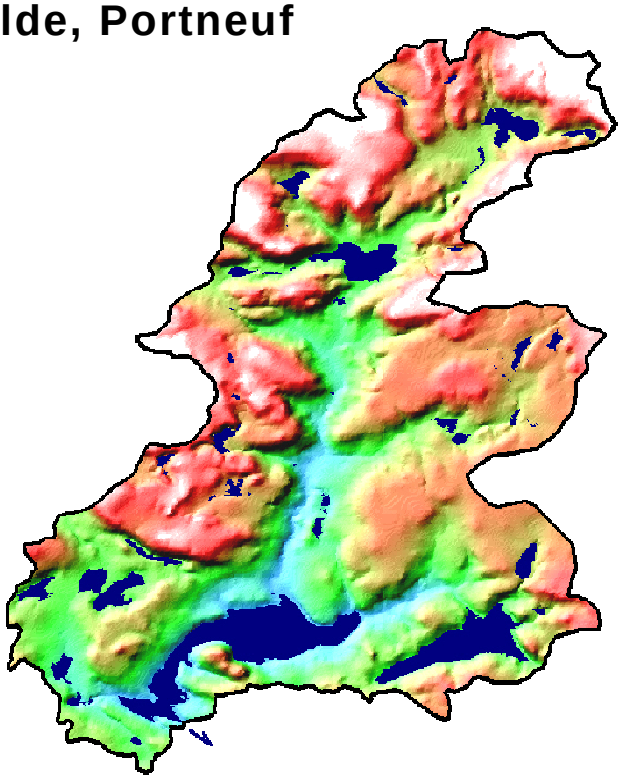
ÉVALUATION DE LA CAPACITÉ DE SUPPORT DU LAC BLANC

Saint-Ubalde, Portneuf



Rapport technique

Mars 2006

HEMISPHERES
le groupe

20, rue Charles-Couillard, Beaumont (Québec) G0R 1C0 Tél. : (418) 649-3641 info@hemis.ca

ÉQUIPE DE PROJET

GROUPE HÉMISPHÈRES

Christian Corbeil	T.P., tech. am.f.
Daniel Néron	M.Sc géogr., biogéographe

PARTENAIRES

Serge Deraspe	Directeur-général, mun. de Saint-Ubalde
Jean-Paul Darveau	Maire de Saint-Ubalde
Chantal Leblanc	Tech. am.f., chargée de projet, Corporation d'aménagement et de protection de la Sainte-Anne (CAPSA)
Marilyn Gingras, Patrice Côté	Techniciens, CAPSA
Jacques Landry	Responsable de l'aménagement, MRC de Portneuf
Hélène Plamondon	Cartographe, MRC de Portneuf
Louis Filteau	Responsable de l'aménagement, MRC de Mékinac

SOUS-TRAITANTS

Laboratoire d'analyses	Centre d'expertise en analyse environnementale (CEAE)

Table des matières

ÉQUIPE DE PROJET ..... **I**

TABLE DES MATIÈRES ..... **II**

LISTE DES TABLEAUX ..... **III**

LISTE DES FIGURES ..... **III**

1.0 INTRODUCTION **1**

2.0 APPROCHE PRÉCONISÉE **2**

2.1 MODÈLE THÉORIQUE DE CALCUL DU PHOSPHORE 2

2.2 CADRE D'APPLICATION DU MODÈLE 3

2.2.1 Intérêt du phosphore en milieu lacustre *3*

2.2.2 Sources de phosphore *3*

3.0 MÉTHODOLOGIE **5**

3.1 UTILISATION DU TERRITOIRE 5

3.2 CONTRAINTES D'AMÉNAGEMENT 7

3.3 CAPACITÉ DE SUPPORT 7

3.3.1 Morphométrie et hydrologie *7*

3.3.2 Diagnose écologique *7*

3.3.3 Modélisation du bilan de phosphore *8*

4.0 RÉSULTATS **14**

4.1 DESCRIPTION DU BASSIN VERSANT 14

4.2 CARACTÉRISTIQUES MORPHOMÉTRIQUES ET HYDROLOGIQUES 17

4.3 FAITS SAILLANTS DE LA DIAGNOSE 19

4.4 MODÉLISATION DU BILAN DE PHOSPHORE 20

4.4.1 Provenance et estimation des apports en phosphore *20*

4.4.2 Calibration de la rétention *23*

4.4.3 Évaluation de la capacité de support des lacs *24*

4.4.4 Modélisation : approche du ministère *25*

5.0 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS **27**

6.0 RÉFÉRENCES **31**

Liste des tableaux

Tableau 1. Composantes cartographiques du SIEF utilisées 6
Tableau 2. Coefficients d'exportation utilisés 10
Tableau 3. Données morphométriques et hydrologiques 17
Tableau 4. Calcul de la population annuelle dans le bassin versant du lac Blanc 20
Tableau 5. Estimation des apports naturels et actuels en phosphore 21
Tableau 6. Mesure de la rétention des lacs 24
Tableau 7. Calcul de la charge en PT supplémentaire admissible 25
Tableau 8. Comparaison des niveaux d'atteintes entre les deux modèles 26

Liste des figures

Figure 1. Déplacement du phosphore dans un lac 4
Figure 2. Sous-bassins versant du lac Blanc 18
Figure 3. Utilisation du sol du bassin versant du lac Blanc 22

1.0 INTRODUCTION

La région de Portneuf est constituée d'un vaste espace naturel dominé par des milliers de lacs et de cours d'eau importants ainsi qu'un couvert forestier dense. Elle possède une bonne renommée et un bon potentiel de développement en tant que territoire de pêche, de villégiature et d'activités récréotouristiques. C'est particulièrement le cas au lac Blanc, un lac à touladi, où des efforts ont été entrepris récemment par la municipalité de Saint-Ubalde et l'entreprise privée pour faire valoir son caractère exceptionnel en misant sur la qualité de la ressource eau. La municipalité souhaite cependant la poursuite d'un développement résidentiel et récréatif du territoire, mais dans le respect de la capacité de support du milieu naturel.

Le lac Blanc accueille sur ses rives un camping renommé, qui était de propriété municipale jusqu'en 2005. Les nouveaux propriétaires du camping du lac Blanc comptent ajouter une soixantaine de sites aux 230 sites actuels et procéder à la construction d'une auberge de type centre de santé, afin de faire du camping une station récréotouristique quatre-saisons. Le ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF) exige à ce propos un plan de développement puisque le terrain de camping se trouve sur des terres publiques. Une colonie de vacances a également été opérée sur les rives du lac Blanc par les Chevaliers de Colomb pendant de nombreuses années, jusqu'en 2004, sous le nom du Domaine de la Fraternité. Des promoteurs ont acheté le site en 2005 et ont entrepris le développement de 60 terrains pour la villégiature en bordure du lac (le Domaine du lac Blanc).

La Corporation d'aménagement et de protection de la Sainte-Anne (CAPSA) a entrepris en 2005 de documenter les connaissances de base du lac Blanc, puisque peu de données historiques sont disponibles quant à l'état de santé de ce plan d'eau. La mission de la CAPSA est d'orienter les acteurs du milieu à une gestion concertée de l'utilisation de l'eau, afin d'assurer le maintien de la santé des écosystèmes. Une diagnose écologique du lac Blanc a donc été réalisée en 2005.

C'est dans ce contexte que la municipalité a retenu, en septembre 2005, les services professionnels du Groupe Hémisphères. L'objectif des travaux est de donc poser un diagnostic approprié sur l'état de santé du lac Blanc et, à l'échelle de son bassin versant, d'en évaluer la capacité de support, afin de proposer à la municipalité les solutions les plus appropriées quant à la nature et à l'ampleur d'éventuels développements pour la villégiature, et de façon à répondre aux exigences des différents ministères concernés. Pour ce faire, la démarche utilisée ici est le modèle théorique de calcul du phosphore de Dillon, dont la force réside dans la comparaison de l'importance relative des différentes sources naturelles et anthropiques de phosphore, par l'interprétation de données cartographiques à l'échelle du bassin versant.

Le conseiller en environnement Christian Corbeil est chargé de ce projet; alors que le biogéographe Daniel Néron a procédé au calcul de la capacité de support. Les MRC de Portneuf et de Mékinac ont contribué au projet, entre autres par l'extraction du rôle d'évaluation, tandis que la CAPSA a réalisé la compilation des données sur l'utilisation du sol.

L'essentiel des informations environnementales recueillies dans le cadre des travaux est colligé dans le présent rapport. Celui-ci comprend d'abord une description de l'approche générale retenue, la méthodologie des travaux, l'ensemble des résultats obtenus, puis les conclusions et les recommandations.

2.0 APPROCHE PRÉCONISÉE

2.1 Modèle théorique de calcul du phosphore

Il n'existe pas de cadre réglementaire défini en ce qui concerne la capacité de support d'un plan d'eau, outre la concentration maximale de 50 % en phosphore total (PT) exigée dans la grille des *Critères de qualité de l'eau de surface* du ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP). Ce critère de protection de la vie aquatique s'applique en période sans glace pour des lacs dont la concentration naturelle en PT est inférieure à 10 µg/L ou 20 µg/L. Il définit que l'apport anthropique ne doit pas faire dépasser de plus de 50 % la concentration naturelle en PT (avec un non-dépassement de 10 µg/L ou 20 µg/L). Il vise à éviter l'eutrophisation des lacs oligotrophes ou mésotrophes et la protection d'habitats sensibles, comme les lacs à touladi ou à doré.

L'avancée des sciences de l'environnement des lacs permet d'évaluer la capacité de support d'un lac pour ce qui est des activités de villégiature. L'indicateur retenu pour le fonctionnement des modèles mathématiques est le phosphore total (PT), considéré comme le facteur limitant de la croissance de la végétation dans nos eaux. Des apports de phosphore dans un lac se traduisent par une augmentation de sa productivité, qui à son tour, contribue à l'eutrophisation du plan d'eau.

Plusieurs modèles permettent d'estimer la concentration de phosphore total d'un lac à partir de l'inventaire des apports qu'il reçoit. La méthode préconisée dans la présente étude s'appuie sur les recherches ontariennes menées par Dillon et Rigler (1975). Cette méthode a été validée plus récemment (Hutchinson *et coll.* 1991, Dillon et Molot 1996 & Nürnberg 1998) pour des lacs ontariens, reposant en grande partie sur la formation géologique du Bouclier Canadien, donc de lithologie semblable à celle du lac Blanc. Plusieurs équipes québécoises l'ont utilisée, dont Fournier (1999, 2000), Piché (1998) et Labelle et Fournier (2001). Chaque plan d'eau étant une entité unique, les coefficients d'analyse ont été adaptés en intégrant les facteurs de correction propres au milieu étudié de la région de Portneuf.

Les étapes de calcul peuvent être résumées ainsi :

- délimiter le bassin versant du lac et, au besoin, délimiter celui des lacs d'amont s'ils représentent une superficie ou une population d'au moins 15 % du lac à l'étude ;
- évaluer l'hydrologie de chacun des lacs ;
- comptabiliser les apports actuels en phosphore du bassin en regard de l'utilisation du sol et des eaux usées de la population ;
- estimer la concentration théorique de PT de chacun des lacs et calibrer le modèle afin qu'il se rapproche de la concentration observée de PT ;
- estimer la concentration théorique *naturelle* de PT de chacun des lacs ;
- si la capacité de support n'est pas dépassée, calculer l'apport supplémentaire permissible.

La force de ce modèle réside dans la comparaison de l'importance relative des différentes sources naturelles et anthropiques de phosphore, et non dans la précision absolue. Cet outil est néanmoins assez puissant pour compenser la réalisation de longs suivis physico-chimiques et permet d'orienter les actions sur le territoire au meilleur des connaissances actuelles.

Mentionnons que le MDDEP possède déjà une base de données, notamment sur l'ensemble des lacs du bassin versant de la rivière Sainte-Anne, servant à interpréter, sur une base théorique, la vulnérabilité des lacs et de dresser un portrait des apports en phosphore de ces lacs. Nous ferons l'exercice de comparer notre approche aux résultats obtenus par ce ministère.

2.2 Cadre d'application du modèle

2.2.1 Intérêt du phosphore en milieu lacustre

En milieu lacustre, la productivité primaire associée aux algues et aux herbiers aquatiques est commandée par différents facteurs tels que l'intensité lumineuse, la température et la disponibilité en éléments nutritifs. Le phosphore est le principal élément nutritif limitant la productivité des végétaux d'eaux douces. Lorsque cet élément est disponible en quantité suffisante, il peut causer l'eutrophisation en stimulant fortement la productivité des plans d'eau.

Le phosphore est l'élément nutritif le plus « contrôlable » par l'humain, car, contrairement à d'autres éléments tels que l'azote, le phosphore n'a pas de forme gazeuse majeure et sa solubilité à l'eau est très réduite compte tenu de l'abondance dans la nature des ions de calcium, de magnésium, de fer et d'aluminium qui s'associent avec ce dernier pour former un précipité dans les sédiments du lac.

En conservation des milieux lacustres, le contrôle des apports en phosphore représente donc souvent la cible principale des interventions pour améliorer ou conserver l'état trophique d'un lac.

2.2.2 Sources de phosphore

On peut classer les apports en phosphore d'un lac selon leur provenance interne ou externe. Les apports internes proviennent des sédiments et sont particulièrement sensibles à la teneur en oxygène dissous à l'interface eau-sédiment. En condition aérobique, une importante fraction du phosphore forme des composés stables avec les oxydes de fer et de calcium et est donc emprisonnée dans les sédiments sous forme précipitée. Par contre, si un déficit en oxygène apparaît, l'état d'oxydation du fer change et s'en suit une solubilisation rapide du phosphore dans la colonne d'eau, et ce, sous forme biodisponible. Les apports internes sont difficilement mesurables; les observations directes ou indirectes montrent que les lacs oligotrophes souffrent peu ou pas de ce phénomène, même lorsque l'hypolimnion est anoxique (Nürnberg *et coll.* 1986, Nürnberg *In Press*).

Les apports externes sont divers et peuvent être regroupés selon leur origine ponctuelle ou diffuse. Les *sources ponctuelles* sont plus facilement identifiables et peuvent être contrôlées plus aisément. La principale source de phosphore d'un lac de villégiature provient généralement des installations septiques et donc du nombre de résidences réparties dans le bassin, et selon nous, sans égard à la distance de chacune d'elle au plan d'eau. L'apport du phosphore est fonction de la population, du taux d'occupation et de l'efficacité de l'élimination de cet élément par l'installation septique.

Les *sources diffuses* sont plus difficiles à identifier et donc à contrôler. La notion de « bassin versant » revêt alors toute son importance. En effet, les apports d'origine diffuse sont fonction des superficies drainées par les eaux de ruissellement et de lessivage. L'importance de l'un ou l'autre de ces modes de transport dépend de la superficie du bassin versant, de sa morphométrie et de la perméabilité du sol. Par exemple, la USGA a intégré le ruissellement quant à l'estimation des apports naturels en nutriments (Smith, 2003) alors que la topographie seule joue un rôle déterminant pour la qualité physico-chimique d'un lac (D'Arcy et Carignan, 2001). Ces eaux, suite à leur contact plus ou moins prolongé avec le sol, peuvent entraîner des quantités appréciables de phosphore par érosion des particules du sol et par solubilisation des formes réactives. Les sources diffuses de phosphore sont parfois observées en agriculture, plus particulièrement, suite au travail du sol et à la fertilisation.

La pollution diffuse par le phosphore peut également résulter du changement de l'affectation d'un sol. Une coupe forestière entraîne des mouvements significatifs du phosphore en provenance du sol vers le milieu aquatique récepteur. Enfin, les zones municipalisées, en affectant la perméabilité du sol à différents degrés, sont des foyers majeurs en phosphore d'origine culturelle (routes et chemins, détergents, engrais pour gazon et jardins, déjections d'animaux domestiques, zones de construction, etc.). L'impact du milieu urbain, lequel comprend les aires habitées et les secteurs où la trame routière est dense, se fait sentir surtout au niveau de la qualité des eaux d'écoulement. Les précipitations causent souvent une érosion sévère des talus des fossés, lesquels contribuent à charrier une charge polluante importante provenant de l'entretien des routes et du ruissellement des zones agricoles ou forestières. La figure 1 illustre les déplacements du phosphore dans un lac.

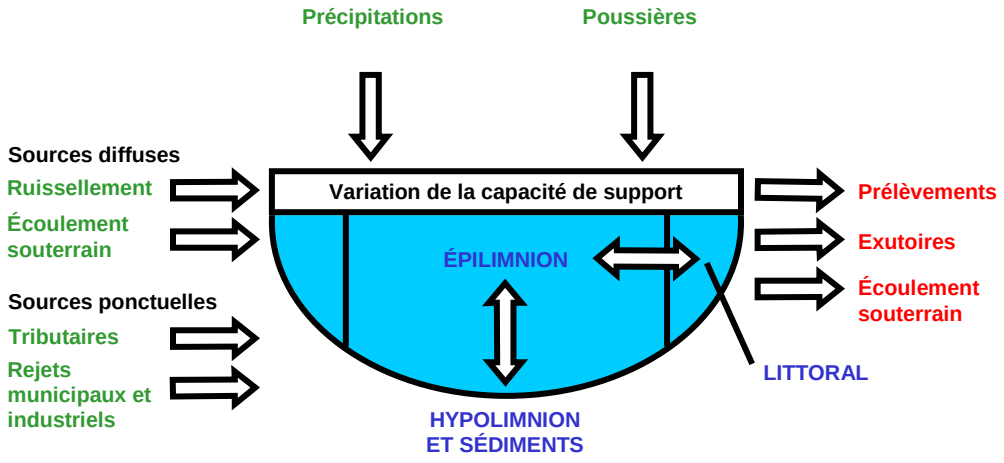


Figure 1. Déplacement du phosphore dans un lac

3.0 MÉTHODOLOGIE

3.1 Utilisation du territoire

Une analyse préliminaire de l'utilisation du territoire du lac Blanc, à l'échelle de son bassin versant, a d'abord été réalisée. Pour les besoins de l'étude, cinq sous-bassins, dont ceux représentant les lacs de superficie supérieure à 10 % de celle du lac Blanc ont été délimités, soit les lacs Blanc, Émeraude, Perreault, des Pins et de la Galette.

Cette étape des travaux, réalisée en collaboration avec la CAPSA et le service d'aménagement des MRC de Portneuf et de Mékinac, a consisté à échafauder un système d'information géographique et à préciser, entre autres, les limites exactes des sous-bassins du lac. Ont suivi l'évaluation des composantes du milieu naturel et humain et la compilation des données existantes relatives à l'environnement physique et biologique du bassin versant des lacs. Une analyse des rapports disponibles de la base de connaissance « E-sigeom examine » du MRNF a servi à identifier le type de substrat, dans ce cas soit igné (par exemple du granit) ou sédimentaire (par exemple du calcaire).

Une analyse des cartes écoforestières numériques du SIEF (système d'information écoforestière) et des cartes numériques de la Banque de données topographiques du Québec (BDTQ) a servi à préciser les limites des affectations devant servir dans le modèle de calcul du phosphore, lesquelles affectations sont mutuellement exclusives et mesurées en terme de superficie :

- apports naturels :
  - substrat igné et substrat sédimentaire;
  - forêts;
  - milieux humides;
  - surfaces d'eau;
- apports anthropiques :
  - affectation agricole (blé, avoine ou orge, fruits de vergers, petits fruits, pâturages défrichés, foin cultivé, maïs-grain, patates, légumes et autres);
  - affectation urbaine (limite densément bâtie) ;
  - villégiature et récréation;
  - chemins forestiers;
  - coupes et brûlis (coupe forestière récente et feu de forêt récent) ;
  - friches ;
  - zones minières (p. ex. gravière et sablière) ;
  - dépotoir ;
  - golf.

Le tableau 1 identifie les composantes du SIEF qui ont été combinées pour décrire l'utilisation du territoire :

Tableau 1. Composantes cartographiques du SIEF utilisées

Utilisation du sol	Attribut		Particularités
	TER_CO	TER_CO_TEC	
Forêt			*Tout le bassin versant soustrait des parcelles suivantes*
Milieux humides	BAT, DH, INO, PIN	TO18, TO19	Batture, dénudé et semi-dénudé humide, inondé, plaine inondée
Surfaces d'eau	EAU		
Affectation agricole	A ou AF VRG BLE DEF, PPN, TOE		*À préciser par une visite* (maïs-grain, blé, avoine ou orge, petits fruits, pâturages défrichés, foin cultivé, patates, légumes) Verger Petits fruits (ex. : bleuetière) Autres (ex. : défriché, pépinière)
Friches	AL, LTE		Aulnaie, ligne de transport d'énergie *Note : des parcelles agricoles deviennent parfois des friches*
Villégiature et récréation	CAM, CFO, CNE, CO, CS, DS, HAB, PIC, VIL		Camping, camp, jardin botanique, centre de ski, colonie de vacances, dénudé et semi-dénudé sec, habitations, piste de course et villégiature
Golf	GOL		Partie déboisée
Dépotoir	DEP		*À préciser selon connaissance du territoire*
Zones minières	GR, CAR, DEM, MI		Gravière, carrière, déchets de mine et mine
Affectation urbaine	AER, ANT, CIM, CU, PAI, SC, US		Aéroport, fortement anthropique, cimetière, centre urbain, parc industriel, scierie, usine

Une fois le découpage de la forêt terminé, il s'agit d'y déterminer la longueur totale des chemins forestiers. La composante des voies de communication de la BDTQ ou la composante CHFOL du SIEF a servi à réaliser cet exercice. La superficie de cette utilisation peut être évaluée approximativement en multipliant la longueur obtenue par une largeur d'emprise moyenne de cinq mètres.

Dans tous les cas, nous avons validé une partie de ce découpage par une visite du bassin versant. Des discussions avec les inspecteurs municipaux ou autres utilisateurs ont mis en lumière certaines utilisations historiques et aujourd'hui moins visibles qui ont une importance pour le calcul des apports de nutriments.

3.2 Contraintes d'aménagement

L'analyse des contraintes en termes d'aménagement sert de guide à la faisabilité de l'éventuel développement de la villégiature. Comme des conditions optimales d'épuration des eaux usées sont à la base de la conservation des plans d'eau, une partie du territoire en périphérie du lac Blanc et d'autres lacs du bassin versant a fait l'objet d'observations préliminaires afin de qualifier l'efficacité des installations septiques en fonction des conditions présentes (qualité des sols, topographie, superficie disponible, position de la nappe phréatique).

Ainsi, des observations sur les dépôts mis à nu le long des chemins existants ont été réalisées et un échantillon de sol a été prélevé à quelques endroits. La description des sols prélevés a été faite selon la *classification unifiée* qui se base sur un examen visuel des échantillons. L'échantillon a été séché, passé au tamis de 2 millimètres, puis a servi à déterminer de façon préliminaire la perméabilité du sol à l'aide d'un test simple et fiable, l'essai de distribution granulométrique, lequel permet d'évaluer les proportions de sable, de silt et d'argile.

3.3 Capacité de support

3.3.1 Morphométrie et hydrologie

Cette étape a pour but d'évaluer la profondeur moyenne et le module annuel associé à chacun des lacs, lesquels permettront de quantifier la charge en eau (Qs) et leur temps de renouvellement respectif, des valeurs essentielles au calcul de la capacité de support du lac. L'examen des documents cartographiques a permis de calculer les caractéristiques morphométriques et hydrologiques observées de chacun des lacs (superficie, volume d'eau, indice de volume, profondeur maximale et moyenne).

Les cartes bathymétriques existantes et les données récoltées par la CAPSA ont servi à compléter les informations. Le débit moyen à l'exutoire de chacun des lacs a été estimé à partir du débit spécifique disponible (MENVIQ, 1980) et validé à partir des dernières données disponibles de la base canadienne HYDAT.

3.3.2 Diagnose écologique

La CAPSA, en collaboration avec le Groupe Hémisphères, a mesuré un certain nombre de paramètres menant à l'évaluation du niveau trophique du lac Blanc. Nous intégrerons l'état de santé actuel du lac Blanc et tiendrons compte du déplacement de son niveau trophique en discutant de sa capacité de support.

En limnologie, le point le plus profond du lac sert, de manière standard, de lieu d'échantillonnage des paramètres physicochimiques de l'eau parce que les résultats de la collecte y sont davantage représentatifs de l'ensemble du lac. Les échantillons pour la mesure du phosphore total (PT) ont donc été prélevés par le personnel de la CAPSA selon la méthode standard à partir de deux points situés au centre de chacun des lacs, à un demi-mètre sous la surface.

La période automnale (ou printanière) est généralement associée à l'isothermie (homogénéité) de la colonne d'eau, appelée communément la période de brassage, tandis qu'à l'été nous sommes en présence d'un gradient de température dans la colonne d'eau appelé stratification thermique. La période de brassage est celle où la concentration en phosphore total est la plus élevée parce que les

plantes consomment le phosphore en période estivale. Les bilans de phosphore sont fondés sur la valeur moyenne de la concentration en phosphore total, concentration dite *durant la période sans glace*.

L'échantillonnage pour le relevé du phosphore au lac Blanc a donc eu lieu en période estivale, le 13 septembre, et à l'automne dans cinq lacs du bassin versant, soit le 9 novembre.

3.3.3 Modélisation du bilan de phosphore

Le calcul de la capacité de support consiste à déterminer la charge maximale en phosphore pouvant être tolérée par le milieu lacustre. Le calcul est fonction des apports naturels et anthropiques de phosphore acheminés au lac et se prépare en fonction des différentes affectations et activités dans le bassin versant, en tenant compte des caractéristiques morphométriques du lac et hydrologiques du bassin versant (superficies du lac et du bassin versant, profondeur moyenne, temps de résidence hydraulique, etc.).

Selon le modèle, la concentration moyenne de phosphore total pour la période sans glace ($[PT]_{SG}$, en µg/l) d'un lac est prédite à l'aide de l'équation des bilans massiques, en condition à l'équilibre, développée par Dillon et Rigler (1975) :

$$[PT]_{SG} = (CHARGE_{PT} \ * \ (1\text{-RÉTENTION})) / (0{,}956 * CHARGE_{eau})$$

où

$CHARGE_{PT}$ = somme des apports de PT naturels + anthropiques du bassin versant (Lp) / superficie du lac

Pour balancer le modèle, il est important de connaître le taux de rétention, soit la proportion des apports en phosphore séquestrés les sédiments du lac. De façon théorique, la rétention peut être évaluée à partir de plusieurs équations, dont certaines tiennent compte des conditions d'oxygène observées au fond du lac (hypolimnion) :

Développement de l'équation par Dillon et Rigler

$$RÉTENTION_{théorique} = 15 / (18 + qs)$$

où

$qs = CHARGE_{eau}$ = module annuel (m^3/s) /aire du lac (m^2)

Développement de l'équation par Alain et Lerouzes

$$RÉTENTION_{théorique} = K / (K + qs)$$

où

K = 12,4 m année-1 pour un hypolimnion aérobique

K = 7,4 m année-1 pour un hypolimnion anaérobique

ou

dans le cas d'une condition inconnue de l'hypolimnion

$$\text{RÉTENTION}_{\text{théorique}} = 0{,}426^{(-0{,}271\ qs)} + 0{,}574^{(-0.00949\ qs)}$$

Développement de l'équation par Nürnberg

$$\text{RÉTENTION}_{\text{théorique}} = K / (K + qs)$$

où

K = 16 à 30 m/année pour les lacs, 50 m/année et plus pour les réservoirs

De façon pratique, la rétention peut être calculée comme la fraction des sources externes retenues dans le lac après observation d'un cycle hydrologique annuel complet du bilan du phosphore (Vollenweider 1969). Les concentrations calculées sont valables pour la période sans glace. La formule prend alors la forme suivante :

$$\text{RÉTENTION}_{\text{observée}} = (\text{Entrée} - \text{Sortie}) / \text{Entrée}$$

où

Entrée = la somme des apports de PT au lac

Sortie = module annuel ($1x10^6$ m^3) * $[PT]_{SG}$

Plusieurs étapes ont mené à la validation du modèle :

- Calcul de la morphométrie et de l'hydrologie de base : le module annuel est obtenu en multipliant la superficie du bassin versant par le débit spécifique régional, valeur provenant des normales calculées par le Service d'hydrométrie du ministère de l'Environnement (MENVIQ, 1980). Le Centre d'expertise hydrique du MDDEP n'a toujours pas refait cette synthèse de l'écoulement aujourd'hui. Les valeurs de débit sont des moyennes annuelles fournies sans écart-type (variation), que nous avons validé avec les données de HYDAT.
- Calcul des apports diffus en phosphore : Chaque parcelle du bassin exporte, de façon diffuse, plus ou moins de phosphore vers le lac. La description du territoire a permis de quantifier les éléments biophysiques du bassin. Les apports de PT sont obtenus en multipliant le coefficient d'exportation approprié d'un élément biophysique à sa superficie correspondante. Le tableau 2 rassemble les coefficients d'exportation proposés dans cette étude en fonction des dernières recherches dans le domaine, ainsi que la source bibliographique.

Nous avons décidé d'inclure la densité des voies de communication du milieu forestier parce que les récentes études montrent que leur présence entraîne un apport non négligeable sur l'enrichissement en phosphore d'un plan d'eau. L'Agence de protection de l'environnement américaine (US-EPA, 1999) retient cet apport pour le calcul de la capacité de support d'un lac, les TDML ou *Total Maximum Daily Loads* et propose un taux de 110 kg PT/km^2-an en milieu sédimentaire. Nous avons utilisé un taux de 25 kg PT/km^2-an pour le lac Blanc, de géologie ignée, ce qui correspond à quatre ou cinq fois l'apport de la forêt. Nous comptabilisons la longueur de tous les chemins du milieu forestier et non des milieux urbains ou de villégiature, dont le coefficient tient déjà compte de ce type d'aménagement.

Une dernière charge diffuse est celle des apports atmosphériques. Les poussières et les précipitations tombant directement sur le lac ajoutent une certaine quantité de phosphore total. La valeur québécoise de 18,6 kg PT/km^2-an (Lamontagne *et coll.*, 2000) est préconisée dans cette évaluation; elle dépasse quelque peu la moyenne nord-américaine de 15 kg PT/km^2-an utilisée par la Direction de l'aménagement de la faune du MDDEP en Outaouais et est en accord avec les dernières recherches de la USGA qui considère que cette valeur était sous-estimée. Pour ce qui est du cheptel du milieu agricole, nous utilisons les formules d'exportation suggérées par Alain et Lerouze (1979), mais celui-ci est inexistant dans le bassin versant du lac Blanc.

Tableau 2. Coefficients d'exportation utilisés

	Cœfficient d'exportation kg PT/km^2-an	Source	Commentaires
Utilisation du sol – apport naturel			
Forêt intacte avec substrat igné =	5,5	Dillon *et coll.* (1986)	Dillon et al. (1986) propose 19,8, ce qui apparaît très élevé lors des simulations
Milieu humide =	20	Ryding et Rast (1989)	Inclus les étangs à castor
Surface d'eau =	38	Alain et Lerouzes (1979)	
Utilisation du sol – apport anthropique			
Milieu urbain =	150	Alain et Lerouzes (1979) et MDEP (2003)	
Milieu agricole =	66	Dillon *et coll.* (1986) et MDEP (2003)	
Villégiature et récréation =	22,5	Nürnberg et Lazerte (2004)	Comprends la zone parsemée de chalets, les campings et parcs de récréation. Landon (1977) in Rechow *et coll.* (1980) utilisait la valeur de 25
Chemin en forêt =	25	US-EPA (1999)	Les forêts sont sillonnées de chemins dont la largeur moyenne est estimée à 5 m
Coupe ou brûlis =	18	Lamontagne *et coll.* (2000)	Augmenter de 50 % le coefficient de la forêt non perturbée pour ces parcelles
Friche =	25	Alain et Lerouzes (1979)	
Zone minière =	25	Alain et Lerouzes (1979)	Comprends les gravières et carrières
Apport naturel et anthropique			
Apport atmosphérique tombant sur le lac =	18,6	Lamontagne *et coll.* (2000)	Après conversion du tableau 4 de Lamontagne

- Calcul des apports ponctuels en phosphore : Les populations saisonnières et permanentes, le nombre d'installations septiques et la population animale des élevages agricoles forment les apports ponctuels qui doivent être comptabilisés. La validation des données existantes sur le nombre exact et le type d'habitations ainsi que sur le type d'installations septiques présentes dans les sous-bassins versant de chacun des lacs a été réalisée en utilisant les données descriptives inscrites au rôle d'évaluation de chaque municipalité. Ainsi, le calcul de la population annuelle a pu être déterminé de façon relativement précise en validant les données auprès des inspecteurs des municipalités. Tous les débits d'eaux usées des commerces et équipements collectifs ont été convertis en termes de « personne équivalente » fondé sur le débit résidentiel médian de 170 litres par personne/jour, ou débit moyen atteint dans environ 50 % des résidences (MENV, 2004a).

  L'évaluation des charges polluantes peut se résumer à appliquer la charge unitaire de deux grammes de PT par personne/jour (MENVIQ, 1989) au débit unitaire résidentiel médian. Cette charge correspond à un apport de 0,745 kilogramme/personne annuellement. Sauf dans le cas des restaurants, la charge des établissements non résidentiels varie peu et l'ensemble des apports ponctuels est assimilable à des eaux usées domestiques résidentielles typiques (MENV, 2004a). Pour les systèmes d'assainissement autonome comme ceux des campings au lac Blanc, une liste de débits unitaires applicables à différents types d'établissements a été publiée dans le *Guide pour l'étude des technologies conventionnelles du traitement des eaux usées d'origine domestique* qu'on trouve sur le site Internet du MDDEP. Ces débits de conception sont utilisés selon le principe voulant que la capacité des ouvrages de traitement d'un établissement soit généralement établie en fonction de la capacité maximale d'utilisation de l'établissement, bien qu'en pratique le débit moyen annuel réel puisse être inférieur à ces valeurs pour les établissements à occupation ou utilisation très variable.

  La dernière étape de l'évaluation des apports ponctuels en phosphore consiste à tenir compte du rabattement effectué par les systèmes d'épuration des eaux usées. Sur ce sujet, l'efficacité du traitement occasionné par la combinaison d'une fosse septique et d'un élément épurateur peut grandement varier selon la qualité de la construction, son entretien, la perméabilité et l'épaisseur de sol sous les drains et l'âge de l'élément (Dubé et Barabé, 1991). La littérature indique que le traitement primaire réalisé par les fosses septiques retient entre 25 % et 40 % du phosphore qui y pénètre. Une fraction additionnelle du phosphore est retenue dans la zone de sol non saturé, sous le champ d'épandage (Environnement Canada, 2004). Ayant mené maintes campagnes de caractérisation des installations septiques au Québec, nous pouvons témoigner qu'un nombre important de ces systèmes souffre d'une mauvaise conception, d'un manque d'entretien ou est prématurément à la fin de sa vie utile à cause d'une mauvaise utilisation. À moins de conditions exceptionnelles (p. ex. épais dépôt meuble), nous utilisons un facteur d'efficacité conservateur de 25 %, soit la plus faible proportion de phosphore non retenu. Ainsi, l'apport annuel d'une personne équivaut ici et en général au Québec à 0,559 Kg/personne de phosphore total.

Selon Alain et Lerouzes (1979), le calcul de la capacité de support du lac, en terme de population, nécessite l'évaluation du nombre de personnes-jours pour diverses affectations. Afin de nous adapter au contexte actuel de ce domaine, et du cycle annuel du bilan, nous parlerons de *personnes-*

équivalentes. Cette étape débute par la transformation de la charge en PT supplémentaire admissible (ΔLp) en apport supplémentaire admissible (J ad), en multipliant par l'aire du lac, soit :

$$J\ ad = \Delta Lp * \text{Aire du lac} \quad \textit{en kg PT / an}$$

Pour obtenir le nombre de *personnes-équivalentes* (NbPE) correspondant à l'apport supplémentaire admissible (J ad), l'équation suivante est utilisée :

$$NbPE = J\ ad\ /\ \text{Quantité de PT produit par pers. par année} * (1 - \text{efficacité de l'épuration})$$

Ce nombre de *personnes-équivalentes* peut ensuite être converti en diverses affectations dans tout le bassin versant du lac. La transformation est tributaire du type d'infrastructure visée et du coefficient d'occupation. Comme il a été mentionné à la section sur le calcul des apports ponctuels en phosphore, le guide du MENV (2004c) contient les informations nécessaires à cette conversion. Par exemple, voici comment évaluer le nombre admissible de résidences saisonnières (N rs) :

$$N\ rs = NbPE\ /\ \text{coefficient d'occupation en nombre de } \textit{personnes-équivalentes} \text{ par résidence saisonnière par an}$$

- <u>Évaluation de la charge et de la concentration en PT naturel</u> : Pour calculer la charge spécifique naturelle (Ln), c'est-à-dire la charge qui résulterait d'une absence d'occupation humaine du territoire, on considère la surface du bassin versant comme étant boisée à 100 %, exception faite des milieux humides et des surfaces d'eau. Cette donnée est essentielle aux calculs de la capacité de support et de la charge admissible, ainsi que pour connaître l'état trophique antérieur d'un lac. Connaissant la charge en PT naturel, nous pouvons évaluer la concentration en PT naturel par l'équation des bilans massiques démontrée au début de cette section.

- <u>Calcul de la charge en PT supplémentaire admissible</u> : Le calcul de la charge admissible s'effectuera en regard des dernières directives du MDDEP pour un lac oligotrophe. Dans le cas du phosphore total, le critère de qualité de l'eau de surface pour la protection de la vie aquatique (effet chronique) ainsi que le maintien des activités récréatives et de l'aspect esthétique implique que les rejets ne doivent pas entraîner un excès de la concentration dans le milieu supérieur à 50 % de la concentration naturelle, sans dépasser un maximum de 10 µg PT/L (MENV, 2004b).

  Ce calcul commence par la transformation de la concentration maximale admissible en charge maximale admissible (L ad):

  $$L\ ad = (\ [Pt]_{SG\ naturelle} * 1.5\ )\ (\text{Charge}_{eau}) / (1 - \text{Rétention}) \quad \textit{en kg PT/m}^2\textit{/an}$$

  Nous obtenons la charge en PT supplémentaire admissible (ΔLp), en kg PT/m^2/an, en soustrayant la charge actuelle (L p) de la charge maximale admissible (L ad).

- <u>Calcul de la capacité de support du lac</u> : Le calcul de la capacité de support consiste à déterminer la charge maximale en phosphore total qui peut être tolérée par le milieu lacustre. Ce calcul nécessite, en plus des charges spécifiques totales et entièrement naturelles, l'évaluation de la

fréquence de renouvellement du lac et du coefficient de rétention en phosphore (c.-à-d., la proportion des apports en phosphore séquestrés dans le lac). La méthode de Dillon *et coll.* (1986) fait la distinction entre une situation où il y a épuisement en oxygène dans l'hypolimnion et une autre où le milieu demeure en condition aérobie. Cette distinction est importante, car elle permet d'estimer la contribution des sédiments dans l'apport en phosphore au lac. Aussi appelée la charge interne du lac, elle n'est toutefois vraiment applicable que pour les lacs eutrophes (Nürnberg *et coll.*, 1986 et Barroin, 1995).

La comparaison de la valeur calculée au niveau de la concentration épilimnétique (couche d'eau en surface du lac) en phosphore total (PT) avec des mesures *observées* est essentielle pour valider cette démarche.

4.0 RÉSULTATS

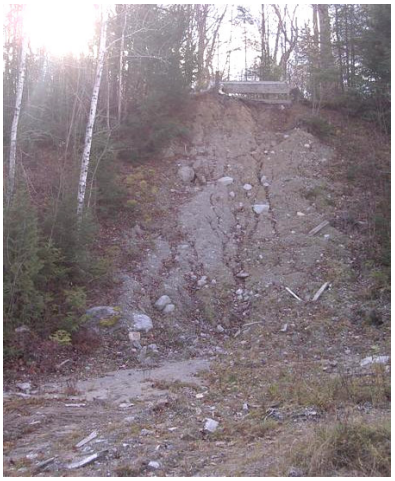
La présente section présente l'ensemble des résultats ainsi que l'interprétation des données obtenues de la modélisation du phosphore et des différents relevés réalisés sur les lacs à l'étude.

4.1 Description du bassin versant

Le lac Blanc compte parmi les dix plus importants des quelques 800 lacs du bassin versant de la rivière Sainte-Anne, avec un peu plus de deux kilomètres carrés de superficie. Son bassin hydrographique de près de 62 kilomètres carrés, se trouve à la tête du sous-bassin de la rivière Blanche.

La physiographie du bassin versant du lac Blanc se caractérise par un relief accidenté et des pentes généralement raides. Le socle rocheux est surtout formé de roches ignées et métamorphiques cristallines, comme le gneiss et le granit, contrairement aux formations sédimentaires calcaires du secteur des plaines au sud du bassin de la Sainte-Anne (Plante 1989 et Avramtchev 1992). Ces roches dures et imperméables sont à tendance nettement plus acide et résistent à l'action érosive de l'eau. Cette roche-mère est recouverte de façon variable par des sédiments glaciaires (till) d'épaisseur habituellement inférieure à 5 m et par d'imposants dépôts fluvioglaciaires au centre du bassin versant. Le socle rocheux est visible partout sur le territoire.

Les municipalités de Saint-Ubalde et de Notre-Dame-de-Montauban se partagent la plupart du territoire du bassin versant. La vocation du territoire est surtout forestière avec des grappes de villégiature en bordure des principaux lacs. Le couvert forestier du bassin versant a subi une exploitation forestière dans le passé, entre autres sur les versants du lac Blanc au début des années 1990. Le relief accidenté et la pente souvent supérieure à 30 % en périphérie du lac font que de sévères événements d'érosion se sont produits dans le passé lors de précipitations importantes, entre autres suite aux ouragans de l'été 2005. Le camping du lac Blanc a alors été en grande partie inondé. Un ponceau localisé près de l'embouchure de la rivière des Pins a été plusieurs fois emporté et a été reconstruit en octobre 2005. Des chemins ont maintes fois été refaits et des décrochages importants de dépôts meubles et ayant mis le socle rocheux à nu sont visibles par endroits. Mentionnons que des propriétaires autour du lac Blanc ont déversé du sable sur la rive bordant leur propriété, afin de se donner une plage artificielle.



Érosion sévère d'un talus et d'une propriété en bordure du lac Blanc (nov. 2005)

Les lacs Blanc, Perreault, Émeraude et des Pins ont subi une forte pression en termes de développement de la villégiature, leur pourtour étant occupé en grande partie. Nous en donnerons le détail (nombre et type de bâtiments) à la section 4.3. Les chalets du lac de la Galette, peu développé, sont surtout équipés de puisards, alors que les chalets du lac des Pins, qui a fait l'objet d'une classification des installations septiques en 1988 (par le Programme des lacs), sont surtout munis d'une fosse septique et d'un élément épurateur modifié, selon l'inspecteur de la municipalité. Une majorité de systèmes au lac Perreault sont plutôt anciens, donc constitués de puisards. Le développement au lac Émeraude est beaucoup plus récent et la plupart des installations septiques y ont été construites dans le cadre de la réglementation (Q-2 r.8). Peu d'informations étaient disponibles en ce qui concerne le lac Blanc, mais les efforts de la municipalité de Saint-Ubalde au cours des années 1990 ont fait en sorte qu'une bonne part des installations septiques a été mise aux normes, même si plusieurs systèmes sont encore anciens. Malheureusement, les terrains habités sont souvent petits et confinés entre le chemin d'accès et le lac, surtout aux lacs Perreault et des Pins.

Nos observations à l'échelle du bassin versant montrent que les contraintes au niveau de la pente (>30 %) et de la présence de roc affleurant sont effectivement importantes sur une partie du territoire. Par contre, les observations sur les dépôts mis à nu le long des chemins routiers existants ont permis de confirmer l'épaisseur importante des dépôts meubles (supérieure à un mètre) sur une bonne partie du pourtour des lacs visités.

Terrains bâtis sur affleurements rocheux en bordure du lac Blanc et près du lac Perreault (nov. 2005)

Le prélèvement de quelques échantillons de sol dans ces dépôts, aux lacs Blanc, Émeraude et des Pins, indique la présence de tills hétérogènes dont la fraction grossière est variable (entre 20 et 50 %) et dont la partie fine (celle passée au tamis de 2 mm et qui a servi à mesurer la perméabilité) est composée en moyenne de 48 % de sable et de 52 % de silt et d'argile. Selon le diagramme de corrélation entre la texture du sol mesurée et la perméabilité (annexe I du *Règlement sur l'évacuation et le traitement des eaux usées des résidences isolées*), les matériaux rencontrés sont qualifiés de perméable, la perméabilité variant en effet entre 2×10^{-4} et 8×10^{-4} cm/s. Ils sont donc propices à l'épuration des eaux usées par infiltration dans le sol et montrent en plus une meilleure capacité de rétention du phosphore que des sols davantage granulaires.

Vue des dépôts meubles aux lacs Émeraude et des Pins (nov. 2005)

Pour ce qui est des installations septiques commerciales, nous avons consulté les dossiers environnementaux existants aux bureaux du MDDEP à Québec. Les installations septiques du camping du lac Blanc consistent en trois éléments épurateurs de type modifié construits en 1978, 1980 et 1982. En ce qui concerne le Domaine de la Fraternité, deux éléments épurateurs de type hors sol ont été construits en 1984 et 1988. L'un de ces systèmes a montré des signes de colmatage et de regorgement en 2001. Les systèmes du Domaine de la Fraternité ont été démantelés en 2005. Le chemin d'accès aux 60 propriétés offertes par le Domaine du lac Blanc était en cours de construction au moment de notre visite en novembre 2005. Nous avons noté que les sols étaient relativement minces sur plusieurs propriétés de la pointe du Domaine. Une érosion importante affectait par ailleurs un tributaire se jetant dans la baie de ce secteur.

Les eaux de baignade du camping du lac Blanc et du Domaine de la Fraternité ont fait l'objet d'un suivi de leur qualité bactériologique depuis 1985. Les eaux de la plage du camping se sont avérées sécuritaires du point de vue de la baignade de façon constante alors que celles des deux plages du domaine ont montré une qualité douteuse ou mauvaise à quelques occasions en 1994 et 1996. Mentionnons que le camping du lac Blanc accueille un important tournoi de volley-ball en août de chaque année, et que d'importantes quantités de sable ont été déversées dans le passé sur la plage pour l'agrandir.

4.2 Caractéristiques morphométriques et hydrologiques

Les données du périmètre ou de la profondeur moyenne sont des données morphométriques simples qui renseignent grandement sur l'évolution passée et future d'un lac. Le tableau 3 rassemble les caractéristiques morphométriques et hydrologiques observées sur les lacs.

La profondeur moyenne est assez élevée pour les lacs Blanc et Émeraude, ce qui fait que le peu de hauts fonds de ces lacs les rend moins favorables à la croissance des plantes aquatiques.

Tableau 3. Données morphométriques et hydrologiques

Lac	Profondeur moyenne Z (m)	Profondeur maximum Z_{max} (m)	Aire du lac A_O (km^2)	Volume d'eau (m^3)	Aire du ss-bassin W_S (km^2)	débit spécif. (L/s/km^2)	Module annuel du sous-bassin (m^3/an)	Module cumulé (m^3/an)	Taux de renouvellement τ (année)
Galette	6,77	19,0	0,291	1 970 000	3,7	28	3 269 000		0,60
des Pins	8,08	18,5	0,465	3 760 000	12,1	28	10 692 000	13 961 000	0,27
Perreault	4,88	11,0	0,215	1 050 000	2,3	26	1 887 000		0,56
Émeraude	17,51	57,0	1,003	17 560 000	5,3	26	4 349 000		4,04
Blanc	14,26	42,0	2,062	29 400 000	38,5	27	32 804 000	53 001 000	0,55

Une notion essentielle dans l'étude de l'hydrologie des lacs est celle du bassin versant. Cette aire est délimitée par l'ensemble des sommets où se partage l'écoulement des eaux vers la cuvette du lac, c'est-à-dire l'ensemble du territoire qui recueille les eaux de précipitations et les dirige vers le lac. Cette subdivision naturelle du territoire permet de délimiter physiquement le domaine des interactions, des interférences et des utilisations qui peuvent modifier la ressource eau en différents points du bassin et éventuellement celle du lac. La figure 2 présente la délimitation de chacun des sous-bassins du lac Blanc.

À première vue, le relief du bassin est assez prononcé, car la différence d'élévation entre les sommets avoisinants le nord du bassin et le lac Blanc approche les 200 mètres. Le bassin versant du lac Blanc est centré sur la rivière des Pins, qui s'allonge sur six kilomètres et s'écoule vers le sud avec un fort pendage de 4,0 % (Genium, 2005).

L'aire totale de chaque sous-bassin (lacs inclus) a permis de mesurer le module annuel (ou débit annuel de sortie) des lacs en se servant du débit spécifique. La carte des débits spécifiques moyens indique un important gradient de variation pour la région ; nous utiliserons donc trois valeurs s'échelonnant de 26 litres par seconde par kilomètre carré au sud à 28 litres par seconde par kilomètre carré au nord. Le débit spécifique est la portion d'eau des précipitations qui atteindront un point du bassin versant, dans notre cas le lac. En milieu forestier, une partie appréciable des précipitations est captée par les arbres puis est évaporée, ou subit l'évapotranspiration de ces derniers, ou encore s'infiltre en profondeur dans le sous-sol rocheux. Ainsi, en général, un peu plus de la moitié de l'eau des précipitations n'atteindra pas le lac. La valeur de débit spécifique utilisée tient donc compte de ces éléments puisque le débit a été calculé à partir d'observations de stations hydrologiques de la région.

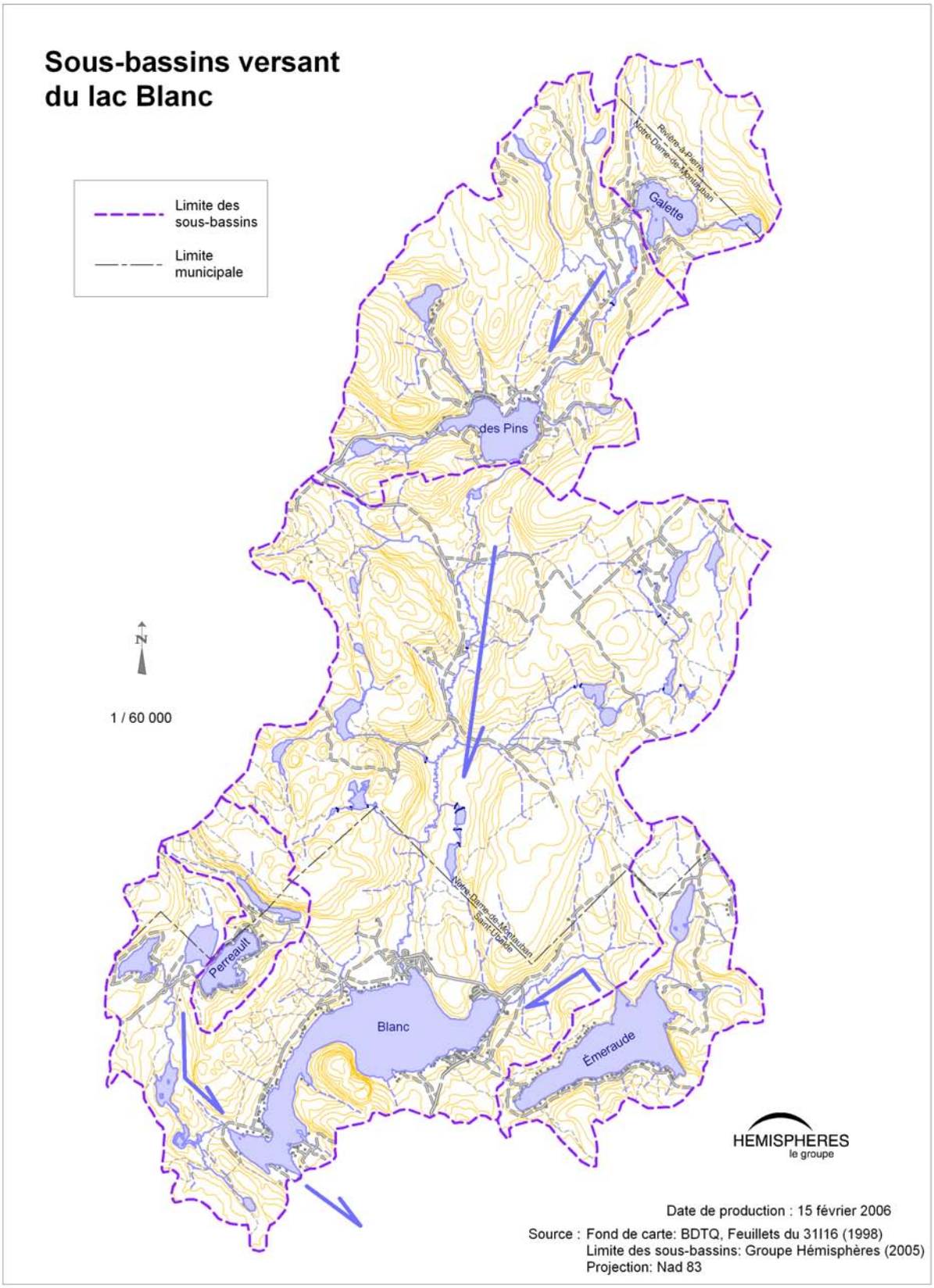


Figure 2. Sous-bassins versant du lac Blanc

Le temps de renouvellement influence la qualité de l'eau d'un lac; il aide à déterminer le temps pour un plan d'eau de retrouver son équilibre après avoir reçu une charge polluante ou la capacité de rétention face aux nutriments. Sauf au lac Émeraude, les calculs hydrologiques indiquent un temps de renouvellement des eaux des lacs assez rapide d'environ six mois, beaucoup plus rapide que la moyenne québécoise d'un an et demi. Ceci peut être expliqué par la faible profondeur moyenne des lacs de la Galette, des Pins et Perreault alors que le lac Blanc a un bassin versant proportionnellement grand par rapport à sa superficie, avec un ratio lac/bassin versant de 1:30. Le lac Émeraude, avec un taux de renouvellement de 4 ans, a pour sa part une profondeur moyenne très élevée et un ratio lac/bassin de seulement 1:5.

4.3 Faits saillants de la diagnose

Le lac Blanc a fait l'objet par l'ancien Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche d'un inventaire ichtyologique et de relevés physico-chimiques en 1977 et en 1991. Les inventaires ont permis de comparer certaines données physico-chimiques avec celles de 2005, dans le rapport sur la diagnose écologique de la CAPSA. Le touladi a notamment été ensemencé en 1992 et des frayères potentielles avaient été localisées, notamment le long de la pointe accueillant aujourd'hui le Domaine du lac Blanc.

La diagnose réalisée par les responsables de la CAPSA a mis en évidence certains éléments importants qui viennent ajouter à l'évaluation de la capacité de support :

- les eaux du lac Blanc sont très bien oxygénées sur toute la colonne d'eau, en 2005 comme en 1977 (MLCP) ce qui ne limite pas, par exemple, l'habitat de touladi ;
- compte tenu des bons résultats du profil de l'oxygène, la transparence du lac Blanc (4,0 m) est limite et semble avoir peu changé depuis 1977 (mesurée à 4,5 m par le MLCP) ;
- la productivité biologique faible (chlorophylle α à 2,3 mg/m^3 et poids sec en seston à 27 gr/m^3) ;
- le pH à 6,6 est plutôt acide mais dans la moyenne pour la région (6,2), alors qu'il était à 5,7 en 1977 (MLCP) ;
- l'état trophique du lac Blanc se situe au début du stade mésotrophe (âge moyen), ce qui démontre un début de vieillissement ;
- les eaux des lacs en amont du lac Blanc ont une concentration moyenne de phosphore total au retournement automnal (9 nov. 2005) à des valeurs variant entre 4,6 et 8,8 µg/L, donc plus bas que le critère québécois de non-dépassement pour la protection d'habitats sensibles, édicté à 10 µg/L ;
- la concentration en phosphore total au retournement automnal au lac Blanc est de 15 µg/L, une valeur qui, ramenée en concentration sans glace, est probablement plus élevée que le critère de non-dépassement pour la protection d'habitats sensibles, édicté à 10 µg/L dans le cas des lacs à touladi ;
- la rive du lac Blanc est en grande partie artificialisée et ornementale ;

- fait inquiétant : des masses de matière organique flottante ont été aperçues à la surface du lac Blanc à quelques occasions au cours des dernières années, en période de grandes chaleurs ; il peut s'agir de prolifération massive d'algues qui s'agglomèrent ou d'un phénomène où les organismes décomposeurs anoxiques produisent du méthane, ce qui a pour effet de décoller et de soulever la couche de matière organique du fond. Le phénomène est complexe et surtout observé dans les mares à tourbe ou tourbières.

4.4 Modélisation du bilan de phosphore

4.4.1 Provenance et estimation des apports en phosphore

La cartographie écoforestière, à l'échelle 1/20 000, a servi à schématiser l'utilisation du territoire. La délimitation des gravières fait suite à notre visite de validation du bassin versant. La figure 3 montre l'utilisation du sol pour le bassin versant du lac Blanc. Les données et étapes de calcul menant à l'évaluation du nombre de personnes équivalentes à partir de la population et des établissements présents dans les bassins se retrouvent au tableau 4. La capacité et le taux d'occupation des établissements commerciaux proviennent de sondages réalisés auprès des responsables municipaux et des propriétaires du camping. Les coupes récentes ou les brûlis n'ont pas été comptabilisés parce que ces activités sont épisodiques et que leurs effets sur le bilan de phosphore ne durent que quelques années. Le tableau 5 présente pour sa part le bilan des apports selon l'utilisation du sol.

Tableau 4. Calcul de la population annuelle dans le bassin versant du lac Blanc

	Nombre d'unité par sous-bassin					Volume journalier* (L/pers/jour)	Taux d'occupation annuel	Nombre de personnes ou Facteur d'équivalence **				
Description	**Galette**	**Pins**	**Perreault**	**Émeraude**	**Blanc**			**Galette**	**Pins**	**Perreault**	**Émeraude**	**Blanc**
Logement permanent	0	15	12	8	18		100	0,0	45,0	36,0	24,0	54,0
Chalet ou maison de villégiature	9	72	67	77	145		50	13,5	108,0	100,5	115,5	217,5
Camping du lac Blanc												
nombre de saisonniers					80	340	50%					80,0
nombre de passants					678	190	25%					189,4
nombre de chalets					3		50%					4,5
Domaine de la Fraternité												
nombre de saisonniers					86	340	33%					56,8
nombre de passants					128	190	25%					35,8
Sous-total								**13,5**	**153,0**	**136,5**	**139,5**	**638,0**
Total								**1080,5**				

* Le débit unitaire journalier selon le type d'établissement est fonction de la capacité maximale d'utilisation d'un établissement selon le *Guide pour l'étude des technologies conventionnelles de traitement des eaux usées d'origine domestique*, MENV, mis à jour juillet 2004

** Le nombre théorique moyen de trois personnes par résidence ou chalet est utilisé. Le facteur d'équivalence utilisé pour transformer le débit unitaire des commerces en nombre de personnes est de 170 L/pers/jour

Tableau 5. Estimation des apports naturels et actuels en phosphore

Utilisation du sol	Coefficient d'exportation kg PT/km^2-an	Apport (kg PT/an) par sous-bassin				
		Galette	**des Pins**	**Perreault**	**Émeraude**	**Blanc**
Utilisation du sol - Naturel						
Forêt avec substrat igné	5.5	18.1	59.4	8.6	19.9	181.7
Forêt avec substrat sédimentaire		-	-	-	-	-
Milieux humides	20	-	6.8	2.0	3.7	26.4
Surface d'eau	38	1.7	3.7	7.9	4.0	31.1
Apport atmosphérique sur le lac	18.6	5.4	8.6	4.0	18.7	38.4
Ss-total naturel =		25.3	78.5	22.6	46.2	277.5
Utilisation du sol - anthropique						
Urbaine	150	-	-	-	-	-
Agricole	66	-	-	-	-	-
Villégiature-récréation	22.5	0.9	5.4	3.4	6.8	15.8
Chemin en forêt	50	1.4	8.2	2.7	4.3	26.9
Coupe ou brulis	8.3	-	-	-	-	-
Friche	25	-	-	-	-	-
Minière	25	-	-	-	-	0.7
Population humaine	Kg PT /pers-an					
Personne équivalente considérant un traitement autonome	0.559	7.8	85.5	76.5	78.2	356.5
Population animale	Kg PT /animal-an					
Bovins	0.61	-	-	-	-	-
Porc	0.17	-	-	-	-	-
Moutons	0.08	-	-	-	-	-
Volailles	0.01	-	-	-	-	-
Chevaux	0.42	-	-	-	-	-
Ss-total anthropique =		10.1	99.1	82.7	89.3	399.8
TOTAL actuel =		35.4	177.6	105.2	135.6	677.4
TOTAL naturel* =		25.7	80.7	23.7	48.4	284.5

* la superficie anthropique est remplacée par de la forêt

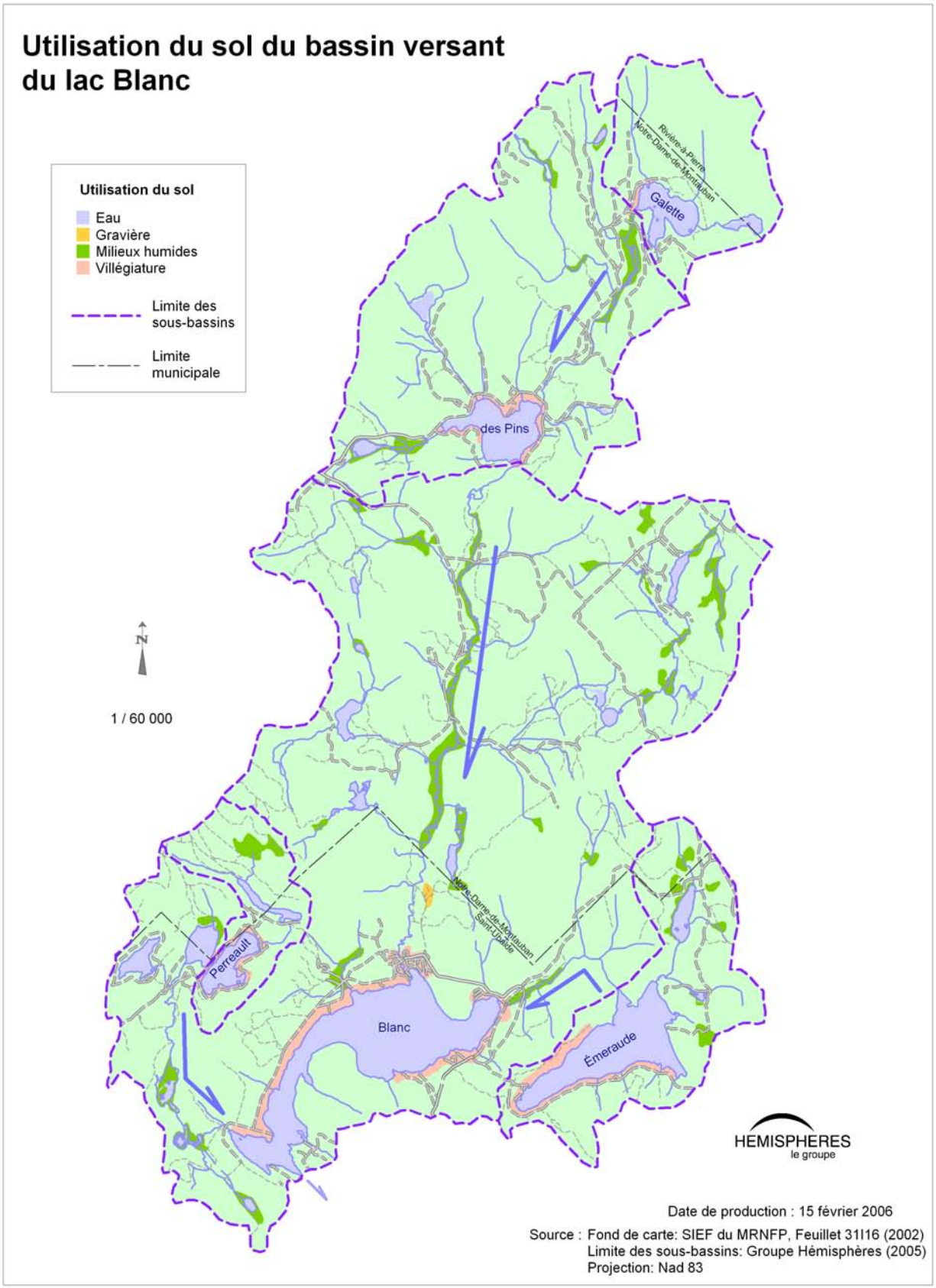


Figure 3. Utilisation du sol du bassin versant du lac Blanc

4.4.2 Calibration de la rétention

Parce que seulement des données mesurées de phosphore total (PT) en période de brassage ont été analysées à un degré suffisant de précision, nous utiliserons celles-ci pour la calibration de la rétention, mais diminuées d'un facteur de 20 % pour mieux refléter les valeurs moyennes de la période sans glace (Dillon et Molot, 1986).

L'emploi direct des différentes équations du calcul théorique de la rétention, tel que décrit à la section méthodologique (Dillon et Rigler, Alain et Lerouzes ou Nürnberg), s'avère inapproprié pour les lacs à l'étude. L'utilisation d'un coefficient de rétention usuel à un lac oligotrophe mène à des résultats calculés de concentration de PT incohérents comparés aux résultats obtenus du relevé physico-chimique de 2005. Deux principales anomalies sont rencontrées :

- une sous-estimation de la concentration théorique de PT du lac Blanc ;
- une surestimation de la concentration théorique de PT de tous les lacs en amont.

Pour ce qui est de l'écart mesuré au lac Blanc, soit une concentration observée de PT plus élevée que le modèle théorique, il peut être attribuable à la difficulté de tout comptabiliser lors de l'évaluation des apports en phosphore de l'utilisation du territoire, par exemple, au niveau des charges répétées en provenance de secteurs en érosion. Une autre hypothèse est l'influence des pluies acides. Le lac Blanc est situé au centre d'un important couloir de dépôt de sulfates atmosphériques d'origine humaine (Dupont, 2004). Outre son bas pH, le lac possède un faible pourvoir tampon car sa conductivité est très faible, il est donc sensible à cette perturbation.

L'écart le plus remarqué est celui du lac Perreault, qui théoriquement devrait être eutrophe (PT > 20 µg/L) alors que la concentration observée de PT est beaucoup plus faible (PT ≈ 6,9 µg/L). L'hydrologie particulière à chacun des sous-bassins (temps de renouvellement par exemple) ou une forte sensibilité aux pluies acides pourraient être mises en cause.

On a alors procédé à un calcul de la rétention observée en utilisant les données connues de l'utilisation du sol. Les résultats de mesure de la rétention des lacs du bassin versant montrent des valeurs assez variables et difficiles à interpréter (tableau 6). Les valeurs des lacs Perreault et Émeraude sont particulièrement élevées. Le faible temps de renouvellement ainsi que le développement plus récent de la villégiature du lac Émeraude pourraient expliquer ce phénomène. Quant au lac Perreault, seul le lac Froid, situé juste en amont et faisant office de trappe à sédiment, pourrait en partie expliquer une aussi grande rétention mesurée. La mesure de la rétention du lac Blanc est nettement moins élevée ; nous sous-estimons peut-être l'apport en PT du sous-bassin, tel que mentionné ci-avant.

Tableau 6. Mesure de la rétention des lacs

Lac	Charge en eau q_s (m/an)	*Apport en PT mesuré de l'utilisation du sol* de l'amont (kg/an)	du sous-bassin (kg/an)	Apport total (kg/an)	Conc. observ. PT_{sg} (µg/L)	Perte annuelle (kg/an)	Rétention mesurée R_{mes}
Galette	11.2		35	35	5.7	19	0.47
des Pins	30.0	19 *	178	196	7.0	98	0.50
Perreault	8.8		105	105	6.9	13	0.88
Émeraude	4.3		136	136	3.7	16	0.88
Blanc	25.7	127 **	677	805	12.0	636	0.21

* apport du lac Galettte
** apport combiné des lac des Pins, Perreault et Émeraude

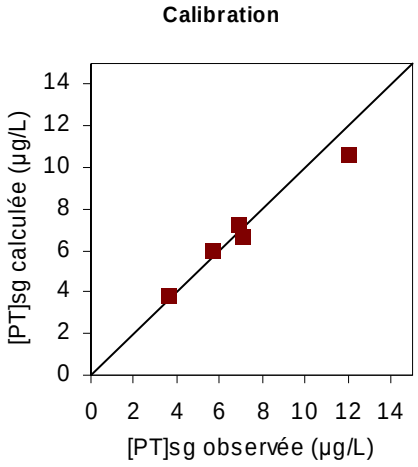


Figure 4 Conc. de PT observée vs calculée

Nous utiliserons donc les valeurs de rétention mesurées individuellement pour chacun des lacs pour évaluer la capacité de support du lac Blanc et des autres plans d'eau du bassin. Ces taux de rétention mesurés, montrés au tableau 6, offrent une meilleure calibration du modèle. La figure 4 montre que, comparée à une droite 1:1, la mise en relation entre la concentration en PT observée et celle calculée avec le modèle montre des résultats de prévision significatifs (*Coefficient de corrélation* de 0,98 et *Probabilité* < 0,005).

4.4.3 Évaluation de la capacité de support des lacs

En retranchant les apports anthropiques et les remplaçant par de la forêt non perturbée, nous sommes à même d'évaluer la charge en PT naturelle des lacs, si leur bassin n'avait jamais été développé. L'équation du bilan massique permet par la suite d'estimer la concentration en PT du lac à l'état naturel et montre des valeurs à l'origine plus basses pour les lacs dont le sous-bassin est aujourd'hui habité, soit des valeurs inférieures à 2 µg/L (tableau 7) pour les lacs Émeraude et Perreault, aux environs de 4 µg/L pour les lacs Galette et des Pins et à plus de 7 µg/L pour le lac Blanc. Les concentrations limites permises qui en découlent, selon le critère du MDDEP, sont toutes sous la barre de 10 µg/L, sauf pour le lac Blanc, à 10,9 µg/L. Donc, le critère de non-dépassement de 50 % de la concentration naturelle est un scénario qui ne permet pas une charge de PT supplémentaire admissible pour aucun des plans d'eau à l'étude, sauf le lac de la Galette. Ainsi, la capacité de support du lac Blanc serait en théorie légèrement dépassée (de 9 %).

Tableau 7. Calcul de la charge en PT supplémentaire admissible

Lac	Charge PT naturelle d'amont ($mg/m^2/an$)	Charge PT naturelle du ss-bassin ($mg/m^2/an$)	Charge PT naturelle totale L_n ($mg/m^2/an$)	Conc. PT naturelle PT_{rp} (µg/L)	Conc. PT limite* PT_{rp} (µg/L)	Charge PT maximale admissible L ad ($mg/m^2/an$)	Charge PT actuelle L ($mg/m^2/an$)	Charge PT supplémentaire admissible ΔL p ($mg/m^2/an$)
Galette		88	88	4.3	6.5	138	122	17
des Pins	45	174	219	3.8	5.7	344	422	-78
Perreault		110	110	1.6	2.4	173	489	-316
Émeraude		48	48	1.4	2.1	76	135	-59
Blanc	88	138	226	7.3	10.9	354	390	-36

* Selon les critères de qualité de l'eau du MENV (2004b)

4.4.4 Modélisation : approche du ministère

Le MDDEP possède une base de données sur l'ensemble des lacs du bassin versant de la rivière Sainte-Anne, servant à interpréter, sur une base théorique, la vulnérabilité des lacs en regard du processus d'eutrophisation et de dresser un portrait des apports actuels en phosphore par rapport au critère de protection de la vie aquatique (concentration maximale de 50 % en phosphore total).

La vulnérabilité des lacs est établie en évaluant:

- l'intensité de la réaction d'un lac face à l'ajout de phosphore (sensibilité) ;
- le potentiel du lac à mobiliser le phosphore, en inférant entre autres la présence de zones peu profondes et la charge en eau (quantité d'eau que le lac reçoit).

Le MDDEP a également dressé un bilan des apports en phosphore des lacs afin d'évaluer le potentiel d'un lac à accepter une augmentation de sa charge en nutriments. Les concentrations théoriques naturelle et actuelle ont ainsi été calculées pour chaque lac.

Le lac Blanc a été classé comme étant peu vulnérable aux apports en nutriments (lac de grande taille, profond et avec une forte charge en eau) mais on a considéré que la limite des apports admissible avait été dépassée, probablement de par l'importance des apports anthropiques.

Aux fins de comparaison, le tableau 8 présente les conclusions de l'approche du MDDEP mises en relief avec les conclusions du modèle de capacité de support utilisé dans la présente étude. La valeur de dépassement obtenue en utilisant la rétention mesurée est ainsi indiquée. Notons que 109 % dénote que la capacité de support est dépassée de 9%.

Tableau 8. Comparaison des niveaux d'atteintes entre les deux modèles

Lac	MODÈLE DU MDDEP			RÉTENTION MESURÉE
	Vulnérabilité	Niveau d'atteinte des apports permissibles en phosphore et valeur de dépassement		Valeur de dépassement
Galette	forte	modérée	48 %	86 %
Des Pins	forte	dépassée	135 %	119 %
Perreault	forte	dépassée	610 %	165 %
Émeraude	modérée	dépassée	225 %	144 %
Blanc	faible	dépassée	110 %	109 %

Toutes proportions gardées, les conclusions sont relativement semblables pour les deux modèles, alors que la capacité de support n'est pas atteinte au lac de la Galette, mais la dépasse de près de 10 % au lac Blanc dans les deux cas. Les différences majeures avec notre approche sont :

- la modélisation du ministère permet de traiter des tendances majeures sur un grand nombre de lacs, mais sans mesure directe ou validation sur le terrain, ce qui est le cas de la présente étude où l'utilisation du sol a été en grande partie validée ;
- nous comptabilisons l'ensemble des installations septiques à l'échelle du bassin versant, indépendamment de la distance du lac, plutôt qu'une bande de 300 m le long du réseau aquatique;
- nous attribuons une efficacité globale d'enlèvement du phosphore par les installations septiques à 25 % (plutôt que 15 %), ce qui est également conservateur ;
- nous comptabilisons tous les apports anthropiques, dont les installations septiques commerciales et les chemins forestiers, ce que ne fait pas le ministère ;
- nous simulons les changements de concentration en phosphore après calibration du modèle en fonction des résultats obtenus d'analyses chimiques réalisées sur le terrain plutôt que sur une base théorique ;
- nous utilisons la cartographie écoforestière plutôt que l'imagerie satellitaire pour extraire les données d'utilisation du territoire.

5.0 Conclusions et recommandations

La municipalité de Saint-Ubalde a retenu, en septembre 2005, les services professionnels du Groupe Hémisphères, afin de poser un diagnostic approprié sur l'état de santé du lac Blanc, à l'échelle de son bassin versant, et d'en évaluer la capacité de support, afin de proposer à la municipalité les solutions les plus appropriées quant à la nature et à l'ampleur d'éventuels développements pour la villégiature, et de façon à répondre aux exigences des différents ministères concernés.

L'évaluation de la capacité de support du lac Blanc, à l'échelle de son bassin versant, a effectivement permis de poser un diagnostic quant à l'implantation d'éventuels développements pour la villégiature. La présente expertise ne s'attarde pas seulement à un calcul de capacité, mais intègre les résultats de la diagnose écologique du lac, réalisée par la CAPSA, avec notre collaboration. Également, l'étude pose de sérieuses balises encadrant le développement futur ainsi que les pratiques d'aménagement, non seulement en périphérie du lac Blanc, mais également dans tout son bassin versant. Elle tient compte des études antérieures et s'appuie sur les plus récentes avancées en matière de conservation.

La capacité de développement des lacs est fondée sur le bilan du phosphore puisqu'il est un indicateur reconnu de la dynamique et de l'état de santé d'un lac. L'exercice de modélisation a eu le bénéfice d'identifier les sources de phosphore du lac Blanc et de quatre lacs importants de son bassin versant. À l'exception du lac de la Galette, où l'apport en phosphore est surtout d'origine naturelle, soit celle de la forêt, la provenance des apports est majoritairement d'origine humaine, soit dans des proportions de 60 % et plus dans le cas des lacs Blanc, Émeraude et des Pins, et jusqu'à 80 % des apports au lac Perreault. Évidemment, la villégiature produit la plus grosse part de ces apports alors que les chemins forestiers constituent l'autre source anthropique importante. Au lac Blanc, c'est surtout le fait de la présence d'un noyau important d'activités centré sur le camping et l'ancien Domaine de la Fraternité.

À la lumière des résultats obtenus, nous croyons que les lacs à l'étude (sauf le lac de la Galette) ont atteint leur concentration maximale en phosphore admissible. De par leur plus faible profondeur moyenne et relativement petit bassin versant, les lacs des Pins et Perreault ont dépassé leur capacité respectivement de 20 % et de 65 %. Bien qu'un temps de renouvellement élevé (4 ans) permette habituellement une bonne rétention du phosphore, le lac Émeraude a dépassé sa capacité de support de 44 % ; c'est son petit bassin versant qui fait que sa concentration naturelle estimée est très basse (<2 µg/L). C'est le lac qui montre les meilleurs signes de jeunesse en termes de niveau trophique (PT observé < 4 µg/L).

La capacité de support du lac Blanc serait pour sa part légèrement dépassée de 9 %. Compte tenu du taux rapide de renouvellement des eaux des lacs, l'équilibre du bilan y est atteint en près de deux années et dès lors, la concentration observée du phosphore reflète assez bien l'utilisation actuelle du bassin versant.

Qui plus est, tel que montré dans le rapport de la CAPSA sur la diagnose écologique, les lacs du bassin versant du lac Blanc montrent des signes d'eutrophisation (périphyton à l'exutoire du lac Émeraude, plantes aquatiques abondantes à la décharge du lac Perreault). De plus, la concentration en phosphore total au retournement automnal au lac Blanc est de 15 µg/L, ce qui dépasse probablement le critère québécois de non-dépassement pour la protection d'habitats sensibles, édicté par le MDDEP à 10 µg/L dans le cas des lacs à touladi.

Ce critère du ministère (non-dépassement de 50 % de la concentration naturelle) n'est pas une norme à appliquer, mais plutôt un outil d'évaluation de la qualité du milieu. Il est atteint pour quatre des cinq lacs étudiés. Selon notre expérience, nous trouvons cette recommandation quelque peu restrictive, surtout dans le cas de lacs de tête, à faible renouvellement (par exemple le lac Émeraude) et privilégions l'approche écosystémique, soit de conserver l'état trophique actuel d'un lac. Demeurer en deçà d'une concentration de 10 µg/L de PT est en soi une approche sécuritaire pour le maintien du niveau oligotrophe.

Transposée au lac Blanc, l'approche écosystémique se traduit par la mise en oeuvre de mesures énergiques de conservation pour tenter de freiner la dégradation de l'état trophique actuel du lac. Il semble que le lac Blanc, malgré un niveau faiblement mésotrophe, puisse assurer la pérennité de l'habitat propice aux espèces de poissons d'eau froide présentes. Nos raisons sont les suivantes :

- le lac Blanc ne montre pas de déficit en oxygène en profondeur, mais les concentrations s'éloignent des conditions de saturation vers le fond. Ce phénomène est tout de même typique des lacs oligotrophes, c'est-à-dire des lacs jeunes à poissons d'eau froide, ce qui démontre un bon état de santé ;
- la profondeur moyenne du lac est élevée, mais malgré un grand volume d'eau, son temps de renouvellement élevé (un peu plus de six mois) ne favorise pas la rétention du phosphore ; il est donc plus sensible à la qualité des eaux de ses tributaires ;
- la portion du littoral disponible à la colonisation par les plantes aquatiques est faible, de même que la productivité biologique ;
- les dépôts meubles ont une bonne épaisseur en certains endroits au pourtour du lac, et une perméabilité favorisant la rétention du phosphore, ce qui devrait théoriquement permettre des installations septiques performantes.

Constat général

Les résultats jumelés de calcul de l'état trophique des lacs et de modélisation du phosphore servent donc à démontrer que des actions préventives sont impératives si on veut continuer le développement dans le bassin versant du lac Blanc.

Les mesures de contrôle recommandées ci-dessous vont permettre de conserver l'état trophique des lacs à l'étude, particulièrement du lac Blanc, advenant leur développement additionnel.

Recommandations : écosystèmes lacustres

- mettre en place la vérification des installations septiques existantes, entre autres en détectant et ciblant les puisards et installations désuètes, car elles sont des sources importantes de phosphore, surtout celles situées près de la nappe d'eau dans le sol ;
- sensibiliser les citoyens sur l'utilisation et l'entretien de leur installation septique afin d'en prolonger l'efficacité et la durée de vie;
- sensibiliser les citoyens à l'emploi de savon exempt de phosphore, surtout ceux servant à faire la vaisselle ;

- interdire l'épandage d'engrais non organique pour l'entretien des pelouses ;
- puisque la présence de terrains à pente forte dans le bassin du lac Blanc (drainage rapide) fait que le lac est sensible à l'apport en éléments nutritifs, réduire les interventions qui accélèrent l'érosion (lors de travaux de construction par exemple) et implanter des trappes à sédiment pour les fossés de route abrupts ou à certains endroits en bas des pentes. De bonnes pratiques afin de contrer les problèmes d'érosion concernent la stabilisation des sols sur les chantiers de construction, le contrôle des eaux de pluie et l'entretien du tiers inférieur des fossés routiers.
- poursuivre les relevés physico-chimiques de plusieurs paramètres, dont le phosphore, la température et l'oxygène pour connaître l'évolution de leurs concentrations en période de brassage et l'été, dans le lac Blanc et les lacs en amont;
- éviter l'artificialisation des rives en renaturalisant toutes celles qui sont ornementales, surtout celles munies de murets; ceux-ci devraient être laissés tel quel lorsqu'ils se dégradent, c'est pourquoi il est important de les revégétaliser ;
- empêcher le remblayage du littoral pour l'aménagement de plages, du moins sans l'obtention préalable d'un certificat d'autorisation du MDDEP ;
- assurer une marge de protection d'au moins 20 mètres le long des rives des lacs et des cours d'eau comme mesure de conservation du milieu aquatique. Nous considérons que les marges de recul de la *Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables* du Québec (Décret 103-96) sont des mesures insuffisantes dans le cas des lacs à touladi ;
- renaturaliser tous les cours d'eau qui ont subi des dommages dus aux crues ;
- respecter l'encadrement forestier et visuel, et végétaliser les aires abandonnées, dont les anciennes gravières et plusieurs chemins forestiers, surtout ceux dans le sens de la pente où l'érosion est intense;
- respecter l'intégrité des milieux humides, et encourager la protection des zones naturelles (dons à la conservation, servitude, fiducie, parcs, etc.), ce qui assurera la pérennité des lacs ;
- il y aurait lieu de déterminer et de localiser précisément si le milieu recèle une faune ou une flore particulière à protéger, à l'échelle du bassin ;
- puisque certains secteurs du lac semblent connaître des périodes de prolifération d'algues, tel qu'observé par le passé, il serait bon de faire un suivi serré de ces évènements, s'ils se reproduisent, afin de connaître leur fréquence, leur importance et leur toxicité, si c'est le cas.

Recommandations : villégiature

- le bassin versant possède à plusieurs endroits des sols potentiels conformes aux plus hauts critères de conservation des lacs en termes d'épaisseur et de perméabilité ; concentrer tout d'abord le développement aux endroits où les épaisseurs de sol sont suffisantes ;
- limiter le développement additionnel où des pentes de terrain sont peu propices à l'épuration des eaux usées ;

- sur les terrains du Domaine du lac Blanc, réaliser une étude géotechnique exhaustive, en vue de confirmer les meilleurs sites propices au traitement des eaux usées ; les dépôts d'épaisseur supérieure à un mètre devraient être privilégiés puisqu'ils permettent les conditions nécessaires à l'installation de dispositifs d'évacuation et de traitement des eaux usées par infiltration dans le sol, plutôt que par l'utilisation de technologies coûteuses qui permettent le traitement sur de plus faibles épaisseurs. Cette approche est la plus sûre pour protéger le milieu naturel ;
- donner des outils en termes de formation et de disponibilité aux inspecteurs municipaux afin de maximiser la vigilance au niveau de l'acceptation et de l'émission de permis de construction des installations septiques ; s'assurer que l'étape de construction des installations soit également bien encadrée ;
- bonifier la réglementation de protection de l'encadrement forestier du lac en obligeant le maintien de la majorité des arbres (plus de 60%) lors de la construction sur une propriété ;
- puisque les installations septiques du camping sont arrivées près de leur limite de vie utile, faire un suivi serré sur l'efficacité des systèmes en place ;
- la connaissance de la nature des dépôts de surface (glaciaires et postglaciaires) dans le bassin versant est importante afin de statuer sur la qualité de sites potentiels de villégiature ; il y aurait donc lieu de réaliser une analyse des contraintes en termes de conservation et d'aménagement à l'échelle de tout le bassin versant considéré dans cette étude, afin de servir de guide à la faisabilité de l'éventuel développement de la villégiature dans les TPI, mais également de statuer sur la qualité de sites potentiels pour la villégiature.

Puisque deux municipalités réparties dans deux MRC partagent le territoire du bassin versant, les activités problématiques ciblées, qu'elles soient distantes ou limitrophes au lac, ont le même impact sur l'environnement du lac; les recommandations et l'évaluation du bénéfice encouru englobent donc l'ensemble du bassin versant, sans discrimination entre les municipalités présentes. Il faudrait donc mettre au fait la municipalité de Notre-Dame-de-Montauban des démarches entreprises par la municipalité de Saint-Ubalde en vue d'améliorer la qualité des eaux de surface du bassin versant du lac.

Nous sommes confiants que les autorités locales seront ouvertes aux mesures proposées et seront prêtes à appliquer la majorité des recommandations visant la protection de l'état de santé de ces plans d'eau. Le développement de la villégiature est en accord avec la vocation récréotouristique du secteur, lequel présente une image très dynamique dans la région. Nous avons cependant accolé à ce développement des recommandations qui doivent être perçues comme des mesures optimales de conservation pour le lac Blanc.

6.0 Références

Communications personnelles

Michel Magnan	Direction régionale de la Capitale-Nationale, MDDEP
Jean-Guy Frenette	Direction de l'aménagement de la faune de la Capitale-Nationale, MRNF
Ronald Delisle	Évaluateur, MRC de Portneuf
Yvon Denis	Domaine du lac Blanc
Denis Audet	Camping du lac Blanc
Benoit Caouette	Inspecteur, Municipalité de Notre-Dame-de-Montauban

Bases de données consultées

BQMA (Banque de données sur la qualité du milieu aquatique). Ministère de l'Environnement, Direction du suivi de l'état de l'environnement, Québec.

HYDAT. Données hydrométriques archivées par Environnement Canada à http://www.wsc.ec.gc.ca/hydat/H2O/

TOPOS SUR LE WEB (Répertoire toponymique du Québec) administré par la Commission de toponymie, gouvernement du Québec à http://www.toponymie.gouv.qc.ca/index.htm.

Cartes consultées

Avramtchev, L (1992) *Carte minérale de la région de Québec*. Carte PRO 90-03 du MER en couleur à l'échelle 1/125 000.

Plante, L. (1989) *Géologie de la région de Grondines-Montauban*. Document PRO 89-14 du MER comprenant cinq cartes monochromes à l'échelle 1/20 000 ou 1/10 000.

Bibliographie

Alain, J. et M. Lerouzes (1979) *Méthodologie pour le calcul des apports en phosphore et la détermination de la capacité de support d'un lac*. Min. des richesses naturelles, Service de la qualité des eaux, 166 p.

Barroin, G. (1995) *Cycle et bilan de l'oxygène* (chap. 25). In : Pourriot, R. et M. Meybeck - Limnologie générale. Masson, Paris, pp. 705-726

Blais, D. et A. Bazoge (2005) *Interprétations reliées à la problématique des apports en nutriments pour les lacs – bassin versant de la rivière sainte-Anne*, Min. du développement durable, de l'Environnement et des Parcs, octobre 2005, 23 p. + annexes.

Bouchard, R., M. Higgins, et C. Rock (1995) *Using constructed wetland-pond systems to treat agricultural runoff: a watershed perspective*. Lake and Reservoir Management 11(1): 29-36

Corbeil, C. et D. Néron (2005) *Étude de la capacité de support de lacs à touladi*. Expertise effectuée par Hémisphères Consultants inc. pour le compte de la MRC de Témiscouata, 54 p. et 3 annexes.

Chapra, S. (1997) *Surface water-quality modeling*. The McGraw-Hill Companies, Inc.

D'Arcy, P. et R. Carignan (1997) *Influence of catchment topography on water chemistry in southeastern Quebec Shield lakes*. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 54: 2215-2227

Dillon, P.J. & F.H. Rigler (1975) *A simple method for predicting the capacity of a lake for development based on lake trophic status*. Journal of the Fisheries Research Board of Canada 32:1519-1531.

Dillon, P.J. & L.A. Molot (1996) *Long-term phosphorus budgets and an examination of a steady-state mass balance model for central Ontario lakes*. Water Res., 30, 2273– 2280.

Dubé J.-P. & Y. Barabé (1991) *Guide technique sur la conception des installations septiques communautaires (petites agglomérations)*. Révisé janvier 1991, SQAE et EAT environnement inc.

Dupont, J. (2004) *La problématique des lacs acides au Québec*. Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère de l'Environnement, envirodoq no ENV/2004/0151, collection no QE/145, 18 p.

Dussart, B. (1966) *Limnologie – l'étude des eaux continentales*. Gauthier-Villars, Paris, 624 p.

Environnement Canada (2004) *Les éléments nutritifs dans l'environnement canadien : Rapport sur l'état de l'environnement au Canada*. Chap. 3 - Sources anthropiques d'azote et de phosphore, pp 18-68 (http://www.durable.gc.ca/group/nutrients/index_f.phtml)

Fournier, H. (1999) *Prédiction de la concentration de phosphore total dans l'eau du lac Pemichangan en fonction des apports de son bassin versant*. Dir. de l'aménag. de la faune, Soc. de la faune et des parcs du Québec, 19 p.

Gangbazo, G., D. Cluis & E. Buon (2002) *Transport du phosphore et des sédiments en suspension dans un bassin versant agricole*. Vecteur Environnement 35: 44-53

Genium (2004) *Étude hydraulique – ponceau rivière des Pins*, étude réalisée pour la municipalité de Saint-Ubalde, 10 déc. 2004, # réf. : 04-2751.

Gunn, J.M. & Rod S. (2000) *Effects of forestry roads on reproductive habitat and exploitation of lake trout (*Salvelinus namaycush*) in three experimental lakes*. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 57(Suppl. 2): 97–104

Hade, A. (2003) *Nos lacs, les connaître pour mieux les protéger*. Fides, Québec, 359 p.

Horner, R.R., J.J. Skupien, E.H. Livingston & H.E. Shaver (1994) *Fundamentals of urban runoff management: technical and institutional issues*. Terrene Institute in cooperation with USEPA. Washington, DC.

Hutchinson, N.J., B.P. Neary, & P.J. Dillon (1991) *Validation and use of Ontario's Trophic Status Model for establishing lake development guidelines*. Lake and Reservoir Management 7(1): 13-23

Labelle, M. & H. Fournier (2001) *Prédiction de la concentration de phosphore total dans l'eau du lac Saint-Pierre en fonction des apports de son bassin versant*. Société de la faune et des parcs du Québec, Direction de l'aménagement de la faune Outaouais, Envirodoq no ENV2002 0232, 19 p.

Labroue, L. *et coll.* (1995) *Cycle des nutriments : l'azote et le phosphore* (chap. 26). In : Pourriot, R. et M. Meybeck - Limnologie générale. Masson, Paris, pp. 727-764

Lamontagne S., R. Carignan, P. D'Arcy, Y.T. Prairie & D. Paré (2000) *Element export in runoff from eastern Canadian Boreal Shield drainage basins following forest harvesting and wildfires*. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 57: 118-128

Legendre, P. *et coll.* (1980) *Qualité des eaux : Interprétations des données lacustres (1971-1977).* Ministère de l'Environnement, direction générale des inventaires et de la recherche, Service de la qualité des eaux en collaboration avec le CERSE de l'UQAM, 409 p.

MDDEP (2005) *Caractérisation et classification des lacs du bassin versant de la rivière Sainte-Anne*, 0ctobre 2005, 15 p.

MDEP (2003) *Phosphorus Control Action Plan - Highland, Cumberland County, Maine*. Final EPA Review Draft Lakes TMDL Report, DEPLW 2002 – 0536, Maine Department of Environmental Protection, 48 p.

MENV (1990) *Guide des méthodes de conservation et d'analyses des échantillons d'eau et de sol*. Ministère de l'Environnement.

MENV (2004a) *Guide pour l'étude des technologies conventionnelles du traitement des eaux usées d'origine domestique. Gouvernement du Québec*, Ministère de l'Environnement, site internet http://www.menv.gouv.qc.ca/eau/eaux-usees/domestique/index.htm, dernière mise à jour : 2004-07-30

MENV (2004b) *Critères de qualité de l'eau de surface au Québec*. Gouvernement du Québec, Ministère de l'Environnement, site internet http://www.menv.gouv.qc.ca/eau/criteres_eau/index.htm, dernière mise à jour : 2004-11-22

MENVIQ (1980) *Débits spécifiques mensuels et annuels moyens du Québec*. Gouvernement du Québec, Ministère de l'Environnement, Service des eaux de surface, 13 cartes.

MENVIQ (1989) *Guide technique sur la réalisation des études préliminaires*.

MER (1994) *Guide de développement de la villégiature sur les terres du domaine public*. Gouvernement du Québec, Ministère des Ressources naturelles, Faune et Parcs, Direction de la gestion du territoire public, 68 p.

Michaud, A. R., R. Lauzier & M. R. Laverdière (2002) *Description du système de transfert du phosphore dans le bassin-versant du ruisseau au Castor*. Agrosol, 13 (2) : 124-139.

Newmaster, S.G. (1997) *Wetland Plants of Ontario*. Lone Pine Publishing, Edmondton, 240 p.

Nürnberg, G.K. (In Press) *Quantification of Internal Phosphorus Loading in* Polymictic Lakes. Verh. Internat. Verein. Limnol. 29, pp. 000-000

Nürnberg, G.K. (1998) *Prediction of annual and seasonal phosphorus concentrations in stratified and polymictic lakes*. Limnol. Oceanogr. 43: 1544-1552

Nürnberg, G.K. et B. D. LaZerte (2004) Modeling *the effect of development on internal phosphorus load in nutrient poor lakes*. Water Resour. Res., 40, W01105, doi:10.1029/2003WR002410.

Nürnberg, G.K., M. Shaw, P. J. Dillon, et D. J. McQueen (1986), *Internal phosphorus load in an oligotrophic Precambrian shield lake with an anoxic hypolimnion*. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 43 : 574– 580

Siegenthaler, U. & U. Eicher (1986) *Stable oxygen and carbon isotope analysis*. Chap. 20 in Handbook of Holocene Paleooecology and Paleohydrology, Ed. B.E. Berlung John Wilew & Son, pp. 407-422

Smith, R.A., R.B. Alexander & G.E. Schwarz (2003) *Natural Background Concentrations of Nutrients in Streams and Rivers of the Conterminous United States*. Environmental Science & Technology, 37 (14) : 3039-3047

Table de concertation en environnement de Portneuf (1999) *La gestion de l'eau dans la municipalité régionale de comté de Portneuf*, mémoire présenté au Bureau d'audiences publiques sur l'environnement, 26 octobre 1999, 29 p.

Therrien, J., Bourgeois, G., Shooner, G. et C. Beaulieu (1995) *Plan de mise en valeur de la rivière Sainte-Anne*. Rapport du Groupe Environnement Shooner pour la Corporation d'aménagement et de protection de la Sainte-Anne, 97 p. et annexes.

U.S. Environmental Protection Agency (1999) *Protocol for Developing Nutrient TMDLs*. EPA 841-B-99-007. Office of Water (4503F), United States Environmental Protection Agency, Washington D.C., 135 p.

Vollenweider, R.A. (1969) *Possibilities and Limits of Elementary Models Concerning the Budget of Substances in Lakes*. Arch. Hydrobiol., 66(1) 1-36

Walker, W.W.Jr. (2001) *Quantifying Uncertainty in Phosphorus TMDL's for Lakes*. Recherche effectuée pour la New England Interstate Water Pollution Control Commission et la United States Environmental Protection Agency - Region 1, Massachusetts, 22 p.