Bilan du suivi limnologique et recommandations pour freiner l'eutrophisation accélérée du lac Nairne et minimiser l'impact de ses symptômes pour les villégiateurs

Rapport final

Présenté à l'Association pour la protection de l'environnement du lac Nairne (APELN)

Ce rapport a été préparé par
Robert Hamelin & associés inc.

Roxane Tremblay, biologiste, M. Sc.

N/réf.: QE841-04-038

Décembre 2005

Table des matières

1.0 Introduction 1

1.1 Mandat 1

1.2 Objectifs des campagnes 1

1.3 Contenu du rapport 2

2.0 Bilan des résultats et interprétation 3

2.1 Taux de renouvellement du lac Nairne 3

2.2 Apport des tributaires en phosphore total 6

2.3 Stratigraphie thermique du lac et déficit en oxygène 10

2.4 Bilan de masse du phosphore *in situ* 17

2.5 Teneur en phosphore total dans la colonne d'eau de hauts-fonds (2) en période estivale 21

2.6 Observations pertinentes relevées lors des campagnes de terrain pour l'amélioration de la qualité du lac 23

2.6.1 Le faible débit du ruisseau Gagouette 23

2.6.2 Qualité douteuse de l'eau du tributaire T4 (ruisseau constitué de deux fossés convergents) 23

3.0 Plan d'action à mettre en œuvre 24

3.1 Actions à court terme 24

3.2 Actions à long terme 25

4.0 Suivi de l'état du lac 26

4.1 Le lac Nairne 26

4.2 Les tributaires 26

Références 27

Liste des tableaux et figures

Tableau 2.1 : Débits des tributaires, de l'émissaire et volume du lac pour l'estimation du taux de renouvellement annuel. 5

Tableau 2.2 : Les apports de phosphore total (PT) des différents tributaires du lac Nairne 7

Tableau 2.3 : Teneur en phosphore total des sédiments du lac Nairne..... 16

Tableau 2.4: Tableau synthèse permettant d'évaluer l'apport interne de phosphore sur une période annuelle 19

Figure 2.1 : Profils physicochimiques de la fosse principale du lac Nairne pour l'année 2004- 2005 11

Figure 2.2 : Profils physicochimique de deux (2) hauts-fonds pour les mois de juillet et août 2005 22

Annexes

Annexe 1 : Carte de localisation des sites d'échantillonnage

Annexe 2 : Table de calculs

Annexe 3 : Données brutes et certificats d'analyse

1.0 Introduction

1.1 Mandat

Le mandat confié à Robert Hamelin & associés s'inscrit dans la démarche globale entreprise par l'Association pour la protection environnementale du lac Nairne (APELN), pour freiner le processus d'eutrophisation (accéléré par les activités humaines). Dans ce contexte, notre mandat vise à documenter la situation limnologique et physiographique du lac Nairne et à recommander des mesures correctives pour réduire le taux de phosphore dans l'eau et freiner le processus d'eutrophisation du lac.

1.2 Objectifs des campagnes

Dans un premier temps, une visite de l'émissaire et des tributaires du lac a été effectuée pour localiser ces derniers et documenter leurs caractéristiques physicochimiques. Trop peu d'informations étaient disponibles sur ces cours d'eau, qui jouent un rôle déterminant dans le taux de renouvellement des eaux du lac Nairne et probable dans l'apport en oxygène dissous et en phosphore.

Dans un deuxième temps, le suivi de la teneur en phosphore total de tous les tributaires et du lac Nairne ont permis d'élaborer le bilan massique du phosphore total *in situ*.

Les autres objectifs poursuivis en terme d'acquisition de données lors des campagnes de terrain concernaient :

- la collecte de certaines caractéristiques morphométriques et physicochimiques de la fosse principale.

- l'estimation du débit instantané de l'émissaire et des tributaires afin d'obtenir une estimation annuelle du taux de renouvellement du lac.

- l'impact des activité nautiques sur le brassage de la colonne d'eau

Le travail effectué au cours de l'année 2004-2005 a permis de colliger plusieurs informations et de proposer des pistes de solution. Ces solutions sont exposées au meilleur de nos connaissances, elles ne se veulent pas exclusives.

1.3 Contenu du rapport

Le présent rapport fait état des résultats obtenus et de leur interprétation en ce qui concerne l'ensemble de la campagne annuelle effectuée (2004-2005).

Les sections du rapport traitent des aspects suivants :

- le taux de renouvellement du lac ;
- l'apport des tributaires en phosphore total ;
- la stratigraphie thermique et le déficit en oxygène dans la fosse principale du lac ;
- le bilan de masse *in situ* du phosphore total dans le lac ;
- la teneur en phosphore total dans la colonne d'eau de deux hauts-fonds (lors des activités nautiques) et enfin,
- les observations qui sont pertinentes à l'amélioration de la qualité de l'eau du lac, relevées pendant les campagnes de terrain.

Finalement, en fonction des résultats obtenus un plan d'action à court terme et à long terme est suggéré. Par ailleurs, les activités qui devraient faire l'objet d'un suivi sont précisées.

2.0 Bilan des résultats et interprétation

2.1 Taux de renouvellement du lac Nairne

Le niveau du lac et le débit de l'émissaire (Décharge du lac Nairne) ont été prélevés à six reprises entre octobre 2004 et octobre 2005. Le tableau 2.1 présente les résultats.

Selon les résultats obtenus, le débit de l'émissaire est toujours plus élevé que le cumulatif des débits de tous les tributaires. Les données relatives aux précipitations, à l'évaporation et aux infiltrations sont elles aussi impliquée dans le bilan hydrologique du lac et peuvent expliquer le différentiel observé. Toutefois, l'estimation de la période de renouvellement des eaux du lac ne tiendra compte que de l'effluent, des affluents (14) et du niveau d'eau du lac. Ce dernier permet d'estimer le volume du lac.

Les variations du niveau du lac ont été mesurées à l'aide d'une règle installée à l'émissaire du lac, en octobre 2004. Le niveau « zéro » pour l'estimation des volumes correspond à celui le plus bas relevé, soit celui du mois d'août, correspondant à 21,6 cm. Ainsi, les volumes excédant ce niveau sont le résultat de la différence du niveau de l'eau, multipliée par la surface du lac (2,32 km^2). Par ailleurs, les mois de l'année qui n'ont pas fait l'objet d'une campagne ont été estimés à l'aide des données récoltées. Ainsi, l'estimation moyenne sur 365 jours prend pour acquis que la période de renouvellement du mois de novembre équivaut à celle d'octobre; celles des mois de décembre, janvier et mars équivalent à février, que celle du mois d'avril équivaut à celle de mai et enfin, que celle du mois de juin équivaut à juillet.

À partir de cette hypothèse, en utilisant les débits de l'émissaire mesurés (en octobre 2004 et février, mai et juillet 2005) la période de renouvellement des eaux du lac serait de 24 jours.

Par ailleurs, les résultats de l'étude de OCDE (Ryding and Rast 1994) suggère de calculer le temps de séjour de l'eau, en divisant le volume du plan d'eau (m^3) par le volume annuel des apports d'eau (m^3/an). Pour ce qui concerne le lac Nairne, cette valeur équivaut à une moyenne de 46 jours.

Ces calculs indiquent que le taux de renouvellement des eaux du lac Nairne serait de l'ordre de 46 jours ou moins ; ce qui selon la littérature scientifique correspond à un taux de renouvellement rapide. Ainsi, si nous appliquons des mesures correctives avec un taux de renouvellement de 46 jours, nous sommes assurés de maximiser les résultats escomptés.

Par conséquent, la charge de phosphore qui intervient lors de la croissance végétale, dépend de celle qui est apportée au cours des 46 jours précédant la croissance. Par exemple, si nous voulons diminuer l'impact des floraisons estivales, nous devons contrôler les apports de phosphore exogène des deux mois précédents. De même, l'origine du phosphore endogène constitue un autre facteur important à prendre en compte et dont nous discuterons plus loin.

.

Tableau 2.1 : Débits des tributaires, de l'émissaire et volume du lac pour l'estimation du taux de renouvellement annuel.

Date	Débit des tributaires		Débit de l'émissaire		Hauteur	Volume du lac	Période de revouvellement (jour)	
d'échantillonnage	m3/s	m3/an	m3/s	m3/an	du lac (cm)	(m3)	Émissaire	Méthode OCDE
20-oct-05	3,91	1,24E+08	8,59	2,71E+08	37,5	1,31E+07	18	39
25-févr-05	n.a.	n.a.	2,95	9,29E+07	nd	1,27E+07	50	n.a.
31-mai-05	8,77	2,77E+08	9,95	3,14E+08	32,0	1,29E+07	15	17
25-juil-05	1,78	5,60E+07	5,43	1,71E+08	26,4	1,28E+07	27	83
29-août-05	2,11	6,67E+07	4,10	1,29E+08	*21,6	1,27E+07	36	69
28-sept-05	7,72	2,44E+08	9,26	2,92E+08	41,0	1,32E+07	17	20
							**24	**46**

* Niveau le plus bas relévé et le niveau zéro pour l'estimation des volumes du lac.
** Estimation moyenne sur 365 jours en prenant pour acquis l'information suivante: les mois d' octobre et novembre ont une période de renouvellement de 17,5 jours; les mois de décembre, janvier, février et mars ont une période de 50 jours et les mois d'avril, mai, juin et juillet ont une période de 27 jours.

2.2 Apport des tributaires en phosphore total

Le tableau 2,2 présente la quantité de phosphore total (PT) que les différents tributaires apportent au lac. Les valeurs de la première colonne du tableau correspondent à la concentration en phosphore total (PT) en mg/L, des eaux de chaque tributaire. Les valeurs de la deuxième colonne correspondent à la masse de PT en kg par jour, apportée par chaque tributaire, en tenant compte de son débit. Ce qui permet de relativiser et de catégoriser l'apport en phosphore total des tributaires, en terme d'importance.

Ainsi, on constate que la charge journalière en PT de certains tributaires est faible. Ceux qui ont apporté une charge de plus d'un kilogramme de PT par jour au lac, au moins une fois au cours de la campagne d'échantillonnage, sont le ruisseau Gagouette, le ruisseau des Sources, le ruisseau de Camping (Dallaire), le ruisseau du chemin Dallaire, le ruisseau de la Frayère privée et le Gros ruisseau. Toutefois, le ruisseau des Sources et le ruisseau de la frayère privée soulèvent peu d'inquiétude, parce que leurs rives sont très boisées et peu occupées. De même, le ruisseau Gagouette devrait être traité comme un cas particulier. En apparence, ce tributaire semblait être l'apport en eau le plus important du lac, mais l'occupation humaine modifie son régime hydrique entraînant un débit pratiquement nul et même négatif à certaines périodes. Nous discutons plus en détail de ces observations à la section 2.6.

Le ministère de l'Environnement s'est doté, depuis maintenant plusieurs années, des critères de qualité pour l'eau de surface. Ce qui nous intéresse ici c'est l'impact du phosphore sur la vie aquatique. Le ministère énonce un premier critère de 0,03 mg/L (OMOEE 1994) dans l'eau des rivières, qui vise à limiter la croissance excessive d'algues et de plantes aquatiques dans les ruisseaux et les rivières.

Tableau 2.2: Les apports de phosphore total (PT) des différents tributaires du lac Nairne

#	Ruisseau	Teneur en phosphore des tributaires									
		20-oct-04		31-mai-05		25-juil-05		29-août-05		28-sept-05	
		*mg/L	**kg/jour	*mg/L	**kg/jour	*mg/L	**kg/jour	*mg/L	**kg/jour	*mg/L	**kg/jour
T1	Gagouette	0,01	0,00	0,01	1,16	0,01	0,35	0,00	0,00	0,00	0,00
T2	des Sources	**0,03**	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	1,02
T3	des Bouleaux	**0,04**	2,07	0,01	0,29	0,01	0,00	**0,03**	0,00	**0,02**	0,00
T4	Fossées convergents	**0,02**	0,06	0,01	0,01	0,01	0,03	**0,03**	0,06	**0,03**	0,35
T5	Camping Dallaire	**0,02**	1,03	0,01	0,24	0,01	1,10	**0,03**	2,29	**0,05**	4,86
T55	Camping Dallaire #2					0,01	0,01	**0,12**	0,11	0,01	0,01
T6	chemin Dallaire	**0,10**	5,42	0,01	0,05	0,00	0,12	0,00	0,10	0,01	0,08
T7	de l'Impasse	0,01	0,00	0,01	0,06	0,01	0,00	0,01	0,00	**0,03**	0,00
T8	Rose-des-Vents	0,01	0,25	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	**0,03**	0,00
T9	des Cèdres					**0,03**	0,07	0,00	0,00	**0,02**	0,03
T10	Frayère privée	0,01	0,18	0,01	0,01			0,00	0,07	**0,03**	1,05
T11	Gros Ruisseau	**0,02**	2,64	0,01	0,05	0,01	0,47	**0,02**	0,36	**0,05**	18,36
T12	Maltais	**0,16**	0,00	0,01	0,02	**0,03**	0,17	**0,03**	0,00	**0,07**	0,16
T13	de la Montagne			0,01	0,00	**0,02**	0,03	**0,03**	0,02	**0,06**	0,00
T14	Simard (camping)			0,01	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	**0,12**	0,00
	L'ensemble des tributaires		12		2		2		3		26
	Teneur en PT du lac		334		123		693		339		2192
Apport des tributaires/46 jours			536		87		109		138		1192

*** Critère MENV (effet chronique pour vie aquatique) = 0,03 (rivière) et 0,02 (lac)**

**** Flux (teneur en PT x débit)**

Apport d'un kilogramme (et +) en phosphore total par jour

Estimation mathématique (on remarque une surestimation quand le taux de renouvellement est plus court que 46 jours)

Il énonce un deuxième critère de 0,02 mg/L (SEMAT 1998) dans l'eau des rivières, qui vise celui-ci à éviter la modification d'habitats dans ces lacs, notamment en y limitant la croissance d'algues et de plantes aquatiques. Il faut toutefois noter que ces critères s'appliquent aux cours d'eau s'écoulant vers des lacs dont le contexte environnemental n'est pas problématique.

Globalement, certains tributaires (valeurs en caractère gras, tableau 2.2) révèlent une teneur en PT égale aux critères du MENV (lors de la campagne d'octobre 2004, juillet 2005, août 2005 et septembre 2005). Par contre, d'autres tributaires (caractère gras et souligné, tableau 2.2) présentent des teneurs plus élevées que les critères énoncés : comme le ruisseau des Bouleaux, le ruisseau Maltais, le ruisseau du Camping 1 et 2, le ruisseau du Chemin Dallaire, le Gros ruisseau, le ruisseau de la Montagne et le ruisseau Simard. Toutefois, si l'on relativise leur apport de PT, en fonction de leur débit respectif, les tributaires apportant plus d'un kilogramme de PT par jour au lac (surligné en jaune, tableau 2.2) sont : le ruisseau Gagouette, le ruisseau des Sources, le ruisseau des Bouleaux, le ruisseau du Camping 1, le ruisseau du Chemin Dallaire, le ruisseau de la Frayère privée, le Gros ruisseau, le ruisseau Maltais, le ruisseau de la Montagne et le ruisseau Simard.

Le ruisseau des Bouleaux présente des teneurs élevées en PT (0,04 mg/L) et un débit 2,9 m/s (octobre 2004), mais son débit est pratiquement nul en période estivale. En ce qui concerne le ruisseau du Camping Dallaire (0,02, 0,03 et 0,05 mg/L) et le ruisseau du chemin Dallaire (0,10 mg/L). Ses ruisseaux s'écoulent sur des terres dénudées (champ, camping, habitation) et sont soumis à une forte érosion de leurs rives. Ces facteurs peuvent expliquer leur moins bonne qualité, Enfin, le Gros ruisseau est le tributaire qui apporte la plus grande charge de PT dans le lac. Lors de la campagne de septembre, la charge était de 18 kg par jour. Il y a lieu de pousser plus loin l'investigation concernant ce tributaire. Enfin, dans la plupart des cas, la concentration en phosphore est à surveiller ou limite mais non alarmante, en regard de leur débit. Enfin, ce portrait soulève le besoin de documenter l'environnement des tributaires ayant les apports les plus importants, afin de mettre en place des mesures correctives appropriées (ex. aménagement de la rive, contrôle des rejets). L'APELN a déjà déployé des efforts importants pour l'aménagement des rives du lac et l'amélioration de la qualité de

certains tributaires, afin d'améliorer l'habitat pour l'omble de fontaine (Leblond 2004). Les résultats, découlant de la présente étude, apportent des informations qui permettront de cibler et de poursuivre ces efforts.

Compte tenu des résultats obtenus, les activités réalisées dans le sous-bassin de drainage de certains tributaires auraient intérêt à être documentées, notamment en ce qui concerne les coliformes fécaux (section 2.6).

2.3 Stratigraphie thermique du lac et déficit en oxygène

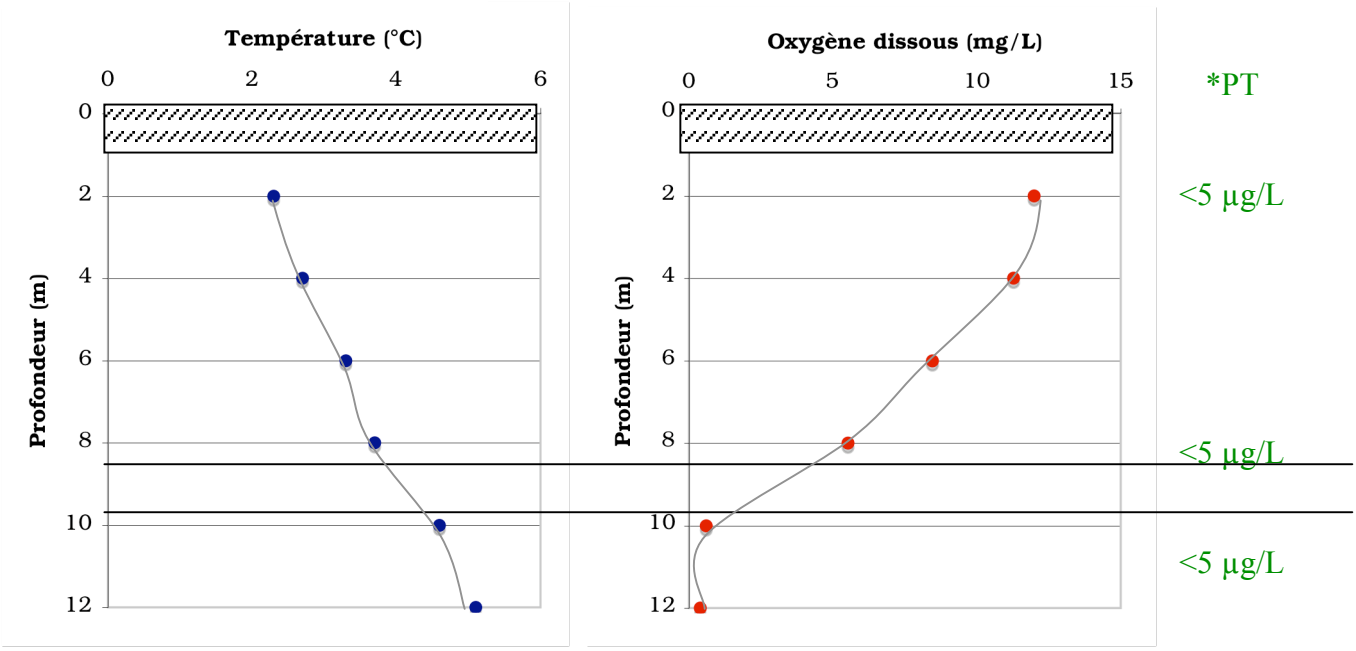
Un profil physicochimique de la colonne d'eau apporte des indications précieuses sur la dynamique physique du lac, mais à la manière d'une photographie. Par contre, l'ensemble des campagnes permet d'extrapoler davantage sur cette dynamique physique. Ainsi, les profils de la figure 2.1 montrent les conditions thermiques (stratigraphie), les concentrations en oxygène dissous et en phosphore total de la colonne d'eau qui prévalaient à différents moments en fonction de la profondeur et ce, au-dessus de la fosse principale du lac.

Lors de la stratigraphie hivernale (A. Profils du 25 février 2005), la couche la plus profonde (hypolimnion) est complètement dépourvue d'oxygène dissous et la teneur de l'eau en PT (<5 μg/L) est uniforme dans l'ensemble de la colonne d'eau. Compte tenu qu'il y a absence de croissance végétale depuis plusieurs mois, il n'est pas surprenant d'observer aucune accumulation de matières organiques et de minéraux comme le phosphore. Toutefois, les sédiments riches en phosphore total (PT) et la forte anoxie en profondeur sont des conditions propices au relargage du phosphore total en forte concentration dans la colonne d'eau, sous certaines conditions chimiques (potentiel redox (Eh), pH, etc.) qui n'étaient pas rencontrées au moment de l'échantillonnage. Le bilan de masse du phosphore total du lac est de 0,123 tonne (annexe 2 : tables de calcul).

Par ailleurs, les profils physicochimiques du brassage printanier (B. Profils du 31 mai 2005) révèlent une colonne d'eau homogène avec une faible teneur en phosphore total (<5 mg/L). Le bilan de masse du phosphore total du lac est le même qu'en février, soit 0,123 tonne.

Figure 2.1 : Profils physicochimiques de la fosse principale du lac Nairne pour l'année 2004-2005

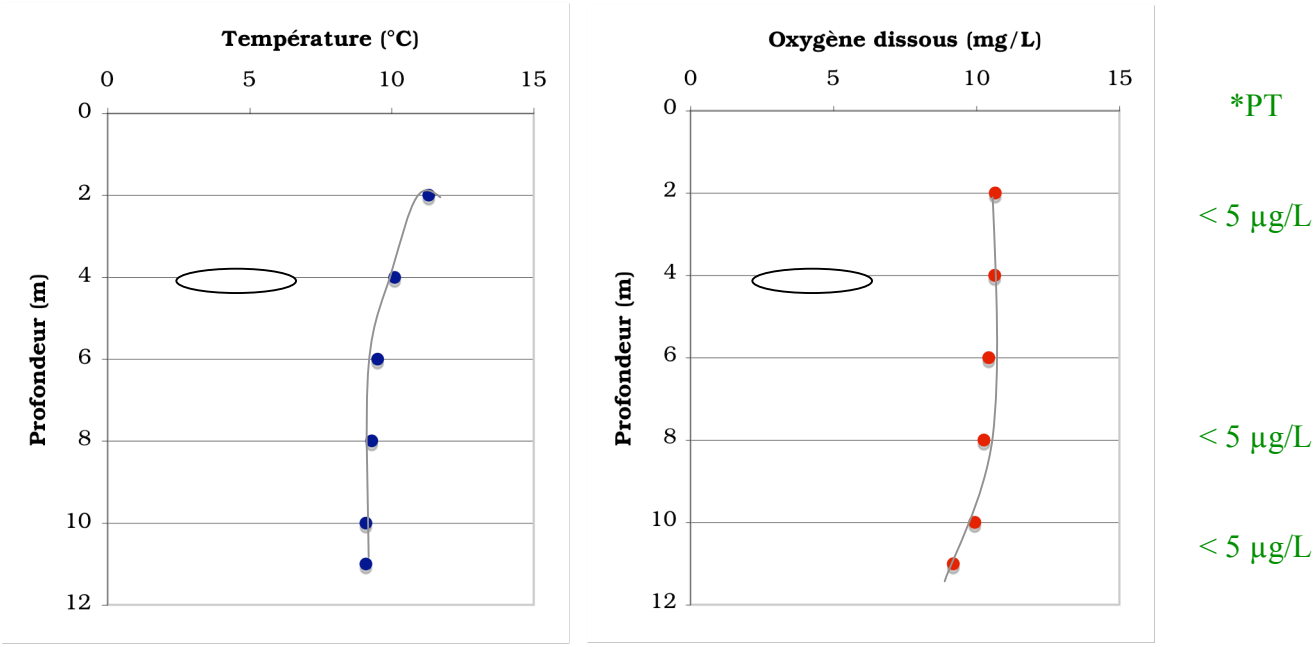
A. Profil du 25 février 2005



Couvert de glace

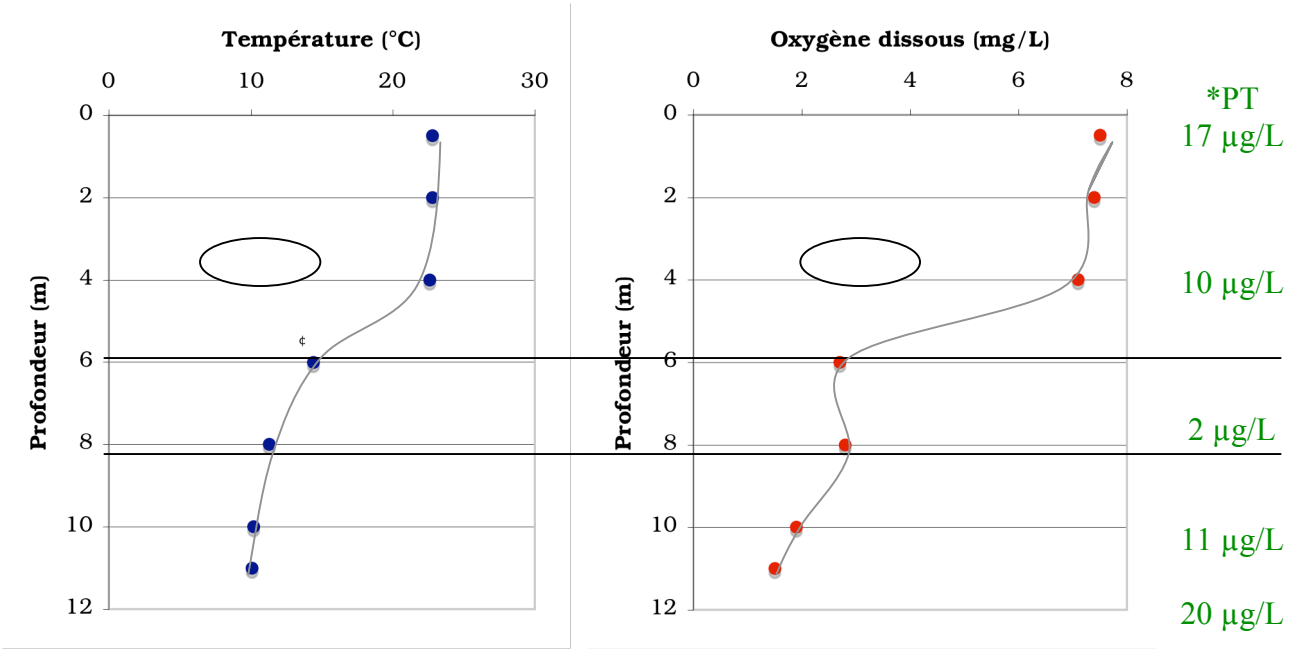
*Teneur de l'eau en phosphore total

B. Profils du 31 mai 2005

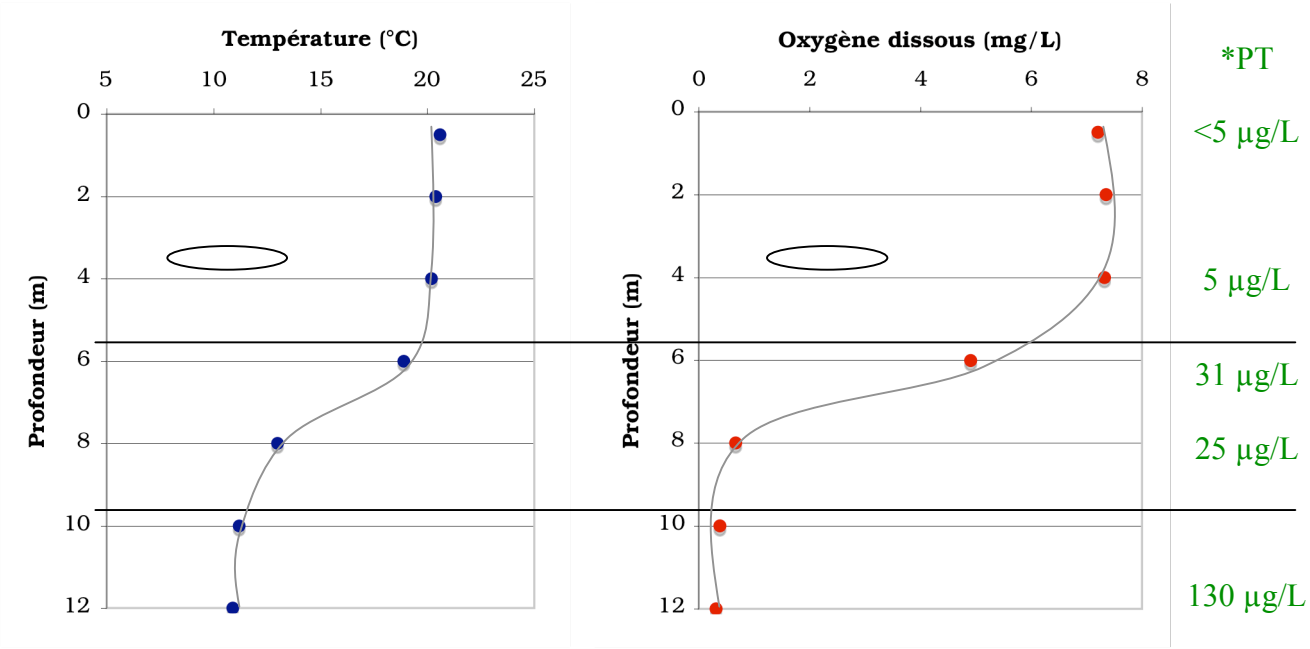


= Disque de secchi

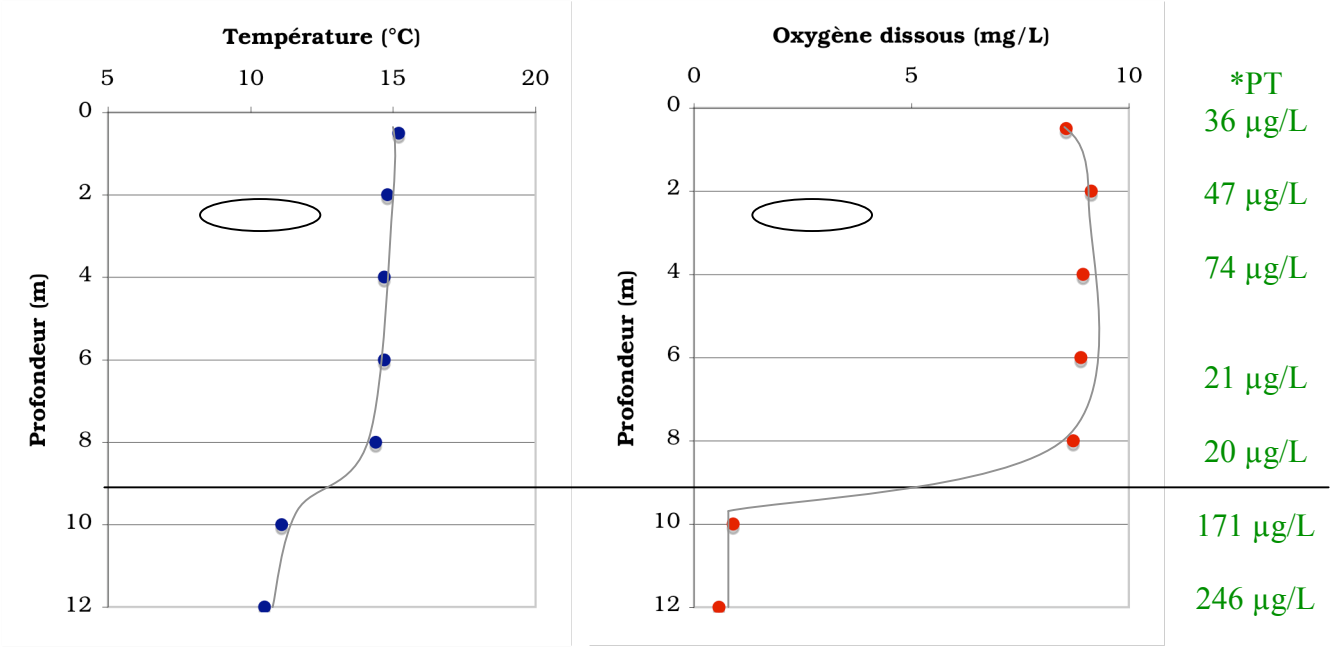
C. Profils du 01 juillet 2005



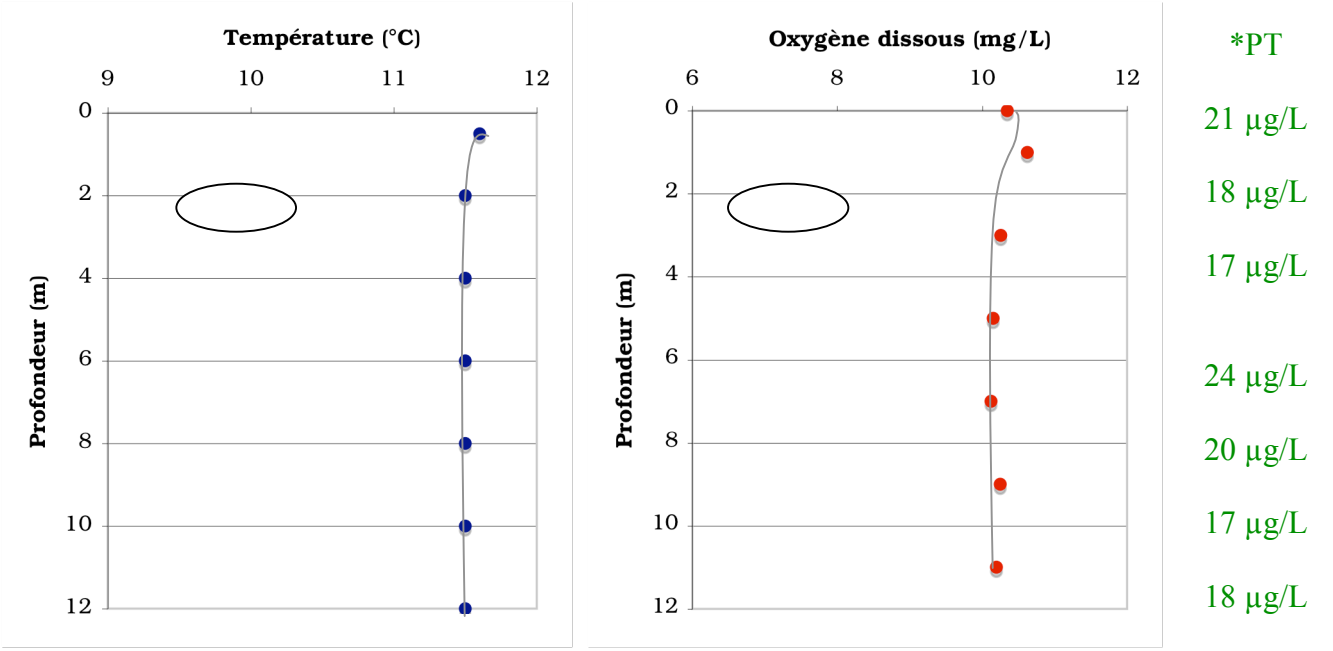
D. Profils du 29 août 2005



E. Profils du 28 septembre 2005



F. Profils du 19 octobre 2005



Les profils du début de l'été (C. Profils du 1er juillet 2005) sont représentatifs d'une stratigraphie thermique avec en surface l'épilimnion, au centre le métalimnion et en profondeur l'hypolimnion. La température varie de 24°C à la surface, pour s'abaisser à 10°C en profondeur. Le métalimnion est une couche où la densité de l'eau est plus grande et la teneur en PT très faible (2 μg/L). Par contre, les concentrations de phosphore se situent entre 10 et 20 μg/L à l'intérieur de l'épilimnion et de l'hypolimnion. Le bilan de masse de phosphore total du lac est de 0,690 tonnes. Le disque de secchi indique que la zone photique atteint 3.5 mètres. La teneur en oxygène dissous est faible (< 3mg/L) à partir de six mètres de profondeur. L'eau est chaude et la décomposition microbiennes qui est à l'œuvre fait chuter le bilan d'oxygène.

À la fin août (D. profils du 29 août 2005), la température de la colonne d'eau a diminué à la surface et se situe entre 20 et 10°C. La zone photique atteint 3,75 mètres de profondeur. Il y a moins de particules en suspension dans la colonne d'eau que le 1er juillet. Par ailleurs, on constate que la teneur en oxygène atteint 7 mg/L jusqu'à huit mètres de profondeur, donc que la colonne d'eau est mieux oxygénée. Par contre, c'est l'anoxie complète entre huit et douze mètres de profondeur. Dans l'hypolimnion, l'oxygène se fait moins rare à six mètres qu'à la même période au mois de juillet. Les concentrations en phosphore total sont très élevées en profondeur, soit de 130 μg/L à onze mètres de profondeur, de 25 μg/L à huit mètres de profondeur, de 30 μg/L à six mètres de profondeur et enfin, < 5 μg/L entre zéro et quatre mètres de profondeur. Le bilan de masse du phosphore total du lac est maintenant de 0,330 tonnes. Le bilan a chuté de moitié comparativement au début juillet.

Au mois de septembre, les températures de l'eau suivent la tendance des températures de l'air et se situent maintenant entre 15 et 10 °C. Malgré un accroissement des particules en suspension ; soit une zone photique se limitant à 2,5 mètres de profondeur, la concentration en oxygène dissous se maintient au-dessus de 8 mg/L, jusqu'à huit mètres de profondeur. Les teneurs en PT sont très élevées : de 20 à 75 μg/L dans l'épilimnion et de 171 à 246 μg/L dans l'hypolimnion. Ce qui donne un bilan de masse de PT dans le lac de 2,190 tonnes. Malgré des températures plus fraîches de l'eau, une floraison de cyanobactéries est survenue à la fin septembre / début octobre (voir annexe 2, photo#1 : écume verte sur le lac).

Finalement, à la mi-octobre (F. Profils du 19 octobre 2005) la densité de l'eau en surface a suffisamment augmenté pour provoquer un brassage de la colonne d'eau. La température moyenne de l'eau est de 10,3°C. la concentration en oxygène est au-dessus de 10 mg/L, donc toute la colonne d'eau est saturée en oxygène. Les teneurs de l'eau en PT sont assez uniformes, se situant entre 17 et 21 μg/L. Le bilan de masse de PT du lac a descendu à 0,960 tonnes.

La synthèse de ces résultats nous permet de faire les constats suivants :

- Pendant l'hiver, la qualité de l'eau du lac Nairne est bonne (PT < 5 μg/L) et bien que la stratigraphie thermique entraîne l'anoxie en profondeur, les sédiments ne semblent pas relarguer du phosphore dans la colonne d'eau. Le bilan de masse du PT dans le lac est de 0,123 tonnes.
- À la fin mai (printemps), la teneur en phosphore total est toujours faible (< 5 μg/L), la transparence de l'eau est à son meilleur (zone photique = quatre mètres de profondeur). La croissance des algues n'est pas préoccupante. Le bilan de masse du PT demeure la même, soit 0,123 tonnes.
- Au début juillet, la colonne d'eau est bien stratifiée, le taux d'oxygène chute vers quatre mètres de profondeur et la teneur en phosphore total se situe entre 10 et 20 μg/L. Le bilan de masse du PT dans le lac est de 0,690 tonnes, il a pratiquement sextuplé.
- À la fin août, la transparence est meilleure qu'en juillet, l'épilimnion est de meilleure qualité. Toutefois, le métalimnion et l'hypolimnion sont en anoxie et la teneur en PT est extrêmement élevée. Cette situation s'explique par la sédimentation de la biomasse algale et la décomposition de cette biomasse par les microorganismes en profondeur entraînant un déficit d'oxygène. Ce déficit favorise la disponibilité du phosphore par la suite. Le bilan de masse du PT dans la colonne d'eau a diminué à 0,330 tonnes.
- À la fin septembre, la couche d'eau du métalimnion est tellement réduite que l'on ne différencie que l'hypolimnion qui est fortement chargée en PT et l'épilimnion qui atteint aussi des teneurs en PT jusqu'ici jamais atteintes (171 à 246 μg/L). Le bilan de masse de PT du lac est de 2,192 tonnes[1].

---

[1] Malgré des températures entre 10 et 15 °C, le lac subira un autre épisode de floraison de cyanobactéries (septembre 2005). Enfin, la quantité de phosphore total dans l'eau a une fois de plus sextuplé, passant de 0,330 à 2,190 tonnes. Il faut aussi rappeler qu'à

- Suite au brassage automnal, soit 22 jour plus tard, la colonne d'eau montre des conditions physicochimiques homogènes. Le bilan de masse de PT du lac est maintenant de 0,960 tonnes, diminuant ainsi du tiers. Le taux de renouvellement assez rapide du lac (de l'ordre de 46 jours) entraîne des pertes non négligeable de PT.
- Enfin, la teneur en PT des sédiments de la fosse principale (tableau ci-dessous) montre que la teneur de phosphore varie beaucoup en fonction du temps et quelle est à son niveau le plus bas le 29 août 2005, lorsque les concentrations s'élèvent dans la couche la plus profonde (hypolimnion) de la colonne d'eau. De plus, à la fin septembre, le bilan de masse du lac atteint un nombre record de 2,192 tonnes.

Tableau 2.3 : Teneur en phosphore total des sédiments du lac Nairne

Date	**Teneur en phosphore total (mg/kg de sédiment)**		
	Fosse principale	**Haut-fond 3 mètres**	**Haut-fond 4 mètres**
20-oct-04	1100	1300	730
31-mai-05	2200	-	-
29-août-05	180	<120	<120

À la lumière de ces informations et des données recueillies, il est possible d'évaluer les sources de phosphore à l'aide du bilan de phosphore total *in situ* du lac Nairne qui est présenté à la section 2.4.

cette période, la mortalité des plantes aquatiques peut intervenir comme source importante de phosphore.

2.4 Bilan de masse du phosphore *in situ*

Le phosphore existe à l'état naturel dans les roches et constitue un élément essentiel à la croissance végétale, donc habituellement limitant pour cette dernière. Toutefois, les activités humaines ont modifié cet équilibre naturel à l'échelle des lacs, mais aussi à l'échelle planétaire de sorte que les apports de phosphore s'effectuent aussi par transport atmosphérique.

Le phosphore peut s'introduire dans le lac par quatre voies principales : i) les apports atmosphériques, y compris les précipitations et la poussière; ii) les sources ponctuelles (discrètes), dont les stations de traitement des eaux usées et les effluents industriels; iii) les sources diffuses, dont les eaux pluviales et les eaux de ruissellement des terres cultivées ou déboisées; iv) les sources diffuses à l'intérieur du réseau hydrographique, y compris l'érosion des berges et la remise en suspension des sédiments. Le taux d'enrichissement des écosystèmes dulcicoles, par le phosphore, varie selon l'utilisation des terres, la géologie, la morphologie du bassin de drainage, la productivité des sols, les activités humaines et la pollution. (http://www.ec.gc.ca/ceqg-rcqe/Francais/Html/GAAG_Phosphorus_WQG.cfm).

Au lac Nairne, les floraisons de cyanobactéries et la mortalité de poissons sont indirectement liées au phénomène d'enrichissement en phosphore dans le lac. Les concentrations excessives de phosphore stimule la croissance des plantes et des algues, donc augmente la quantité de matières organiques qui se dépose au fond du lac. Lorsqu'il n'y a plus d'oxygène, ce qui est le résultat de la décomposition de cette matière, le phosphore qui était emprisonné dans les sédiments et qui constitue la charge interne peut être relargué dans la colonne d'eau et ainsi engendrer un problème de surproductivité.

Les études de bilan de phosphore consistent essentiellement à quantifier la teneur en phosphore total de l'ensemble du lac, quantifier tous les apports de phosphore apportés au lac et quantifier toutes les pertes de phosphore via les émissaires.

Le bilan obtenu permet de mesurer l'ampleur du phénomène de relargage (ou l'importance des apports interne du lac) versus les apports provenant des tributaires qui drainent le bassin versant.

La méthode de calcul utilisée pour effectuer le bilan de masse du phosphore total *in situ* est basée sur celle de Vollenweider (Vollenweider 1976). Le tableau 2,4 contient la synthèse des informations qui sont nécessaires à l'établissement du bilan, en compilant les données de 2004 et 2005. Les données sources, les valeurs calculées et les certificats d'analyse sont présentés à l'annexe 3.

La masse de PT calculée à l'intérieur du lac a été obtenue en analysant la teneur de PT sur différentes profondeurs de la colonne d'eau de la fosse principale et ces résultats ont été multipliés au volume d'eau correspondant. La méthode de calcul pour le volume du lac Nairne est énoncée dans le rapport de 2004 (RHA 2004). D'autre part, les apports exogènes de PT au lac ont été déterminés en mesurant la teneur de phosphore dans tous les tributaires inventoriés(14) et leur débit respectif. Enfin, les pertes en PT du lac ont été estimées avec la compilation de la teneur en phosphore de l'émissaire (Décharge du lac) et son débit. Les apports atmosphériques (pluies et poussières) ne font pas partie de ce bilan.

La dernière colonne du tableau (différence entre les masses mesurées et calculées de PT) est le résultat algébrique des autres colonnes. Lorsqu'une valeur négative, est obtenue, ceci indique que les apports exogènes (tributaires) de PT sont plus importants que les apports endogènes (relargage). À l'inverse, si les valeurs sont positives, les concentrations en PT dans le lac s'expliquent par des apports endogènes de phosphore.

Ainsi, nous constatons qu'entre le mois d'octobre 2004 et février 2005, le bilan de masse du PT est pratiquement nulle. Par contre, entre les mois de mai 2005 et octobre 2005, les sources de phosphore sont toujours endogènes.

Tableau 2.4: Tableau synthèse permettant d'évaluer l'apport interne de phosphore sur une période annuelle

Nombre de jour écoulé entre 2 dates

La valeur positive équivaut à une cha interne de phos

Dates		Masse de P total dans le lac (tonne)	Apport de P total au lac entre deux dates (tonne)	Perte de P total du lac entre deux dates (tonne)	Masse de P total calculée à la date (tonne)	Masse de P total mesuré à la date (tonne)	Différence entre les masses mesurées et calculées de P total (tonne)
20/10/04		0,330					
	128/4=32		0,37	-0,61	0,09	0,123	0,03
25/02/05		0,123					
	95		0,00	-0,57	-0,45	0,123	0,57
30/05/05		0,123					
	55		0,10	-1,16	-0,93	0,678	1,61
25/07/05		0,690					
	35		0,11	-1,47	-0,68	0,680	1,36
29/08/05		0,330					
	31		0,05	-0,28	0,10	2,153	2,05
28/09/05		2,190					
	22		0,57	-3,70	-0,94	0,960	1,90
19/10/2005		0,960					
Temps total	270		Apport annuel de Ptotal au lac	Perte annuelle de Ptotal du lac		Somme des flux de P de l'eau vers le sédiment (valeurs négatives)	
			1,20	7,78		0,00	
			Différence entre les apports et les pertes de P			Somme des flux de P du sédiment vers l'eau (valeurs positives)	
			-6,58			7,52	

*Source:*S.-O.Ryding et W. Rast (1994)*

Les profils physicochimiques mensuels permettent de visualiser l'importance des teneurs en phosphore dans la colonne d'eau ainsi que la présence d'une masse organique en profondeur et un déficit en oxygène dissous. À l'échelle annuelle, la dynamique du bilan de masse de PT permet de constater que la quantité de phosphore excédentaire est endogène.

Les résultats démontrent que la masse endogène de matières organiques qui s'accumulent dans les sédiments constitue la principale la source de PT de ce dernier. La disponibilité du PT dans l'hypolimnion est favorisée par les conditions anoxiques qui s'installent en profondeur au cours de l'été et de l'hiver. À ce propos, la grande variation de la concentration en phosphore total constatée dans les sédiments de la fosse, entre le printemps et l'été, appuie l'hypothèse d'un apport endogène de phosphore qui est constamment renouvelé par la surproduction dans le lac à l'échelle d'une saison.

Ainsi, le cycle de la surproductivité du lac qui augmente la disponibilité du phosphore dans la colonne d'eau entre juillet et septembre engendre probablement de surcroît des floraisons d'algues. Les objectifs à poursuivre pour les membres de l'APELN serait de réduire à court terme (échelle d'une été), la diffusion du phosphore engendré par le relargage et la croissance de la biomasse. À long terme, il s'agit de poursuivre les efforts déjà entrepris pour minimiser l'érosion des berges et la diffusion du phosphore dans les sols aux abords du lac, afin de diminuer le bilan de masse interne du lac.

2.5 Teneur en phosphore total dans la colonne d'eau de hauts-fonds (2) en période estivale

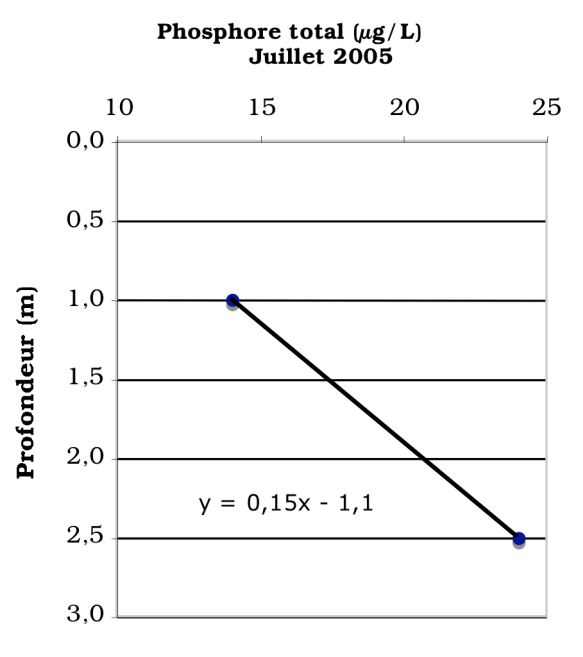
Cette section traite de la dynamique physicochimique de la colonne d'eau à des endroits peu profonds et fortement utilisés pour les activités nautiques. L'hypothèse de travail est à l'effet que le brassage constant des eaux à ces endroits engendre une plus forte concentration de la teneur en PT et une concentration homogène du PT dans la colonne d'eau.

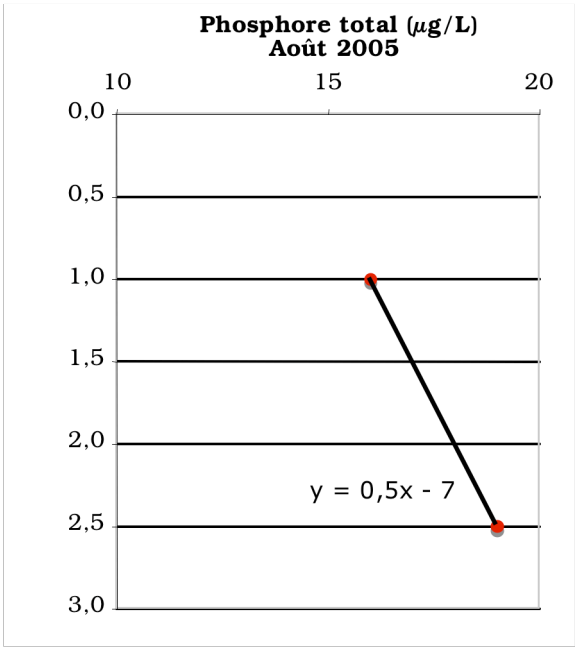
La figure 2.2 illustre les profils obtenus. La carte de localisation des sites d'échantillonnage (annexe 1) présente les stations d'échantillonnage des hauts-fonds. Les échantillons d'eau ont été prélevés au mois de juillet et d'août pour analyser la teneur en phosphore total, la température et leur concentration d'oxygène dissous. Les résultats exprimés sous forme de courbes montrent que la courbe de tendance, qui représente la teneur en PT, est la même sur tous les profils, soit une pente positive montrant que la teneur en PT est toujours supérieure en profondeur. Ainsi, la concentration en PT n'est pas homogène sur l'ensemble de la colonne d'eau aux endroits mesurés, malgré leur utilisation intense pour les activités nautiques.

Par ailleurs, la température et la concentration d'oxygène dissous varient sensiblement de la surface vers le fond et montrent la même tendance (une pente positive). Ainsi, les propriétés de la colonne d'eau montre une stratigraphie en fonction de la température (donc de la densité de l'eau). La colonne d'eau n'a pas le profil d'une colonne d'eau soumise à un brassage. Enfin, la faible profondeur permet un taux d'oxygène près du niveau de saturation sur toute la colonne.

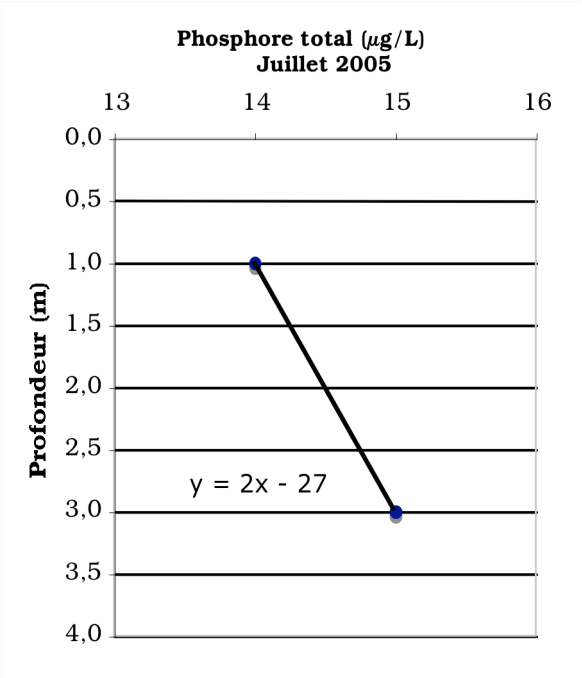
Figure 2.2 : Profils physicochimique de deux (2) hauts-fonds pour les mois de juillet et août 2005

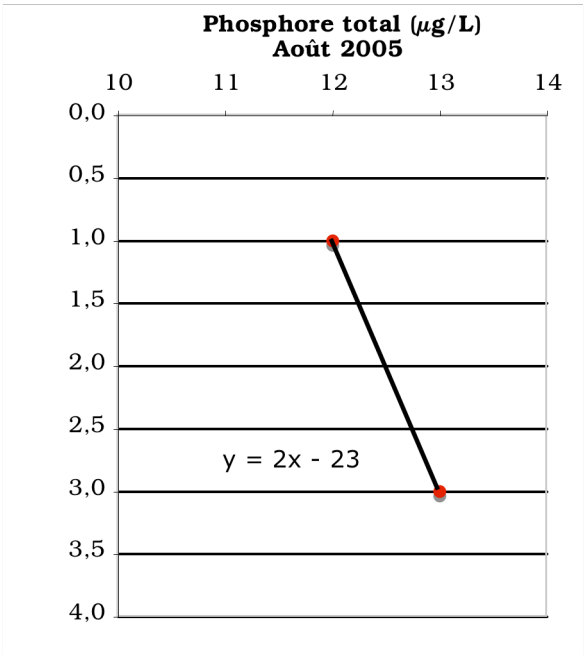
A. Haut-fond à 3 mètres de profondeur : teneur en phosphore total dans la colonne d'eau





B. Haut-fond à 4 mètres de profondeur : teneur en phosphore total dans la colonne d'eau





2.6 Observations pertinentes relevées lors des campagnes de terrain pour l'amélioration de la qualité du lac

2.6.1 Le faible débit du ruisseau Gagouette

Lors de la première sortie de terrain en octobre 2004, des débits pratiquement nuls ont été mesurés à l'embouchure du ruisseau Gagouette. Cette campagne effectuée suite à un épisode de pluie abondante. Par ailleurs, aa mesure du débit du ruisseau Gagouette était négative lors de la campagne du mois de juillet. Par contre, en amont (au chemin du lac Nairne), le ruisseau s'écoulait toujours. Une vérification de la section entre la route et l'embouchure a permis de constater la présence de six prises d'eau. Beaucoup de résidents semblent s'alimenter en eau à partir de cette section du ruisseau. Cette situation de débit nul contribue à la diminution du taux renouvellement des eaux du lac pour cette zone. De plus, les fleurs d'eau, nuisibles pour la santé humaine, remontent dans la section du ruisseau où l'eau est puisée.

2.6.2 Qualité douteuse de l'eau du tributaire T4 (ruisseau constitué de deux fossés convergents)

Lors de la campagne de terrain du mois de juillet 2005, une écume qui ressemblait à de la matière organique en décomposition flottait sur l'eau de ce tributaire dans la section située entre le chemin du lac Nairne et son embouchure. Un échantillon a été prélevé en vue d'analyse pour vérifier la présence ou non de coliformes fécaux. Le résultat d'analyse fut positif. Conséquemment, des coliformes fécaux sont présents dans ce tributaire, alors qu'il ne devrait pas y en avoir.

3.0 Plan d'action à mettre en œuvre

3.1 Actions à court terme

Afin de réduire la surproductivité sur une base estivale, l'APELN peut envisager la combinaison de diverses actions pour favoriser l'atteinte de l'objectif recherché à savoir la réduction de la diffusion du phosphore engendré par le relargage et la croissance de la biomasse végétale.

Parmi les actions possibles, on retrouve :

- le faucardage et le ramassage des plantes aquatiques à la fin de l'été ;
- l'installation de systèmes pour effectuer le brassage de l'eau, l'oxygénation des couches d'eau profondes et conséquemment la diminution de la croissance des algues[2] (ex : le système Solarbee©)

Comme ces systèmes sont coûteux, l'APELN pourrait envisager, pour 2006, la réalisation d'un essai pilote visant à vérifier l'hypothèse qu'une diminution de la croissance algale engendrerait un effet direct mesurable sur la réduction de l'anoxie, en profondeur et sur le relargage du phosphore.

À cette fin, l'APELN pourrait réaliser une installation permettant de réduire la pénétration des rayons solaires et diminuer ainsi la croissance des algues sur une partie de la surface du lac Nairne. La façon de faire, pourrrait être l'installation de surfaces flottantes (ex. plusieurs parcs de balles flottantes ou encore des bidons blancs récupérés maintenu ensemble par des flotteur encrés). De manière concomitante, un suivi physicochimique de l'eau devrait être effectué pour en mesurer les effets.

[2] Avec ces systèmes, la colonne d'eau n'est plus stratifiée, le renouvellement de l'eau en profondeur s'améliore et l'élimination de la matière organique (biomasse algale) est favorisée. L'élimination de la biomasse algale a pour effet de réduire l'accumulation du PT dans les sédiments et la colonne d'eau de l'hypolimnion.

3.2 Actions à long terme

Les mesures préventives sont nécessaires. La municipalité doit gérer rigoureusement le traitement des eaux usée des résidences isolées et l'aménagement de son territoire. À cet effet, nous sommes d'avis que l'association des riverains doit développer une étroite complicité avec la municipalité. Des actions immédiates peuvent faire l'objet d'amélioration : un meilleur contrôle, voir l'élimination des prises d'eau dans le ruisseau Gagouette, le suivi étroit de la conformité des installations septiques et des nouveaux aménagements. À cet effet, L'APELN doit veiller à ce que la municipalité se dote s'un système de gestion fonctionnel et efficace.

Enfin, les riverains doivent maintenir leurs efforts de restauration des berges et maintenir leur cohésion pour mener à termes les mesures correctives d'année en année.

4.0 Suivi de l'état du lac

4.1 Le lac Nairne

Il nous apparaît essentiel de poursuivre le suivi physicochimique (température, pH, oxygène, PT et Chla) de la colonne d'eau au-dessus de la fausse principale car c'est une photographie des événements qui assure un suivi de l'état trophique du lac et de la dynamique estivale. La chlorophylle a (Chla) permettra aussi de suivre l'évolution de la biomasse algale dans la colonne d'eau.

Par ailleurs, aucune information sur la progression de l'accélération de l'eutrophisation dans le temps (ex. accumulation de la matière organique dans le bassin) n'est disponible. Il serait pertinent d'effectuer une analyse des sédiments de la fosse en prélevant des carottes, afin de documenter les conditions naturelles du lac versus l'ampleur des changements sédimentaires de celui-ci, depuis son occupation par l'homme. L'étude des sédiments peut permettrent de déterminer le taux de sédimentation du lac et la quantité de matières organiques qui contribue à son comblement progressive et ce, à travers le temps. Et ainsi, nous informer concrètement sur l'ampleur des changements en fonction du temps.

4.2 Les tributaires

Il est important de poursuivre l'investigation et d'éliminer la source des coliformes fécaux contenus dans le tributaire T4.

Le Gros ruisseau apporte des concentrations importantes de phosphore au mois de septembre dans le lac. Les causes potentielles devraient être documentées.

Un suivi visuel devrait être effectué sur l'ensemble des tributaires afin de détecter les anomalies et d'y remédier.

Références

(OMOEE), O. M. o. E. a. E. (1994). *Water Management*. *Policies, Guidelines, Provincial Water Quality Objectives of the Ministry of Environment and Energy*. Toronto**:** 32 p.

(SEMAT), S. d. l. é. d. m. a. e. d. t. (1998). Note technique interne sur *l'utilisation du critère de 0,02 mg/L de phosphore total en amont de lacs en période d'étiage*. Service de l'évaluation du milieu aquatique et des travaux, Direction des écosystèmes aquatiques. Québec, MENV.

RHA, Robert Hamelin & associés (2004). Campagne d'échantillonnage du lac Nairne (octobre 2004) - Rapport de terrain et compilation des données. Saint-Jean-Chrysostome (Québec)**:** 17 p.aa.

RHA, Robert Hamelin & associés (2005). Recommandations préliminiares visant le contrôle du phosphore dans le lac Nairne - Second rapport. Saint-Jean-Chrysostome (Québec)**:** 18 p.

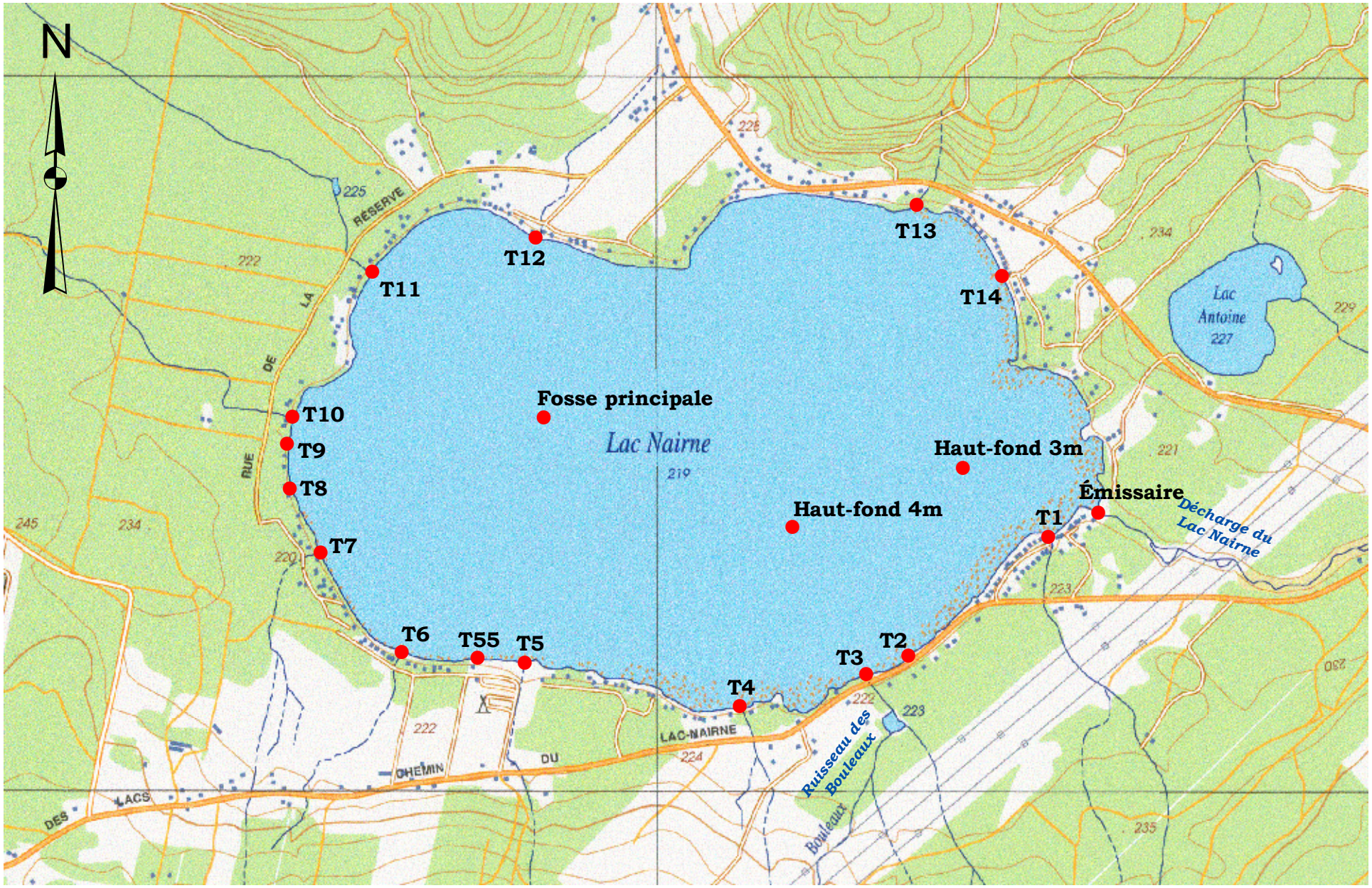
Leblond, P. (2004). Plan d'action pour la restauration de l'habitat de l'omble fontaine. Saint-Aimé-des-Lacs, Association pour la Protection de l'Environnement de Lac Nairne Inc.**:** 54.

Ryding, S.-O. and W. Rast (1994). Le Contrôle de l'eutrophisation des lacs et des réservoirs. Paris, Masson: Unesco.

Vollenweider, R. A. (1976). "Rotsee, a source, not a sing for phosphorus? A comment to and a plea for nutrient balance studies." *Hydrologie* **38**: 29-34.

Annexe 1

Carte de localisation des sites d'échantillonnage



ROBERT HAMELIN & associés

Cartographie réalisée par Flash géomatique inc.

Projet: QE 841-04-038

Date: décembre 2005

C.P. 95
Saint-Jean-Chrysostome
Québec
G6Z 2L3

200 100 0 200 400 600 800 Mètres

Échelle approximative 1 : 15 000

Source de fond

Carte 1:20 000, BDTQ
Ministère des Ressources naturelles du Québec, 2001.

Figure 1

Localisation des sites d'échantillonnage

Association pour la protection de l'environnement du lac Nairne (APELN)

Annexe 2

Table des calcul de débits

Annexe 3

Données brutes et certificats d'analyse