique ainsi que sur la structure et le fonctionnement de l'écosystème du lac Fish et de ses tributaires; elle appréciera également les répercussions sur la productivité future des pêches. Nous avons examiné l'EIE concernant le projet minier New Prosperity et la documentation connexe en mettant l'accent sur les changements physiques, chimiques et biologiques prévus des habitats de reproduction et de croissance qui soutiennent la monoculture de la truite arc-en-ciel dans le lac Fish.

La Direction de la gestion des écosystèmes de Pêches et Océans Canada (MPO) a jugé que les aspects de la survie et du succès reproducteur du poisson liés à la charge en contaminants et aux concentrations de contaminants chez le poisson relevaient d'Environnement Canada. Par conséquent, les effets potentiels des contaminants sur la productivité du lac (c.-à-d. répercussions sur le réseau trophique), bien que possiblement importants, n'ont pas été explicitement pris en considération.

Le présent examen se divise en deux parties. La première considère les répercussions du projet proposé sur les tributaires du lac Fish, et la deuxième les répercussions sur le lac lui-même.

Analyse et réponse

Tributaires du lac Fish

Le projet proposé New Prosperity entraînera la réduction de la disponibilité d'habitats de reproduction et de croissance des juvéniles de truite arc-en-ciel dans le lac Fish. La plus grande partie de cette perte résultera de l'isolement de la décharge et du cours supérieur du ruisseau Fish, la plus grande des entrées d'eau. Bien que l'EIE soit centré sur l'habitat de reproduction (Taseko 2012, annexe 2.7.2.4B-D; toutes les références renverront à ce document, sauf indication contraire), des données factuelles recueillies au cours d'études portant sur d'autres populations de salmonidés résidant dans les cours d'eau donnent à penser que le facteur limitatif affectant le recrutement de la population adulte dans le lac est vraisemblablement la disponibilité d'un habitat pour les juvéniles d'âges 0 et 1 dans les tributaires. Les résultats des études menées en 1997 sur les barrages à poisson (Taseko 2009, v5d009) montrent clairement l'importance des entrées d'eau et de la décharge comme habitat de

croissance des juvéniles. En conséquence, le présent examen porte sur les répercussions du projet proposé **tant pour** l'habitat reproducteur que pour l'habitat de croissance.

D'après la surface mouillée résultant des écoulements de la fin de l'été, le projet New Prosperity devrait se traduire par une réduction de 60 % de la zone de croissance des juvéniles dans les cours d'eau (calcul à partir de données de référence [Taseko 2012, tableau 2.6.1.5-9] et surface mouillée prévue pour le tronçon 8 et le tributaire 1). Cette estimation est semblable à la perte prévue d'habitat de reproduction qui, elle, s'établirait à 63 % (calcul effectué d'après les tableaux 2 et 4). Si l'on présume que la réduction de la surface mouillée causera une réduction proportionnelle de la production de poissons d'âge 1 qui migrent vers le lac, la population de ce dernier pourrait être réduite d'une quantité correspondante. Par ailleurs, si l'on se base sur les estimations du nombre de poissons adultes de 1997 (environ 27 000), la population d'adultes (âge 4 ou plus), après le projet, devrait s'établir à environ 10 000 poissons, ce qui devrait être suffisant pour éviter les risques associés à une faible taille de population (Reed *et al.* 2003). Le nombre réduit de poissons qui seront recrutés dans le lac se traduira vraisemblablement par une meilleure croissance des poissons et une augmentation de la taille des adultes (Askey 2007). L'augmentation de la croissance peut également augmenter la survie des poissons dans le lac (Post *et al.* 1999), ce qui pourrait contrebalancer la réduction de la production de juvéniles.

Après l'aménagement du projet, les principales fonctions des deux cours d'eau tributaires concernant le maintien autosuffisant d'une population de truites arc-en-ciel seront les suivantes :

1. Offrir un environnement approprié pour le frai des truites arc-en-ciel adultes et le succès de l'incubation des œufs et des alevins.
2. Offrir un environnement approprié pour produire suffisamment de recrues d'âge 1 dans le lac, y compris des habitats estivaux et hivernaux.

Pour compenser la perte d'habitats de reproduction et de croissance dans la décharge, ainsi que la perte des cours supérieurs du ruisseau Fish et du tributaire 1, le promoteur propose de faire recirculer l'eau entre le lac et la limite supérieure des segments restants de ces tributaires. Comme le révèle notre examen, cette solution pourrait s'accompagner de risques importants pour la viabilité à long terme des fonctions des cours d'eau et la productivité de la population de truites arc-en-ciel, des risques qui ne sont pas recensés et qui ne sont pas complètement traités dans la documentation. Ces risques sont énumérés dans les sections ci-après.

Écoulement d'entretien dans le chenal

Il est bien connu que, pour maintenir les fonctions d'un cours d'eau, celui-ci doit afficher un débit élevé. Dans les réseaux non régulés, les hauts débits causés par les crues printanières ou les événements de précipitation mobilisent le lit des rivières, enlevant des sédiments fins ou des débris organiques accumulés. Cela permet de maintenir la qualité du lit pour l'incubation des œufs de salmonidés en restaurant la perméabilité du gravier, et offre un substrat approprié pour la production d'invertébrés qui sont les aliments de prédilection des jeunes poissons. La présence de matériel non comblé dans les cours d'eau leur offre également un couvert. Lorsque les événements de haut débit sont éliminés, la qualité du lit des cours d'eau peut se détériorer rapidement, ce qui réduit leur potentialité vis-à-vis de la production de poissons (Schmidt et Potyondy 2004). Hartman et Miles (2001) présentent de nombreux exemples de zones de reproduction artificielles de la truite arc-en-ciel qui se sont détériorées en raison de l'absence de hauts débits ou d'autres formes d'écoulement d'entretien. Des expériences semblables ont été documentées concernant des zones de reproduction d'autres espèces de salmonidés (p. ex. Pulg *et al.* 2013 et références citées à cet égard). Les mouvements et la redistribution de la charge de fond, les débris ligneux et le sapement des berges des cours d'eau durant les événements de haut débit créent également d'importantes structures d'habitat de croissance pour les juvéniles. Les

crues printanières sont également importantes pour l'entretien des zones riveraines et des habitats situés en dehors des chenaux. L'élimination des hauts débits peut également causer l'envahissement des chenaux des cours d'eau par la végétation ligneuse qui peut altérer les conditions présentées par les habitats.

On observe la présence de castors dans la vallée, des animaux qui contribuent à la création d'habitats formés de fosses et offrent vraisemblablement des zones d'hivernage aux truites juvéniles qui fréquentent le cours supérieur du ruisseau Fish. La production de poissons dans les cours d'eau qui abritent des castors se maintient grâce à l'équilibre entre la présence de très hauts débits au printemps, qui détruisent les barrages et chassent les sédiments accumulés, et les activités de restauration des populations de castors. En l'absence de hauts débits, les barrages construits par les castors peuvent rendre les tributaires impropres à la production de poissons en raison du blocage de l'accès aux géniteurs, et le dépôt de sédiments derrière les barrages peut se traduire par la perte d'habitats de reproduction. Les hauts débits interagissent également avec les barrages de castors pour inonder les zones riveraines et recharger des nappes phréatiques peu profondes (Westbrook *et al.* 2006). Cette dynamique peut être modifiée si les pics dans les conditions hydrographiques sont éliminés.

On trouvera à la figure 2.6.1.4B-4 une estimation d'un pic de débit dans le cours supérieur du ruisseau Fish, où le débit au début de mai 2007 était estimé à $3,0 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (débit unitaire de 75 L/s/km^2 , superficie du bassin hydrographique de $39,8 \text{ km}^2$). On ignore si ce débit était suffisant pour remplir une fonction d'entretien du chenal. Apparemment, nous ne disposons de données sur le débit que pour une année, mais l'analyse de l'hydrologie en 2007 donne à penser que des pics de débit décennaux de 150 à 200 L/s/km^2 peuvent se produire (Taseko 2009 vD4011 fig 4.8), correspondant à un pic de débit instantané de $6,8 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Ces débits sont bien supérieurs aux débits maximaux prévus dans le cours supérieur du ruisseau Fish ($0,45 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$) qui accompagneraient la mise en place du système de gestion de l'eau proposé.

On utilise parfois le débit à plein bord comme point de référence pour les débits d'entretien. Si l'on s'appuie sur une approche hydrologique régionale mise au point dans l'ouest du Montana (Lawlor 2004) et reposant sur la superficie d'un bassin hydrographique, on obtient une estimation de $1,33 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ pour le cours supérieur du ruisseau Fish. Des analyses propres au site devront être menées pour évaluer les débits nécessaires à la fonction d'entretien du chenal.

En résumé, l'absence de débits d'entretien du chenal risquerait grandement de se traduire par une détérioration de la productivité des habitats dans les entrées d'eau. Les expériences menées ailleurs donnent à penser que cela pourrait se produire rapidement.

Régime thermique

Les changements prévus dans la température de l'eau des cours d'eau résultant de la recirculation de l'eau entre le lac et l'entrée d'eau sont semblables à ceux que l'on observe dans les rejets qui se trouvent sous les barrages-réservoirs (Olden et Naiman 2009). L'inertie thermique du lac entraîne la présence d'eaux plus chaudes à l'automne et à l'hiver et plus froides au printemps et à l'été, comparativement aux températures de référence dans les cours d'eau. Bien que les températures se situent souvent à l'intérieur des tolérances thermiques qu'affichent les espèces, une modification du régime thermique peut avoir des répercussions sur les poissons qui fréquentent les cours d'eau et doit être considérée comme un risque.

L'analyse du régime thermique semble être reliée aux températures enregistrées dans le segment le plus bas du cours supérieur du ruisseau Fish, où se trouvent la station de surveillance et le barrage à poissons. Un gradient de température le long du cours d'eau peut exister, notamment en été où les débits sont faibles et les températures de l'air élevées. Ainsi, les températures de base au point de

brassage peuvent être plus faibles qu'indiqué à la figure 11, ce qui devrait introduire une légère erreur dans les prévisions.

Les rejets proposés causeront un refroidissement de la température d'environ 3 °C par rapport aux données de référence durant la période d'incubation des œufs de truite arc-en-ciel (figure 11 de 2.7.2.4B-D). Ces températures, qui seront enregistrées après le projet, entraîneront un retard dans l'éclosion. Les températures dans les habitats de croissance devraient être réduites en été et jusqu'au début du mois de septembre, ce qui pourrait influencer la croissance des poissons d'âge 0. En raison de ces changements, les poissons juvéniles risqueraient d'être de plus petite taille ou en plus mauvais état de santé avant l'hiver. La taille et l'état de santé peuvent être des facteurs importants contribuant à la survie à la période hivernale. Ces effets peuvent être légèrement compensés par des températures plus chaudes à la fin de l'automne, comparativement aux données de référence.

La recirculation de l'eau aura une incidence majeure sur les habitats de croissance hivernaux des cours d'eau. Bien que le cours supérieur du ruisseau Fish soit décrit comme affichant des débits éphémères (p. 6), des résultats de piégeages antérieurs nous montrent que de grands nombres de truites arc-en-ciel juvéniles ont migré du ruisseau vers le lac en juin et en juillet 1997 (Taseko 2009, v5d009). Cela donne à penser que la truite peut trouver des habitats de croissance convenables pour l'hiver, vraisemblablement des étangs de castor, potentiellement approvisionnés par des eaux souterraines. Une tentative plus récente pour documenter cette utilisation hivernale s'est soldée par un échec, mais l'échantillonnage était de portée limitée. Si nous ne connaissons pas les sources d'eaux souterraines, il est difficile de confirmer la répartition des poissons au moyen d'un échantillonnage aléatoire (Bradford *et al.* 2001).

Avec la diminution des débits de référence à l'automne, les températures chutent à 0 °C et la glace se forme sur les ruisseaux. L'augmentation du débit devrait entraîner une hausse des températures hivernales (figure 11), ce qui pourrait empêcher la formation d'une couche de glace à la surface des ruisseaux. La présence d'eaux libres peut exacerber la formation de frasil et de glace de fond, exposer les poissons aux prédateurs et créer des conditions difficiles sur le plan bioénergétique (voir Brown *et al.* 2011). Bien que les débits établis pour l'atténuation devraient refroidir les eaux qui se trouvent en aval des décharges, on ne sait pas où les poissons juvéniles se répartiront dans les cours d'eau, notamment entre les sections exemptes et celles couvertes de glace. L'incertitude concernant le cours supérieur du ruisseau Fish est particulièrement importante, car la production des poissons semble être soutenue par des sources d'eaux souterraines localisées.

Enfin, les températures de l'eau au printemps devraient être de deux à trois degrés Celsius inférieures aux données de référence (figure 11). À cette période de l'année, la croissance des juvéniles peut être rapide (Bradford *et al.* 2001) et la taille à l'entrée dans le lac confèrera vraisemblablement un avantage sur le plan de la survie (Post *et al.* 1999). L'eau de recirculation plus froide pourrait avoir une incidence sur la croissance et la survie par rapport aux conditions de référence.

En été, différents risques associés aux changements dans le régime thermique résultant de l'augmentation des débits pèsent sur les populations de poissons. Toutefois, ces risques peuvent être réduits au minimum si l'on fait en sorte que les températures des débits établis pour l'atténuation soient analogues aux températures de référence sur toute la longueur des tributaires.

Eutrophisation

Le pompage d'eau hypolimnique riche en éléments nutritifs du lac Fish aux entrées d'eau durant l'été aux fins de régulation de la température pourrait stimuler la productivité primaire (périphyton). Les concentrations d'orthophosphates dans les entrées d'eau durant la saison de croissance ont été estimées à 8 µg/L (Taseko 2012, vol. 2.7.2.4-BA, tableau 2), ce qui est bien inférieur aux concentrations hypolimniques dans le lac Fish, qui s'échelonnaient entre 77 et 205 µg/L en juillet

(figure 2 ci-après). L'amélioration de la productivité du périphyton pourrait se traduire par une augmentation de la production d'aliments pour les poissons, mais aussi par un changement dans la composition des espèces du périphyton. Elle pourrait également contribuer à l'accumulation et au dépôt de matières organiques dans le chenal des cours d'eau, menant à la détérioration des conditions du lit des rivières pour le frai et l'incubation des œufs, tel que mentionné ci-avant. On pourrait également observer des changements dans la forme et dans les espèces de phytoplancton si l'azote constitue un important facteur limitant découlant du pompage de l'eau du lac (voir la section sur le lac ci-après; Perrin et Richardson 1997). Aucune analyse n'est fournie concernant les effets des changements dans la chimie des éléments nutritifs. Toutefois, il semble que l'on dispose de données suffisantes pour effectuer une évaluation des risques.

Oxygène dissous

L'analyse des concentrations d'oxygène au point de rejet indique que la probabilité pour que les niveaux chutent sous les valeurs acceptables durant la plus grande partie de l'année est élevée. La période hivernale (figure 15) est sans doute trop brève, car l'appauvrissement associé à la présence de glace se produit vraisemblablement en décembre. Les données présentées à la figure 15 ne tiennent pas compte des concentrations d'oxygène ambiant dans les flux résiduels des deux tributaires, qui demeurent inconnues. Si l'on se fonde sur la production de juvéniles dans le cours supérieur du ruisseau Fish (Taseko 2009, v5d009), le chenal de ce dernier doit comporter des sources d'eau qui véhiculent suffisamment d'oxygène pour abriter des poissons. L'ajout d'eau de recirculation affichant de faibles concentrations d'oxygène pourrait entraîner une détérioration des conditions des cours d'eau par rapport à la ligne de référence.

Les éléments fournis à propos de l'atténuation des faibles concentrations d'oxygène dissous dans le système de recirculation sont insuffisamment détaillés. Étant donné que les cours d'eau sont de petite taille et que les durées de transit de l'eau sont brèves, il pourrait ne pas être suffisant de se fier à l'aération naturelle pour restaurer les concentrations d'oxygène dissous. En outre, l'aération durant les mois d'hiver exigerait des mesures pour éviter la surfusion et la création de frasil.

Changements dans la structure des communautés des cours d'eau et dans la production d'aliments

L'isolement proposé des zones des deux tributaires qui se trouvent en amont et le pompage des eaux du lac dans les cours d'eau sont des situations très semblables à celle de la création d'un petit bassin (barrage réservoir) et d'une décharge de débit régulé. Ces changements sont bien décrits par le Serial Discontinuity Concept (Ward et Stanford 1983) et dans un vaste ensemble de recherches à l'appui. Parmi les changements potentiels touchant les segments restants des cours d'eau figurent l'élimination des matières organiques particulaires, la présence de gros débris ligneux et de gravier et la dérive des invertébrés qui quittent les eaux d'amont pour peupler les habitats en aval et le lac.

Dans les cours supérieurs, les hauts débits mobilisent le gravier et maintiennent un apport de matières de taille convenable provenant des eaux d'amont dans les aires de reproduction des salmonidés. L'isolement des cours supérieurs des rivières par des obstacles (p. ex. des barrages) élimine ce recrutement. En conséquence, dans la plupart des systèmes régulés, les zones qui se trouvent sous les structures de contrôle des débits tendent à subir une érosion linéaire et à s'appauvrir en gravier. L'ampleur de la perte de gravier dépend du débit de pointe et de sa capacité à mobiliser le lit des rivières. Aucune analyse n'est fournie quant aux risques de perte de gravier, bien que le remplacement du gravier fasse partie de la liste des mesures d'atténuation établie dans la demande d'information (DI) n° 25i.

Le pompage de l'eau se traduira par l'introduction de zooplancton et de matières particulaires fines du lac aux cours d'eau, et ces changements (de même que ceux de la température et de la qualité de

l'eau) pourraient entraîner une réduction ou une modification des communautés d'invertébrés en aval de la décharge. Si des éléments nutritifs, des matières particulaires et des organismes sont extraits de l'eau en recirculation, les mesures d'atténuation proposées concernant les métaux (nanofiltration de l'eau en recirculation) toucheront les communautés halieutiques.

Habituellement, ces effets s'atténuent avec l'augmentation de la distance par rapport au point de régulation du débit. Il est impossible de prévoir si ces changements modifieront la capacité des cours d'eau résiduels de produire des truites arc-en-ciel juvéniles, mais ils devraient être considérés comme des facteurs de risque en raison de la faible longueur des tributaires résiduels.

Lac Fish

La productivité du lac dépend de nombreux facteurs abiotiques et biotiques, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur des écosystèmes lacustres (Wetzel 2001). La productivité du réseau trophique est étroitement liée à la disponibilité et aux proportions d'éléments nutritifs limitants (c.-à-d. phosphore et azote), à la luminosité pour ce qui est de la production autotrophe, au rendement des transferts d'énergie trophique (c.-à-d. algues → zooplancton ou benthos → poisson; qui sont fonction de l'abondance et de la composition des espèces de proies pour chaque niveau trophique), et aux paramètres de la qualité de l'eau (c.-à-d. température, pH, oxygène, contaminants) importants pour la persistance des espèces de poisson (Wetzel 2001; Kalff 2002). Les autres limitations directes et indirectes de l'habitat sur la productivité des pêches comprennent des facteurs qui agissent sur le succès reproducteur et la survie des individus et des populations, comme la disponibilité d'aires de reproduction convenables (c.-à-d. substrat, qualité de l'eau interstitielle), la disponibilité de l'oxygène dissous (c.-à-d. mortalité hivernale, hypoxie), les niveaux de contaminants létaux et sublétaux dans l'eau ou les sédiments, ainsi que les taux de prédation (Hartman et Miles 2001).

Recirculation des eaux du lac, éléments nutritifs limitants, état trophique du lac, écologie du lac et productivité des poissons

Les principaux éléments nutritifs limitant la productivité autotrophe dans les lacs (et donc la base de la productivité du réseau trophique pour les poissons) sont le phosphore (P) et l'azote (N) [Wetzel 2001; Kalff 2002]. Dans l'EIE et dans d'autres soumissions précédentes, le promoteur a caractérisé le lac Fish comme étant un système affichant une limitation chronique due au phosphore et applique un modèle de production de la biomasse du poisson interlacustre qui repose sur l'hypothèse d'une limitation de la production primaire par le phosphore (Plante et Downing 1993). La caractérisation simplifiée du lac Fish comme un écosystème dont le facteur limitant, au fil de la saison de croissance, est le phosphore, a été contestée par la Direction des sciences du MPO lors du processus d'examen du projet minier Prosperity de l'Agence canadienne d'évaluation environnementale (ACÉE) de 2009-2010 (documenté par le témoignage de D.T. Selbie dans la transcription des audiences de l'ACÉE, Mainland, 2010) et lors de l'examen des versions préliminaire et finale de l'EIE (MPO, 2012a, b). Les prévisions concernant la productivité future des pêches (p. ex. modèle de Plante et Downing 1993) et la qualité de l'eau sont directement subordonnées aux profils réels de limitation saisonnière par les éléments nutritifs dans le lac Fish. Ainsi, l'analyse suivante est axée sur ce que l'on connaît de la dynamique de l'azote et du phosphore dans l'écosystème, ce qui permettra de mieux étayer notre compréhension de la validité des modèles présentés dans l'EIE et d'acquiescer plus de confiance à l'égard des estimations de la production des pêches, si la recirculation des eaux du lac pour soutenir l'exploitation de la mine est autorisée.

Le facteur limitant (N ou P) dans les lacs fait généralement l'objet d'une évaluation par stœchiométrie élémentaire, comme la comparaison des rapports molaires de la teneur totale en azote sur la teneur totale en phosphore ($TN : TP_{\text{molaire}}$; Guildford et Hecky 2000; Davies *et al.* 2004). Guildford et Hecky (2000) définissent la productivité autotrophe comme étant pauvre en azote à $TN : TP_{\text{molaire}} < 20$, et une

croissance comme étant pauvre en phosphore à TN : $TP_{\text{molaire}} > 50$, avec un appauvrissement en azote ou en phosphore à des rapports s'échelonnant entre 20 et 50. Tandis que TN : TP_{molaire} est une mesure grossière de la pauvreté en éléments nutritifs et du facteur limitant, les espèces fixatrices de N et de P disponibles pour la production primaire (c.-à-d. inorganique c. organique et à séquestration biologique c. à fraction labile) sont d'une importance cruciale pour la production de biomasse aux niveaux trophiques supérieurs. En tant que telle, l'évaluation des concentrations de N et de P qui se résorbent en saison et qui sont biologiquement disponibles dans la colonne d'eau, en lien avec les processus physiques du lac (c.-à-d. la stratification thermique) est importante si l'on veut comprendre les effets de la disponibilité des éléments nutritifs sur la production primaire et, en dernier ressort, sur le réseau trophique et la productivité des pêches.

L'évaluation de la limitation causée par les éléments nutritifs dans le lac Fish, menée par le promoteur dans le cadre de l'EIE de 2012 à l'appui d'une modélisation de l'état trophique du lac, a reposé sur une stœchiométrie molaire avec un ratio de masse TN : TP appliquée à de nouveaux échantillons prélevés en 2011. À l'opposé d'un échantillonnage précédent (1993-2006; Taseko 2009), les échantillons chimiques de l'eau qui ont été prélevés en été 2011 ont concerné toute la colonne d'eau. On ne sait pas trop pourquoi cette approche a été suivie, car un tel échantillonnage ne reflète pas l'importante ontogénie saisonnière des variations spatiales affichées par la disponibilité des éléments nutritifs dans les lacs. Par comparaison, les données recueillies dans le cadre du projet, mesurées à partir d'échantillons distincts prélevés à des profondeurs particulières et qui, de ce fait, reflètent plus précisément la complexité spatiale et temporelle de la disponibilité des éléments nutritifs dans le lac Fish, n'ont pas été intégrées à cette analyse. Bien qu'une approche intégrée ciblant la colonne d'eau puisse nous donner une approximation de la disponibilité globale de N et P dans le lac, la limitation annuelle du réseau trophique (et, en conséquence, de la productivité des pêches) se produit généralement pendant la période de stratification exempte de glace, dans la couche euphotique biologiquement active (zone dans laquelle la pénétration de la lumière stimule la productivité primaire), et non tout au long de la colonne d'eau (Wetzel 2001; Selbie *et al.* 2011).

Dans le lac Fish, la zone euphotique est peu profonde (colorée par les matières organiques et affichant une turbidité biologique) et est, pour une grande partie, contenue dans l'épilimnion isolé durant la saison de croissance du fait de la densité de l'eau (Shortreed et Morton 2000). Comme le lac Fish subit une forte stratification durant une longue période, les eaux de surface affichent un appauvrissement en azote inorganique biologiquement disponible (c.-à-d. nitrates, nitrites, ammoniac) dans la zone euphotique au fil de la saison de croissance (figure 1A). Tandis que l'appauvrissement en nitrates de surface se produit dans des lacs de la C.-B. qui affichent différents états trophiques (Shortreed *et al.* 2001; Selbie *et al.* 2011), l'apparition précoce, la concentration et l'ampleur de l'appauvrissement en NO_3 dans le lac Fish sont importants (vraisemblablement en raison de l'abondance de phosphore biologiquement disponible sur toute la colonne d'eau [figure 2A-C]) et peuvent avoir une incidence sur le développement saisonnier d'un phytoplancton comestible et sur le transfert d'énergie vers des niveaux trophiques supérieurs où l'on retrouve la truite arc-en-ciel.

Plusieurs sources de données nous indiquent que le lac Fish connaît des conditions de pauvreté en azote pour la production primaire. De plus, le lac affiche des caractéristiques limnologiques qui pourraient exacerber les déficits en azote si la solution de recirculation des eaux hypolimnétiques vers les tributaires est adoptée (voir les sections qui suivent). Les données historiques fournies dans l'EIE d'origine (Taseko 2009) démontrent que les concentrations d'azote inorganique biologiquement disponible (p. ex. les nitrates, ou NO_3) se situent au niveau des limites de détection analytiques ou en dessous, tout au long de la colonne d'eau et durant toute la saison de croissance (c.-à-d. de mai à octobre, figure 1A-C). Ce profil donne à penser que l'azote pourrait être principalement séquestré dans le biote ou exister sous des formes non facilement disponibles dans le réseau trophique (c.-à-d. azote organique dissous). Tandis que la nitrification joue vraisemblablement un rôle de stimulation de la disponibilité de NO_3 , tel qu'énoncé par Shortreed et Morton (2000) et par le promoteur dans le DI n° 25,

les niveaux de chlorophylle *a* se trouvent sous les niveaux attendus compte tenu des concentrations ambiantes de phosphore (voir les modèles sur l'état trophique de l'EIE), et la présence documentée de proliférations de cyanobactéries fixant l'azote (p. ex. *Aphanizomenon flos-aquae*, *Anabaena* spp., *Anabaenopsis* spp.) en été et en automne (Morton et Shortreed 2000; Taseko 2009 [annexe 5-2-A]) donne à penser que le réseau trophique du lac Fish pourrait connaître des limitations en azote durant les périodes écologiquement importantes de la saison de croissance. Shortreed et Morton (2000) soulignent les conséquences éventuelles de la stimulation possible des cyanobactéries fixant l'azote sur la structure de l'écosystème et sur les caractéristiques physico-chimiques du lac.

« Un faible nombre de cyanobactéries fixant l'azote et dont la prolifération est possible (*Anabaena*, *Aphanizomenon* et *Anabaenopsis*) sont présentes dans le lac. Parmi ces espèces, seule *Anabaena* a été observée dans les échantillons provenant du lac Wasp, et aucune des trois n'a été observée dans les échantillons prélevés dans le lac Big Onion. Comme ces espèces sont normalement plus abondantes en été, on ne s'attendait pas à enregistrer un faible nombre d'individus au moment de l'échantillonnage. Cependant, le faible rapport entre l'azote et le phosphore et les concentrations élevées de phosphore dans les trois lacs donnent à penser que des proliférations estivales de ces cyanobactéries fixant l'azote nocives pourraient se produire si les conditions physiques le permettent. Si elles sont suffisamment importantes, ces proliférations pourraient entraîner une diminution de l'oxygène dissous et, ainsi, devenir un danger tant pour les populations de poissons du lac que pour les animaux qui utilisent le lac comme source d'eau ». (Shortreed et Morton 2000).

Contrairement à la disponibilité saisonnière de l'azote, le phosphore biologiquement disponible (p. ex. les orthophosphates, ou PO_4), que le promoteur juge comme étant un élément nutritif limitant pour le réseau trophique, est abondant durant toute la saison de croissance et dans toute la longueur de la colonne d'eau. Bien qu'une certaine diminution des orthophosphates épilimnétiques puisse avoir lieu durant l'été (figure 2A), les concentrations de PO_4 dans le métalimnion et l'hypolimnion augmentent au fur et à mesure que la saison de croissance se déroule (figure 2B, C), vraisemblablement en raison des charges intérieures en phosphore des sédiments dans les conditions annuelles de désoxygénation hypolimnétique.

Les données recueillies par le promoteur au cours de ses échantillonnages de juillet et d'octobre 2006, qui ne semblent pas avoir été utilisées dans la modélisation de la qualité de l'eau qui a été soumise, démontrent que les valeurs de $TN : TP_{\text{moltaire}}$ s'échelonnent de 7,39 à 91,1 (données tirées de Taseko 2009), ce qui indique une qualité de l'eau allant de très pauvre en azote à très pauvre en phosphore pour la production autotrophe. Une piètre répétabilité des données, toutefois, ainsi qu'un haut degré de variabilité parmi les données issues de sites d'échantillonnage relativement rapprochés se traduisent par une forte variabilité des valeurs de $TN : TP_{\text{moltaire}}$ disponibles pour l'évaluation de la limitation causée par les éléments nutritifs (données de 2006; Taseko 2009, tableau 1). Cette faible répétabilité des données; de même que l'impossibilité d'intégrer la disponibilité des éléments nutritifs qui se résorbent dans l'espace au modèle de la qualité de l'eau utilisé dans l'EIE de 2012, réduisent de façon notable la confiance que l'on peut accorder à la caractérisation faite par le promoteur de la dynamique saisonnière des éléments nutritifs dans le lac Fish, ainsi qu'à l'évaluation et au contrôle de la qualité afférents aux données sur la chimie de l'eau, des données qui sont nécessaires si l'on veut gérer de façon adaptative le projet proposé en utilisant des indicateurs de la composition chimique de l'eau.

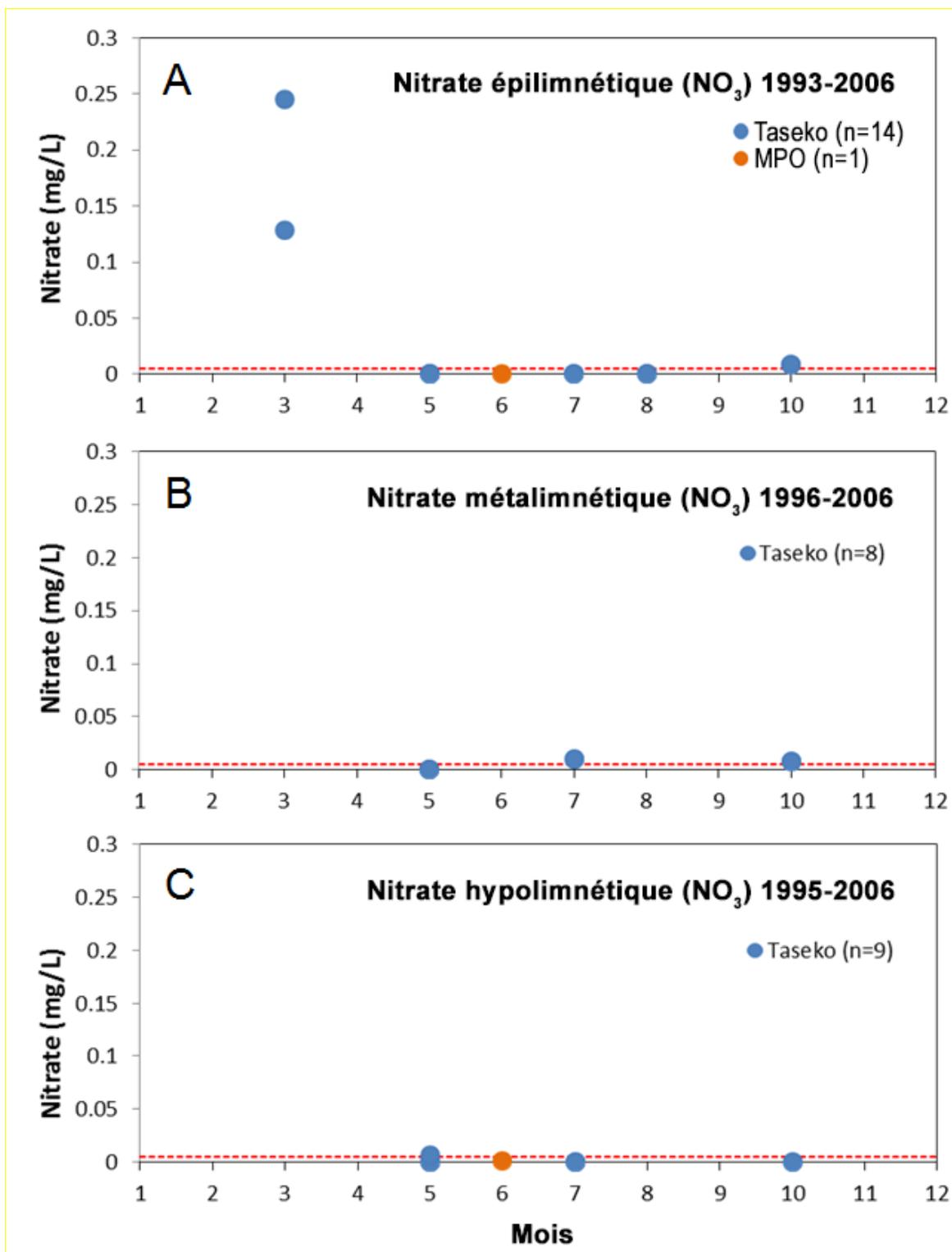


Figure 1 : Accumulation saisonnière d'azote des nitrates (NO₃) dans le lac Fish, en Colombie-Britannique, dans A) l'épilimnion, B) le métalimnion, et C) l'hypolimnion. Données tirées de Taseko (2009, 2012) et Shortreed et Morton (2000). La ligne tiretée rouge indique la limite de détection analytique de NO₃. Remarquez l'appauvrissement total en NO₃ au fil de la saison de croissance et à toutes les profondeurs des lacs.

Tableau 1 : évaluation reposant sur TN : TP_{molaire} de la limitation de la productivité par les éléments nutritifs dans le lac Fish d'après des données recueillies par le promoteur (Taseko 2009).

Date de l'échantillonnage	Échantillonneur	TN (mg/L)	TP (mg/L)	Profondeur (m)	Station	TN : TP _{molaire}	Remarque
23/05/2006	Taseko	0,79	0,0026	0,5	U1-1	671,90	Piètre répétabilité
		0,79	0,0212	0,5	U2-1	82,40	
23/05/2006	Taseko	0,79	0,0049	5	U1-2	356,52	Piètre répétabilité
		0,82	0,0293	5	U2-2	61,89	
23/05/2006	Taseko	1,32	0,0915	10	U1-3	31,90	Piètre répétabilité
		0,98	0,105	10	U2-3	*20,64	
04/07/2006	Taseko	0,84	0,0256	0,5	U1-1	72,56	Piètre répétabilité
		0,82	0,0199	0,5	U2-1	91,12	
04/07/2006	Taseko	0,79	0,0216	5	U1-2	80,88	
		0,81	0,0241	5	U2-2	74,32	
04/07/2006	Taseko	1,03	0,288	10	U1-3	*7,91	
		1,07	0,32	10	U2-3	*7,39	
01/10/2006	Taseko	0,795	0,0414	0,5	U1-1	42,46	Piètre répétabilité
		0,908	0,0844	0,5	U2-1	23,79	
01/10/2006	Taseko	1,26	0,0376	5	U1-2	74,10	Piètre répétabilité
		0,958	0,0431	5	U2-2	49,15	
01/10/2006		1,54	0,302	10	U1-3	*11,28	
		1,27	0,199	10	U1-3	*14,11	

* indique une incidence de pauvreté en azote inférée (TN : TP_{molaire} ≤ 20) pour la production autotrophe.

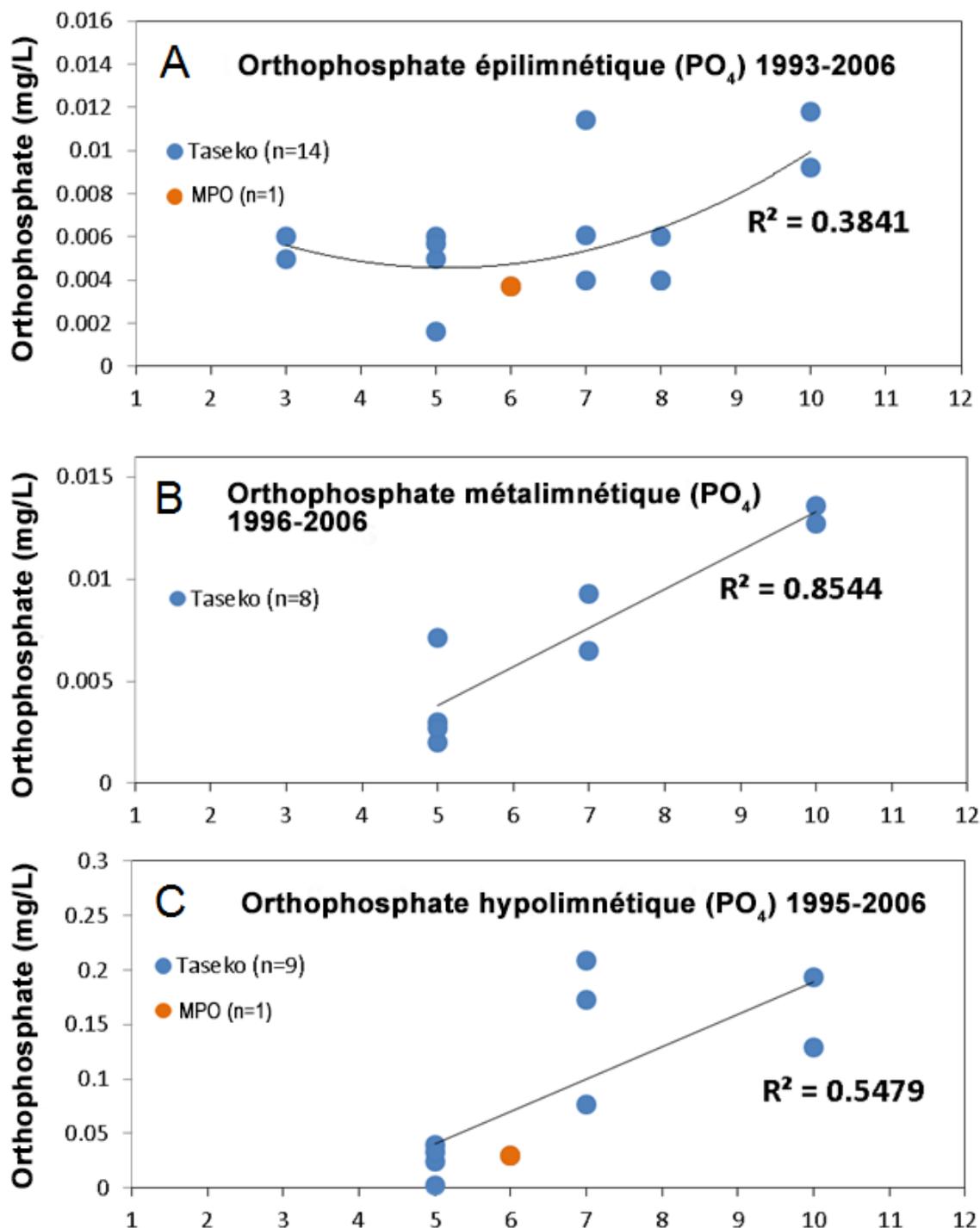


Figure 2 : Accumulation saisonnière de phosphore sous forme d'orthophosphates (PO_4) dans le lac Fish, en Colombie-Britannique, dans A) l'épilimnion, B) le métalimnion, et C) l'hypolimnion. Données tirées de Taseko (2009, 2012) et Shortreed et Morton (2000). Remarquez l'augmentation des concentrations en PO_4 dans toutes les strates au fil de la saison de croissance. Une courbe non linéaire a été ajustée aux données épilimnétiques, du fait que des données sur PO_4 sont disponibles pour l'automne et l'hiver et que les valeurs devraient augmenter avec le brassage dans le lac.

Malheureusement, il n'existe pas de précédent de recirculation d'eau dans le bassin hydrographique d'un lac qui nous aiderait à comprendre les effets potentiels de la mine New Prosperity sur le réseau trophique et la productivité des pêches futurs dans le lac Fish. Ainsi, les modèles de qualité de l'eau et de production de poissons qui caractérisent avec précision les limitations réelles touchant le réseau trophique (azote, phosphore ou les deux) au fil de la saison de croissance, qui permettent de quantifier la dynamique du cycle des éléments nutritifs dans le lac et d'effectuer des prévisions suffisantes, sont essentiels si l'on veut comprendre les changements de l'état trophique du lac Fish en vertu du scénario de recirculation proposé. Dans la DI n° 25, le promoteur indique que l'on ne s'attend pas à une limitation par l'azote, mais que, si celle-ci devait se produire, elle pourrait être corrigée par une réponse biologique, comme suit :

« Dans l'ensemble, le processus de recirculation de l'eau devrait favoriser une diminution de TN : TP; toutefois, nous estimons que cette diminution sera corrigée dans le lac Fish, grâce au processus de nitrification par les algues... »

Bien que les données factuelles susceptibles d'étayer cette *croyance* dans l'EIE de 2012 et dans les DI subséquentes soient limitées, et bien que la nitrification ne se produise pas principalement par les algues (mais plutôt par des bactéries), une certaine quantité d'azote biodisponible devrait se régénérer par la nitrification d'azote organique et, partiellement, par l'intermédiaire de l'« inétanchéité » des cyanobactéries fixant l'azote. Toutefois, étant donné les concentrations de phosphore ambiant, les concentrations relativement faibles de chlorophylle *a* dans le lac Fish n'indiquent pas que ces processus sont, à l'heure actuelle, adéquats pour compenser la limitation saisonnière de la production primaire par l'azote dans l'état actuel du lac, et soulève des incertitudes quant à la capacité de « correction interne » en vertu du régime de recirculation proposé. Plus encore, les effets directs de la limitation par l'azote ne sont pas les seules incidences sur le réseau trophique. Si des proliférations de cyanobactéries fixant l'azote se produisaient ou s'accroissaient durant la saison de croissance, il pourrait en résulter un ombrage du phytoplancton comestible plus important sur le plan énergétique, ce qui intensifierait la réduction de la production primaire, de la biomasse de phytoplancton comestible et des caractéristiques du réseau trophique qui sont soutenues (c.-à-d. la truite arc-en-ciel).

Dans l'EIE de 2012 (série des mesures d'atténuation à appliquer dans le lac Fish), le promoteur a proposé la mise en place d'un système de recirculation qui opèrerait un retrait de l'eau en plusieurs endroits et à plusieurs profondeurs et qui brasserait les eaux hypolimnétiques froides avec les eaux de surface plus chaudes pour faire en sorte que les habitats d'incubation et de croissance dans les tributaires affichent une température optimale pour la truite arc-en-ciel. Bien que conçu pour réguler la température de l'eau, le scénario de la recirculation soulève des incertitudes quant à son incidence sur le cycle des éléments nutritifs et sur le réseau trophique lacustre abritant la truite arc-en-ciel, car les effets sur le cycle des éléments nutritifs ne semblent pas avoir été pris en compte. Par exemple, comme mentionné dans le tableau 1 (échantillonnage mené par le promoteur en 2006), les eaux hypolimnétiques du lac Fish affichent de façon constante des valeurs de TN : TP_{moltaire} qui indiquent un sérieux déficit en azote pour la production autotrophe. La recirculation d'eaux hypolimnétiques très chargées en phosphore et pauvres en azote dans l'épilimnion durant l'été pose le risque de réduire la disponibilité de l'azote pour le phytoplancton durant la saison de croissance, et accroît la probabilité de stimuler des proliférations de cyanobactéries dans le lac Fish, avec les conséquences écologiques néfastes, tant structurelles que fonctionnelles, qui peuvent en découler (*voir* les sections précédentes). De plus, alors que le changement climatique se fait sentir dans la région (+2°C d'ici les années 2050, DI n° 18), le promoteur a indiqué que la dérivation d'eau hypolimnétique dans les flux entrants est une stratégie d'atténuation qui vise à combattre le réchauffement de la température des cours d'eau et à améliorer leur stratification. Cependant, une telle recirculation devrait s'accompagner du déversement plus conséquent d'une eau hypolimnétique pauvre en azote dans la zone euphotique (DI n° 18). Bien que l'on ne sache pas quels volumes d'eau devront être dérivés, les efforts que l'on déploiera à ce

chapitre pourraient intensifier la pauvreté en azote de la zone euphotique du lac Fish et restructurer le réseau trophique d'une manière qui n'est pas propice à la productivité de la truite arc-en-ciel.

La qualité des données de sortie du modèle est subordonnée à la qualité et à la représentativité des données d'entrée. On fait remarquer que les données d'entrée concernant les composés azotés (c.-à-d. TN, NO₃) dans le modèle de la qualité de l'eau (modèle BATHTUB), tant pour l'EIE que, par la suite, pour la DI n° 19, sont maintenues constantes au fil de la saison. Ainsi, les nitrates prévus NO₃ (fraction azotée facilement biodisponible) dans l'EIE et les prévisions du TN dans la DI n° 19 affichent une variabilité saisonnière des plus faibles. En outre, les prévisions des concentrations de NO₃ à toutes les phases d'aménagement et d'exploitation de la mine et pour tous les mois prévus (voir l'EIE) n'affichent aucune différence appréciable entre les couches épilimniques et hypolimniques. Les données limitées sur la composition chimique de l'eau présentées par le promoteur, les mieux représentées par les concentrations épilimniques de NO₃ montrées à la figure 1A, donnent à penser que le manque de variabilité qui touche la disponibilité prévue des éléments nutritifs ne reflète pas la disponibilité annuelle réelle du NO₃, qui est vraisemblablement d'une importance cruciale pour la productivité future du réseau trophique dans le lac Fish. Associée au manque de confiance du promoteur à l'égard des prévisions concernant les concentrations d'azote qui découlent de ses propres efforts de modélisation (voir la DI n° 19), l'incapacité de représenter la disponibilité saisonnière actuelle de l'azote et de prévoir avec précision la variabilité future des éléments nutritifs compromettent gravement la confiance que l'on peut accorder aux prévisions énoncées dans l'EIE de 2012 concernant la productivité future des poissons dans le lac Fish.

L'analyse précédente souligne l'importance de la disponibilité saisonnière de l'azote pour la productivité du réseau trophique dans le lac Fish ainsi que les incertitudes qui entourent la dynamique future de l'écosystème si l'on adopte le scénario de recirculation proposé. Malgré tout, le promoteur a réalisé des prévisions de la biomasse des poissons à l'aide d'un modèle qui associe le phosphore total (TP) à cette biomasse (Plante et Downing 1993). Les concentrations de chlorophylle *a* par rapport aux concentrations ambiantes du TP dans le lac Fish donnent à penser qu'un modèle reposant sur la biologie (c.-à-d. le phytoplancton) pourrait peut-être être plus approprié qu'un modèle utilisant des composés chimiques comme variables prédictives. En réalité, le modèle de Plante et Downing (1993) affiche un faible pouvoir de prédiction ($r^2 = 0,61$) et, ainsi, les prévisions qui en découlent s'accompagnent d'une plus grande incertitude que celles provenant de modèles qui utilisent la productivité primaire (c.-à-d. les taux de photosynthèse) comme prédicteur de la biomasse des poissons (p. ex. Downing et al. 1990, $r^2 = 0,79$); Plante et Downing 1993, $r^2 = 0,68$), et Hume *et al.* 1996; $r^2 = 0,86$). Étant donné la place qu'occupent ces modèles dans la littérature scientifique, on ne sait pas pourquoi le promoteur; durant une décennie de collecte de données précédant la diffusion de l'EIE de 2012, n'a pas recueilli de données sur le taux de photosynthèse pour étayer ses analyses.

En fin de compte, on ne sait pas si la caractérisation limnologique effectuée pour le lac Fish et les prévisions de la biomasse des poissons fondées sur des limitations chroniques du réseau trophique attribuées au phosphore sont suffisamment précises pour que l'on puisse prévoir avec confiance les changements qui toucheront le lac Fish. De plus, comme l'indique le promoteur, ses propres prévisions de la dynamique future de l'azote dans le lac Fish sont frappées d'une grande incertitude (voir la DI n° 19). En conséquence, on ne sait pas de quelle manière la recirculation de l'eau dans le lac Fish aura une incidence sur le cycle de l'azote dans le lac et son bassin hydrographique (en dépit de la DI n° 19). D'après les données dont nous disposons actuellement, cet effort pourrait aggraver la pauvreté en azote de la zone euphotique du lac Fish, entraînant ainsi une diminution de la productivité des poissons à cause de la réduction de la productivité du réseau trophique lui-même ou d'une restructuration trophique.

Mesures d'atténuation pour protéger l'écologie aquatique du lac Fish

L'EIE indique que des mesures d'atténuation seront prises pour protéger la qualité de l'eau, de façon à compenser toute augmentation des concentrations de phosphore dans le lac Fish et à atténuer son incidence sur la productivité du lac. En règle générale, les méthodes d'atténuation proposées pour réduire le phosphore (c.-à-d. aération hypolimnique, ajout d'alun pour précipiter P) sont des pratiques de gestion des lacs acceptées lorsque ces derniers sont soumis à une eutrophisation culturelle. Le promoteur fait état de taux de phosphore « de déclenchement ou d'alerte » dont le dépassement déclenche des mesures d'atténuation actives. En se fondant sur la fourchette des concentrations de phosphore de référence (15-42 µg/L) qui a été déclarée, le promoteur a calculé les concentrations critiques à partir desquelles des mesures d'atténuation sont mises en place comme dépassant 22 à 63 µg/L (à peu près 50 % de plus que les concentrations de référence). La fourchette des concentrations de « déclenchement » utilisées est cependant vaste et transcende plusieurs catégories d'état trophique. On ne sait pas quelle concentration critique de phosphore entraînerait la prise de mesures d'atténuation, notamment parce que les conditions de référence chevauchent la fourchette de seuil prévue. Pour traiter cette question, la commission d'examen de l'Agence canadienne d'évaluation environnementale a demandé que l'on détaille davantage la définition des seuils donnée dans la DI n° 49.

Le promoteur a élaboré des indicateurs primaires (c.-à-d. TP, chlorophylle *a*, profondeur d'après le disque de Secchi, oxygène dissous) et secondaires (c.-à-d. métaux, sulfates) clés de la « santé du lac ». Les indicateurs primaires clés, qui visent à déceler l'eutrophisation, ont été établis aux niveaux seuils « indication », « alerte » et « intervention » qui représentent respectivement 15, 35 et 50 % des niveaux de référence. Bien qu'une approche plus proactive ait été proposée avant la phase de délivrance du permis, on ne sait pas quels effets les seuils inférieurs au déclenchement de mesures d'atténuation touchant la progression de l'eutrophisation auront sur la structure et les fonctions de l'écosystème lacustre. Par exemple, où commencent les effets écologiques et, en dernière analyse, les incidences sur la productivité de la truite arc-en-ciel d'une élévation du TP de 35 à 52,5 µg/L? De plus, les délais de l'atténuation de l'eutrophisation (c.-à-d. l'aération ou l'oxygénation hypolimnétique) sont présentés comme étant de six mois à un an. Si l'eutrophisation renforce rapidement l'appauvrissement de la couche hypolimnétique ou la diminution des concentrations d'oxygène sous la glace, ces délais sont-ils réalistes si l'on veut prévenir la mortalité hivernale qui touche la population de truites arc-en-ciel du lac Fish? En outre, si de telles conditions renforcent une capacité de charge interne rapide des éléments nutritifs, le changement dans les concentrations de TP et les effets sur le réseau trophique pourraient se faire sentir plus rapidement. En définitive, on ne sait pas si le plan de gestion adaptative proposé par le promoteur est suffisamment réactif pour tenir compte de changements de l'état d'eutrophisation qui sont causés par une réponse de charge interne non linéaire.

Dans la DI n° 49, de nouvelles mesures d'atténuation sont proposées concernant la contamination anticipée de l'eau par des métaux, des mesures qui prévoient la nanofiltration (NF) à des taux extrêmement élevés (environ 8 000 L/min) de grands volumes d'eau du lac. La nanofiltration de l'eau vise à enlever les ions de charges multiples, mais aussi, on le présume, des matières particulaires comme des débris organiques en suspension et du seston. Cette approche nouvelle suscite des questions quant à l'incidence de la filtration de l'eau sur les organismes planctoniques ainsi que sur le recyclage des matières détritiques et des organismes trophiques. Si le recyclage de l'azote dans la colonne d'eau est important pour la disponibilité de cet élément nutritif, comme l'indique le promoteur (DI n°s 19 et 25), la filtration continue de l'eau du lac pourrait avoir une incidence supplémentaire sur la disponibilité de l'azote dans le lac. Comme on n'a pas analysé les interactions entre la filtration de l'eau et la disponibilité des éléments nutritifs, la filtration de l'eau du lac soulève des incertitudes considérables quant à la dynamique future des éléments nutritifs dans le lac Fish.

De la même manière, la contamination des sédiments du lac devrait faire l'objet de mesures d'atténuation reposant aussi sur la nanofiltration (DI n° 49). Peu de détails logistiques ont été fournis concernant cette approche. On ne sait pas comment les sédiments pourraient être enlevés en vue de leur filtration, pas plus qu'on ne connaît leur devenir après cette opération. On ne sait pas non plus dans quelle zone cette technique devrait être appliquée. Nous avons besoin d'une proposition plus détaillée si nous voulons évaluer les incidences potentielles de la filtration des sédiments sur la faune qui est soutenue par le substrat, sur la turbidité du lac, sur les éléments nutritifs séquestrés dans les sédiments et sur la remobilisation des contaminants, car de tels changements pourraient entraîner de nouvelles incidences négatives sur l'habitat du poisson.

L'atténuation ou, du moins, le retardement de l'eutrophisation du lac Fish pourrait être possible compte tenu des techniques d'atténuation proposées pour réduire les teneurs en éléments nutritifs et pour améliorer l'oxygénation. De grandes incertitudes persistent, cependant, concernant les habitats pour lesquels des mesures d'atténuation ne sont pas déclenchées et les effets de l'eutrophisation du lac Fish sur la productivité des pêches. De même, on ne sait pas si les délais d'assainissement (c.-à-d. des mois ou des années) permettent la persistance d'une population de truites arc-en-ciel (c.-à-d. aggravation de la pauvreté en oxygène et mortalité hivernale avant que des mesures d'atténuation n'aboutissent). Une gestion adaptative couronnée de succès devrait être directement subordonnée au déploiement d'efforts de surveillance d'une durée, d'une ampleur et d'une qualité suffisantes.

De nouveaux efforts en matière d'atténuation sont proposés dans la DI n° 49 pour traiter le problème de la contamination de l'eau et des sédiments par des métaux. Clairement, ces mesures soulèvent des incertitudes quant aux effets de leur interaction avec le plancton et avec le recyclage des éléments nutritifs, et quant à leurs incidences physiques sur le benthos, la turbidité de l'eau et les flux d'éléments nutritifs entre les sédiments et l'eau.

Conclusions

L'EIE de 2012 repose sur un projet qui a déjà été soumis à l'ACEE et qui a été considéré, par une commission d'examen fédérale et le gouvernement du Canada, comme susceptible d'entraîner d'importants effets environnementaux néfastes; sa mise en œuvre n'a donc pas été approuvée. La configuration de la mine New Prosperity a été modifiée dans le nouveau plan afin d'éviter la destruction immédiate du lac Fish aux fins de création d'un bassin de décantation. Selon la configuration de la mine New Prosperity, le bassin hydrographique du lac Fish devrait être considérablement modifié, ce qui nécessiterait de très importants travaux d'ingénierie pour préserver les débits et les niveaux du lac. Bien que, comme le fait remarquer le promoteur dans l'EIE de 2012, l'aménagement et l'exploitation de la mine n'entraîneraient pas la destruction directe du lac Fish, elles finiraient par conduire à son eutrophisation et à sa contamination.

Tributaires

Si l'on vise une population de truites arc-en-ciel viable et autosuffisante dans l'écosystème du lac Fish, les deux tributaires doivent offrir des habitats de reproduction et de croissance suffisamment productifs pour abriter cette population.

Au cours de l'examen, nous avons relevé un certain nombre de facteurs de risque qui sont associés à l'isolement des eaux d'amont et la recirculation de l'eau dans les segments restants des tributaires de reproduction et de croissance du lac Fish. Bon nombre de ces facteurs sont très semblables à ceux relevés pour la régulation de l'eau et les projets de dérivation. L'EIE mentionne la nécessité d'atténuer certains de ces effets (éléments nutritifs, température, oxygène dissous), mais peu de détails sont fournis. Alors que, pour une grande partie, l'accent est mis sur les mesures d'atténuation et le programme de gestion adaptative proposés par le promoteur pour le lac Fish lui-même, le but qui

consiste à maintenir un écosystème viable pour la population de truites arc-en-ciel qui fréquente le lac Fish ne pourra pas être atteint si l'on ne met pas en place un programme semblable pour les tributaires.

La DI n° 25*i* et *j* offre certains détails concernant le plan de surveillance et de gestion adaptative de l'écosystème du lac Fish ainsi qu'une liste d'indicateurs de surveillance potentiels et de mesures d'atténuation pour les tributaires. Cependant, un certain nombre de risques qui sont relevés dans ce document ne sont pas traités, et les différentes demandes d'information et demandes d'information supplémentaire n'offrent que très peu de détails à partir desquels juger du bien-fondé d'une approche de gestion adaptative des tributaires.

Lac Fish

La recirculation des eaux dans le bassin hydrographique du lac Fish, qui devrait appuyer l'exploitation de la mine, imposera plusieurs changements à l'écologie aquatique du lac. De façon générale, on s'attend à une eutrophisation du réseau, qui pourrait modifier les aspects structurels et fonctionnels de l'écosystème soutenant la monoculture de la truite arc-en-ciel.

Le promoteur a tenté de prévoir la qualité de l'eau et la productivité des pêches futures dans le lac Fish selon un scénario de recirculation de l'eau. Comme il en est fait mention dans deux documents du MPO (2012a, b) et dans la présente réponse des Sciences, on se préoccupe du fait que les incidences actuelles et futures de la pauvreté en azote sur la productivité des écosystèmes pourraient être plus importants qu'ils n'ont été caractérisés par le promoteur dans l'EIE de 2012 et dans les DI subséquentes. On conclut que le scénario de la recirculation pourrait exacerber les limitations actuelles imposées par l'azote sur la production du réseau trophique dans le lac Fish, en faisant recirculer des eaux hypolimnétiques pauvres en azote dans les entrées d'eau afin de maintenir les débits dans les habitats lotiques de reproduction et de croissance, et de combattre les incidences anticipées des changements climatiques sur les habitats lotiques et lentiques du bassin hydrographique ainsi manipulé. Les données d'entrée dans les modèles actuels de la qualité de l'eau ne permettent vraisemblablement pas de se représenter la variabilité saisonnière réelle de la disponibilité de l'azote dans le lac Fish au fil de la saison de croissance, ce qui atténue nécessairement la variabilité des prévisions futures de la composition chimique de l'eau. Tandis que les prévisions de la biomasse future des poissons dans le lac Fish reposent sur un modèle qui présume la limitation par le phosphore (c.-à-d. Plante et Downing 1993), la dynamique future de l'azote dans le réseau est d'une importance cruciale pour l'abondance et la biomasse futures de la truite arc-en-ciel dans le lac Fish. Actuellement, des incertitudes importantes entourent les prévisions de la productivité des pêches.

Plusieurs cas de piètre répétabilité des données sont relevés dans les données antérieures (Taseko 2009) et démontrent un manque de représentativité des échantillons prélevés par le promoteur pour évaluer la composition chimique de l'eau. Cette situation compromet l'évaluation de la complexité spatiale et temporelle de l'effet limitant des éléments nutritifs dans le lac (*voir* le tableau 1). Ces questions d'assurance de la qualité (AQ) et de contrôle de la qualité (CQ) suscitent des préoccupations et soulèvent des incertitudes importantes quant à la probabilité qu'une surveillance adéquate soit menée dans le but de mettre en œuvre efficacement le plan de gestion adaptative (PGA) proposé et d'atténuer les changements inattendus sur l'écosystème, car le PGA repose largement sur des indicateurs clés de la qualité de l'eau. En outre, les incidences écologiques des changements qui entrent dans les catégories de non-déclenchement d'une intervention (c.-à-d. niveaux d'indication et d'alerte) sur la qualité des habitats, le réseau trophique et la productivité des pêches demeurent inconnus et soulèvent des incertitudes quant aux répercussions de l'eutrophisation sur la population de truites arc-en-ciel. De plus, dans la DI n° 25, le promoteur décrit de nouvelles approches de filtration pour atténuer la contamination de l'eau et des sédiments par des métaux. Comme on l'a fait remarquer, aucune évaluation n'a été menée sur les incidences potentielles de ces approches sur la qualité de

l'eau, en dépit des répercussions potentiellement importantes sur la qualité des habitats de la truite arc-en-ciel (c.-à-d. cycle des éléments nutritifs, turbidité, filtration du seston).

Finalement, comme on l'a fait remarquer, un certain nombre de risques associés au scénario de recirculation proposé n'ont pas été traités dans l'EIE de 2012 ou dans les DI subséquentes. Ces risques soulèvent des incertitudes importantes quant à la qualité de l'habitat et la productivité des pêches futures dans le lac Fish si la mine était exploitée. La capacité du réseau du lac d'abriter une population de truites arc-en-ciel autosuffisante est également très incertaine.

Collaborateurs

Nom	Affiliation
Daniel T. Selbie	Secteur des sciences du MPO, région du Pacifique
Michael J. Bradford	Secteur des sciences du MPO, région du Pacifique
Erland A Maclsaac (réviseur)	Secteur des sciences du MPO, région du Pacifique
Marilyn Hargreaves (rédactrice)	Secteur des sciences du MPO, région du Pacifique

Approuvé par :

Mark Saunders, gestionnaire
Division du saumon et des écosystèmes d'eau douce
Secteur des sciences du MPO, région du Pacifique
Nanaimo (Colombie-Britannique)

Le 10 juillet 2013

Sources de renseignements

- Askey, P.J. 2007. Towards optimal management of spatially-structured recreational fisheries: linking ecology and angler dynamics in British Columbia rainbow trout lakes, Thèse de doctorat, Université de Calgary
- Bradford, M.J., Moodie, S. et Grout, J. 2001. Use of a small non-natal stream of the Yukon River by juvenile chinook salmon, and the role of ice conditions in their survival, *Journal canadien de zoologie*, 2043-2054
- Brown, R.S., Hubert, W.A. et Daly, S.F. 2011. A primer on winter, ice and fish: what fisheries biologists should know about winter ice processes and stream-dwelling fish, *Fisheries*, 36(1):8-26
- Davies, J-M., Nowlin, W.H. et Mazumder, A. 2004. Temporal changes in nitrogen and phosphorus codiciency of plankton in lakes of coastal and interior British Columbia, *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques*, 61:1538-1551
- Downing, J.A., Plante, C. et S. Lalonde. 1990. Fish production correlated with primary productivity, not the Morphoedaphic Index, *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques*, 47:1929-1936
- Guildford, S.J. et Hecky, R.E. 2000. Total nitrogen, total phosphorus, and nutrient limitation in lakes and oceans: Is there a common relationship? *Limnology and Oceanography*, 45:1213-1223
- Hartman, G. et Miles, M. 2001. Assessment of techniques for rainbow trout transplanting and habitat management in British Columbia, *Rapport manuscrit canadien des sciences halieutiques et aquatiques*, 2562: 135 p.
- Hume, J.M.B., Shortreed, K.S. et Morton, K.F. 1996. Juvenile sockeye rearing capacity of three lakes in the Fraser River system, *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques*, 53:719-733
- Kalff, J. 2002. Limnology: inland water ecosystems. Prentice-Hall Inc., Upper Saddle River, NJ, États-Unis. 592 p.
- Lawlor, S.M. 2004. Determination of channel-morphology characteristics, bankfull discharge, and various design-peak discharges in western Montana, US Geological Survey Scientific Investigations Report. 2004-5263
- Mainland Reporting Services Inc. 2010. Prosperity Gold-Copper Mine Project, Comptes rendus des audiences publiques de la commission d'examen fédérale, Séance sur le sujet, 28 avril 2010, vol. 31: 6055-6367.
- MPO. 2012a. Examen du caractère suffisant de l'information sur la productivité du lac contenue dans l'énoncé des incidences environnementales du projet de mine d'or et de cuivre New Prosperity, Secr. can. de consult. sci. du MPO. Rép. des Sci. 2012/39 6 p.
- MPO. 2012b. Examen de suffisance de l'ébauche de renseignements sur la productivité du lac soumise en lien avec le projet de mine de cuivre et d'or New Prosperity, Secr. can. de consult. sci. du MPO. Rép. des Sci. 2012/40 6 p.
- Olden, J.D. et Naiman, R.J. 2009. Incorporating thermal regimes into environmental flows assessments: modifying dam operations to restore freshwater ecosystem integrity, *Freshwater Biology*, 55:86-107
- Perrin, C.J. et Richardson, J.S. 1997. N and P limitations of benthos abundance in the Nechako River, British Columbia, *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques*, 54:2574-2583

- Plante, C. et Downing, J.A. 1993. Relationship of salmonine production to lake trophic status and temperature, *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques*, 50:1324-1328
- Pulg, U., Barlaup, B.T., Sternecker, K., Trepl, L. et Unfer, G. 2013. Restoration of spawning habitats in a regulated chalk stream, *River Research and Applications*, 29:172-182
- Reed, D.H., O'Grady, J.J., Brook, B.W., Ballou, J.D. et Frankham, R. 2003. Estimates of minimum viable population sizes for vertebrates and factors influencing those estimates, *Biological Conservation*. 113:23-34
- Schmidt, L.J. et Potyondy, J.P. 2004. Quantifying channel maintenance instream flows: an approach for gravel-bed streams in the Western United States, rapport technique général, RMRS-GTR-128, Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 33 p.
- Selbie, D.T., Sweetman, J.N., Etherton, P., Hyatt, K.D., Rankin, D.P., Finney, B.P. et Smol, J.P. 2011. Climate change modulates structural and functional lake ecosystem responses to introduced anadromous salmon, *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques*, 68:675-692
- Shortreed, K. et Morton, K. 2000. Trip report from a June survey of Big Onion, Fish, and Wasp lakes, Rapport non publié de Pêches et Océans Canada, 19 p.
- Shortreed, K.S., Morton, K.F., Malange, K. et Hume, J.M.B. 2001. Factors limiting juvenile sockeye production and enhancement potential for selected B.C. nursery lakes, Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. 2001/098, 69 p.
- Taseko Mines Limited. 2009. Prosperity Gold-Copper Project. Environmental Impact Statement/Application.
- Taseko. 2012. New Prosperity Copper-Gold Mine Environmental Impact Statement.
- Ward, J.V. et Stanford, J. 1983. The Serial Discontinuity Concept of Lotic Ecosystems, dans *Dynamics of Lotic Ecosystems*, (Éd T.D. Fontaine et S.M. Bartell), p. 29-42 (Ann Arbor Publishers: Ann Arbor, MI, États.-Unis.)
- Westbrook, C.J., Cooper, D.J. et Baker, B.W. 2006. Beaver dams and overbank floods influence groundwater-surface water interactions of a Rocky Mountain riparian area, *Water Resources Research*, 42(6):W06404.
- Wetzel, R.G. 2001. *Limnology: lake and river ecosystems*, Academic Press, San Diego, CA, États-Unis. 1006 p.

Ce rapport est disponible auprès du :

Centre des avis scientifiques (CAS), Région du Pacifique
Pêches et Océans Canada
3190, chemin Hammond Bay
Nanaimo (Colombie-Britannique) V9T 6N7 Canada

Téléphone : 250-756-7208

Courriel : CSAP@dfo-mpo.gc.ca

Adresse Internet : www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/

ISSN 1919-3815

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2013



La présente publication doit être citée comme suit :

MPO. 2013. Examen technique du scénario de recirculation de l'eau proposé dans le cadre du projet de mine d'or et de cuivre New Prosperity et de ses répercussions prévues sur le poisson et son habitat dans le bassin hydrographique du lac Fish. Secr. can. de consult. sci. du MPO. Rép. des Sci. 2013/019.

Also available in English:

DFO. 2013. Technical review of the Proposed water recirculation scheme of the new Prosperity gold-copper mine project on predicted effects on fish and fish habitat of the fish lake watershed. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Sci. Resp. 2013/019.