

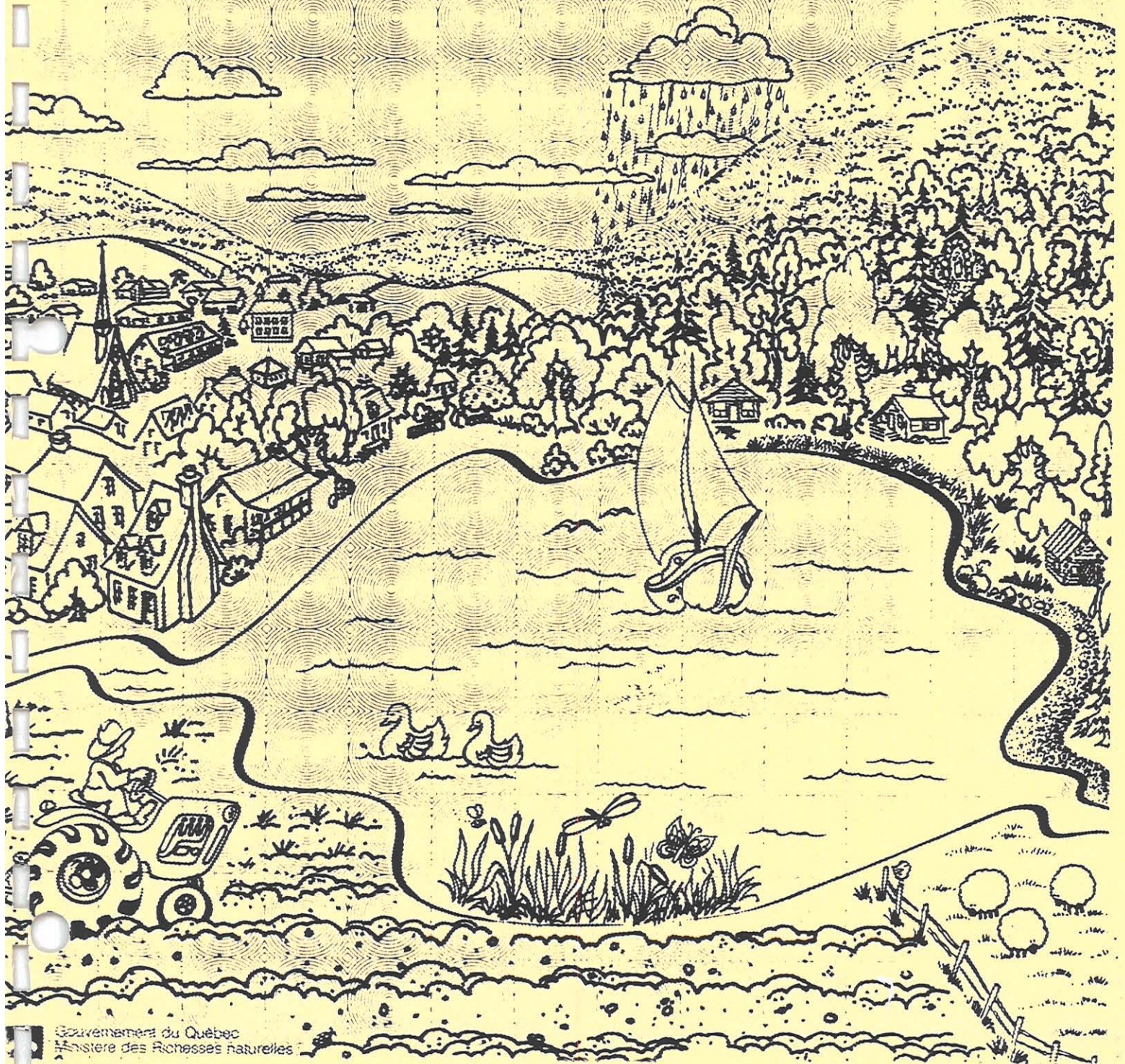
méthodologie pour le calcul des apports en phosphore et la détermination de la capacité de support d'un lac

202

SURF279

La gestion de l'eau au Québec

AUD6212-07-00





Gouvernement du Québec
Ministère de l'Environnement
Service des eaux des eaux

méthodologie pour le calcul des apports en phosphore et la détermination de la capacité de support d'un lac

METHODOLOGIE POUR LE CALCUL DES APPORTS EN PHOSPHORE
ET LA DETERMINATION DE LA CAPACITE DE SUPPORT D'UN LAC

AUTEURS: JACQUES ALAIN
: MARIE LEROUZES

MINISTERE DES RICHESSES NATURELLES
SERVICE DE LA QUALITE DES EAUX

JANVIER 1979

Dépôt légal - 2e trimestre 1979
Bibliothèque nationale du Québec
ISBN-2-551-03432-9

® Editeur officiel du Québec

PRÉPARÉ PAR:

Jacques ALAIN

Marie LE ROUZÈS

COLLABORATION:

Le présent rapport est le produit d'un travail d'équipe, et les auteurs désirent exprimer leur reconnaissance aux nombreuses personnes qui ont contribué à sa réalisation, notamment Paul Potvin, Pierre Lemoyne, Paul Meunier, Gilles Lefebvre, Pierre Mathieu, ainsi qu'aux divers stagiaires et étudiants qui ont travaillé à ce projet.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ

INTRODUCTION

1. LES LACS INEXPLOITÉS

1.1	CRITÈRES DE DÉFINITION	1.3
1.2	CALCUL DU MODÈLE 1	1.3
1.2.1	Données générales	1.3
1.2.2	Les apports en provenance du sol.	1.5
1.2.2.1	Zones d'affectation agricole (P)	1.6
1.2.2.2	Zones improductives (Ip)	1.6
1.2.2.3	Zones forestières (Ti et Ts)	1.7
1.2.2.4	Zones urbaines (B)	1.7
1.2.2.5	Marais, marécages (M).	1.7
1.2.2.6	Surfaces d'eau (Z)	1.7
1.2.2.7	Coefficient d'exportation moyen ($\bar{E}_s$)	1.7
1.2.3	Les apports en provenance de la population.	1.8
1.2.3.1	Population saisonnière	1.8
1.2.3.2	Population permanente.	1.9
1.2.4	Calcul de la charge spécifique parvenant au lac	1.9
1.2.5	Les lacs en amont du lac étudié (L_a).	1.10
1.2.6	Calcul d'une charge totale entièrement naturelle (L_{pn}).	1.14
1.2.7	Présentation des résultats.	1.16
1.3	CALCUL DE LA CAPACITÉ DE SUPPORT	1.16
1.3.1	Position actuelle du lac sur le graphique du modèle reliant l'état trophique à sa concentration prédite de phosphore au brassage printanier	1.16
1.3.2	Position naturelle.	1.18
1.3.3	Calcul de la charge supplémentaire admissible (ΔL_p)	1.18
1.3.4	Calcul des apports supplémentaires admissibles ($g P_t/an$)	1.19
1.3.5	Calcul du nombre de personnes-jours pour diverses affectations	1.20

TABLE DES MATIÈRES (suite)

2. LES LACS EXPLOITÉS DU PREMIER NIVEAU

2.1	CRITÈRES DE DÉFINITION	2.1
2.2	CALCUL DU MODÈLE 2	2.1
2.2.1	Les données générales	2.1
2.2.2	Les apports en provenance du sol	2.4
2.2.3	Les apports en provenance de la population	2.4
2.2.4	Calcul de la charge spécifique parvenant au lac	2.5
2.2.5	Présentation des résultats	2.5
2.3	CALCUL DE LA CAPACITÉ DE SUPPORT	2.8

3. LES LACS EXPLOITÉS DU SECOND NIVEAU

3.1	CRITÈRES DE DÉFINITION	3.1
3.2	CALCUL DU MODÈLE 3	3.1
3.2.1	Les données générales	3.1
3.2.2	Les apports en provenance du sol	3.1
3.2.3	Les apports en provenance des populations humaines	3.3
3.2.4	Les apports en provenance des populations animales	3.4
3.2.5	Les apports provenant des engrais chimiques	3.5
3.2.6	Les apports provenant des industries	3.10
3.2.7	Le calcul de la charge spécifique parvenant au lac	3.10
3.2.8	Présentation des résultats	3.11
3.3	CALCUL DE LA CAPACITÉ DE SUPPORT	3.11

4. LES LACS SUREXPLOITÉS

4.1	CRITÈRES DE DÉFINITION	4.1
4.2	CALCUL DU MODÈLE 4	4.1
4.3	PRÉSENTATION DES RÉSULTATS	4.2

TABLE DES MATIÈRES
(suite)

CONCLUSION: APPLICATION ET PORTÉE DES MODÈLES
D'APPORTS EN PHOSPHORE

BIBLIOGRAPHIE.

ANNEXE

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU I.1	:	Utilisation de territoire et calcul des charges spécifiques en phosphore (Modèle 1).	1.4
TABLEAU I.2	:	Coefficients d'occupation des chalets.	1.5
TABLEAU I.3	:	Nombre de personnes-jours par activité par année dans la région de Québec	1.25
TABLEAU II.1	:	Utilisation du territoire et calcul des charges spécifiques en phosphore par sous-bassin (Modèle 2)	2.3
TABLEAU II.2	:	Apports en phosphore au lac par sous-bassin (kg P/an).	2.7
TABLEAU III.1	:	Utilisation du territoire et calcul des charges spécifiques en phosphore par sous-bassin (Modèle 3).	3.2
TABLEAU III.2	:	Coefficients d'exportation du phosphore total par catégorie d'animaux.	3.4
TABLEAU III.3	:	Pourcentage de la surface fertilisée pour chaque culture par rapport à la superficie totale fertilisée.	3.6
TABLEAU III.4	:	Détermination de la quantité moyenne de phosphore total émis par un kilomètre carré de terre fertilisée par année.	3.7
TABLEAU III.5	:	Pourcentage des surfaces fertilisées sur les surfaces cultivées et en pâturage.	3.8
TABLEAU III.6	:	Pourcentage pondéré de fertilisation Bassin versant du lac Lovering . ,	3.9

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1.1 :	Les différents modèles d'apports et leurs caractéristiques	1.2
FIGURE 1.2 :	Modèle reliant l'état trophique d'un lac à sa concentration prédite de phosphore au brassage printanier	1.17

LISTE DES CARTES

CARTE 1 :	Débits spécifiques (m^3/s par km^2).	1.13
CARTE 2 :	Le L_a pour les lacs en amont.	1.15
CARTE 3 :	Sous-bassins et zones d'écoulement diffus (versants naturels)	2.2
CARTE 4 :	Présentation cartographique des résultats des modèles 2 et 3.	2.6

TERMINOLOGIE

TERMINOLOGIE

<u>Symbole</u>	<u>Description</u>	<u>Unité</u>
A_d	Superficie du bassin versant (sans le lac)	km ²
A_{di}	Superficie du bassin versant du lac en amont	km ²
A_o	Superficie du lac étudié	km ²
A_{oi}	Superficie du lac en amont	km ²
F_u	Facteurs d'environnement	
Co	Coefficient d'occupation des chalets	% année
P	Affectation agricole	km ²
Ip	Zones improductives	km ²
Ti	Forêt avec substrat igné	km ²
Ts	Forêt avec substrat sédimentaire	km ²
B	Affectation urbaine	km ²
M	Marais, marécages	km ²
Z	Surface d'eau	km ²
$\bar{E}_s$	Coefficient d'exportation moyen	kg/an
N_c	Nombre de chalets	
P_s	Population saisonnière	
PSA	Population saisonnière et flottante avec égout	
PSS	Population saisonnière et flottante sans égout	
PPA	Population permanente avec égout	
PPS	Population permanente sans égout	
C	Population totale	
C_s	Nouveaux résidents permanents reliés à une fosse septique	
C_a	Nouveaux résidents permanents reliés à un égout	
J_s	Quantité de phosphore émise par l'utilisation du sol	kg P/an
J_c	Quantité de phosphore émise par la population humaine	kg P/an
J_a	Quantité de phosphore émise par la population animale	kg P/an
Bo	Nombre de bovins	
Po	Nombre de porcs	
Mo	Nombre de moutons	

TERMINOLOGIE (suite)

<u>Symbole</u>	<u>Description</u>	<u>Unité</u>
Vo	Nombre de volailles	
Ch	Nombre de chevaux	
J _e	Quantité de phosphore émise par les engrais chimiques	kg P/an
J _i	Quantité de phosphore émise par les industries	kg P/an
P _t	Phosphore total	
L _c	Charge spécifique à partir du sol	g P _t /m ² /an
L _d	Charge spécifique en provenance de la population humaine	g P _t /m ² /an
L _e	Charge spécifique en provenance des animaux	g P _t /m ² /an
L _i	Charge spécifique en provenance des engrais chimiques	g P _t /m ² /an
L _a	Charge spécifique en provenance des industries	g P _t /m ² /an
L _{pr}	Charge spécifique en provenance des lacs en amont	g P _t /m ² /an
L	Charge spécifique en provenance des précipitations	g P _t /m ² /an
L _p	Charge spécifique totale	g P _t /m ² /an
L _{pi}	Charge spécifique totale du lac en amont	g P _t /m ² /an
R	Coefficient de rétention du lac étudié	%
R _i	Coefficient de rétention du lac en amont	%
qs	Charge d'eau reçue par un lac pendant un an par unité de surface	m/an
Q	Quantité d'eau que reçoit un lac	m ³ /an
M	Module à la sortie du lac	m ³ /s
M _i	Module à la sortie du lac en amont	m ³ /s
ds	Débit spécifique	m ³ /s/km ²
Z̄	Profondeur moyenne du lac	m
t _w	Temps de renouvellement de la masse d'eau	année
V	Volume d'eau du lac	m ³
ρ	Fréquence de renouvellement de la masse d'eau	
ΔL _p	Charge de phosphore supplémentaire admissible	g P _t /m ² /an
NBJT	Nombre total de personnes-jours (produit d'un nombre de personnes par un nombre de jours)	
NBJA	Nombre de personnes-jours avec égout	
NBJS	Nombre de personnes-jours sans égout	

TERMINOLOGIE (suite)

<u>Symbole</u>	<u>Description</u>	<u>Unité</u>
J _p	Apports de phosphore total admissibles	g P/an
J _{pc}	Quantité de phosphore qui sera émise par les nouvelles personnes permanentes	g P/an
J _{pa}	Nouveaux apports de phosphore admissibles	g P/an
Nr	Nombre d'emplacements de roulottes admissible	
Ntr	Nombre d'emplacements de tentes-roulottes admissible	
Nt	Nombre d'emplacements de tentes admissible	
Nbp	Nombre d'espaces de stationnement pour automobiles admissible	
Nlc	Nombre de lits admissible dans une colonie de vacances	

RÉSUMÉ

La méthodologie des apports en phosphore et du calcul de la capacité de support est un document intéressant pour les gestionnaires et les chercheurs dans le domaine de la limnologie. Ce modèle d'apports, ayant comme base le bassin versant du lac, varie selon quatre modes qui sont en relation avec l'intensité d'utilisation actuelle du milieu lacustre. Le modèle permet d'évaluer de façon théorique la charge de phosphore qui arrive au lac, de localiser la provenance de cette charge et enfin, d'identifier l'origine de cet apport. En utilisant le graphique reliant l'état trophique d'un lac à sa concentration prédite de phosphore au brassage printanier, il est ensuite possible de positionner le lac en fonction de la charge de phosphore et de la profondeur moyenne du lac. Une méthode développée au Service de la qualité des eaux permet ensuite d'évaluer une charge supplémentaire admissible en phosphore. Cette charge exprimée en terme de personnes-jours permet à l'aide de tableaux de conversions originaux, de transformer cette quantité de phosphore en différentes infrastructures récréatives (chalets, campings, colonies de vacances, plages, etc.). Cette méthode se présente donc comme un outil des plus efficace tant au point de vue de l'affectation, de la gestion que de la protection ou de la restauration des lacs.

Mots clés: Modèle, apports en phosphore, capacité de support, lacs, villégiature.

INTRODUCTION

L'eutrophisation est un processus de vieillissement des écosystèmes lacustres qui se manifeste selon diverses façons, telles une croissance désordonnée et excessive des plantes aquatiques, un déficit chronique en oxygène dissous, une prolifération d'algues, etc... La cause première de cette situation réside surtout dans l'enrichissement des eaux en substances nutritives et principalement en phosphore. Le phosphore est le nutriment qui contrôle généralement la productivité des eaux (Wollenweider, 1968) et, conséquemment, l'état trophique des lacs situés dans les régions à climat tempéré. Dans cette optique, il importe de contrôler les apports en phosphore si l'on veut conserver et surtout restaurer les milieux lacustres. Le modèle d'apports constitue l'outil nécessaire à l'évaluation théorique des différentes charges de phosphore provenant du bassin.

On peut définir le modèle d'apports comme une simulation des conditions du milieu à l'aide des coefficients et équations appropriés. Il consiste en un calcul théorique, puisque l'on présume que chaque composante du bassin versant exporte une certaine quantité de phosphore vers le milieu lacustre. Ainsi, les quantités de phosphore émises sont variables dépendamment du type d'exportateur (zone agricole, forêt, populations humaine et animale, industrie, etc...) (Dillon et Kirchner, 1975, Dillon et Rigler, 1975, Uttomark, Chapin et Green, 1974, Loehr, 1974). Les forêts relâchent relativement peu de phosphore comparativement aux zones agricoles ou industrielles. De plus, certains apports atteignent le lac sans intermédiaire comme les précipitations qui tombent directement à la surface du plan d'eau. Ces quantités sont comptabilisées et constituent la charge de phosphore que reçoit un lac. Cette méthode d'évaluation du bilan de phosphore a été utilisée et testée par plusieurs chercheurs, dont Michalski, Johnson et Veal, qui étudièrent les lacs Muskoka en 1975, Scheider (1978) qui l'employa sur quatre lacs du bouclier canadien en Ontario, et enfin sur quatorze lacs du sud du Québec, Potvin (1976); il s'avère que la concentration de phosphore prédite pour le printemps (estimée à partir du calcul d'apports) s'accorde bien avec les valeurs mesurées sur le terrain.

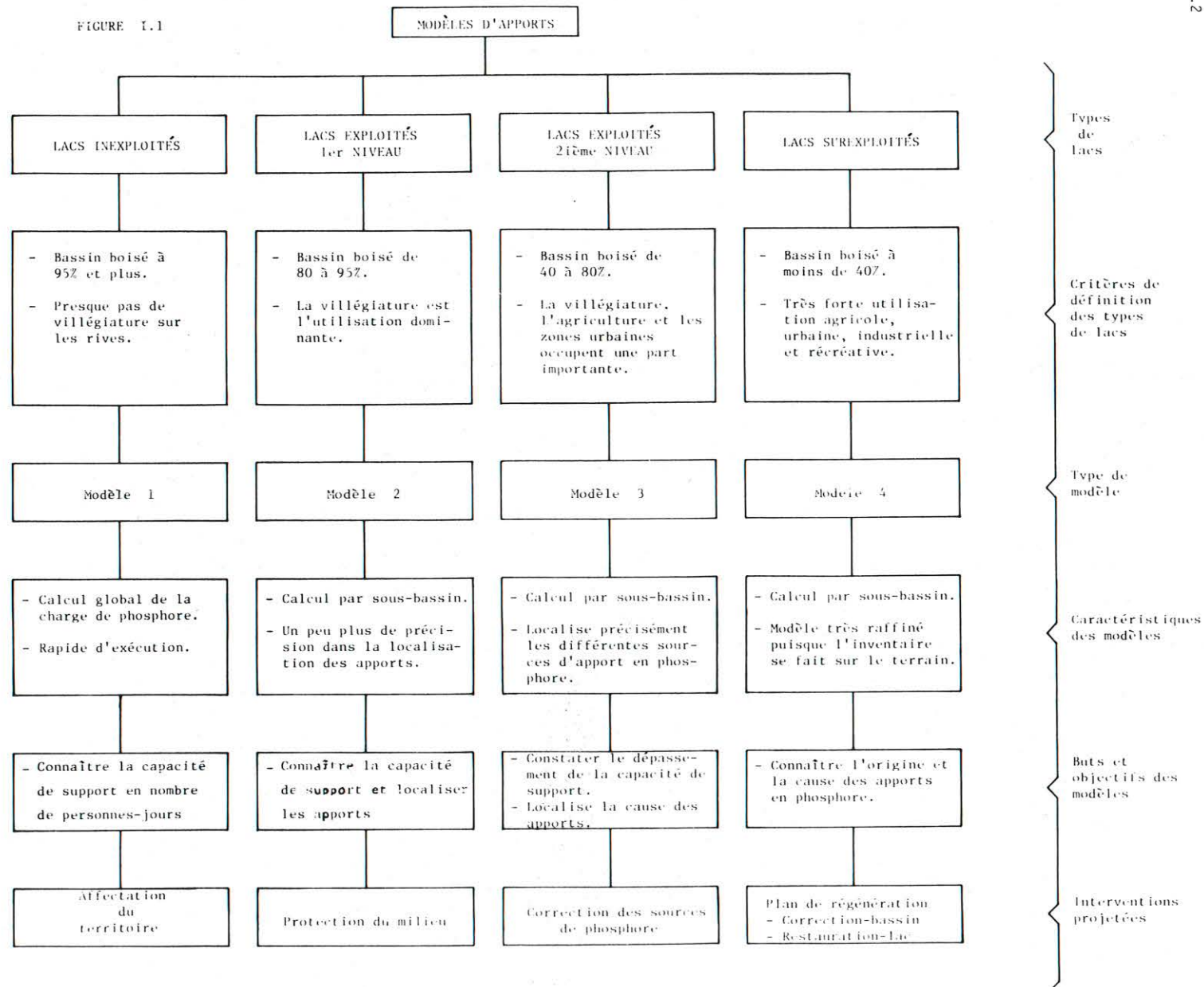
Les modèles d'apports s'appliquent principalement sur les quatre types de lacs suivants:

1. Les lacs inexploités
2. Les lacs exploités de premier niveau
3. Les lacs exploités de second niveau
4. Les lacs surexploités

A chacun de ces types de lacs correspond un modèle particulier s'adaptant par le degré de précision apporté aux caractéristiques du bassin et aux interventions projetées dans celui-ci. La figure suivante identifie les différents modèles d'apports et leurs caractéristiques respectives.

LES DIFFÉRENTS MODÈLES D'APPORTS ET LEURS CARACTÉRISTIQUES

FIGURE 1.1



1. LES LACS INEXPLOITÉS

1.1 CRITÈRES DE DÉFINITION

Les lacs inexploités sont très nombreux au Québec et constituent même la majorité d'entre eux. Un lac inexploité est un lac où l'activité humaine dans le bassin versant est inexistante ou, à tout le moins, très restreinte. De plus, le bassin est boisé dans une proportion de 95 pour cent et plus, et la villégiature sur les rives est peu importante. Dans ces conditions, il fallait penser à un modèle facilement utilisable et assez rapide d'exécution. Le modèle 1 répond bien à ces exigences et se caractérise par un calcul global de la charge de phosphore totale. L'unité de calcul comprend tout le bassin versant du lac et cette charge globale provient de cette unité sans plus de localisation.

1.2 CALCUL DU MODÈLE 1

Toutes les données pertinentes, de même que les formules et coefficients nécessaires au calcul du modèle 1 apparaissent au tableau I.1 auquel nous ferons constamment référence.

1.2.1 Données générales

Dans la partie supérieure du tableau I.1, figurent quatre données indispensables au calcul des apports. Il s'agit, en l'occurrence, de la superficie du bassin versant (A_d), planimétrée sur une carte à l'échelle du 1:50 000 et de celle du lac étudié (A_o). Ces deux éléments servent à calculer le facteur d'environnement (f_u) qui se définit par le quotient de la superficie du bassin versant par celle du lac (A_d/A_o); on utilise ce facteur pour calculer la charge spécifique de phosphore provenant du sol.

Quant au coefficient d'occupation des chalets (C_o), il exprime, sur une base annuelle, la durée de la saison de villégiature en estimant une moyenne de quatre personnes par chalet. Les coefficients sont variables d'une région à l'autre du Québec et ont comme base des critères climatiques (Crowe, 1975). Ainsi, durant la période estivale, le temps de séjour a été estimé à deux semaines complètes auxquelles on doit rajouter toutes les fins de semaine. Pour les périodes intermédiaires que sont le printemps après le dégel et l'automne avant le gel, un taux de fréquentation d'une fin de semaine sur deux a été jugé comme étant normal.

TABLEAU I,1

UTILISATION DU TERRITOIRE ET CALCUL DES CHARGES SPÉCIFIQUES EN PHOSPHORE (Modèle 1)

SUPERFICIE DU BASSIN (SANS LE LAC) (A_d)	km ²			
SUPERFICIE DU LAC (A_o)	km ²			
FACTEUR D'ENVIRONNEMENT (f_u)				
COEFFICIENT D'OCCUPATION DES CHALETS (Co)				
UTILISATION DU SOL	%	km ²	COEFFICIENT D'EXPORTATION kg P/km ² -an	APPORTS kg P/an
AFFECTATION AGRICOLE (P + A + G + H) (P)			50	
ZONES IMPRODUCTIVES (E + O + K + U + S) (Ip)			25	
FORÊT AVEC SUBSTRAT IGNÉ (Ti)			5	
FORÊT AVEC SUBSTRAT SÉDIMENTAIRE (Ts)			12	
AFFECTATION URBAINE (B)			150	
MARAIS, MARÉCAGES (M)			25	
SURFACE D'EAU (Z)			38	
COEFFICIENT D'EXPORTATION MOYEN ($\bar{E}_s$)				
TOTAL				$J_s =$
POPULATION	NOMBRE		FORMULE D'EXPORTATION	APPORTS kg P/an
NOMBRE DE CHALETS (Nc) POPULATION SAISONNIÈRE (PSS)	PSS =	Nc =	$Nc \times Co \times 0,75 \times 0,8$	
POPULATION PERMANENTE AVEC ÉGOUT (PPA)	PPA =		$PPA \times 0,8$	
POPULATION PERMANENTE SANS ÉGOUT (PPS)	PPS =		$PPS \times 0,8 \times 0,75$	
TOTAL	C =			$J_c =$
CHARGE SPÉCIFIQUE (g P/m ² -an)	CALCUL			VALEUR g P _t /m ² -an
À PARTIR DU SOL (L_s)	$(\bar{E}_s/1000) \times f_u$			
EN PROVENANCE DE LA POPULATION (L_c)	$J_c / (A_o \times 1000)$			
À PARTIR DES PRÉCIPITATIONS (L_{pr})				0,038
À PARTIR DU OU DES LACS EN AMONT (L_a)	$\sum_{i=1}^n \frac{(1 - R_i) \times L_{pi} \times A_{oi}}{A_o}$			
TOTAL (L_p)	$L_s + L_c + L_{pr} + L_a$			

TABLEAU 1.2

COEFFICIENT D'OCCUPATION DES CHALETS

Région administrative du Québec	COEFFICIENTS D'OCCUPATION (Co)		
	% année	Nombre de personnes- jours par chalet par année	Nombre de jours par personne
Côte-Nord (09)	0,50	184 personnes-jours	46 jours/personne
Bas-St-Laurent (01)	0,54	196 personnes-jours	49 jours/personne
Nord-Ouest (08)	0,56	204 personnes-jours	51 jours/personne
Saguenay-Lac St-Jean (02)	0,59	216 personnes-jours	54 jours/personne
Québec (03)	0,66	240 personnes-jours	60 jours/personne
Trois-Rivières (04)	0,67	244 personnes-jours	61 jours/personne
Cantons-de-l'Est (05)	0,68	248 personnes-jours	62 jours/personne
Montréal (06)	0,71	260 personnes-jours	65 jours/personne
Outaouais (06)	0,71	260 personnes-jours	65 jours/personne

1.2.2 Les apports en provenance du sol

L'utilisation du sol de l'écoumène québécois a été inventoriée et cartographiée par l'ARDA* à la fin des années 1960, et une mise à jour des documents est présentement en cours au ministère de l'Agriculture. Le relevé de l'utilisation actuelle des terres permet d'obtenir une image réelle de l'occupation de l'espace géographique et constitue par conséquent, une donnée fondamentale dans l'estimation des apports.

Nous commençons donc par calculer la superficie des différentes classes d'utilisation du sol à l'aide d'une grille de planimétrie de 25 points par centimètre carré. La valeur d'un point à l'échelle du 1: 50 000 est de 0,01 km². Les divers modes d'utilisation du sol ont été regroupés en six classes, soit les zones d'affectation agricole, les zones improductives, les zones urbaines, les zones de forêts, les marais, marécages et les surfaces d'eau (voir tableau I.1). Cependant,

* Aménagement rural et développement agricole. Inventaire des terres du Canada.

selon les critères de définition appliqués aux lacs inexploités, les trois premiers types de zones ont peu de chance d'être rencontrés et s'ils le sont, leur superficie est alors très faible.

1.2.2.1 *Zones d'affectation agricole (P)*

Cette classe réunit toutes les terres cultivées, à savoir:

- P: Grande culture, pâturage permanent et pâturage qui suit un cycle de cultures
- H: Horticulture (légumes et petits fruits)
- A: Cultures spéciales (tabac, betterave sucrière, bleuetière, graines oléagineuses, pomme de terre)
- G: Verger en production.

Les superficies des utilisations étant comptabilisées, elles sont affectées d'un coefficient d'exportation fixé à 50 kg/km²/an. Ce dernier a été déterminé à partir d'une revue de littérature sur le sujet (Dillon et Kirchner, 1974, Uttomark et al., 1974 cité par Potvin, 1976). Ce coefficient tient compte des apports originant de l'activité agricole en général, soit ceux des animaux, des engrais chimiques et organiques, etc...

1.2.2.2 *Zones improductives (Ip)*

Les zones considérées comme non productives rassemblent toutes les terres non boisées, non cultivées et non urbanisées, c'est-à-dire les modes suivants d'utilisation du sol:

- E: Extraction minière, gravière
- O: Zones vouées à la récréation, villégiature
- K: Friche récente
- U: Vieille friche
- S: Sable à nu.

Il s'est avéré extrêmement difficile de retrouver dans la littérature des valeurs d'exportation de phosphore pour cette catégorie. Néanmoins, considérant le fait que le coefficient d'exportation des zones improductives se situe à l'intérieur des limites fixées par les zones agricoles d'une part et les zones boisées d'autre part, la valeur de 25 kg/km²/an a été retenue (Potvin, 1976).

1.2.2.3 Zones forestières (Ti et Ts)

Les forêts fournissent relativement peu de phosphore si on les compare aux autres zones; le ruissellement de surface y est infime d'où les faibles taux d'exportation. Les zones de boisés reposent sur une assise géologique qui peut être ignée ou sédimentaire. Dillon et Kirchner (1974), suite à une revue de littérature et à une étude de 43 bassins, dont 34 dans le sud de l'Ontario, indiquent des coefficients moyens d'exportation de phosphore de 0,0047 g/m²/an pour un substrat igné et de 0,0117 g/m²/an pour un substrat sédimentaire. Les superficies des zones en forêts sont donc planimétrées et affectées des coefficients de 5 kg/km²/an pour les forêts à substrat igné (Ti) et 12 kg/km²/an pour les forêts à substrat sédimentaire (Ts),

1.2.2.4 Zones urbaines (B)

Les zones urbaines, du fait de leur seule présence, constituent souvent une source majeure d'apports en phosphore. En effet, on y retrouve de grandes étendues imperméables et des systèmes d'égouts pluviaux. Il s'en suit donc un ruissellement de surface important, et celui-ci intègre une foule de producteurs de phosphore (engrais à gazons, animaux domestiques, additifs de gazoline, etc.). Le coefficient d'exportation de phosphore de 150 kg/km²/an a été retenu à la lumière d'une revue de littérature (Potvin, 1976). Cependant, ce coefficient ne s'applique qu'aux zones où l'on identifie les caractéristiques mentionnées plus haut. Si tel n'est pas le cas, ces surfaces sont alors considérées comme zones improductives et affectées du coefficient qui s'y rattache.

1.2.2.5 Marécages (M)

Les marécages ont un cycle hydrologique complexe, ce qui a rendu très difficile l'établissement de bilans nutritifs pour ces zones. De plus, d'après la littérature sur le sujet (Uttomark et al., 1974), ceux-ci sont considérés comme ayant un bilan nul d'exportation de phosphore. Cependant, nous sommes portés à croire que les précipitations tombant sur ces zones apportent une quantité de phosphore au lac étudié. Nous croyons qu'un coefficient de 25 kg P/km²/an est adéquat, puisqu'il correspond à l'exportation d'une zone improductive.

1.2.2.6 Surfaces d'eau (Z)

Toutes les surfaces d'eau du bassin sont planimétrées et comptabilisées. La charge apportée directement à ces zones (précipitations) a été identifiée par une étude conjointe de l'INRS-Eau et du ministère des Richesses naturelles et portant sur le bassin de la rivière Yamaska (Lachance et Sasseville, 1976). La valeur de 38 kg P/km²/an est donc comparable à celles déterminées par d'autres études: 35 kg/km²/an (Scheider, 1978, zones forestières du Bouclier Canadien), 24-53 kg/km²/an, nord-ouest de l'Ontario (Schindler et al., 1976 cité par Scheider, 1978) et 37 kg/km²/an (Golmoka, 1975 in Scheider, 1978).

1.2.2.7 Coefficient d'exportation moyen ($\bar{E}_S$)

Nous calculons finalement un coefficient d'exportation moyen ($\bar{E}_S$)

qui intègre les diverses utilisations du territoire et caractérise très bien chacun des bassins. La formule utilisée est la suivante:

$$\bar{E}_S = \sum_{i=1}^n (\bar{E}_S)_i \cdot \frac{A_i}{A_d} \quad (I)$$

i = un indice relatif à chacun de ces types

$\frac{A_i}{A_d}$ = la superficie relative de chacune des utilisations par rapport à l'ensemble du bassin versant (sans le lac).

Ce calcul est essentiel, puisqu'il permet de déterminer la charge spécifique en provenance du sol en multipliant ce coefficient par le facteur d'environnement, tel que défini en 1.2.1.

1.2.3 Les apports en provenance de la population

Les apports en provenance de la population se divisent en deux catégories selon qu'il s'agisse de la population saisonnière ou de la population permanente.

1.2.3.1 *Population saisonnière*

La méthode pour obtenir la charge de phosphore provenant de la population saisonnière utilise la formule suivante, à savoir:

$$N_c \times C_o \times 0,8 \times 0,75 = \text{Kg P/an (Population saisonnière)} \quad (II)$$

où N_c = le nombre de chalets déterminés à partir d'une enquête sur le terrain.

C_o = le coefficient pondéré d'occupation des chalets tel que défini en 1.2.1.

0,8 = la quantité de phosphore (en kilogramme) produite par une personne pendant un an. Cette valeur est suggérée par Dillon et Rigler (1975) et comprend les apports physiologiques de base avec en plus ceux des déchets domestiques (les détergents inclus).

0,75 = facteur relié à la qualité des installations septiques. Il représente la proportion de phosphore non retenue par le système et ce dernier a été déterminé à la suite de diverses consultations (Potvin, 1976).

1.2.3.2 Population permanente

L'estimation des apports, provenant de la population permanente, s'effectue de la façon suivante. Dans un premier temps, nous établissons une carte de la répartition de la population permanente (type carte par point) qui, dans la mesure du possible, rend compte de la localisation réelle des personnes. Cette carte, à l'échelle de 1: 50 000, est confectionnée à l'aide de plusieurs sources d'information, dont entre autres le répertoire des municipalités du Québec, les photographies aériennes et les communications avec les secrétaires-trésoriers des municipalités concernées. Habituellement, la valeur d'un point est de cinq habitants. Finalement, nous comptons la population comprise à l'intérieur des limites du bassin versant.

La population permanente se partage en deux catégories, selon qu'elle est raccordée à un réseau d'égouts collecteurs se déversant dans le lac (PPA) ou qu'elle élimine ses eaux usées par des installations septiques (PPS). Cette information nous est fournie par les Services de protection de l'environnement qui tiennent à jour une liste des systèmes en vigueur pour toutes les municipalités du Québec. Donc, selon le type de population en présence, la formule d'exportation diffère.

$$\text{PPA} \times 0,8 \quad (\text{avec égout})^* \quad (\text{III})$$

$$\text{PPS} \times 0,8 \times 0,75 \quad (\text{sans égout}) \quad (\text{IV})$$

où 0,8 = la quantité de phosphore produite par une personne pendant un an (en kilogramme).

0,75 = facteur relié à la rétention des installations septiques.

1.2.4 Calcul de la charge spécifique parvenant au lac

Connaissant maintenant les charges de phosphore provenant de l'utilisation du territoire et des populations humaines, il s'agit dès lors de calculer la charge spécifique globale qui parvient au lac et ce, en $\text{g P}_t/\text{m}^2/\text{an}$. Pour ce faire, nous utilisons le tableau I.1 et procédons comme suit:

* Les eaux usées, provenant d'un réseau collecteur, peuvent être soumises à un traitement primaire ou secondaire avant d'être rejetées dans un cours d'eau tributaire du lac étudié. Toutefois, les traitements de niveau primaire et secondaire n'éliminent pratiquement pas le phosphore et à ce titre, pour notre étude, les eaux usées sont considérées comme non traitées. Seul un traitement tertiaire (c'est-à-dire physico-chimique) s'avère adéquat pour l'élimination du phosphore.

- A) A partir du sol, la charge est calculée par l'équation:

$$L_S = (\bar{E}_S / 1\,000) \times f_u \quad (V)$$

où $\bar{E}_S$ = coefficient d'exportation moyen tel que calculé en 1.2.2.7

f_u = facteur d'environnement tel que calculé en 1.2.1 .

- B) En provenance de la population, le calcul est le suivant:

$$L_C = J_C / (A_0 \times 1\,000) \quad (VI)$$

où J_C = l'apport global des populations permanentes et saisonnières en Kg P/an

A_0 = superficie du lac en km² .

- C) La charge provenant des précipitations qui tombent directement à la surface du lac est de 0,038 g P/m²/an (L_{pr}) et a été déterminée par une étude relative à l'analyse qualitative des précipitations dans le bassin de la Yamaska (voir 1.2.2.6).
- D) S'il existe un ou des lacs en amont, les apports de phosphore parvenant à ces derniers sont calculés et la partie qui en sort constitue la charge spécifique L_a ; la méthodologie utilisée pour ce calcul fait l'objet du paragraphe 1.2.5.
- E) La somme des différentes charges, soit $L_S + L_C + L_{pr} + L_a$, donne la charge spécifique totale de phosphore parvenant au lac, c'est-à-dire L_p . Celle-ci constitue un des éléments déterminants pour positionner le lac étudié sur le graphique reliant l'état trophique d'un lac à sa concentration prédite de phosphore au brassage printanier (voir 1.3.1).

1.2.5 Les lacs en amont du lac étudié (L_a)

Certains bassins versants contiennent d'autres lacs situés en amont du lac principal. Ceux-ci peuvent jouer le rôle de pièges à nutriments et modifier, par conséquent, les charges parvenant au lac en aval. Il importe

donc de connaître exactement ce qui parvient à ces lacs et d'estimer (par un coefficient de rétention) ce qui peut être capté. Cependant, pour faire l'objet d'un calcul des apports, ces lacs doivent présenter au moins deux des caractéristiques* suivantes, à savoir:

- une superficie du lac en amont équivalant à 10 pour cent de celle du lac étudié;
- une superficie du bassin versant du lac en amont équivalant au moins à 10 pour cent du bassin du lac étudié;
- présence de population permanente ou saisonnière sur les rives;
- un coefficient de rétention inférieur à 40 pour cent.

A partir de ce moment, on procède au calcul des charges spécifiques de phosphore parvenant à ces lacs selon la méthodologie décrite précédemment (1.2.1 à 1.2.4). Lorsque celles-ci sont établies, on calcule un coefficient de rétention pour chacun de ces lacs et on détermine ainsi la charge spécifique provenant de ces lacs et qui atteint le lac étudié en aval (L_a), selon la formule suivante:

$$L_a = \sum_{i=1}^n \frac{(1-R_i) \times L_{pi} \times A_{oi}}{A_0} \quad (\text{VII})$$

où n = nombre de lacs en amont

L_{pi} = charge de phosphore déterminée pour le lac en amont

A_{oi} = superficie du lac en amont

A_0 = superficie du lac étudié

R_i = coefficient de rétention du lac en amont considéré.
Il se calcule par l'équation suivante (Dillon et Rigler, 1975):

$$R = 0,426e^{(-0,271qs)} + 0,574e^{(-0,00949qs)} \quad (\text{VIII})$$

* En plus de ces caractéristiques, on devra tenir compte du type d'étude et de la précision requise pour déterminer si on calculera la charge spécifique L_a des lacs en amont.

$$\text{ou } q_s = \frac{Q \text{ (quantité d'eau exprimée en m}^3\text{/an)}}{A_{0i} \text{ (superficie d'un lac en amont en m}^2\text{)}} \quad (\text{IX})$$

A_{0i} (superficie d'un lac en amont en m^2)

q_s = charge d'eau reçue par un lac pendant un an
par unité de surface (m/an)

$Q(\text{m}^3/\text{an})$ = C'est la quantité d'eau que reçoit un lac pendant un an. Pour évaluer celle-ci, on suppose que la quantité d'eau évacuée à l'émissaire est la même que celle parvenant au lac par le biais des tributaires de son bassin versant. Pour ce faire, nous prenons le module (M) à l'exutoire du lac qui est exprimé en m^3/s et que l'on transforme en charge annuelle en multipliant cette valeur par le nombre de secondes dans un an:

$$M \times 60 \times 60 \times 24 \times 365 = Q\text{m}^3/\text{an}.$$

Advenant le fait que nous ne puissions obtenir le module (M) directement par une station limnimétrique située à l'émissaire, il est possible de l'évaluer à l'aide de la carte des débits spécifiques (ds) produite par le Service de l'hydrométrie (voir carte 1). Les valeurs sont données en $\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ que nous multiplions par la superficie du bassin versant du lac en amont (A_{di})

$$\text{où } ds \times A_{di} = M_i \quad (\text{X})$$

M_i = Module à la sortie du lac en amont.

Dans le cas où on possède des données bathymétriques, on calcule le q_s de la façon suivante:

$$q_s = \frac{\bar{Z}}{t_w} \quad (\text{XI})$$

$\bar{Z}$ = profondeur moyenne du lac en mètre

t_w = temps de renouvellement de la masse d'eau

$$\text{où } t_w = \frac{V \text{ (m}^3\text{)}}{Q \text{ (m}^3\text{/an)}} \quad (\text{XII})$$

Carte 1



Source: Service de l'hydrométrie, MRN

V = Volume du lac. Cette donnée nous est fournie par le Service des relevés du MRN.

Q = Quantité d'eau qui sort du lac en mètre cube par année, qui correspond à la charge annuelle que reçoit le lac et qui vient d'être expliquée.

Chaque lac en amont a donc un coefficient de rétention différent, puisque dépendant de son module et de sa superficie. La sommation des charges spécifiques parvenant à chacun des lacs en amont constitue ce que nous appelons L_a , qui additionné aux autres charges spécifiques provenant du bassin immédiat du lac étudié au départ, forme la charge totale parvenant à ce lac, c'est-à-dire L_p .

$$L_p = L_s + L_c + L_{pr} + L_a \quad (\text{XIII})$$

Si on se reporte à la formule (VII), on constate que le L_a est la somme de tous les L_a qui proviennent des lacs en amont. Or cela n'est pas exact dans les cas où nous avons des lacs en chapelets comme cela est démontré dans la carte 2. Le L_a est donc la sommation de la charge spécifique des lacs en amont qui se déversent ensuite directement dans le lac étudié sans passer par un autre lac, c'est-à-dire la somme des trois derniers L_a de la carte 2.

1.2.6 Calcul d'une charge totale entièrement naturelle (L_{pn})

Pour calculer cette charge, nous supposons que l'ensemble du bassin versant du lac est boisé, c'est-à-dire qu'il n'y a eu aucune implantation humaine. Ainsi, toutes les superficies des zones agricoles, improductives et urbanisées sont affectées du coefficient d'exportation de la forêt. Les marais, marécages, de même que les surfaces d'eau ont leurs superficies calculées et conservent leurs coefficients d'exportation respectifs. Les apports provenant des populations sont retranchés pour ce calcul. Ainsi, on tient compte des articles suivants pour évaluer la charge totale naturelle:

- A partir du sol (forêts, marais, surfaces d'eau): L_s
- A partir des précipitations : L_{pr}
- A partir des lacs en amont (la procédure est identique à celle mentionnée plus haut) : L_a

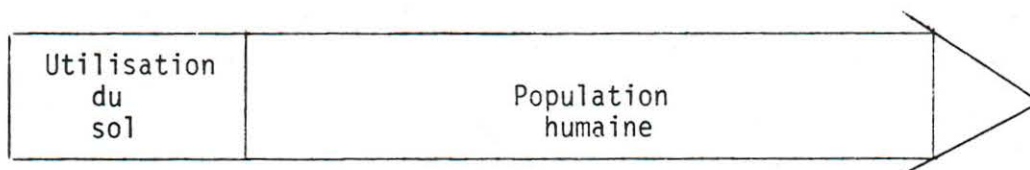
$$\text{d'où} \quad L_{pn} = L_s + L_{pr} + L_a \quad (\text{XIV})$$

1.2.7 Présentation des résultats

La majorité des résultats apparaissent sur le tableau I.1. Ce dernier présente les apports ainsi que leur origine respective, en plus de servir au calcul de la charge spécifique ($\text{g/m}^2/\text{an}$) que reçoit le lac.

Les résultats peuvent également être représentés de façon visuelle. Ainsi, sur la carte de diagnostic (carte synthèse du processus de la diagnose écologique), une flèche pointée vers le lac symbolise les apports de phosphore atteignant ce dernier. Cette flèche, d'une largeur définie, est subdivisée en deux parties définissant l'importance relative (%) de chacune des sources d'apports (utilisation du sol et population humaine).

Exemple:



1.3 CALCUL DE LA CAPACITÉ DE SUPPORT

Le calcul des apports en phosphore permet également d'établir une capacité de support du milieu lacustre. Celle-ci peut se traduire d'abord en une quantité supplémentaire "permissible" en phosphore, cette dernière exprimée en nombre de personnes-jours. On peut ensuite l'affecter à diverses utilisations telles que chalets, campings, etc... La présente section décrit la méthodologie à suivre pour déterminer cette capacité de support.

1.3.1 Position actuelle du lac sur le graphique du modèle reliant l'état trophique à sa concentration prédite de phosphore au brassage printanier

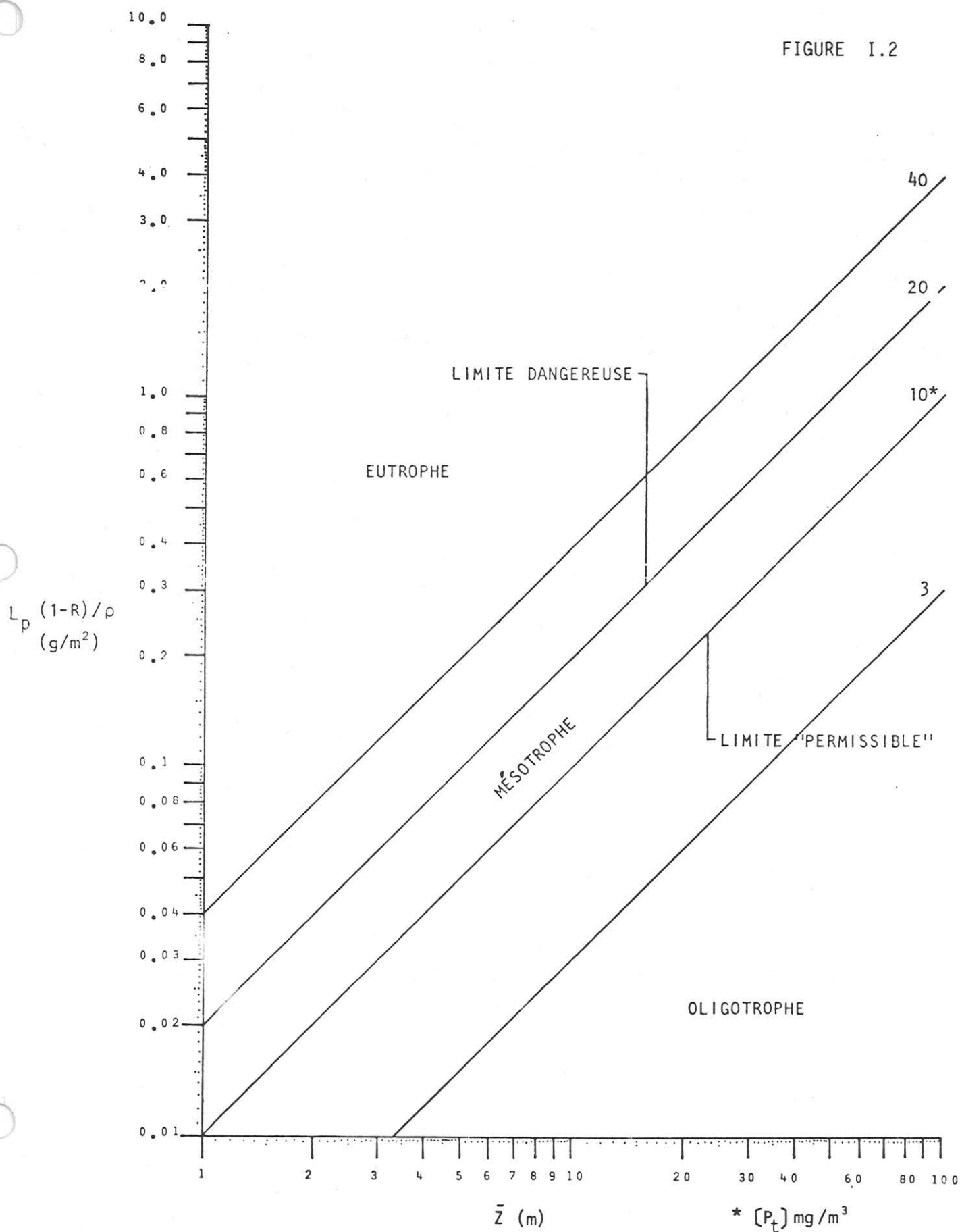
Le graphique suivant (voir figure I.2)* constitue l'outil essentiel à la détermination de la capacité de support. Les droites de ce graphique définissent les concentrations prédites de phosphore en deçà et au-delà desquelles les lacs sont classifiés comme oligotrophes ou eutrophes, tandis que l'entre-deux se rapporte au stade mésotrophe. Deux de ces droites expriment les limites "permissibles" et dangereuses quant aux concentrations de phosphore. Nous identifions la position actuelle du lac par les coordonnées suivantes. En ordonnée, la position est fixée par la formule

$$L_p (1 - R)/\rho$$

* Dillon 1974 (adapté par SQE 1978).

MODÈLE RELIANT L'ÉTAT TROPHIQUE D'UN LAC À SA CONCENTRATION PRÉDITE DE PHOSPHORE AU BRASSAGE PRINTANIER

FIGURE I.2



où L_p = la charge spécifique de phosphore telle que déterminée en 1.2.4.

R = le coefficient de rétention du lac obtenu par l'équation suivante, soit:

$$R = 0,426e^{(-0,271 \text{ qs})} + 0,574e^{(-0,00949 \text{ qs})} \quad (\text{XV})$$

Cette équation a déjà été détaillée à la section 1.2.5 .

ρ = la fréquence de renouvellement de la masse d'eau obtenue de la façon suivante:

$$\rho = 1/t_w = 1/\text{temps de renouvellement} \quad (\text{XVI})$$

$$\text{où } t_w = \frac{V \text{ (m}^3\text{)}}{Q \text{ (m}^3\text{/an)}} \quad (\text{XVII})$$

V = volume du lac. Cette donnée nous est fournie par le Service des relevés du MRN.

Q = quantité d'eau qui sort du lac en mètres cubes par année, qui correspond à la charge que reçoit le lac et qui a été expliqué en 1.2.5 .

En abscisse, c'est la profondeur moyenne ($\bar{Z}$) qui détermine la position du lac. Cette valeur est obtenue par le rapport entre le volume du lac et sa superficie.

$$\bar{Z} = \frac{V}{A_0} \quad (\text{XVIII})$$

Note: La profondeur moyenne est une donnée brute calculée par le Service des relevés, MRN.

Ces deux coordonnées permettent de localiser le lac sur ce graphique.

1.3.2 Position naturelle

Utilisant la charge spécifique naturelle, telle qu'établie en 1.2.6 et les mêmes coordonnées qu'au point précédent, il est possible de calculer la position du lac à l'état naturel.

1.3.3 Calcul de la charge supplémentaire admissible (ΔL_p)

L'implantation des activités humaines dans un bassin versant entraîne une augmentation de la charge de phosphore totale au lac. Dans

Le but de contrôler cette augmentation et d'éviter qu'une trop forte utilisation du bassin et du lac ne conduise ce dernier à l'eutrophie dans un temps plus ou moins long, il est nécessaire de déterminer la charge supplémentaire admissible (ΔL_p) que le lac peut absorber sans que son vieillissement ne soit trop accéléré.

De nombreuses consultations et différents essais ont conduit à définir la façon de calculer la charge supplémentaire admissible (ΔL_p). Celle-ci équivaut à la moitié de la distance entre la position naturelle du lac ($L_{pn}(1-R)/\rho$) et la limite supérieure à ce point, qui peut être la limite "permissible" ou la limite dangereuse* (voir figure I.2).

- Si ce nouveau point ($L_{ad}(1-R)/\rho$) est supérieur à la position actuelle du lac ($L_p(1-R)/\rho$), nous obtenons la charge supplémentaire admissible (ΔL_p) par la différence entre ces deux points.

$$\Delta L_p = L_{ad}(1-R)/\rho - L_p(1-R)/\rho \quad (g \text{ } P_t/m^2) \quad (XIX)$$

Cette valeur est ramenée ensuite sur une base annuelle par la formule suivante:

$$\Delta L_p = \Delta \times R/(1-R) \quad g \text{ } P_t/m^2/an \quad (XX)$$

- Si ce nouveau point est inférieur à la position actuelle du lac, il n'y a pas de charge supplémentaire admissible.

1.3.4 Calcul des apports supplémentaires admissibles ($g \text{ } P_t/an$)

L'étape suivante consiste à transformer cette charge supplémentaire (ΔL_p) $g \text{ } P_t/m^2/an$ en multipliant ΔL_p par la superficie du lac (A_0) en mètre carré.

$$J_p = \Delta L_p \times A_0 \quad (g \text{ } P_t/an) \quad (XXI)$$

* Cette façon de calculer la charge admissible est présentement en révision.

1.3.5 Calcul du nombre de personnes-jours pour diverses affectations

Pour obtenir le nombre total de personnes-jours (NBJT) correspondant aux apports supplémentaires admissibles (J_p), l'équation suivante est utilisée:

$$NBJT = \frac{J_p}{2,2 \times 0,75} = \frac{J_p}{1,65} \quad (XXII)$$

NBJT = Nombre total de personnes-jours

J_p = Apports supplémentaires admissibles de phosphore en g P_t /an obtenus au point 1.3.4.

2,2 = Quantité de phosphore en gramme produite par une personne par jour.

0,75 = Facteur relié à la qualité des fosses septiques. Il représente la proportion de phosphore non retenue par celles-ci.

Ce nombre de personnes-jours est converti ensuite en infrastructures récréatives dans tout le bassin versant du lac. Ces dernières incluent des chalets, des terrains de camping comportant des emplacements pour roulottes, tentes-roulottes, tentes ainsi que des installations de service pour la baignade et le pique-nique près des plages. On peut aussi y installer des colonies de vacances estivales. Il peut même y arriver que des résidences permanentes et une certaine population animale viennent s'ajouter dans le bassin.

Le nombre de personnes-jours est divisé en diverses affectations selon le plan d'aménagement du lac étudié.

A) *Résidents permanents*

Si des résidents permanents viennent s'ajouter dans le bassin versant du lac, le nombre de personnes-jours disponibles pour des infrastructures récréatives diminuera, en ce sens que l'apport supplémentaire (J_p) admissible ne sera plus le même.

Ainsi, il faut calculer l'apport supplémentaire de phosphore produit par les nouvelles personnes permanentes pendant un an.

$$J_{pc} = C_s(2,2 \times 0,75 \times 365) + C_a(2,2 \times 365) \quad (XXIII)$$

J_{pc} = Quantité de phosphore qui sera émise par les nouvelles personnes permanentes.

C_s = Nombre de nouveaux résidents permanents dont la résidence est reliée à une fosse septique.

C_a = Nombre de nouveaux résidents permanents dont la résidence est reliée à un égout se déversant dans un tributaire ou directement dans le lac.

2,2 = Quantité de phosphore en gramme produite par une personne par jour.

0,75 = Il s'agit du facteur relié à la qualité des fosses septiques.

365 = Nombre de jours dans un an.

Ainsi pour connaître les nouveaux apports admissibles, on procède comme ceci:

$$J_p - J_{pc} = J_{pa} \text{ (nouveaux apports admissibles)} \quad (XXIV)$$

J_p = Apports supplémentaires admissibles établis au point 1.3.4.

J_{pc} = Quantité de phosphore qui sera émise par les nouvelles personnes.

Avec les nouveaux apports (J_{pa}), on calcule un autre nombre total de personnes-jours comme à la formule (XXII).

B) *Population animale*

Le nombre de personnes-jours disponibles pour la récréation diminuera également si l'on songe à établir, par exemple, une certaine population animale (poulaillers, porcheries, etc.).

Il s'agira de calculer les nouveaux apports (J_p) comme pour les personnes permanentes.

C) *Nombre de personnes-jours en équivalent-chalets (N_c)*

Pour convertir le nombre de personnes-jours en nombre de chalets, nous utilisons le coefficient d'occupation des chalets (C_o) expliqué au point 1.2.1 du présent rapport.

On procède donc avec la formule suivante:

$$Nc = \frac{NBJT}{Co} \quad (XXV)$$

Nc = Nombre admissible de chalets

$NBJT$ = Nombre total de personnes-jours

Co = Coefficient d'occupation en nombre de personnes-jours par chalet par année.

D) *Nombre de personnes-jours en équivalent-roulottes (Nr)*

Pour calculer l'équivalent personnes-jours en nombre d'emplacements de roulottes dans un terrain de camping, on procède de la façon suivante:

Comme la durée de fréquentation des roulottes est sensiblement la même que celle des chalets (Co) et qu'elles sont occupées en moyenne par quatre personnes, on utilise la même formule que celle exprimée pour l'équivalent-chalets.

$$Nr = \frac{NBJT}{Co} \quad (XXVI)$$

Nr = Nombre admissible de roulottes dans un terrain de camping.

E) *Nombre de personnes-jours en équivalent-tentes-roulottes (Ntr)*

Le calcul de l'équivalent personnes-jours en nombre d'emplacements de tentes-roulottes se fait de la façon suivante:

La durée d'occupation des tentes-roulottes peut se comparer à celle des chalets (Co) à la différence que, seulement 40 pour cent des emplacements est occupé durant la saison et ce, d'après l'enquête du ministère du Tourisme, de la Chasse et de la Pêche dans les campings provinciaux du Québec. Chaque emplacement de tentes-roulottes supporte quatre usagers.

$$Ntr = \frac{NBJT}{Cox0,4} \quad (XXVII)$$

Ntr = Nombre admissible de tentes-roulottes dans un terrain de camping

$NBJT$ = Nombre total de personnes-jours

$Cox0,4$ = Coefficient d'occupation en nombre de personnes-jours par tente-roulotte par année.

F) *Nombre de personnes-jours en équivalents-tentes (Nt)*

Pour transformer l'équivalent-personnes-jours, en nombre d'emplacements de tentes dans un terrain de camping, on procède comme ceci:

La durée de la saison du camping sous la tente est beaucoup plus courte que le temps de fréquentation des chalets. D'après la littérature sur ce sujet, on l'établit à 50 pour cent de celui des chalets. De plus, l'enquête du ministère du Tourisme, de la Chasse et de la Pêche révèle également que seulement 40 pour cent des emplacements de tentes est occupé durant l'été. Enfin, chaque emplacement de tentes supporte aussi quatre campeurs. On utilise donc la formule suivante:

$$Nt = \frac{NBJT}{Cox0,5x0,4} \quad (XXVIII)$$

Nt = Nombre admissible d'emplacements de tentes dans un terrain de camping

NBJT = Nombre total de personnes-jours

Cox0,5x0,4 = Coefficient d'occupation en nombre de personnes-jours par tente par année.

G) *Nombre de personnes-jours en équivalent-espace de stationnement pour automobiles (Nbp)*

Pour calculer le nombre de personnes-jours en équivalent-baigneurs et/ou pique-niqueurs, on procède à l'estimation d'un nombre d'espaces de stationnement pour automobiles.

Dans la littérature sur ce sujet, on rapporte en moyenne quatre personnes par auto pour les baigneurs et les pique-niqueurs. De plus, il ressort d'une consultation auprès de représentants du ministère du Tourisme, de la Chasse et de la Pêche, que la durée de la saison de baignade équivaut à 25 pour cent de la saison de villégiature (chalets). Les calculs ne tiennent pas compte du taux d'occupation des espaces de stationnement, lequel taux est sujet à des variations plus ou moins importantes. Les résultats fournis se rapportent à une hypothèse d'occupation potentielle maximale.

La formule est la suivante:

$$Nbp = \frac{NBJT}{Cox0,25/3} \quad (XXIX)$$

Nbp = Nombre d'espaces de stationnement pour automobiles

NBJT = Nombre total de personnes-jours

0,25 = Durée relative de la saison de baignade par rapport à celle de la villégiature

1/3 = Degré d'occupation des espaces de baignade sur une base journalière (un tiers de journée).

Le terme au dénominateur ($Co \times 0,25 / 3$) se définit donc comme le coefficient d'occupation annuel en nombre de personnes-jours par espace de stationnement. Pour une valeur de Co de 240 personnes-jours (région de Québec), un espace de stationnement sera occupé pendant un équivalent de 20 personnes-jours, soit 240 personnes-jours fois 25 pour cent, le tout multiplié par 1/3, c'est-à-dire le rapport de huit heures sur 24 heures.

H) *Nombre de personnes-jours en équivalent-lits dans une colonie de vacances (Nlc)*

Pour évaluer le nombre de personnes-jours en équivalent-lits dans une colonie de vacances estivales, on procède comme ceci:

Au Québec, les colonies de vacances opèrent pendant les vacances estivales, c'est-à-dire 62 jours peu importe la région. Un lit dans ce type d'établissement sera alors occupé en moyenne 62 jours par année. Donc, le nombre de lits possible sera:

$$Nlc = \frac{NBJT}{62} \quad (XXX)$$

Nlc = Nombre de lits possible dans une colonie de vacances

NBJT = Nombre total de personnes-jours

62 = Coefficient d'occupation en nombre de personnes-jours par lit par année.

I) *Synthèse de calcul du nombre de personnes-jours*

A titre de synthèse de cette partie, un tableau et un exemple concret sont présentés. Tout d'abord, le tableau I.3 montre le nombre de personnes-jours, par année, par activité récréative, pour la région administrative de Québec. ($Co = 0,66$)

TABLEAU I.3

NOMBRE DE PERSONNES-JOURS
PAR ACTIVITÉ PAR ANNÉE
DANS LA RÉGION DE QUÉBEC
($C_0 = 0,66$)

TYPE D'ÉQUIPEMENTS	FORMULES	NOMBRE DE PERSONNES-JOURS PAR ANNÉE
1 Chalet	C_0	240 personnes-jours (voir tableau I.2)
1 Emplacement de roulottes	C_0	240 personnes-jours
1 Emplacement de tentes-roulottes	$C_0 \times 0,4$	96 personnes-jours
1 Emplacement de tentes	$C_0 \times 0,5 \times 0,4$	48 personnes-jours
1 Espace de stationnement	$C_0 \times 0,25 \times 0,33$	20 personnes-jours
1 Lit dans une colonie de vacances	62	62 personnes-jours

Deuxièmement, un exemple concret de calcul pour le nombre de personnes-jours pour diverses affectations est donné. Pour ce faire, nous prendrons un lac inexploité situé dans la région de Québec.

Nous procédons donc à un calcul d'apports en phosphore et obtenons un J_p de 264 000 g P_t /an que l'on peut transformer en nombre de personnes-jours. Mais comme il s'agit d'un lac à aménager complètement, on prévoit déjà l'arrivée de personnes permanentes dans le bassin versant du lac, soit 50 résidences permanentes.

$$C_s = 50 \times 4$$

$$C_s = 200$$

$$J_{pc} = C_s (2,2 \times 0,75 \times 365)$$

$$J_{pc} = 120\,450 \text{ g } P_t/\text{an}$$

$$\text{D'où } J_p - J_{pc} = J_{pa}$$

$$264\,000 - 120\,450 = 143\,550 \text{ g } P_t/\text{an}$$

On transforme alors le nouveau J_{pa} en nombre de personnes-jours (NBJT).

$$NBJT = \frac{J_{pa}}{1,65} = \frac{143\,550}{1,65}$$

$$NBJT = 87\,000$$

Il est prévu aussi dans le plan d'aménagement du lac un terrain de camping comportant 40 emplacements pour tentes, 20 emplacements pour tentes-roulottes, dix emplacements pour roulottes et une accessibilité à la plage pour les baigneurs avec 50 emplacements de stationnement pour automobiles.

Alors pour connaître le nombre de personnes-jours qu'occupera cette infrastructure récréative, nous nous reportons, pour la circonstance, au tableau précédent, et faisons tout simplement le calcul.

40 tentes x 48 pers.-jours	=	1 920 pers.-jours
20 tentes-roulottes x 96 pers.-jours	=	1 920 pers.-jours
10 roulottes x 240 pers.-jours	=	2 400 pers.-jours
50 espaces x 5 pers.-jours	=	<u>250 pers.-jours</u>
		6 490 pers.-jours

Nous pouvons même poursuivre plus à fond l'exemple en supposant qu'une porcherie de 500 porcs viendra s'établir dans le même bassin du lac étudié.

Nous comptons le nombre de grammes de phosphore qu'apportera la porcherie au lac.

$$P_o \times 170 \text{ g} = \text{g } P_t/\text{an}$$

$$500 \times 170\text{g} = 85\,000 \text{ g } P_t/\text{an}$$

et que l'on transforme en nombre de personnes-jours équivalent

$$NBJT = \frac{85\,000}{1,65}$$

$$NBJT \quad 51\,515 \text{ personnes-jours}$$

On cherche le NBJT qui nous reste:

$$87\ 000 - 6490 - 51\ 515 = 28\ 995 \text{ NBJT}$$

Ce dernier total NBJT peut être transformé ensuite en nombre de chalets.

$$Nc = \frac{NBJT}{Co}$$

$$Nc = \frac{28\ 995}{240}$$

$$Nc = 120 \text{ chalets}$$

2. LES LACS EXPLOITÉS DU PREMIER NIVEAU

2.1 CRITÈRES DE DÉFINITION

Pour être ainsi classifiés, les lacs exploités du premier niveau doivent présenter les caractéristiques énoncées ci-après. Ainsi, le bassin versant est boisé à plus de 80 pour cent et la villégiature sur les rives du lac constitue l'utilisation dominante. Les secteurs agricoles sont peu importants et les zones urbaines (d'après la classification de l'ARDA) consistent plutôt en de petits villages qu'en de fortes concentrations humaines. De plus, les lacs du bassin versant, c'est-à-dire ceux en amont du lac étudié, présentent les caractéristiques des lacs inexploités.

Le niveau de développement étant plus grand que dans le cas d'un lac inexploité, il importe que le modèle d'apports reflète ces conditions. Le modèle 2 apporte la particularité d'un calcul des apports par unité de drainage que sont les sous-bassins et les écoulements diffus (voir carte 3). Par sous-bassin, nous entendons la portion du bassin versant drainée par un ruisseau ou une rivière tributaire du lac étudié. Une zone d'écoulement diffus consiste en la portion du bassin versant située entre deux sous-bassins et non drainée par un tributaire. Cependant, il arrive de rencontrer certains lacs dont l'alimentation n'est assurée que par un seul tributaire ou même par les eaux souterraines uniquement. A ce moment, tout le bassin peut être considéré comme zone d'écoulement diffus ou versant naturel du lac.

2.2 CALCUL DU MODÈLE 2

Toutes les données requises pour le calcul du modèle 2 apparaissent au tableau II.1. Comme le calcul s'effectue par unité de drainage, il est entendu qu'il faut remplir une fiche pour chacune d'entre elles.

2.2.1 Les données générales

Comparativement au modèle 1, certaines données doivent être modifiées. Ainsi, le facteur d'environnement f_u exprime maintenant le quotient de la superficie de l'unité de drainage (SB) par la superficie du lac étudié (A_0). Ainsi, le facteur d'environnement est différent d'une unité à l'autre.

S'ajoute également une donnée supplémentaire, soit le nombre de personnes-jours pour la population saisonnière et flottante; cette

SOUS-BASSINS ET ZONES D'ÉCOULEMENT DIFFUS (versants naturels)

LÉGENDE

- Limite du bassin versant
- - - Limite de sous-bassin ou de zone d'écoulement diffus

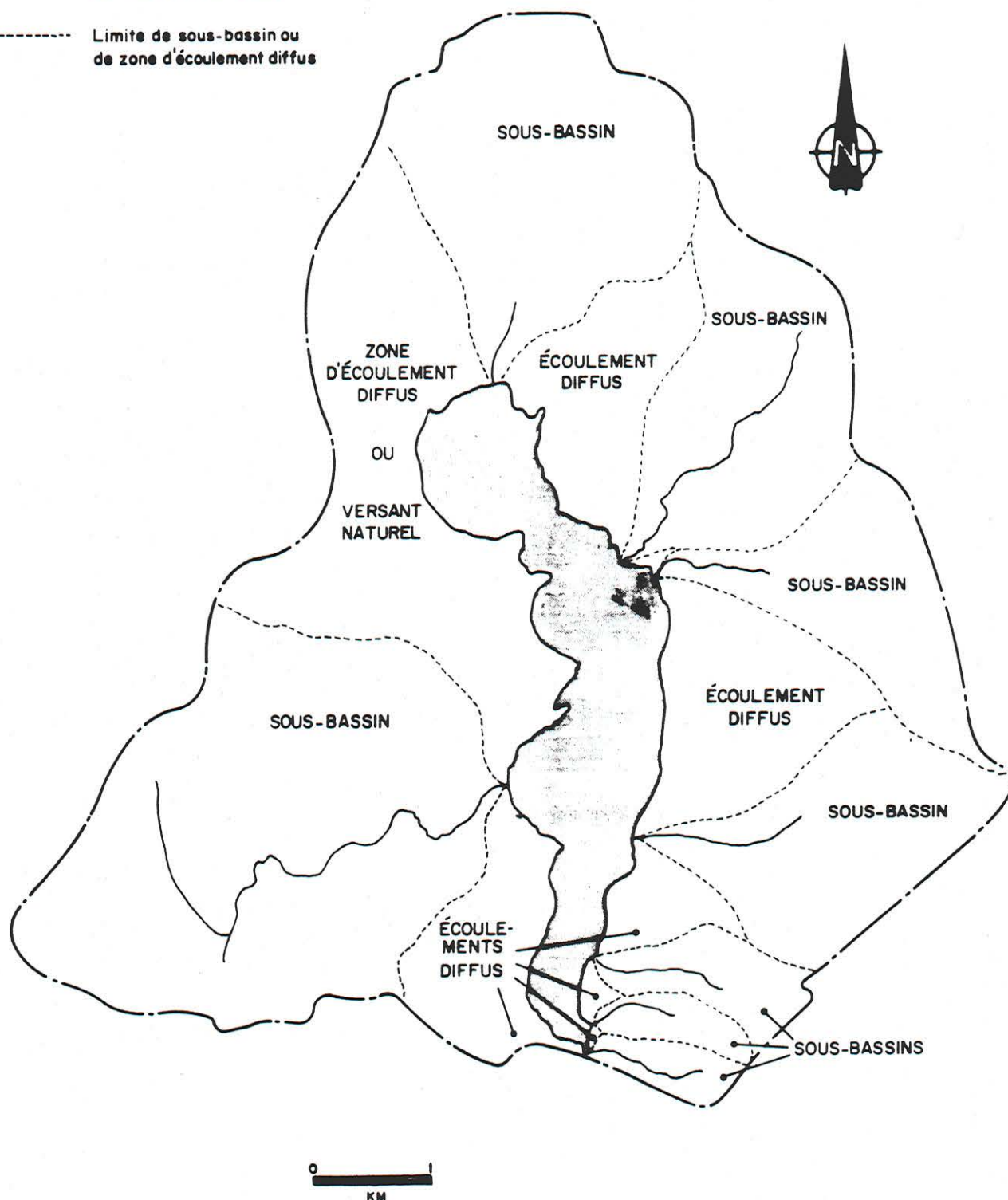


TABLEAU II.1

PAR SOUS-BASSIN (Modèle 2)

SUPERFICIE DU SOUS-BASSIN (SB)		km ²		
SUPERFICIE DU LAC A ₀		km ²		
FACTEUR D'ENVIRONNEMENT f _u				
NOMBRE DE CHALETS (Nc)				
NOMBRE DE PERSONNES-JOURS POUR LA POPULATION SAISONNIÈRE ET FLOTTANTE (NBJA) (NBJS)		AVEC EGOUT SANS EGOUT		
UTILISATION DU SOL		km ²	COEFFICIENT D'EXPORTATION kg P/km ² -an	APPORTS kg P/an
AFFECTATION AGRICOLE (P + A + H + G) (P)			50	
ZONES IMPRODUCTIVES (E + O + K + U + S) (Ip)			25	
FORÊTS AVEC SUBSTRAT IGNÉ (Ti)			5	
FORÊT AVEC SUBSTRAT SÉDIMENTAIRE (Ts)			12	
AFFECTATION URBAINE (B)			150	
MARAI, MARÉCAGES (M)			25	
SURFACE D'EAU (Z)			38	
COEFFICIENT D'EXPORTATION MOYEN (E _s)				
TOTAL				J _s =
POPULATION	NOMBRE		FORMULE D'EXPORTATION	APPORTS kg P/an
POPULATION SAISONNIÈRE (PSA) ET FLOTTANTE AVEC ÉGOUT	PSA =		$\frac{NBJA \times 2,2}{1000}$	
POPULATION SAISONNIÈRE (PSS) ET FLOTTANTE SANS ÉGOUT	PSS =		$\frac{NBJS \times 2,2 \times 0,75}{1000}$	
POPULATION PERMANENTE AVEC ÉGOUT (PPA)	PPA =		PPA × 0,8	
POPULATION PERMANENTE SANS ÉGOUT (PPS)	PPS =		PPS × 0,8 × 0,75	
TOTAL	C =			J _c =
CHARGE SPÉCIFIQUE (g P/m ² -an)		CALCUL		VALEUR g P _t /m ² -an
À PARTIR DU SOL (L _s)		(E _s /1000) × f _u		
EN PROVENANCE DE LA POPULATION (L _c)		J _c / (A ₀ × 1000)		
À PARTIR DU OU DES LACS EN AMONT (L _a)		$\sum_{i=1}^n \frac{(1 - R_i) \times L_{pi} \times A_{oi}}{A_0}$		
TOTAL (L _p)		L _s + L _c + L _a		

donnée exprime le volume de population et la durée de séjour dans les chalets, les campings et les colonies de vacances, les auberges et hôtels, etc... et est utilisée dans le calcul des apports de la population humaine. On distingue cependant la population desservie par un égout (NBJA) de celle qui ne l'est pas (NBJS).

2.2.2 Les apports en provenance du sol

Les apports en provenance du sol sont évalués de la même façon que celle décrite aux points 1.2.2.1 à 1.2.2.7. La planimétrie de l'utilisation du sol s'effectue cependant par unité de drainage.

2.2.3 Les apports en provenance de la population

Les apports en provenance de la population se calculent de la même manière que celle utilisée pour le modèle 1, en ce qui concerne la population permanente (avec et/ou sans égout).

$$PPA \times 0,8 \text{ kg P} = \text{apport de la population avec égout} \quad (\text{XXXI})$$

$$PPS \times 0,8 \text{ kg P} \times 0,75 = \text{apport de la population sans égout} \quad (\text{XXXII})$$

Les apports résultant de la population saisonnière (celle des chalets) se calculent cependant un peu différemment par rapport au modèle 1. Le nombre de chalets (N_c), le coefficient d'occupation des chalets exprimé en nombre de jours (C_o) et l'estimation de quatre occupants par chalet constituent les termes du calcul. Ainsi, la population saisonnière s'évalue selon:

$$N_c \times C_o \times 4 = \text{Nombre de personnes-jours pour la population saisonnière} \quad (\text{XXXIII})$$

De plus, étant donné que les rives des lacs peuvent aussi être occupées par des équipements récréatifs autres que les résidences secondaires, nous avons tenté de mesurer les apports provenant des campings, des colonies de vacances, des auberges qui accueillent une population très changeante. Les informations nécessaires au calcul sont recueillies par enquête et portent sur le nombre de personnes fréquentant ces sites ou établissements, de même que la durée du séjour. Les données sont compilées et la somme de celles-ci donne le nombre de personnes-jours pour la population flottante.

Les populations saisonnière et flottante sont ensuite réunies et le calcul de leurs apports s'effectue comme suit, tout en distinguant les populations desservies par un égout de celles qui ne le sont pas.

$$\frac{NBJA \times 2,2}{1\ 000} = \text{apport de la population saisonnière et flottante avec égout (kg P/an)} \quad (\text{XXXIV})$$

$$\frac{NBJS \times 2,2 \times 0,75}{1\ 000} = \text{apport de la population saisonnière et flottante sans égout (kg P/an)} \quad (\text{XXXV})$$

La somme des apports provenant des populations permanente, saisonnière et flottante constitue l'apport total (J_C) de la population humaine par unité de drainage.

2.2.4 Calcul de la charge spécifique parvenant au lac

Chaque unité de drainage exporte une charge spécifique totale L_p .

$$L_p = L_s + L_c + L_a (\text{voir tableau II.1}) \quad (\text{XXXVI})$$

où L_s = la charge spécifique à partir du sol

L_c = la charge spécifique en provenance de la population

L_a = la charge provenant du ou des lacs en amont

La charge spécifique du lac étudié consiste donc en la somme de toutes les charges totales provenant de chacune des unités de drainage à laquelle il ne faut pas oublier d'ajouter la charge spécifique des précipitations tombant directement sur la surface du lac étudié.

$$L_p = \sum_{i=1}^n L_{p_i} + L_{pr} \quad (\text{XXXVII})$$

2.2.5 Présentation des résultats

Les résultats du modèle 2 peuvent être présentés de deux façons différentes. La première, visuelle, utilise le système de la flèche, tel que décrit en 1.2.7. Une carte du bassin versant est d'abord dressée, illustrant les unités de drainage (sous-bassins et zones d'écoulement diffus); l'apport de chaque unité de drainage est exprimé par une flèche dont la largeur est proportionnelle à la quantité de phosphore exportée. L'intérieur de la flèche est subdivisé selon l'importance relative des types d'exportateurs (l'utilisation du sol et population humaine). Une flèche pointée vers le lac représente l'apport fourni par les précipitations tombant directement à la surface de la nappe d'eau (voir carte 4).

PRÉSENTATION CARTOGRAPHIQUE DES RÉSULTATS DES MODÈLES 2 ET 3

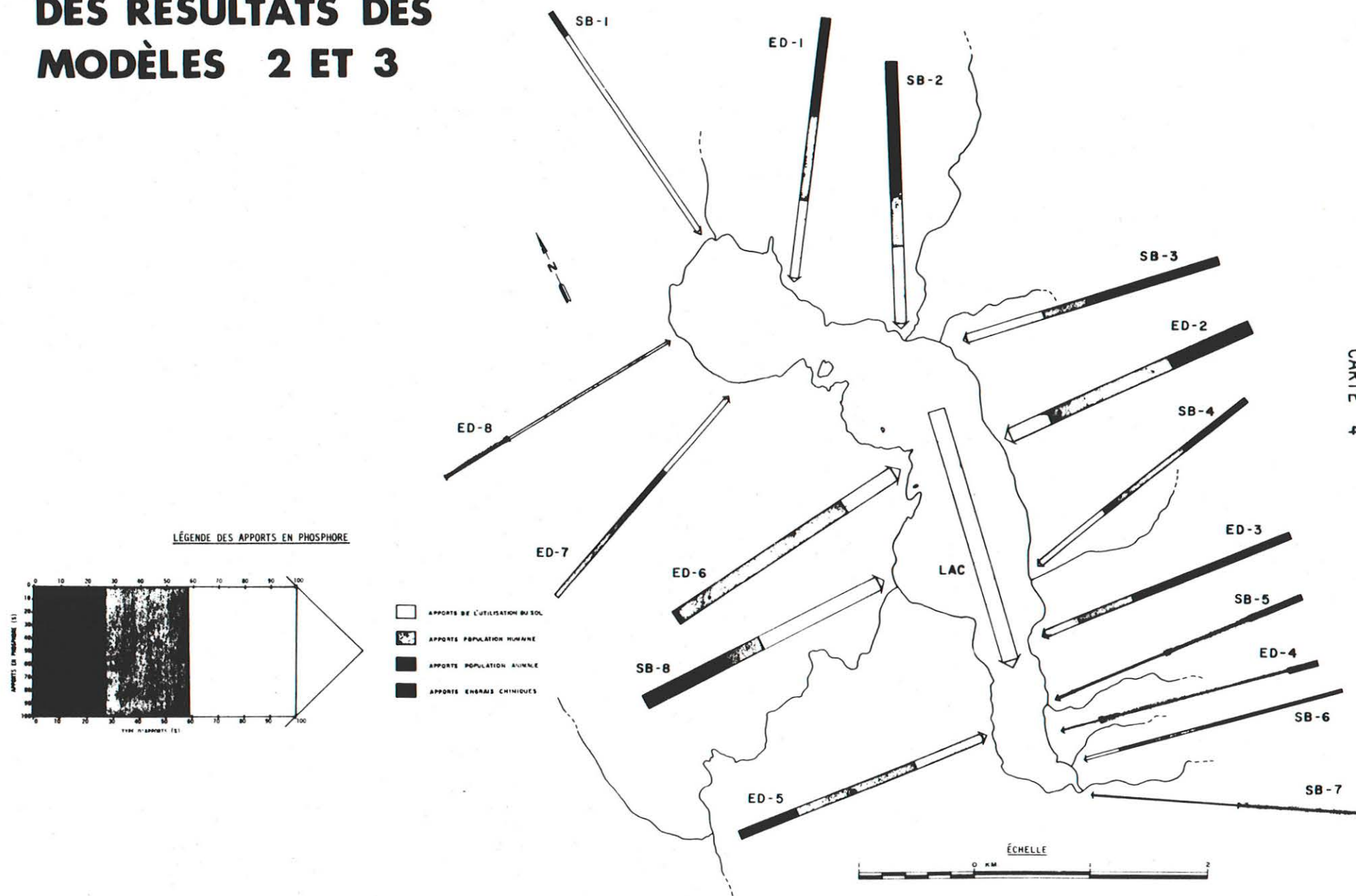


TABLEAU II.2

APPORTS EN PHOSPHORE AU LAC PAR SOUS-BASSIN (kg P/AN)
(MODÈLE 2)

SOUS-BASSIN			EN PROVENANCE DE L'UTILISATION DU SOL							EN PROVENANCE DE LA POPULATION					TOTAL	APPORTS PAR UNITÉ DE SURFACE g P/m
NO	SURFACE		AFFECTATION AGRICOLE *	ZONES IMPRODUCTIVES *	FORÊTS *	AFFECTATION URBAINE *	MARAIS MARÉAGES *	SURFACE D'EAU *	TOTAL **	SAISONNIÈRE ET FLOTTANTE AVEC ÉGOUT *	SAISONNIÈRE ET FLOTTANTE SANS ÉGOUT *	PERMANENTE AVEC ÉGOUT *	PERMANENTE SANS ÉGOUT *	TOTAL **		
	km²	%														
ED 1	0,57	4,3%	2,0 1,6%	5,25 4,3%	1,6 1,3%	—	—	—	8,85 33,9%	—	7,6 6,1%	—	9,6 7,8%	17,2 66,1%	26,05 21,1%	0,05
SB 2	10,17	76,7%	—	3,5 2,8%	49,6 40,2%	—	—	3,8 3,1%	56,9 92,5%	—	2,4 1,9%	—	9,6 7,8%	12,0 17,5%	68,9 55,9%	0,01
ED 3	2,52	19,1%	—	4,5 3,6%	11,7 9,5%	—	—	—	16,2 37,1%	—	2,4 1,9%	—	—	2,4 12,9%	18,6 15,1%	0,01
PRÉCIPITATION DIRECTEMENT SUR LE LAC									9,8 7,9%						9,8 7,9%	0,038
TOTAL			2,0 1,6%	13,25 10,7%	62,9 51,0%	— —	— —	13,6 10,9%	91,75 74,2%	— —	12,4 10,0%	— —	19,2 15,8%	31,6 25,8%	123,35 100%	0,01

* Pourcentage calculé à partir du total de l'ensemble des apports
 ** Pourcentage calculé par rapport à la charge de chaque sous-bassin
 *** Coefficient d'exportation moyen pour l'ensemble du bassin.

Les résultats obtenus peuvent également faire l'objet d'un tableau dans lequel sont indiqués les apports en valeurs absolues, de même que l'importance relative de ces derniers par rapport à l'unité de drainage et à l'ensemble du bassin versant.

Globalement, le modèle d'apports 2 met en évidence les unités de drainage qui exportent le plus de phosphore, et identifie les types d'exportateurs responsables de ces conditions. Connaissant l'origine des apports de phosphore, il devient plus aisé de prendre les mesures nécessaires pour corriger les problèmes détectés et ainsi protéger et assurer la conservation des milieux lacustres.

2.3 CALCUL DE LA CAPACITÉ DE SUPPORT

Le calcul de la capacité de support s'effectue exactement de la même manière que celle démontrée en 1.3.

3. LES LACS EXPLOITÉS DU SECOND NIVEAU

3.1 CRITÈRES DE DÉFINITION

On considère un lac comme exploité du second niveau lorsque le bassin de celui-ci présente les caractéristiques suivantes. Ainsi, les zones boisées doivent occuper de 40 à 80 pour cent de la superficie du bassin versant et les rives sont fortement colonisées par la villégiature et autres installations récréatives. Quant aux zones agricoles, elles couvrent une part importante du bassin. On peut également observer des activités plus intensives découlant de la présence industrielle, de l'existence de centres urbains, etc... Bref, le lac subit une pression beaucoup plus vive de la part du milieu environnant.

Ce type de bassin requiert l'emploi du modèle 3, puisque l'on y constate une augmentation dans la diversité et les taux d'exploitation des divers modes d'utilisation du sol. En plus des éléments déjà mesurés dans les deux premiers modèles, celui-ci met l'emphasis sur les activités agricoles existantes en calculant une charge spécifique provenant des animaux et des engrais chimiques. On tente également, dans la mesure du possible, d'évaluer les apports de l'industrie.

L'unité de base pour le calcul, à l'instar du modèle précédent, demeure le sous-bassin et la zone d'écoulement diffus.

3.2 CALCUL DU MODÈLE 3

Comme pour le modèle précédent, le tableau III.1 constitue la fiche à remplir pour chaque unité de drainage. Les éléments nouveaux apparaissant dans ce tableau sont explicités ci-après.

3.2.1 Les données générales

Les données générales présentent les mêmes paramètres que pour le modèle 2. La signification de l'expression personnes-jours pour la population saisonnière et flottante varie quelque peu par rapport au modèle précédent; cette notion est détaillée dans la section 3.2.3 portant sur les apports de la population humaine.

3.2.2 Les apports en provenance du sol

Le seul changement d'importance par rapport aux deux premiers modèles se situe au niveau des zones dites "agricoles" et "improductives". Dans les modèles 1 et 2, les zones agricoles comprennent les terres cultivées (grandes cultures, pâturages, horticulture, cultures spéciales comme le tabac, la pomme de terre, etc... et enfin les vergers en production). Ce type de zone était affecté d'un coefficient d'expor-

UTILISATION DU TERRITOIRE ET CALCUL DES CHARGES SPÉCIFIQUES EN PHOSPHORE

TABLEAU III.1

PAR SOUS-BASSIN (Modèle 3)

SUPERFICIE DU SOUS-BASSIN	(SB)		km ²	
SUPERFICIE DU LAC	(A ₀)		km ²	
FACTEUR D'ENVIRONNEMENT	(f _u)			
NOMBRE DE CHALETs	(N _c)			
NOMBRE DE PERSONNES-JOURS POUR LA POPULATION SAISONNIERE ET FLOTTANTE	(NBJA) (NBJS)	AVEC EGOUT SANS EGOUT		
UTILISATION DU SOL		km ²	COEFFICIENT D'EXPORTATION kg P/km ² -an	APPORTS kg P/an
SOL NU (P + A + H + G + E + O + K + U + S)	(I _p)		25	
FORÊT AVEC SUBSTRAT IGNE	(T _i)		5	
FORÊT AVEC SUBSTRAT SÉDIMENTAIRE	(T _s)		12	
AFFECTATION URBAINE	(B)		150	
MARAIs, MARÉCAGES	(M)		25	
SURFACE D'EAU	(Z)		38	
COEFFICIENT D'EXPORTATION MOYEN	(E _s)			
TOTAL				J _s
POPULATION HUMAINE		NOMBRE	FORMULE D'EXPORTATION	APPORTS kg P/an
POPULATION SAISONNIERE (PSA) ET FLOTTANTE AVEC EGOUT	PSA =		$\frac{NBJA \times 0,2}{1000}$	
POPULATION SAISONNIERE (PSS) ET FLOTTANTE SANS EGOUT	PSS =		$\frac{NBJS \times 0,2 \times 0,75}{1000}$	
POPULATION PERMANENTE AVEC EGOUT	(PPA)	PPA =	PPA × 0,8	
POPULATION PERMANENTE SANS EGOUT	(PPS)	PPS =	PPS × 0,8 × 0,75	
TOTAL		C =		J _c =
POPULATION ANIMALE		NOMBRE	FORMULE D'EXPORTATION	APPORTS kg P/an
BOVINS	(B0)	B0 =	B0 × 0,61	
PORCS	(P0)	P0 =	P0 × 0,17	
MOUTONS	(M0)	M0 =	M0 × 0,08	
VOLAILLES	(V0)	V0 =	V0 × 0,01	
CHEVAUX	(CH)	CH =	CH × 0,42	
				J _a =
ENGRAIS CHIMIQUES		VARIABLE SELON LES TERRES FERTILISEES PAR RAPPORT AUX TERRES CULTIVEES POUR LES MUNICIPALITES DU BASSIN		J _e =
INDUSTRIES		À DÉTERMINER POUR CHAQUE INDUSTRIE		J _i =
CHARGE SPÉCIFIQUE (g P/m ² -an)		CALCUL		VALEUR g P _t /m ² -an
À PARTIR DU SOL	(L _s)	(E _s / 1000) × f _u		
EN PROVENANCE DE LA POPULATION HUMAINE	(L _c)	J _c / (A ₀ × 1000)		
EN PROVENANCE DE LA POPULATION ANIMALE	(L _d)	J _a / (A ₀ × 1000)		
EN PROVENANCE DES ENGRAIS CHIMIQUES	(L _e)	J _e / (A ₀ × 1000)		
EN PROVENANCE DES INDUSTRIES	(L _i)	J _i / (A ₀ × 1000)		
À PARTIR DU OU DES LACS EN AMONT	(L _a)	$\sum_{i=1}^n \frac{(1 - R_i) \times L_{pi} \times A_{oi}}{A_0}$		
TOTAL	(L _p)	L _s + L _c + L _d + L _e + L _i + L _a		

EXEMPLE DU MODÈLE 2

1-5

CALCUL DES APPORTS EN PHOSPHORE DES REGIONS 'AU NATUREL'.

1

NOM DE LA REGION: LAC PARADIS

UTILISATION DU SOL

		KM(CARRE)	APPORTS(KG/AN)
FORET AVEC SUBSTRAT IGNE	98,702	13,69	69,450
FORET AVEC SUBSTRAT SEDIMENTAIRE	,000	,00	,000
MARAI S MARECAGES	,000	,00	,000
SURFACE D'EAU	1,298	,18	6,840

COEFFICIENT D'EXPORTATION MOYEN (KG/KM(CARRE)-AN))

ES = 5,428

TOTAL	100,000	13,87	75,290
-------	---------	-------	--------

CHARGE SPECIFIQUE

GR/(M(CARRE)-AN))

A PARTIR DU SOL

LS = ,021

A PARTIR DES PRECIPITATIONS

LPR= ,038

A PARTIR DES LACS EN AMONT

LA = ,0000000

TOTAL

LP = ,059

'ET VOILA LE TRAVAIL'

tation de 50 kg P/km²/an, ce dernier intégrant les apports des animaux et des engrais chimiques. Pour leur part, les zones dites "improductives" regroupaient tous les modes d'utilisation du sol autres que les forêts, les centres urbains, les marécages et les surfaces d'eau. Le coefficient d'exportation propre à ce groupe était de 25 kg P/km²/an. Par contre, dans le présent modèle, toutes les utilisations du sol, dont il est fait mention plus haut, sont réunies sous le vocable "sol nu", lequel est affecté d'un coefficient d'exportation de 25 kg P/km²/an. La raison de ce regroupement réside dans le fait que les apports émanant des populations animales et des engrais chimiques sont évalués séparément au lieu d'être intégrés dans le coefficient attribué aux zones agricoles, comme c'était le cas auparavant.

Le coefficient d'exportation moyen se calcule cependant de la même manière nonobstant cette modification, et une charge est définie pour chaque unité de drainage.

3.2.3 Les apports en provenance des populations humaines

Le calcul des apports en provenance des populations humaines implique deux opérations, soit l'évaluation pour la population permanente d'une part, et celle relative à la population saisonnière et flottante d'autre part.

Les apports de la population permanente sont établis selon la méthodologie présentée en 1.2.3.2 (carte par points, décompte des populations et affectation du coefficient 0,8 kg/P/capita/an auquel on ajoute le facteur 0,75 selon le cas).

Cependant, pour l'estimation des apports émanant des populations saisonnières et flottantes, la formule utilisée varie quelque peu par rapport aux deux modèles précédents. En effet, comme il a été mentionné au début de ce chapitre, les populations saisonnières et flottantes sont regroupées en personnes-jours. Nous éliminons comme donnée essentielle au calcul des apports de la population saisonnière, la notion de coefficient d'occupation des chalets (C_o) pour la remplacer par la durée réelle de séjour dans les résidences secondaires, (établie après enquête.) Le niveau de précision du modèle 3 étant supérieur à celui des deux autres, cette modification s'avère significative, puisqu'elle tient compte des particularités locales dans la détermination du temps de séjour (proximité de grands centres urbains, de secteurs touristiques, fréquentation à l'année due aux sports d'hiver, etc...), ce que ne faisait pas tout à fait le coefficient d'occupation utilisé antérieurement. Il suffit donc d'identifier la durée de séjour que l'on multiplie par le nombre de chalets, chacun des chalets étant habité par quatre personnes en moyenne (Dillon et Rigler, 1975). Nous obtenons alors un nombre de personnes-jours pour la population saisonnière, auquel nous ajoutons le nombre de personnes-jours pour la population flottante (voir 2.2.3). Notons cependant que l'on doit distinguer la population desservie par un système d'égout (NBJA) de celle qui ne l'est pas (NBJS). Le calcul s'effectue comme suit:

$$\text{Population saisonnière et flottante avec égout} = \frac{\text{NBJA} \times 2,2}{1\ 000} = \text{Kg } P_t/\text{an} \quad (\text{XXXVIII})$$

$$\text{Population saisonnière et flottante sans égout} = \frac{\text{NBJS} \times 2,2 \times 0,75}{1\ 000} = \text{Kg } P_t/\text{an} \quad (\text{XXXIX})$$

Ces apports sont additionnés à ceux provenant de la population permanente et formant l'apport de la population humaine (J_c). Il est bien entendu que ces calculs sont exécutés pour chaque unité de drainage.

3.2.4 Les apports en provenance des populations animales

La quantification des apports provenant des concentrations animales constitue un des traits caractéristiques du modèle 3. Les coefficients d'exportation relatifs à chacun des groupements d'animaux considérés ont été déterminés suite à une revue de littérature effectuée dans le cadre de l'entente MRN-INRS-Eau pour l'étude des bassins de la Saint-François et de la Yamaska (Cluis et Durocher, 1976). Le tableau ci-dessous présente les catégories d'animaux, de même que les coefficients d'exportation qui leur sont attribués.

TABLEAU III.2

COEFFICIENTS D'EXPORTATION DU PHOSPHORE TOTAL
PAR CATÉGORIE D'ANIMAUX

CATÉGORIE	APPORTS kg P_t /animal/an	COEFFICIENT D'EXPORTATION kg/animal/an
Bovins (B0)	12,26	0,61 kg
Porcs (P0)	3,46	0,17
Moutons (M0)	1,61	0,08
Volailles (V0)	0,26	0,01
Chevaux (CH)	8,43	0,42

La différence entre l'apport par animal et le coefficient d'exportation résulte du fait qu'il s'agit là d'un apport potentiel, puisqu'une certaine partie du phosphore produit par les animaux sera récupérée par le sol (épandage du fumier comme engrais, etc...). Conséquemment, un coefficient de transfert de 0,05 est appliqué à l'apport de chaque animal.

Il reste dès lors à localiser les concentrations animales, opération qui s'effectue à l'aide des données fournies par le Service de l'Informatique du ministère de l'Agriculture du Québec, celui-ci possédant des statistiques très complètes sur chaque producteur agricole. Ainsi, sont fournies les informations suivantes, soit les numéros de rang et de lot de chaque exploitation, le nombre de têtes pour chacune des catégories d'animaux, ainsi que les superficies en culture et en boisé. Il suffit ensuite d'affecter aux concentrations animales localisées dans le bassin versant, les coefficients d'exportation appropriés.

3.2.5 Les apports provenant des engrais chimiques

Les apports résultant de l'épandage des engrais chimiques sont cependant beaucoup plus difficiles à quantifier que les précédents, étant donné la variation observée dans les quantités utilisées et les lieux d'application (rotation des cultures). Devant cette situation, il a été décidé de déterminer une quantité moyenne de phosphore étendu par kilomètre carré fertilisé et ce, dans une perspective régionale.

Pour faciliter la compréhension de ce calcul, un exemple applicable à la partie sud des Cantons-de-l'Est est présenté dans cette section. Pour ce faire, nous avons utilisé comme unité de recensement de base le comté, puis identifié un ensemble de comtés pouvant représenter une région donnée. Pour chacun des comtés, nous avons calculé dans quelle proportion (pourcentage) était fertilisé chaque type de culture par rapport au total de toutes les cultures fertilisées. Les types de culture considérés sont le blé, l'avoine, l'orge, les fruits de vergers, les petits fruits, le foin cultivé, le maïs-grain, le tabac, les patates, les betteraves, les légumes et les pâturages défrichés. Ces données proviennent des statistiques agricoles recueillies au moment du recensement pan-canadien; ces dernières sont rassemblées dans une publication spéciale intitulée "Agriculture-Québec". Nous avons identifié une moyenne "régionale" de fertilisation pour les différentes cultures considérées. L'étape suivante consiste à multiplier ces moyennes par les apports en phosphore rattachés à chacun des types de culture (Cluis, D. et H. Durocher, 1976) et d'en faire la sommation. Nous obtenons donc une valeur moyenne de la quantité de phosphore étendue annuellement sur un kilomètre de terre fertilisée (tableau III.4).

TABLEAU III.3

POURCENTAGE DE LA SURFACE FERTILISÉE POUR CHAQUE CULTURE
PAR RAPPORT A LA SUPERFICIE TOTALE FERTILISÉE*

Cultures \ Comtés	Stanstead %	Sherbrooke %	Shefford %	Brome %	Moyenne % des 4 comtés
Blé	0,48	0,66	0,29	0,52	0,49
Avoine	21,09	22,88	20,24	20,84	21,24
Orge	1,33	1,07	0,79	2,77	1,48
Fruits de vergers	0,01	0,08	1,46	0,02	0,39
Petits fruits	0,05	0,76	0,08	----	0,30
Pâturages défrichés	24,02	17,55	19,85	18,94	20,08
Foin cultivé	43,57	45,83	46,76	41,73	44,45
Maïs-grain	0,14	0,31	2,97	6,52	2,48
Tabac	----	----	----	----	----
Patates	0,01	0,04	0,07	0,13	0,06
Betteraves	----	----	----	----	----
Légumes	0,10	0,39	0,06	0,15	0,18
Autres	9,20	10,42	7,43	8,38	8,85

* Source: Agriculture-Québec, tableau 47 "Utilisation d'engrais commercial dans les fermes de recensement, cultures de 1971, par division de recensement."

TABLEAU III.4

DÉTERMINATION DE LA QUANTITÉ MOYENNE DE PHOSPHORE TOTAL
ÉMIS PAR UN KILOMÈTRE CARRÉ DE TERRE FERTILISÉE PAR ANNÉE

Culture	Apports de P* kg/km ² fertilisé/an	Moyenne de fertilisation(%)**	Apports kg Pt kg x %
Blé	3 430	0,49	16,807
Avoine	3 430	21,24	728,532
Orge	4 380	1,48	64,824
Fruits de vergers	2 590	0,39	10,101
Petits fruits	10 220	0,30	30,66
Pâturages défrichés	3 320	20,08	666,656
Foin cultivé	3 320	44,45	1 475,74
Maïs-grain	4 750	2,48	117,8
Tabac	----	----	----
Patates	8 400	0,06	5,04
Betteraves	----	----	----
Légumes	4 380	0,18	7,884
Autres	4 020	8,85	335,77
* Cluis, D. et H. Durocher, 1976. ** Voir le tableau III.3			≈ 3 480

Donc, un kilomètre carré de surface fertilisée apporte en moyenne 3 479,814 kg et ce pour la région considérée uniquement.

Il importe maintenant de connaître dans quelle proportion les cultures sont fertilisées dans chacune des municipalités incluses dans le bassin versant, puisque ce phénomène varie énormément suivant le type d'agriculture pratiqué, sa rentabilité, les caractéristiques intrinsèques du sol, etc. Les renseignements sur les superficies fertilisées par municipalité sont fournis sur une liste de données informatiques, émise par Statistique Canada. On effectue alors la sommation de toutes les superficies fertilisées et ce, pour chacune des municipalités. Quant aux superficies cultivées et en pâturage, elles sont données, par municipalité, dans la publication relative au recensement agricole (tableau 50, Fermes recensement - Valeur des biens capitaux et utilisation de la terre, population et machines agricoles, par subdivision).

Pour poursuivre notre exemple, nous utilisons le bassin du lac Lovering, situé au sud-est de la ville de Magog, dans les Cantons-de-l'Est. Ce bassin chevauche deux municipalités, celles des Cantons de Stanstead et de Magog (tableau III.5).

TABLEAU III.5

POURCENTAGE DES SURFACES FERTILISÉES
SUR LES SURFACES CULTIVÉES ET EN PÂTURAGE

Municipalité	Superficies fertilisées (acres): F	Superficies cultivées et en pâturage (acres): C	% F/C
Canton de Stanstead	340	2490	11,56
Canton de Magog	683	5279	12,94

L'opération subséquente consiste donc à multiplier chacun de ces pourcentages de fertilisation par le pourcentage du bassin versant couvert par chacune des municipalités, et d'en faire la sommation de façon à obtenir un pourcentage pondéré des terres fertilisées par rapport aux terres cultivées et en pâturage, pouvant être appliqué à l'ensemble du bassin versant.

TABLEAU III.6

POURCENTAGE PONDERÉ DE FERTILISATION
BASSIN VERSANT DU LAC LOVERING

Municipalité	F/C	% du bassin versant couvert par municipalité	F/C x % B.V
Canton de Stanstead	0,1156	0,31	0,036
Canton de Magog	0,1294	0,69	0,089
			0,125

Donc, en moyenne dans le bassin versant, on retrouve un certain pourcentage de terres fertilisées par rapport aux terres cultivées et en pâturage. Ce calcul doit être repris pour chaque bassin versant étudié, puisque les pourcentages d'occupation des municipalités sont variables selon le bassin considéré.

Conséquemment, nous estimons que pour chaque kilomètre carré cultivé et en pâturage (catégories Pr, A, H, G. des cartes d'utilisation du sol), un certain pourcentage est fertilisé. On détermine alors la quantité de phosphore émise par un kilomètre carré par le produit de la quantité de phosphore émise par un kilomètre carré de terre fertilisée (contexte régional) et du pourcentage de fertilisation identifié pour le bassin en question.

Ainsi pour le bassin du lac Lovering, la quantité de phosphore se calcule par $3480 \text{ kg} \times 0,125 = 434,98 \text{ kg P/km}^2 \text{ cultivé/an}$.

Il suffit ensuite d'affecter cette valeur aux superficies calculées (Pr, A, H, G) pour chacun des sous-bassins et zones d'écoulement diffus. Evidemment, cet apport est du type potentiel, puisqu'une grande partie du phosphore est captée par les plantes et le sol. Ainsi, un coefficient de 0,05 est affecté à ces quantités.

L'utilisation d'engrais n'est cependant pas restreinte au secteur de l'agriculture, les terrains de golf en employant de grandes quantités pour l'entretien des pelouses, des parcours et des "verts". Les informations relatives à ce sujet sont obtenues par enquête auprès de chaque terrain de golf; il est important que les utilisateurs spécifient si les engrais sont sous forme sèche ou liquide, et quelle est la quantité employée par unité de surface. Les apports en phosphore calculés sont du type potentiel et affectés d'un coefficient de transfert égale à 0,05.

3.2.6 Les apports provenant des industries

Les industries constituent souvent des agents pollueurs d'importance. Les apports de phosphore qui en émanent sont toutefois très difficiles à quantifier et ce, pour plusieurs raisons. Ainsi, ils sont éminemment variables et sont tributaires du type d'industrie, de sa taille, de sa production, etc... Ils doivent donc être évalués à l'aide de données très précises comme la qualité physico-chimique des rejets, le débit de ces derniers, etc... De plus, certaines industries rejettent leurs eaux usées via leurs propres émissaires, tandis que d'autres utilisent pour ce faire les réseaux collecteurs existants. Tout ceci fait que la quantification des apports industriels s'avère une opération complexe, mais qui doit être tentée dans la mesure du possible vu l'impact ponctuel considérable de ceux-ci.

3.2.7 Le calcul de la charge spécifique parvenant au lac

Chaque unité de drainage exporte une certaine charge de phosphore au lac, soit L_p . Celle-ci résulte de l'addition des diverses charges spécifiques, à savoir:

$$L_p = L_s + L_c + L_d + L_e + L_i + L_a \quad (\text{XXXX})$$

où L_s = la charge spécifique provenant du sol

L_c = la charge spécifique provenant de la population humaine

L_d = la charge spécifique provenant de la population animale

L_e = la charge spécifique provenant des engrais chimiques

L_i = la charge spécifique provenant des industries

L_a = la charge spécifique provenant du ou des lacs en amont

La charge totale parvenant au lac consiste donc en la somme de toutes les charges exportées par les unités de drainage (L_{pi}), à laquelle il faut ajouter la charge spécifique émanant des précipitations tombant directement sur la surface du lac.

$$L_p = \sum_{i=1}^n L_{pi} + L_{pr} \quad (\text{XXXXI})$$

3.2.8 Présentation des résultats

Le modèle 3 utilise les mêmes formules de présentation des résultats que le modèle 2, à la différence que le nombre de types d'apports est plus grand, correspondant par là à la quantification des engrais chimiques, des populations animales et des industries, s'il y a lieu.

3.3 CALCUL DE LA CAPACITÉ DE SUPPORT

Le calcul de la capacité de support s'effectue selon la méthode démontrée à la section 1.3 du présent rapport.

Cependant, pour plusieurs lacs, la charge de phosphore est telle que les limites "permissibles", voire dangereuses, sont atteintes et même dépassées. On peut alors évaluer l'ampleur de la dégradation en comparant la charge actuelle (L_p) (telle que calculée par le modèle) à celles qu'exporterait le bassin s'il avait conservé ses caractéristiques naturelles (L_{pn}) (voir la section 1.3.2). Le modèle d'apports constitue également un outil précieux en identifiant les responsables de l'enrichissement des eaux (à tout le moins pour le phosphore) parmi les différents utilisateurs du territoire. Les apports d'origine naturelle sont exclus nécessairement, puisqu'on ne peut pratiquement pas les éliminer. A ce titre, ce modèle peut donc prétendre jouer un rôle de gestion lorsque les mécanismes d'intervention entrent en action.

4. LES LACS SUREXPLOITÉS

4.1 CRITÈRES DE DÉFINITION

Par rapport aux lacs inexploités, les lacs surexploités sont relativement peu nombreux. Ces derniers voient leur bassin fortement occupé par diverses utilisations, et le pourcentage du territoire encore boisé s'abaisse souvent à moins de 40 pour cent. Dans la presque totalité des cas, ces lacs ont atteint des taux très élevés d'enrichissement en matières nutritives. La correction des sources de phosphore dans le bassin versant s'avère insuffisante pour engendrer une récupération du lac, et des moyens externes comme le fauchage des plantes aquatiques, l'oxygénation de la masse d'eau, etc... sont alors nécessaires pour accélérer la restauration du lac. Ce type de lac appelle donc l'élaboration d'un plan de régénération comportant deux volets, soit la correction dans le bassin versant de drainage et la restauration dans le milieu lacustre lui-même. Ces interventions constituent les tentatives ultimes pour récupérer les masses d'eau; aussi faut-il que les outils d'inventaire et d'analyse soient les plus exacts et les plus précis possible.

4.2 CALCUL DU MODÈLE 4

Ce modèle possède sensiblement les mêmes caractéristiques que le modèle 3, à la différence que les données d'inventaire sont contrôlées sur le terrain. Ainsi, les renseignements sur les populations humaines sont pris sur place, l'utilisation du sol, dans la mesure du possible, est vérifiée de même que la présence et la localisation des concentrations animales. L'unité de calcul est également différente et se présente sous la forme de zones homogènes. La détermination de celles-ci s'opère à l'intérieur des limites des sous-bassins et des zones d'écoulement diffus, en isolant les secteurs présentant un même profil; ce dernier peut refléter une unité dans le type d'utilisation du territoire (zones à vocation agro-forestière, à vocation urbaine, forestière, etc...) ou dans les conditions de pente et de drainage, ou les deux à la fois. Cette fragmentation du territoire en zones homogènes permet d'abord de quantifier les apports dans des zones beaucoup plus petites et ainsi cerner davantage les secteurs exportant le plus de phosphore.

Le calcul des apports dans chacune des zones s'effectue selon la méthode utilisée pour le modèle 3. Dès lors, chacune des zones définies précédemment exporte une certaine quantité de phosphore qui est fonction de la superficie de la zone considérée et de l'occupation du sol qui y prévaut.

La somme des apports de toutes les zones homogènes comprises à l'intérieur d'un sous-bassin constitue la charge émise par cette unité de drainage; à l'instar des modèles 2 et 3, l'addition des charges provenant de toutes les unités de drainage forme la charge totale que reçoit le lac, à laquelle il faut ajouter celle émise par les précipitations tombant directement à la surface de l'eau.

4.3 PRÉSENTATION DES RÉSULTATS

Le mode de présentation des résultats réfère au découpage du bassin versant en zones homogènes. Par conséquent, une carte des apports par unité de surface est établie sur laquelle on retrouve les limites de toutes les zones, de même que l'apport respectif de chacune illustré à l'aide d'une couleur ou d'une trame. Cette présentation visuelle offre l'avantage d'identifier rapidement les secteurs exportant le plus de phosphore. Il faut ensuite consulter le tableau accompagnant la carte pour connaître le ou les types d'apports responsables de ces taux d'exportation élevés. Ce tableau présente le détail des apports pour chaque zone, soit la quantité en kilogrammes et l'importance relative par rapport au total de la zone. La charge totale de chaque zone est également évaluée par rapport à l'ensemble du bassin versant.

Le modèle 4 ne peut s'appliquer qu'à un petit nombre de lacs, étant donné le travail impliqué. Le calcul des charges de phosphore doit être le plus précis possible, puisque le but visé, a priori, est la correction des principaux agents pollueurs (sources de phosphore) dans le bassin et ultérieurement, l'adoption de mesures de restauration dans le lac même. On peut donc penser que ce modèle d'apports sous-tend en quelque sorte toute l'entreprise de régénération.

CONCLUSION

APPLICATIONS ET PORTÉE DES MODÈLES D'APPORTS EN PHOSPHORE

Comme nous l'avons vu précédemment, chacun des modèles s'applique plus particulièrement à un type de lac, le degré de raffinement allant de pair avec le niveau d'exploitation du bassin versant. Le but premier du modèle est de quantifier les apports de phosphore parvenant au milieu lacustre en termes de grammes par mètre carré par année, et de les localiser le plus exactement possible. Ce calcul permet, avec l'aide d'autres variables, de déterminer le stade trophique auquel est parvenu un lac. Le positionnement du lac étant effectué sur le graphique de la figure I.2, il est possible, d'une part, d'identifier une capacité de support qui permette une charge supplémentaire si la limite "permissible" ou dangereuse n'a pas été atteinte, et d'autre part, d'évaluer la charge que l'on doit éliminer si la limite dangereuse a été dépassée et que l'on veuille entreprendre la restauration du lac.

De plus, la connaissance adéquate des sources d'apports en phosphore constitue souvent un des éléments déterminant dans l'analyse et l'interprétation des conditions du milieu lacustre. C'est pourquoi, les différents modèles décrits dans ce rapport font partie intégrante d'une méthodologie globale d'étude des lacs et de leurs bassins, la diagnose écologique qui, comme son nom le laisse entendre, pose un diagnostic sur l'état du milieu lacustre.

Finalement, il convient d'ajouter que le modèle d'apports agit en définitive comme un moyen de quantifier des situations qui, auparavant, n'étaient évaluées que de façon qualitative. Cet outil tente d'être le plus représentatif des conditions géographiques existantes et les coefficients d'exportation utilisés sont le fruit d'expérimentations et d'analyses sur le terrain, effectuées par de nombreux chercheurs tant en Amérique qu'en Europe. Ces coefficients peuvent nécessairement être appelés à changer suivant les dernières recherches en ce domaine. Connaissant bien les hypothèses de départ, de même que les limites du modèle, celui-ci peut s'avérer un outil extrêmement efficace dans la gestion des lacs et pour les entreprises de régénération.

BIBLIOGRAPHIE

- ANONYME, 1973. Recensement du Canada, 1971. Agriculture-Québec.
Statistique Canada, 96-70, vol IV, partie 2.
- CLUIS, D. et DUROCHER, H., 1976. Etude intégrée de la qualité des eaux des bassins versants des rivières Saint-François et Yamaska.
Vol. 3: Secteur du modèle d'apports.
Entente M.R.N. (Qualité) et I.N.R.S. (Eau), 105 p.
- CLUIS, D., COUILLARD, D. et POTVIN, L., 1974. Planification de l'acquisition des données de qualité de l'eau au Québec. Tome 4:
Utilisation du territoire d'un bassin et modèle d'apports.
Etude conjointe M.R.N. (Qualité) et I.N.R.S. (Eau), 136 p.
- CROWE, R.B., 1975. The Importance of Climate to Recreation-Tourism Facility Planning.
Conférence présentée au 9ième congrès annuel de la Société canadienne de Météorologie, Vancouver, 28-30 mai.
- DESLONGCHAMPS, B., 1977. Explications des symboles de la carte d'utilisation du sol (O.P.D.Q. - M.A.Q.).
Document de travail. Manuscrit.
- DILLON, P.J., 1974. Application du concept de la vitesse d'apport par unité de surface à la recherche de l'eutrophisation.
Publication CNRC, no 13691 du Secrétariat de l'Environnement, 42 p.
- DILLON, P.J. et KIRCHNER, W.B., 1975. The Effects of Geology and Land Use on the Export of Phosphorus from Watersheds.
Water Research, volume 9.
- DILLON, P.J. et RIGLER, F.H., 1975. A Simple Method for Predicting the Capacity of a Lake for Development Based on Lake Trophic Status.
J. Fish. Res. Board Can., 32: 1519-1531.
- LACHANCE, M. et SASSEVILLE, J.L., 1976. Etude intégrée de la qualité des eaux des bassins versants des rivières Saint-François et Yamaska.
Volume 4: Secteur des eaux atmosphériques.
Entente M.R.N. (Qualité) et I.N.R.S. (Eau), 50 p.
- LOEHR, R.C., 1974. Characteristics and Comparative Magnitude of Non-Point Sources.
Journal W.P.C.F., 46: 1849-1842.

MATHIEU, P. et LE ROUZES, M. Estimation indirecte des apports de phosphore à un lac.
Ministère des Richesses naturelles. Manuscrit.

POTVIN, P., 1976. Relation entre l'état trophique d'un lac et l'utilisation du territoire dans son bassin versant.
Thèse de maîtrise, I.N.R.S.-Eau, 137 p. et annexes.

SCHEIDER, W.A., 1978. Applicability of Phosphorus Budget Models to Small Precambrian Lakes, Algonquin Park, Ontario.
J. Fish. Res. Board Can., 35: 300-304.

UTTOMARK, P.D., CHAPIN, J.D. et GREEN, K.M., 1974. Estimating Nutrient Loading of Lakes from Non-Point Sources.
EPA., 669/3-74-020., 120 p.

WOLLENWEIDER, R.A., 1971. Les bases scientifiques de l'eutrophisation des lacs et des eaux courantes sous l'aspect particulier du phosphore et de l'azote comme facteurs d'eutrophisation.
OCDE, Paris, 61 p.

ANNEXE

Il faut préciser ici que pour tous les calculs des modèles 1, 2 et 3, il existe un programme informatique. Le programme calcule les apports de phosphore selon les différentes utilisations du bassin ainsi que la capacité de support du lac étudié.

Le programme donne les résultats sous forme de tableaux et imprime également les données brutes nécessaires aux calculs.

Nous présentons donc dans les pages qui suivent, trois exemples des résultats du programme informatique pour les trois premiers modèles. Nous croyons que cela peut s'avérer pratique pour les utilisateurs.

EXEMPLE DU MODÈLE 1

1-1

1 NUMERO DU LAC ETUDIE : 1

NOM DU LAC : LAC PARADIS

NO M.R.N. : 16992

COMTE MUNICIPAL : SAGUENAY

CANTON : BERGERONNES

SUPERFICIE DU BASSIN SANS LE LAC (KM(CARRE)) : 13,87

SUPERFICIE DU LAC (KM(CARRE)) : 3,51

FACTEUR D'ENVIRONNEMENT : 3,952

COEFFICIENT D'OCCUPATION DES CHALETS : ,50

UTILISATION DU SOL

	%	KM(CARRE)	APPORTS (KG/AN)
AFFECTATION AGRICOLE	,000	,00	,000
ZONES IMPRODUCTIVES	,000	,00	,000
FORET AVEC SUBSTRAT IGNE	98,702	13,69	68,450
FORET AVEC SUBSTRAT SEDIMENTAIRE	,000	,00	,000
AFFECTATION URBAINE	,000	,00	,000
MARAIS MARECAGES	,000	,00	,000
SURFACE D'EAU	1,298	,18	6,840

LAC PARADIS

COEFFICIENT D'EXPORTATION MOYEN (KG/(KM(CARRE))-AN))

ES = 5.428

TOTAL

100,000

13,87

75,290

POPULATION

NOMBRE

APPORTS (KG/AN)

NOMBRE DE CHALETS

5

1,500

POPULATION SAISONNIERE

20

POP. PERMANENTE AVEC EGOUT

0

,000

POP. PERMANENTE SANS EGOUT

0

,000

TOTAL (NE TIENT PAS COMPTE DE LA POP. FLOTTANTE)

C 20

1,500

CHARGE SPECIFIQUE

GR/(M(CARRE))-AN)

A PARTIR DU SOL

LS = ,021

EN PROVENANCE DE LA POPULATION

LC = ,000

A PARTIR DES PRECIPITATIONS

LPR = ,038

A PARTIR DES LACS EN AMONT

LA = ,0000000

TOTAL

LP = ,060

LAC PARADIS

CALCUL DE LA CAPACITE DE SUPPORT

LP THEORIQUE (GR/M(CARRE)) :

POSITION ACTUELLE : ,09012

POSITION NATURELLE : ,08948

CONCENTRATION DE PHOSPHORE <P> (MG/M(CUBE)) :

POSITION ACTUELLE : 4,221

POSITION NATURELLE : 4.191

COTE TROPHIQUE :

POSITION ACTUELLE : 2,466

POSITION NATURELLE : 2,460

CONCENTRATION PERMISSIBLE (GR/M(CARRE)) : Y1 = ,21350

CHARGE ADMISSIBLE (GR/M(CARRE)) : LAD = ,1382

CHARGE SUPPLEMENTAIRE PERMISSIBLE (GR/M(CARRE)) : ,0481

VALEUR RAMENEE SUR UNE BASE ANNUELLE (GR/(M(CARRE)-AN)) : ,0320

1-4

APPORTS PERMISSIBLES (GR/AN) : JP = 112153

EQUIVALENT EN NOMBRE DE PERSONNES/JOURS : 67971

DONNEES SUPPLEMENTAIRES AUX TABLEAUX

COEFFICIENT DE RETENTION : ,72350

SUPERFICIE TOTALE DU BASSIN (KM(CARRE)) : 17,380

MODULE ANNUEL DU LAC (M(CUBE)/SEC) : ,3824

TAUX DE RENOUVELLEMENT DE LA MASSE D'EAU (1/AN) : ,1937

2-1

1 NUMERO DU LAC ETUDIE : 1

NOM DU LAC : LAC PARE

NO M.R.N. : 803

COMTE MUNICIPAL : MONTCALM

CANTON : CHERTSEY

SUPERFICIE DU BASSIN SANS LE LAC (KM(CARRE)) : 3,13

SUPERFICIE DU LAC (KM(CARRE)) : ,23

FACTEUR D'ENVIRONNEMENT : 13,609

CHARGE SPECIFIQUE DE PHOSPHORE

CHARGE SPECIFIQUE TOTALE (GR/M(CARRE))

LP = ,464

CHARGE SPECIFIQUE TOTALE 'AU NATUREL' (GR/M(CARRE))

LPNAT = ,106

CES CHARGES SONT OBTENUES PAR LA SOMME DES CHARGES SPECIFIQUES VENANT DES SOUS-BASSINS IMMEDIATS.
ELLES TIENNENT COMPTE DES APPORTS PROVENANT DES PRECIPITATIONS (0,038).

2-2

LAC PARE

CALCUL DE LA CAPACITE DE SUPPORT

LP THEORIQUE (GR/M(CARRE)) :

POSITION ACTUELLE : ,04710

POSITION NATURELLE : ,01076

CONCENTRATION DE PHOSPHORE <P> (MG/M(CUBE)) :

POSITION ACTUELLE : 14,857

POSITION NATURELLE : 3,395

COTE TROPHIQUE :

POSITION ACTUELLE : 4,583

POSITION NATURELLE : 2,301

CONCENTRATION PERMISSIBLE (GR/M(CARRE)) : Y1 = ,03170

CHARGE ADMISSIBLE (GR/M(CARRE)) : LAD = ,0135

LE LP THEORIQUE EST SITUE AU-DELA DE LA CHARGE ADMISSIBLE (LAD) : ON DOIT FREINER TOUT NOUVEAU DEVELOPPEMENT

2-3

2 NUMERO DU LAC EN AMONT OU DU SOUS-BASSIN SANS LAC : 2

NOM DU LAC OU SOUS-BASSIN : SOUS-BASSIN 1

NO M.R.N. :

SUPERFICIE DU BASSIN SANS LE LAC (KM(CARRE)) : ,28

SUPERFICIE DU LAC (KM(CARRE)) : ,23

FACTEUR D'ENVIRONNEMENT : 1,217

NOMBRE DE CHALETS : 55

NOMBRE DE PERS.-JOURS POUR LA AVEC EGOUT : 0

POP. SAISONNIERE ET FLOTTANTE SANS EGOUT : 14300

UTILISATION DU SOL

		KM(CARRE)	APPORTS(KG/AN)
AFFECTATION AGRICOLE	,000	,00	,000
ZONES IMPRODUCTIVES	46,429	,13	3,250
FORET AVEC SUBSTRAT IGNE	53,571	,15	,750
FORET AVEC SUBSTRAT SEDIMENTAIRE	,000	,00	,000
AFFECTATION URBAINE	,000	,00	,000
MARAIS MARECAGES	,000	,00	,000
SURFACE D'EAU	,000	,00	,000

2-4

SOUS BASSIN 1

COEFFICIENT D'EXPORTATION MOYEN (KG/(KM(CARRE)-AN))

ES = 14,286

TOTAL

100,000

,28

4,000

POPULATION HUMAINE

NOMBRE

APPORTS (KG/AN)

POPULATION SAISONNIERE ET FLOTTANTE AVEC EGOUT

0

,000

POPULATION SAISONNIERE ET FLOTTANTE SANS EGOUT

220

23,595

POPULATION PERMANENTE AVEC EGOUT

0

,000

POPULATION PERMANENTE SANS EGOUT

24

14,400

TOTAL (NE TIENT PAS COMPTE DE LA POP' FLOTTANTE)

C = 244

37,995

CHARGE SPECIFIQUE

GR/(M(CARRE)-AN)

A PARTIR DU SOL

LS = ,017

EN PROVENANCE DE LA POPULATION

LC = ,165

A PARTIR DES PRECIPITATIONS

LPR = ,000

A PARTIR DES LACS EN AMONT

LA = ,0000000

TOTAL

LP = ,183

2 NUMERO DU LAC EN AMONT OU DU SOUS-BASSIN SANS LAC : 3

NOM DU LAC OU SOUS-BASSIN : SOUS BASSIN 2

NO M.R.N. :

SUPERFICIE DU BASSIN SANS LE LAC (KM(CARRE)) : 1,59

SUPERFICIE DU LAC (KM(CARRE)) : ,23

FACTEUR D'ENVIRONNEMENT : 6,913

NOMBRE DE CHALETS : 2

NOMBRE DE PERS.-JOURS POUR LA AVEC EGOUT : 0

POP. SAISONNIERE ET FLOTTANTE SANS EGOUT : 520

UTILISATION DU SOL

		KM(CARRE)	APPORTS (KG/AN)
AFFECTATION AGRICOLE	,000	,00	,000
ZONES IMPRODUCTIVES	2,516	,04	1,000
FORET AVEC SUBSTRAT IGNE	97,484	1,55	7,750
FORET AVEC SUBSTRAT SEDIMENTAIRE	,000	,00	,000
AFFECTATION URBAINE	,000	,00	,000
MARAIS MARECAGES	,000	,00	,000
SURFACE D'EAU	,000	,00	,000

2-6

SOUS BASSIN 2

COEFFICIENT D'EXPORTATION MOYEN (KG/(KM(CARRE)-AN))

ES = 5,503

TOTAL

100,000

1,50

8,750

POPULATION HUMAINE

NOMBRE

APPORTS (KG/AN)

POPULATION SAISONNIERE ET FLOTTANTE AVEC EGOUT

0

,000

POPULATION SAISONNIERE ET FLOTTANTE SANS EGOUT

8

,858

POPULATION PERMANENTE AVEC EGOUT

0

,000

POPULATION PERMANENTE SANS EGOUT

0

,000

TOTAL (NE TIENT PAS COMPTE DE LA POP. FLOTTANTE)

C =

8

,858

CHARGE SPECIFIQUE

GR/(M(CARRE) - AN)

A PARTIR DU SOL

LS = ,038

EN PROVENANCE DE LA POPULATION

LC = ,004

A PARTIR DES PRECIPITATIONS

LPR = ,000

A PARTIR DES LACS EN AMONT

LA = ,0000000

TOTAL

LP = ,042

CALCUL DES APPORTS EN PHOSPHORE DES REGIONS 'AU NATUREL'.

1

NOM DE LA REGION : SOUS BASSIN 1

UTILISATION DU SOL

		KM(CARRE)	APPORTS(KG/AN)
FORET AVEC SUBSTRAT IGNE	100,000	,28	1,400
FORET AVEC SUBSTRAT SEDIMENTAIRE	,000	,00	,000
MARAIS MARECAGES	,000	,00	,000
SURFACE D'EAU	,000	,00	,000
COEFFICIENT D'EXPORTATION MOYEN (KG/(KM(CARRE)-AN))			ES = 5,000
TOTAL	100,000	,28	1,400

CHARGE SPECIFIQUE

	GR/(M(CARRE)-AN)
A PARTIR DU SOL	LS = ,006
A PARTIR DES PRECIPITATIONS	LPR = ,000
A PARTIR DES LACS EN AMONT	LA = ,0000000
TOTAL	LP = ,006

CALCUL DES APPORTS EN PHOSPHORE DES REGIONS 'AU NATUREL'.

2

NOM DE LA REGION : SOUS BASSIN 2

UTILISATION DU SOL

	HA	KM(CARRE	APPORTS (KG/AN)
FORET AVEC SUBSTRAT IGNE	100,000	1,59	7,950
FORET AVEC SUBSTRAT SEDIMENTAIRE	,000	,00	,000
FRAIS MARECAGES	,000	,00	,000
SURFACE D'EAU	,000	,00	,000
COEFFICIENT D'EXPORTATION MOYEN (KG/KM(CARRE)-AN))		ES =	5,000
TOTAL	100,000	1,59	7,950

CHARGE SPECIFIQUE

	GR/(M(CARRE)-AN))
A PARTIR DU SOL	LS = ,035
A PARTIR DES PRECIPITATIONS	LPR = ,000
A PARTIR DES LACS EN AMONT	LA = ,0000000
TOTAL	LP = ,035

EXEMPLE DU MODÈLE 3

3-1

1 NUMERO DU LAC ETUDIE : 1

NOM DU LAC : LAC OUIMET
NO M.R.N. : 1420
COMTE MUNICIPAL : TERREBONNE
CANTON : GRANDISON SALABERRY

SUPERFICIE DU BASSIN SANS LE LAC (KM(CARRE)) : 23,66

SUPERFICIE DU LAC (KM(CARRE)) : 1,44

FACTEUR D'ENVIRONNEMENT : 16,431

CHARGE SPECIFIQUE DE PHOSPHORE

CHARGE SPECIFIQUE TOTALE (GR/M(CARRE)) LP = ,317

CHARGE SPECIFIQUE TOTALE 'AU NATUREL' (GR/M(CARRE)) LPNAT = ,126

CES CHARGES SONT OBTENUES PAR LA SOMME DES CHARGES SPECIFIQUES VENANT DES SOUS-BASSINS IMMEDIATS.
ELLES TIENNENT COMPTE DES APPORTS PROVENANT DES PRECIPITATIONS (0,038).

3-2

LAC OUIMET

CALCUL DE LA CAPACITE DE SUPPORT

LP THEORIQUE (GR/M(CARRE)) :

POSITION ACTUELLE : ,17270

POSITION NATURELLE : ,06851

CONCENTRATION DE PHOSPHORE <P> (MG/M(CUBE)) :

POSITION ACTUELLE : 16,448

POSITION NATURELLE : 6,525

COTE TROPHIQUE :

POSITION ACTUELLE : 4,900

POSITION NATURELLE : 2,925

CONCENTRATION PERMISSIBLE (GR/M(CARRE)) : Y1 = ,10500

CHARGE ADMISSIBLE (GR/M(CARRE)) : LAD = ,0848

LE LP THEORIQUE EST SITUE AU-DELA DE LA CHARGE ADMISSIBLE (LAD): ON DOIT FREINER TOUT NOUVEAU DEVELOPPEMENT.

3-3

2 NUMERO DU LAC EN AMONT OU DU SOUS-BASSIN SANS LAC : 2

NOM DU LAC OU SOUS-BASSIN : SOUS-BASSIN 1

NO M.R.N. :

SUPERFICIE DU BASSIN SANS LE LAC (KM(CARRE)) : ,68

SUPERFICIE DU LAC (KM(CARRE)) : 1,44

FACTEUR D'ENVIRONNEMENT : ,472

NOMBRE DE CHALETS : 9

NOMBRE DE PERS.-JOURS POUR LA AVEC EGOUT : 0

POP. SAISONNIERE ET FLOTTANTE SANS EGOUT : 2080

UTILISATION DU SOL

	%	KM(CARRE)	APPORTS(KG/AN)
SOL NU	75,000	,51	12,750
FORET AVEC SUBSTRAT IGNE	25,000	,17	,850
FORET AVEC SUBSTRAT SEDIMENTAIRE	,000	,00	,000
AFFECTATION URBAINE	,000	,00	,000
MARAIS MARECAGES	,000	,00	,000
SURFACE D'EAU	,000	,00	,000

COEFFICIENT D'EXPORTATION MOYEN (KG/(KM(CARRE)-AN))

ES = 20,000

3-4

TOTAL	100,000	,68	13,600
-------	---------	-----	--------

POPULATION HUMAINE	NOMBRE	APPORTS (KG/AN)
POPULATION SAISONNIERE ET FLOTTANTE AVEC EGOUT	0	,000
POPULATION SAISONNIERE ET FLOTTANTE SANS EGOUT	32	3,432
POPULATION PERMANENTE AVEC EGOUT	0	,000
POPULATION PERMANENTE SANS EGOUT	28	16,800
TOTAL (NE TIENT PAS COMPTE DE LA POP. FLOTTANTE)	C = 60	20,232

POPULATION ANIMALE	NOMBRE	APPORTS (KG/AN)
BOVINS	0	,000
PORCS	0	,000
MOUTONS	0	,000
VOLAILLES	0	,000
CHEVAUX	0	,000
TOTAL		,000

ENGRAIS CHIMIQUES	APPORTS (KG/AN)
-------------------	-----------------

QUANTITE DE PHOSPHORE DES ENGRAIS	1,020
-----------------------------------	-------

INDUSTRIES	APPORTS (KG/AN)
------------	-----------------

QUANTITE DE PHOSPHORE

,000

CHARGE SPECIFIQUE

A PARTIR DU SOL

EN PROVENANCE DE LA POPULATION HUMAINE

EN PROVENANCE DE LA POPULATION ANIMALE

EN PROVENANCE DES ENGRAIS CHIMIQUES

EN PROVENANCE DES INDUSTRIES

A PARTIR DES PRECIPITATIONS

A PARTIR DES LACS EN AMONT

TOTAL

VALEUR (GR/(M(CARRE)-AN))

LS = ,009

LC = ,014

LD = ,000

LE = ,001

LI = ,000

LPR = ,000

LA = ,0000000

LP = ,024

2 NUMERO DU LAC EN AMONT OU DU SOUS-BASSIN SANS LAC : 3

NOM DU LAC OU SOUS-BASSIN : SOUS BASSIN 2

NO M.R.N. :

SUPERFICIE DU BASSIN SANS LE LAC (KM(CARRE)) : 19,12

SUPERFICIE DU LAC (KM(CARRE)) : 1,44

FACTEUR D'ENVIRONNEMENT : 13,278

NOMBRE DE CHALETS : 52

NOMBRE DE PERS.-JOURS POUR LA AVEC EGOUT : 0

POP. SAISONNIERE ET FLOTTANTE SANS EGOUT : 13520

UTILISATION DU SOL

		KM(CARRE)	APPORTS(KG/AN)
SOL NU	14,017	2,68	67,000
FORET AVEC SUBSTRAT IGNE	85,774	16,40	62,000
FORET AVEC SUBSTRAT SEDIMENTAIRE	,000	,00	,000
AFFECTATION URBAINE	,000	,00	,000
MARAIS MARECAGES	,000	,00	,000
SURFACE D'EAU	,209	,04	1,520

COEFFICIENT D'EXPORTATION MOYEN (KG/(KM(CARRE)-AN))

ES = 7,872

3-7

TOTAL	100,000	19,12	150,520
-------	---------	-------	---------

POPULATION HUMAINE		NOMBRE	APPORTS (KG/AN)
POPULATION SAISONNIERE ET FLOTTANTE AVEC EGOUT		0	,000
POPULATION SAISONNIERE ET FLOTTANTE SANS EGOUT		208	22,308
POPULATION PERMANENTE AVEC EGOUT		0	,000
POPULATION PERMANENTE SANS EGOUT		36	21,600
TOTAL (NE TIENT PAS COMPTE DE LA POP. FLOTTANTE)	C =	244	43,908

POPULATION ANIMALE		NOMBRE	APPORTS (KG/AN)
BOVINS		8	4,880
PORCS		0	,000
MOUTONS		0	,000
VOLAILLES		0	,000
CHEVAUX		12	5,040
TOTAL			9,920

ENGRAIS CHIMIQUES		APPORTS (KG/AN)
QUANTITE DE PHOSPHORE DES ENGRAIS		34,290

INDUSTRIES		APPORTS (KG/AN)
QUANTITE DE PHOSPHORE		,000

CHARGE SPECIFIQUE

VALEUR (GR/(M(CARRE)-AN)

A PARTIR DU SOL

LS = ,105

EN PROVENANCE DE LA POPULATION HUMAINE

LC = ,030

EN PROVENANCE DE LA POPULATION ANIMALE

LD = ,007

EN PROVENANCE DES ENGRAIS CHIMIQUES

LE = ,024

EN PROVENANCE DES INDUSTRIES

LI = ,000

A PARTIR DES PRECIPITATIONS

LPR = ,000

A PARTIR DES LACS EN AMONT

LA = ,0000000

TOTAL

LP = ,166

CALCUL DES APPORTS EN PHOSPHORE DES REGIONS 'AU NATUREL'

1

NOM DE LA REGION : SOUS-BASSIN 1

UTILISATION DU SOL

		KM(CARRE)	APPORTS (KG/AN)
FORET AVEC SUBSTRAT IGNE	100,000	,68	3,400
FORET AVEC SUBSTRAT SEDIMENTAIRE	,000	,00	,000
MARAI S MARECAGES	,000	,00	,000
SURFACE D'EAU	,000	,00	,000
COEFFICIENT D'EXPORTATION MOYEN (KG/(KM(CARRE)-AN)		ES = 5,000	
TOTAL	100,000	,68	3,400

CHARGE SPECIFIQUE

	GR/(M(CARRE)-AN)
A PARTIR DU SOL	LS = ,002
A PARTIR DES PRECIPITATIONS	LPR = ,000
A PARTIR DES LACS EN AMONT	LA = ,0000000
TOTAL	LP = ,002

CALCUL DES APPORTS EN PHOSPHORE DES REGIONS 'AU NATUREL'.

2

NOM DE LA REGION : SOUS BASSIN 2

UTILISATION DU SOL

	%	KM(CARRE)	APPORTS (KG/AN)
FORET AVEC SUBSTRAT IGNE	99,791	19,08	95,400
FORET AVEC SUBSTRAT SEDIMENTAIRE	,000	,00	,000
MARAI S MARECAGES	,000	,00	,000
SURFACE D'EAU	,209	,04	1,520
COEFFICIENT D'EXPORTATION MOYEN (KG/(KM(CARRE)-AN))			ES = 5,069
TOTAL	100,000	19,12	96,920

CHARGE SPECIFIQUE

GR/(M(CARRE)-AN)

A PARTIR DU SOL

LS = ,067

A PARTIR DES PRECIPITATIONS

LPR = ,000

A PARTIR DES LACS EN AMONT

LA = ,0000000

TOTAL

LP = ,067