

Record Number: 730
Author, Monographic: Couture, P./Visser, S. A.
Author Role:
Title, Monographic: Le potentiel de fertilité : paramètre de contrôle de la qualité des eaux de la rivière Desaulniers
Translated Title:
Reprint Status:
Edition:
Author, Subsidiary:
Author Role:
Place of Publication: Québec
Publisher Name: INRS-Eau
Date of Publication: 1977
Original Publication Date:
Volume Identification:
Extent of Work: 46
Packaging Method: pages et un annexe
Series Editor:
Series Editor Role:
Series Title: INRS-Eau, Rapport de recherche
Series Volume ID: 73
Location/URL:
ISBN: 2-89146-071-5
Notes: Rapport annuel 1976-1977
Abstract: Rapport rédigé pour la Société d'Énergie de la Baie-James
10.00\$
Call Number: R000073
Keywords: rapport/ ok/ dl

Le potentiel de fertilité:
paramètre de contrôle de la qualité des
eaux de la rivière Desaulniers

INRS-Eau
Université du Québec
C.P. 7500, Sainte-Foy
Québec G1V 4C7

RAPPORT SCIENTIFIQUE No 73
1977

Rapport rédigé pour
la Société d'énergie de la baie James

par

P. Couture, S.A. Visser

Le potentiel de fertilité:
paramètre de contrôle de la qualité des
eaux de la rivière Desaulniers

INRS-Eau
Université du Québec
C.P. 7500, Sainte-Foy
Québec G1V 4C7

RAPPORT SCIENTIFIQUE No 73
1977

Rapport rédigé pour
la Société d'énergie de la baie James

par

P. Couture, S.A. Visser

ISBN 2-89146-071-5
DEPOT LEGAL 1977

Tous droits de traduction, de reproduction et d'adaptation réservés

© 1977 - Institut national de la recherche scientifique

SOMMAIRE

L'efficacité de l'utilisation du potentiel de fertilité, en tant que paramètre de contrôle de la qualité des eaux du bassin de la rivière Desaulniers, est vérifiée en fonction des aptitudes du test à caractériser le système aquatique et à mettre en évidence les différents phénomènes qui en influencent les composantes. La précision de la technique utilisée est conforme aux normes établies par l'EPA et les variations observées reflètent des changements significatifs à l'intérieur du milieu. Les résultats acquis sont discutés à l'intérieur des quatre secteurs suivants:

- *Caractérisation des niveaux d'enrichissement des eaux en substances nutritives.*

L'analyse des mesures du potentiel de fertilité (PF) montre une évolution dans le temps et dans l'espace. Dans le temps, les variations observées sont associées à l'effet des sources diffuses et à l'activité des producteurs primaires du milieu. Et comme c'est généralement le cas en rivière, les variations dans l'espace suggèrent un phénomène d'enrichissement des eaux progressant de l'amont vers l'aval du bassin. La situation des différentes valeurs de PF par rapport à une norme déjà établie montre qu'en général, les valeurs sont inférieures à la zone critique définie.

Le système étudié est caractérisé à l'aide des indices d'enrichissement (IE) des eaux en substances nutritives. L'analyse de l'évolution dans l'espace des valeurs IE montre la tendance du milieu à accroître son niveau de production potentielle en faveur de la partie aval du bassin.

- *Identification du facteur chimique de contrôle de la production primaire.*

L'analyse des valeurs permettant l'identification du facteur chimique de contrôle de la production primaire, au printemps, traduit la présence d'un milieu comparable à celui déjà observé pour certains lacs mésotrophes. De plus, l'identification de ce facteur chimique met davantage en évidence certains phénomènes

déjà signalés lors de l'étude des variations du PF. Ces phénomènes (sources diffuses, activités des producteurs primaires) ont une influence sur les composantes chimiques (nature des substances organiques) et biologiques (augmentation de la production potentielle) du milieu.

- *Mise en évidence de la présence de substances toxiques*

Des effets de stimulation de croissance observés aux ajouts d'ETDA suggèrent la présence d'éléments capables de limiter la production primaire des échantillons d'eau. L'imprécision inhérente aux valeurs du potentiel de fertilité théorique vient cependant nuire à la confirmation d'un phénomène d'intoxication des eaux. L'absence de stimulation importante aux ajouts du mélange azote + phosphore pour certains échantillons d'eau suggère la présence d'un facteur limitatif autre que l'azote et le phosphore. La présence de matière organique serait responsable de l'effet limitatif observé à certaines périodes.

- *Dosage biologique du phosphore disponible*

La composition chimique particulière des eaux à certaines périodes de l'année rend difficile l'application de la technique des ajouts dosés. Ici encore, un facteur de contrôle autre que l'azote et le phosphore se manifeste.

Mots-clé:

potentiel, fertilité, paramètre, qualité, bassin, rivière, Desaulniers, enrichissement, nutriment, indice, production, primaire, lac, contrôle

Référence:

Couture, P. et Visser, S.A. (1977).
"Le potentiel de fertilité: paramètre de contrôle de la qualité des eaux de la rivière Desaulniers". INRS-Eau, *rapport scientifique* no 73, 53 p., 1 annexe.
(Pour la Société d'énergie de la baie James).

TABLE DES MATIERES

	<u>PAGE</u>
SOMMAIRE	i
TABLE DES MATIERES	iii
LISTE DES TABLEAUX	iv
LISTE DES FIGURES	vi
1 INTRODUCTION	1
2 PROBLEMATIQUE	2
3 METHODOLOGIE	4
3.1 Echantillonnage	4
3.2 Techniques de caractérisation	4
4 PRESENTATION DES RESULTATS ACQUIS	14
4.1 Echantillonnage prévu	14
4.2 Echantillonnage spécial	15
5. DISCUSSION DES RESULTATS	16
5.1 Potentiel de fertilité	16
5.2 Indices d'enrichissement	20
5.3 Facteur limitatif	22
5.4 Toxicité	25
5.5 Dosage biologique du phosphore	27
6 CONCLUSION	43
BIBLIOGRAPHIE	45
ANNEXE Effets de la matière organique réfractaire (matière humique) sur des processus vitaux de la vie aquatique	1

LISTE DES TABLEAUX

		<u>Page</u>
5.1	Potentiel de fertilité et indices d'enrichissement: tributaires de la rivière Desaulniers	28
5.2	Potentiel de fertilité et indices d'enrichissement: rivière Desaulniers	29
5.3	Potentiel de fertilité et indices d'enrichissement: passe spéciale, bassin de la rivière Desaulniers	30
5.4	Coefficients de stimulation de croissance aux ajouts d'azote (N), de phosphore (P), du mélange azote + phos- phore (NP), du mélange de μ -éléments (M) et d'EDTA (E): tributaires de la rivière Desaulniers	31
5.5	Coefficients de stimulation de croissance aux ajouts d'azote (N), de phosphore (P), du mélange azote + phos- phore (NP), du mélange des μ -éléments (M) et d'EDTA (E): rivière Desaulniers	32
5.6	Potentiel de fertilité théorique et potentiel de ferti- lité mesuré: tributaires de la rivière Desaulniers	33
5.7	Potentiels de fertilité anticipés et potentiels de fer- tilité mesurés: rivière Desaulniers	34
5.8	Valeurs moyennes des potentiels de fertilité théoriques et potentiels de fertilité mesurés de la rivière Desaul- niers et ses tributaires	35

5.9	Potentiel de fertilité des échantillons sans enrichissement et potentiel de fertilité des échantillons enrichis avec l'EDTA et avec le mélange NP: tributaires de la rivière Desaulniers	36
5.10	Potentiel de fertilité des échantillons sans enrichissement et potentiel de fertilité des échantillons enrichis avec l'EDTA et avec le mélange NP: rivière Desaulniers	37
5.11	Potentiel de fertilité des échantillons d'eau enrichis avec différentes concentrations du mélange NP	38

LISTE DES FIGURES

	<u>Page</u>
3.1 Situation physique des différentes stations de la rivière Desaulniers et de ses tributaires	11
3.2 Identification des différentes voies analytiques: fréquence prévue et fréquence réalisée	12
3.3 Méthode des ajouts dosés: exemple d'une détermination d'une faible concentration de phosphore disponible	13
5.1 Evolution dans le temps des mesures du potentiel de fertilité, du facteur limitatif et des débits: station G2-123	39
5.2 Situation dans le temps des mesures du potentiel de fertilité par rapport à une norme d'enrichissement définie: tributaires de la rivière Desaulniers	40
5.3 Situation dans le temps des mesures du potentiel de fertilité par rapport à une norme d'enrichissement définie: rivière Desaulniers	41
5.4 Les potentiels de fertilité moyens pour différentes stations et régions de la rivière Desaulniers et des tributaires	42

1. INTRODUCTION

Différentes rencontres, impliquant des représentants de la Société d'énergie de la baie James (SEBJ-environnement) et des représentants de l'Institut national de la recherche scientifique (INRS-Eau), servirent de base à l'élaboration, au début du mois de mars 1976, d'un plan d'action permettant l'étude en laboratoire du potentiel de production autotrophe des eaux du bassin versant de la rivière Desaulniers. Les deux parties fixèrent dès lors des objectifs à court et à moyen terme d'un plan d'étude. *A court terme*, pour cette première année, le principal objectif consistait à vérifier l'efficacité de la mesure du potentiel de fertilité en tant que paramètre capable de suivre l'évolution de la production primaire des eaux de ce bassin. Si les mesures faites rencontraient cette exigence, le plan d'étude prévoyait, *à moyen terme*, l'utilisation de ce paramètre pour mettre en évidence l'impact de la mise en eau du réservoir Desaulniers sur l'évolution de la production primaire de ce système aquatique.

Le présent rapport vise uniquement à discuter les résultats des travaux effectués afin de remplir les objectifs à court terme du plan d'étude. Les résultats acquis au cours de cette première année d'étude seront groupés autour de quatre secteurs principaux:

1. caractérisation des niveaux d'enrichissement des eaux en substances nutritives (potentiel de fertilité et indices d'enrichissement);
2. identification du facteur chimique de contrôle de la production primaire;
3. mise en évidence de la présence de substances toxiques;
4. dosage biologique du phosphore disponible.

L'efficacité de la mesure du potentiel de fertilité sera donc jugée en fonction des renseignements obtenus à l'intérieur de ces différents secteurs.

2. PROBLEMATIQUE

Au cours de la dernière décennie, le Québec a vu naître un nombre croissant d'ouvrages hydro-électriques sur son territoire. Ces ouvrages, bien que conçus pour répondre aux exigences de plus en plus importantes des différents utilisateurs, ne sont pas sans avoir de répercussions au niveau des différents écosystèmes touchés.

Le besoin d'une connaissance plus précise des différents phénomènes de contrôle de la production de ces écosystèmes a assuré la mise en marche d'un nombre important d'études. Ces études ont essayé ou essaieront, à l'aide de l'utilisation de différents types de paramètre, tant biologiques que physico-chimiques, de disséquer les multiples composantes du système et tenteront de mieux percevoir leur évolution occasionnée par différents types d'impacts.

Au niveau de l'environnement aquatique, l'utilisation d'indicateurs biologiques apporte une meilleure compréhension des phénomènes qui en contrôlent et en caractérisent la production. Toute une gamme d'indicateurs, largement discutés à l'intérieur de la littérature scientifique, est maintenant accessible. Un choix efficace, basé sur les buts et priorités du programme d'étude envisagé, doit donc être fait.

Dans le cadre des études axées sur la production des eaux de la rivière Desaulniers, ce choix visait l'utilisation d'une technique apte à identifier des critères capables de préciser le niveau de production autotrophe de ces eaux. La mesure du potentiel de fertilité fut parmi les mesures retenues. Son efficacité a déjà été vérifiée à l'intérieur de différents projets réalisés dans nos laboratoires (INRS-Eau, 1975; INRS-Eau, 1976a; 1976b); cette efficacité reposerait sur le fait que les caractéristiques physiologiques et métaboliques des organismes utilisés seraient intimement liées à la qualité du milieu aquatique.

Cette technique a d'ailleurs acquis au cours des dernières années une place importante à l'intérieur de plusieurs programmes de contrôle de qualité mis sur pied par des organismes gouvernementaux, para-gouvernementaux et privés. Le succès de cette technique est avant tout basé sur sa capacité de caractérisation de

la ressource en mesurant la bio-disponibilité des substances nutritives et en identifiant la présence de substances toxiques. L'utilisation de techniques physico-chimiques s'avère souvent inefficace à ces deux niveaux: les trop faibles concentrations de ces différentes substances souvent inférieures aux limites de détection des appareils rendent difficile l'étude de l'évolution du métabolisme de ces milieux.

3. METHODOLOGIE

3.1 Echantillonnage

Les équipes de prélèvement de la SEBJ furent responsables des différents aspects relatifs aux activités de terrains (prélèvements, conservation et acheminement des échantillons aux laboratoires de l'INRS-Eau).

- *Localisation*

Deux types de stations ont été régulièrement échantillonnées: les stations situées sur les tributaires de la rivière Desaulniers et celles localisées sur la rivière elle-même. La figure 3.1 situe les différents types de stations de ce sous-bassin comprises à l'intérieur du bassin versant de la Grande rivière.

- *Prélèvements*

Les prélèvements ont été effectués aux différentes stations selon un protocole établi par une équipe de la SEBJ. La cédula d'échantillonnage fut fixée de façon à augmenter la fréquence des prélèvements durant les périodes de crues (printemps-automne). Ainsi, alors que durant les mois de mai et octobre la fréquence était fixée à un prélèvement par semaine, durant les mois d'été cette fréquence était limitée à un échantillonnage à toutes les deux semaines.

Aussitôt prélevés, les différents échantillons étaient conservés à l'obscurité et à la température de la glace fondante; ils étaient par la suite acheminés le plus rapidement possible, à l'intérieur de glacières, vers les laboratoires de l'INRS-Eau à Québec.

3.2 Techniques de caractérisation

Afin de rencontrer les objectifs de la présente étude (voir section 1: Introduction), les échantillons d'eau ont été soumis à différents tests. La fréquence des tests a été établie en tenant compte de la nature et de l'import-

tance de chacun d'eux à l'intérieur du programme d'étude. Un schéma récapitulatif (figure 3.2) détermine les différents tests ainsi que leur fréquence. Certains problèmes ont toutefois entraîné des changements mineurs à cette cédule.

Potentiel de fertilité

Ce n'est que récemment que la mesure du potentiel de fertilité fut introduite, dans le cadre de différents programmes de limnologie et de potamologie du bassin versant de la Grande rivière. Cette technique a été développée par l'*Environmental Protection Agency* des Etats-Unis (EPA, 1971) et a été adaptée aux besoins des utilisateurs québécois par l'INRS-Eau (INRS-Eau, 1976b).

Ce type de bioessai, réalisé à l'aide d'une population allochtone d'algues (*Selenastrum capricornutum*), mesure le potentiel d'une eau à supporter la croissance d'organismes photoautotrophes. Skulberg (1964) a résumé les divers avantages de l'utilisation de cette algue. Notons, entre autres choses, sa distribution particulièrement étendue: l'algue se retrouve à la fois dans des eaux oligotrophes et dans des eaux eutrophes.

La technique utilisée consiste essentiellement à prendre un échantillon d'eau stérilisée (eau non filtrée) et à y ensemeriser une souche d'algues (*Selenastrum capricornutum*: 5,000 algues/ml). La souche utilisée ici provient du "Pacific Northwest Water Laboratory", Corvallis, Oregon. La souche est repiquée à toutes les deux semaines et seules les cultures en phase de croissance exponentielle servent d'inoculum. Les conditions d'incubation des échantillons d'eau sont les suivantes: 16 heures de photo-période (5,400 lux), suivie par une période d'obscurité (8 heures), $24 \pm 2^{\circ}\text{C}$. Les échantillons inoculés sont agités à la main tous les jours et la population d'algues est mesurée à la fin de la période d'incubation (21 jours) à l'aide d'un compteur de particules (Coulter Counter Model ZB, cellule de 100 μ); la valeur ainsi obtenue est corrigée du nombre de particules déjà présentes avant l'ensemencement; cette valeur corrigée exprime le nombre de cellules/millilitre et est par la suite transformée en biomasse à l'aide d'une constante qui est calculée à partir d'une suite d'opération qui consiste:

- a) à déterminer le nombre de cellules produites (X) à l'intérieur d'un milieu de culture témoin (PAAP):
- b) à trouver la correspondance en biomasse pour ce nombre de cellules selon la relation établie par Greene *et al.* (1975):

$$0.43 \times 186 = 80 \text{ mg/l}$$

où: $0.43 =$ quantité d'algues produites pour chaque μg de $\underline{\text{P}}$;

$186 =$ concentrations en $\underline{\text{P}}$ ($\mu\text{g/l}$) dans le milieu de culture;

- c) à établir la constante:

$$k = \frac{80}{X}$$

Afin d'apporter plus de précision à la mesure, la détermination du potentiel de fertilité d'un échantillon d'eau requiert un test effectué en triplicata où les coefficients de variation sont calculés d'après la relation suivante:

$$CV = \frac{S_X}{\bar{X}}$$

où $CV =$ coefficient de variation (%);

$S_X =$ écart-type;

$\bar{X} =$ moyenne arithmétique.

Pour un $CV < 20\%$, la valeur du potentiel de fertilité est établie d'après la moyenne arithmétique des trois mesures. Pour un $CV > 20\%$, la valeur du coefficient de variation est alors corrigée. Deux des trois valeurs sont alors utilisées: le choix est fait de façon à avoir un $CV < 20\%$; si, malgré cette sélection, il reste impossible d'obtenir un $CV < 20\%$, les trois valeurs sont alors rejetées.

L'ensemble des valeurs des potentiels de fertilité présentées à l'intérieur de ce rapport ont été calculées selon cette technique; seules les moyennes arithmétiques caractérisées par un CV < 20% apparaissent aux différents tableaux.

Indice d'enrichissement

Les indices d'enrichissement (INRS-Eau, 1976b) ont été définis à partir de la notion d'indices de productivité développée par Miller *et al.* (1974). Quatre niveaux d'enrichissement des eaux en substances nutritives sont caractérisés:

faible	:	si $PF^1 \leq 0.1$	mg d'algues ² /l;
moyen	:	si $PF > 0.1$ et ≤ 0.8	mg d'algues/l;
modérément élevé:		si $PF > 0.8$ et ≤ 6	mg d'algues/l;
élevé	:	si $PF > 6$	mg d'algues/l.

Ces indices permettent de caractériser la ressource; ils ont déjà été appliqués aux lacs (Miller *et al.*, 1974) et aux rivières (Greene *et al.*, 1974; INRS-Eau, 1976b).

Facteur limitatif

Le facteur chimique de contrôle de la production primaire est identifié par un test biologique aussi développé par l'EPA (1971). La technique consiste globalement à diviser l'échantillon d'eau à analyser en cinq sous-échantillons et à ajouter au premier de l'azote (0.7 mg N/l; $NaNO_3$), au second du phosphore (0.060 mg P/l; K_2HPO_4), au troisième un mélange d'azote et de phosphore (0.7 mg N/l + 0.060 mg P/l), au quatrième un mélange d'éléments mineurs (mélange du milieu de culture PAAP: EPA, 1971) et à un cinquième de l'EDTA (acide éthylènediamine tétracétique: 10 μM). Les différents sous-échantillons sont inoculés, incubés et agités à la main tous les jours. La population d'algues est mesurée au bout de 21 jours et la composition de l'ajout (N, P, NP, M, E) qui

¹ Potentiel de fertilité

² Poids sec

provoque la meilleure stimulation identifie le facteur chimique de contrôle de la production primaire.

L'intensité de la stimulation est calculée à partir de la valeur du coefficient de stimulation. Ce coefficient est calculé selon les relations suivantes:

$$N = \frac{PF_n}{PF} \quad \text{où: } N = \text{coefficient de stimulation de croissance avec un ajout d'azote;}$$

$$PF_n = \text{potentiel de fertilité de l'échantillon d'eau enrichi avec 0.7 mg N/l;}$$

$$PF = \text{potentiel de fertilité de l'échantillon d'eau;}$$

$$P = \frac{PF_p}{PF} \quad \text{où: } P = \text{coefficient de stimulation de croissance avec un ajout de phosphore;}$$

$$PF_p = \text{potentiel de fertilité de l'échantillon d'eau enrichi avec 0.060 mg P/l;}$$

$$NP = \frac{PF_{np}}{PF} \quad \text{où: } NP = \text{coefficient de stimulation de croissance avec un ajout du mélange azote + phosphore;}$$

$$PF_{np} = \text{potentiel de fertilité de l'échantillon d'eau enrichi avec 0.07 mg N/l + 0.060 mg P/l;}$$

$$M = \frac{PF_m}{PF} \quad \text{où: } M = \text{coefficient de stimulation de croissance avec un ajout d'éléments mineurs;}$$

$$PF_m = \text{potentiel de fertilité de l'échantillon d'eau enrichi du mélange d'éléments mineurs (milieu de culture PAAP 30%: EPA, 1971);}$$

$$E = \frac{PF_e}{PF} \quad \text{où: } E = \text{coefficient de stimulation de croissance avec un ajout d'EDTA;}$$

$$PF_e = \text{potentiel de fertilité de l'échantillon d'eau enrichi d'EDTA.}$$

Toxicité

La mise en évidence d'un phénomène d'intoxication est faite ici à partir d'une approche développée à l'INRS-Eau (1976b) et basée sur les observations faites par Miller *et al.* (1974) et Greene *et al.* (1974).

Cette méthode s'applique lorsque la valeur du potentiel de fertilité mesuré est significativement inférieure à la valeur du potentiel de fertilité théorique, soit:

$$PF < PFT^1 \quad (\text{INRS-Eau, 1976b})$$

Le choix du paramètre à utiliser (PFTn ou PFTp) pour déterminer la valeur du potentiel de fertilité théorique (PFT) se fait d'après l'identification du *facteur limitatif*.

Cette approche consiste à comparer la mesure du potentiel de fertilité obtenue avec la valeur du potentiel de fertilité théorique. Cette dernière valeur est calculée à partir de l'élément chimique de contrôle et représente la production théorique de l'échantillon d'eau. Cette valeur du potentiel de fertilité théorique est établie selon les équations suivantes:

$$PFTn = [Nti] \times 38 \text{ et}$$

$$PFTp = [Pti] \times 430 \quad \text{si } [Pti] > 0.010 \text{ mg P/l}$$

$$[Pti] \times 100 \quad \text{si } [Pti] < 0.010 \text{ mg P/l}$$

où:

PFTn = potentiel de fertilité théorique calculé à partir des concentrations d'azote total inorganique;

[Nti] = concentration d'azote total inorganique (mg N/l);

PFTp = potentiel de fertilité théorique calculé à partir des concentrations de phosphore total inorganique;

[Pti] = concentration de phosphore total inorganique (mg P/l).

¹ Potentiel de fertilité théorique

Un phénomène d'intoxication sera mis en évidence lorsque la valeur du potentiel de fertilité mesuré est significativement inférieure à la valeur du potentiel de fertilité théorique, soit:

$$PF < PFT \quad (\text{INRS-Eau, 1976b})$$

Dosage biologique du phosphore

La détermination des concentrations de phosphore disponible pour les organismes producteurs primaires est considérée comme étant essentielle à l'acquisition d'une meilleure connaissance de la ressource eau. Le dosage des formes disponibles devient cependant problématique pour des régions où les eaux sont peu chargées en substances nutritives; la limite de détection des techniques analytiques habituellement utilisées nous empêche d'en déterminer les concentrations.

La technique utilisée ici est basée sur la relation mathématique, mentionnée à la section précédente, qui existe entre la biomasse d'algues produites et la concentration de l'élément chimique contrôlant la production primaire. Différents chercheurs, tels Forsberg et Forsberg (1972), Payne (1973), Miller *et al.* (1974), ont déjà utilisé à différentes fins cette relation à l'intérieur de bioessai. De plus, Payne (1975) a montré la sensibilité de l'utilisation d'un test biologique en mesurant les concentrations d'algues (*Selenastrum capricornutum*) obtenues pour différentes concentrations de phosphore ajouté: par exemple, à l'aide d'un ajout de 1 µg P/l, on obtenait une croissance d'algues significativement plus grande que celle mesurée à l'aide des témoins; ces expériences ont été réalisées sur des échantillons d'eau en provenance de Split Rock Lake, situé à mi-chemin entre la baie Georgienne et la baie James.

La détermination des concentrations en phosphore inorganique disponible sera effectuée à l'aide d'un essai biologique réalisé selon la méthode des ajouts dosés. Cette méthode consiste à ajouter, à différents sous-échantillons, des concentrations de phosphore et à mesurer la quantité d'algues produites (*Selenastrum capricornutum*) correspondant à chacun de ces ajouts. Une droite de régression est alors établie et la concentration de l'échantillon d'eau est lue à partir de l'interception de la droite sur l'axe des "x" qui définit les concentrations de phosphore ajouté (figure 3.3).

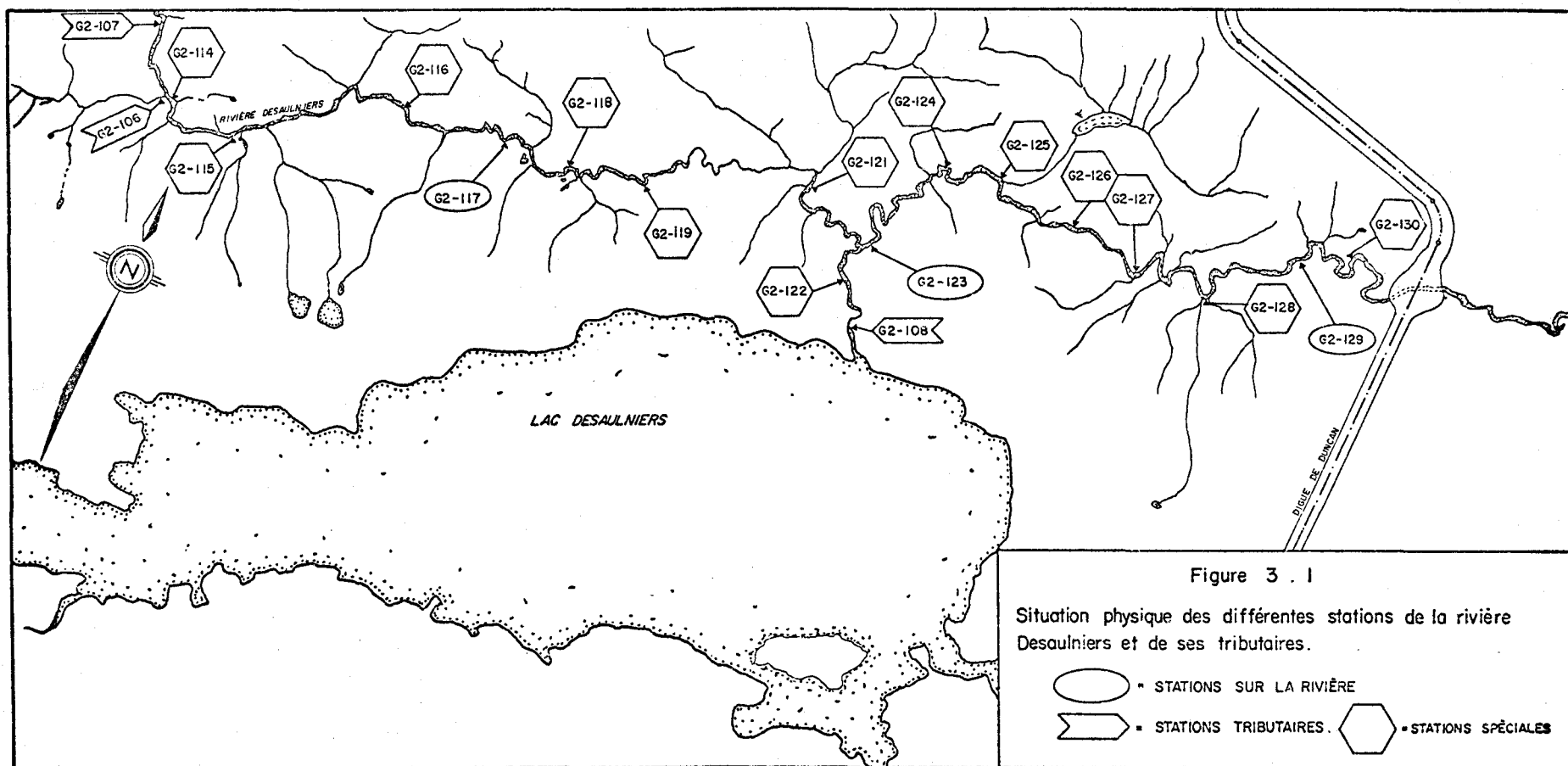


Figure 3 . 1

Situation physique des différentes stations de la rivière Desaulniers et de ses tributaires.

- • STATIONS SUR LA RIVIÈRE
- ◀ • STATIONS TRIBUTAIRES
- ◡ • STATIONS SPÉCIALES

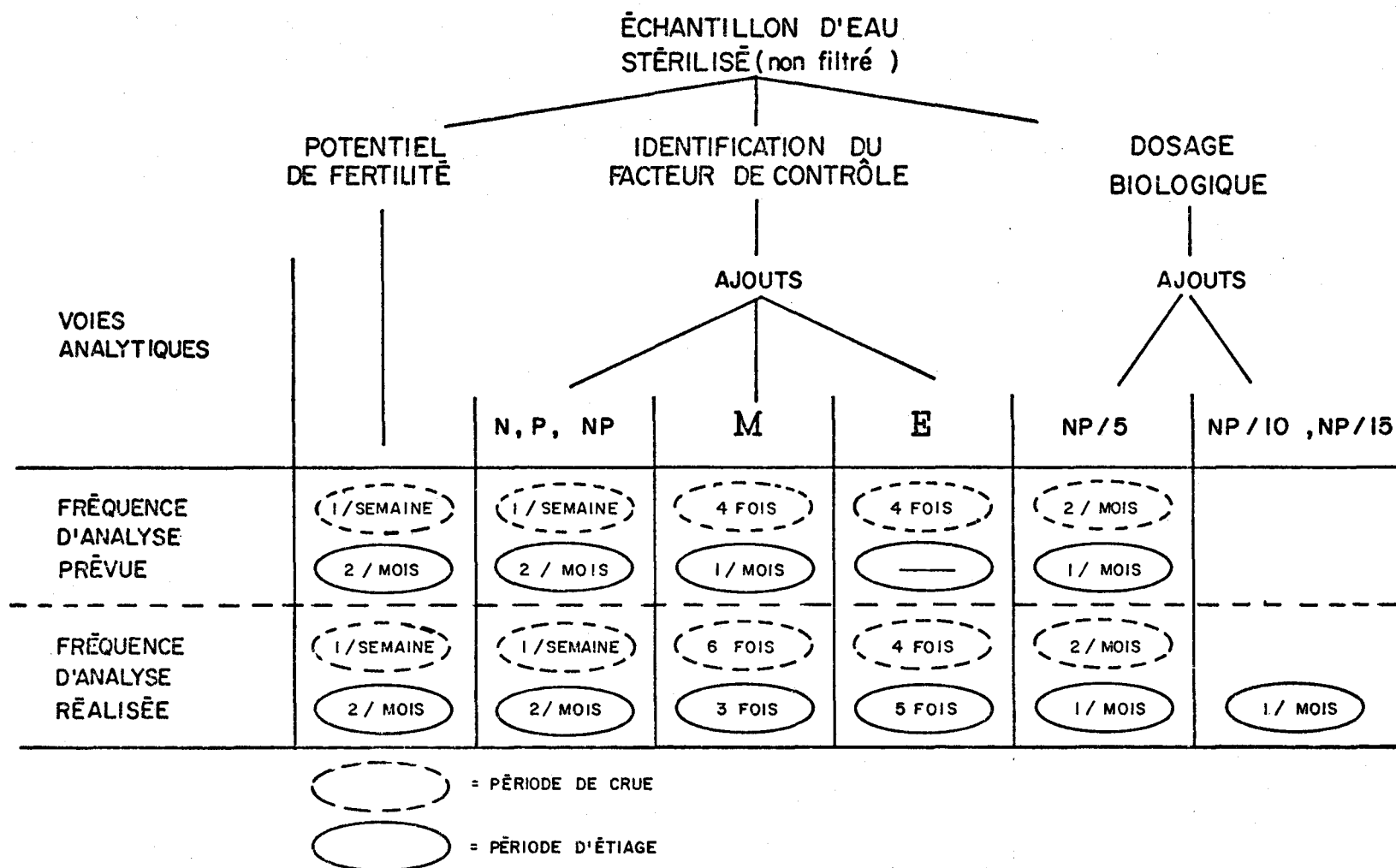
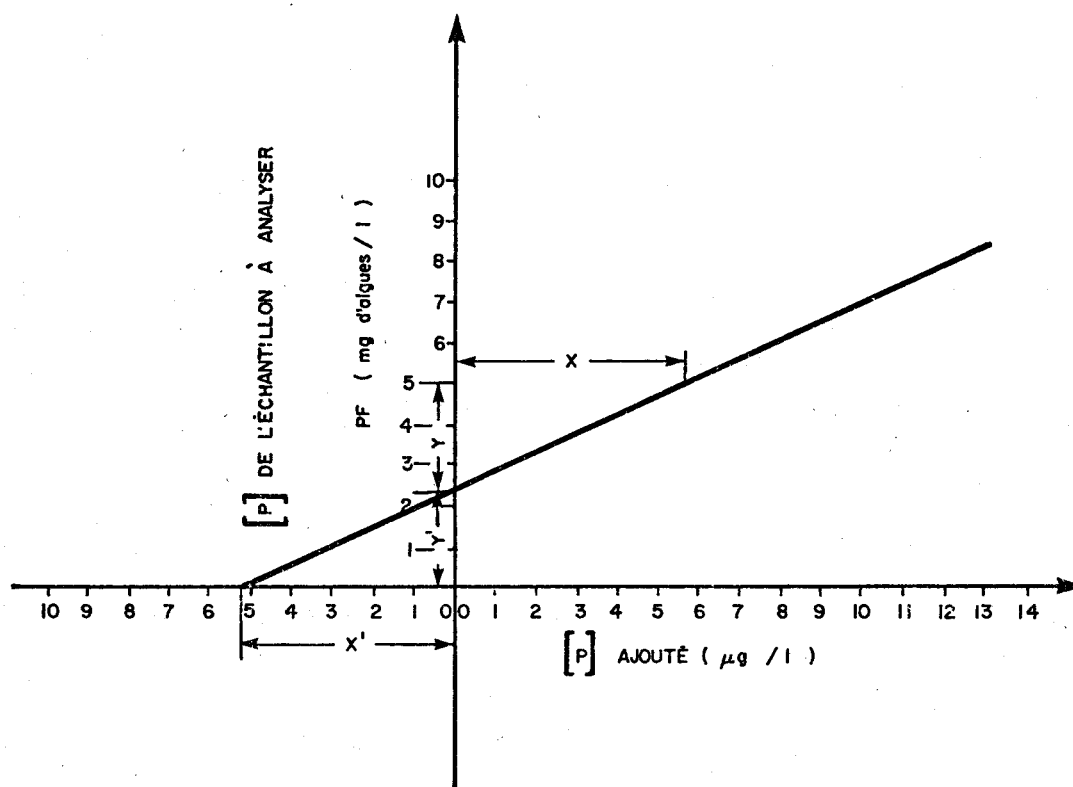


Figure 3.2. Identification des différentes voies analytiques : fréquence prévue et fréquence réalisée .

MÉTHODE DES AJOUTS DOSÉS
(modèle théorique)



X	Y
0	2.2
4.1	3.9
6.2	4.8
12.4	7.5

$$\frac{X'}{Y'} = \frac{X}{Y}$$

$$X' = \frac{Y' \cdot X}{Y}$$

où $X' = [P]$ de l'échantillon

$X = [P]$ ajouté à l'échantillon

$Y' = \text{PF de l'échantillon}$

$Y = (\text{PF de l'échantillon enrichi}) - (\text{PF de l'échantillon})$

Figure 3.3 . Méthode des ajouts dosés : exemple d'une détermination d'une faible concentration de phosphore disponible.

4. PRESENTATION DES RESULTATS ACQUIS

4.1 Echantillonnage prévu

Les tableaux 5.1 et 5.2 montrent les valeurs des potentiels de fertilité (PF) mesurés sur les échantillons d'eau prélevés selon la cédule d'activité prévue au début du projet. Chacune de ces valeurs représente une moyenne corrigée calculée à partir de trois mesures; rappelons ici que cette moyenne est corrigée, lorsque la moyenne arithmétique des trois mesures présente un coefficient de variation > 20% (voir section 3.2: *Potentiel de fertilité*). Les coefficients de variation (CV) qui sont présentés sur ces tableaux représentent les variations obtenues sur les mesures conservées lors du calcul des PF. Les indices d'enrichissement (IE) sont aussi caractérisés; on distingue quatre niveaux: faible, moyen, modérément élevé et élevé. Enfin, les potentiels de fertilité moyens annuels ($\overline{PF}$) sont calculés; ces $\overline{PF}$ sont établis à partir de la moyenne arithmétique des différentes valeurs de PF¹.

Les valeurs des coefficients de stimulation de croissance apparaissent sur les tableaux 5.4 et 5.5. L'identification du facteur chimique de contrôle de la production des différents échantillons est effectuée d'après une analyse de ces coefficients.

Les tableaux 5.6, 5.7 et 5.8 montrent les valeurs des potentiels de fertilité théoriques. Ces valeurs ont été calculées à partir des concentrations de phosphore inorganique total (PFTp) et des concentrations de phosphore total (PFTpt). Notons ici que PFTpt se calcule en utilisant la même constante (voir section 3.2: *Toxicité*; constante = 430) qui s'applique cependant ici à la concentration de phosphore total (eau non filtrée).

Les valeurs des potentiels de fertilité mesurés pour les échantillons enrichis avec de l'EDTA et avec les différentes concentrations du mélange azote + phosphore apparaissent aux tableaux 5.9, 5.10 et 5.11. L'analyse de ces valeurs permet une étude plus approfondie des facteurs de contrôle de la production primaire des différents échantillons d'eau.

¹ Pour le calcul du $\overline{PF}$, les valeurs < 0.1 sont considérées égales à 0.05.

4.2 Echantillonnage spécial

Les stations échantillonnées, dans le cadre des activités relatives à ce projet, faisaient partie d'un ensemble de stations plus vaste, établi pour répondre aux besoins d'autres projets tels ceux de la physico-chimie, de l'identification des grands groupes de benthos, de phytoplancton et de zooplancton. Une campagne d'échantillonnage spéciale a donc été réalisée à la fin de la saison afin de déterminer le potentiel de fertilité et les indices d'enrichissement de l'ensemble des stations: les mesures sont présentées au tableau 5.3.

5. DISCUSSION DES RESULTATS

5.1 Potentiel de fertilité

Observations générales

La qualité des mesures obtenues est démontré par les valeurs des coefficients de variation (tableaux 5.1 et 5.2) qui restent en général inférieures à la norme acceptée pour un tel test (EPA, 1971; $CV < 15\%$).

D'autre part les mesures du potentiel de fertilité des échantillons d'eau prélevés, tant sur les tributaires que sur la rivière Desaulniers elle-même, présentent des variations à la fois dans le temps et dans l'espace.

Variation dans le temps

L'évolution, au cours de l'année, de la quantité de substances nutritives présente dans les eaux de l'ensemble des stations échantillonnées se traduit ici par les variations observées entre les différentes valeurs de PF. Ces variations reflètent l'impact de différents phénomènes qui ont une influence capable de changer dans le temps la qualité de cette eau. Deux phénomènes pourraient jouer un rôle ici: la présence de sources diffuses en substances nutritives à certaines périodes et l'importance relative de l'activité des producteurs primaires à d'autres périodes.

Sources diffuses

Les sources diffuses se manifestent surtout au printemps et à l'automne; elles se caractérisent par une augmentation de la concentration en substances nutritives dans le milieu concurremment à une augmentation du débit.

L'analyse des valeurs présentées aux tableaux 5.1 et 5.2 montre qu'en général, les mesures prises sur des échantillons prélevés au printemps sont plus élevées que celles effectuées sur les échantillons d'été (à l'exception des

prélèvements de fin d'été); de plus, les valeurs obtenues lors des prélèvements d'automne s'associent davantage à celles obtenues au cours du printemps. Un exemple de cette évolution dans le temps des mesures est présenté à la figure 5.1. Au printemps (mois de mai) et au début de l'été (mois de juin et juillet), les mesures de débits et les mesures du potentiel de fertilité suivent la même évolution: le phénomène de l'acheminement des substances nutritives via les sources diffuses dans le milieu récepteur serait à l'origine de l'évolution des courbes du PF et du débit aux mois de mai, juin et juillet. Pour la période de fin d'été (mois d'août et septembre), la relation PF $\leftrightarrow$ débits n'existe plus: d'autres phénomènes viennent interférer (voir paragraphe suivant). Enfin, la relation PF $\leftrightarrow$ débits devrait se retrouver durant la période d'automne; toutefois, l'absence de données couvrant cette période nous empêche d'observer le phénomène. Notons, de plus, que ce mode d'évolution des valeurs de PF est commun à toutes les stations échantillonnées couramment au cours de cette étude (figures 5.2 et 5.3).

Producteurs primaires

L'activité des producteurs primaires au cours de la période estivale est un autre phénomène susceptible d'avoir un impact au niveau de la mise en disponibilité de substance nutritive pour le milieu aquatique. Alors que la quantité d'éléments nutritifs disponibles au cours des mois de mai, juin et juillet semble reliée à l'importance des sources diffuses (voir paragraphe précédent), la quantité de substances nutritives disponibles au cours des mois d'août et de septembre semble associée à un autre facteur. La figure 5.1 montre, par exemple, une augmentation marquée des mesures du potentiel de fertilité durant cette période d'étiage.

L'analyse des valeurs du potentiel de fertilité théorique présentées aux tableaux 5.7 et 5.8 montre que la mesure du potentiel de fertilité des différents échantillons d'eau s'associe habituellement aux concentrations de phosphore inorganique total. Au cours du mois de juillet, par exemple, alors que les concentrations d'algues permises par le "pool" de phosphore inorganique (PFTp)

sont différentes des concentrations d'algues permises par le "pool" de phosphore total (PFTpt), c'est avec la valeur de PFTp que s'associe la mesure du potentiel de fertilité (ex.: tableau 5.7, G2-123, 12 juillet, comparer la valeur de PF aux valeurs de PFTp et PFTpt). Toutefois, à la fin du mois d'août et au début du mois de septembre, les valeurs de PF se comparent davantage aux valeurs de PFTpt qu'avec celles de PFTp. Une hypothèse de travail serait qu'au cours de cette période, la partie organique est de nature moins réfractaire, ce qui permettrait aux algues d'obtenir plus facilement des nutriments liés à celle-ci.

Ce changement de nature du "pool" organique de phosphore pourrait être relié à l'activité des producteurs primaires; en effet, l'étude de l'évolution dans le temps du facteur chimique de contrôle de la production primaire présente au cours des mois d'été des variations intéressantes où des rapprochements avec l'activité des producteurs primaires peuvent être faits (voir section 5.3: *Caractéristiques biologiques*).

Variations dans l'espace

L'analyse des variations dans le temps a présenté, comme nous l'avons déjà observé, un patron d'évolution commun à toutes les stations (figures 5.2 et 5.3). Toutefois, certaines modifications, propres à chaque station, apparaissent à l'intérieur de ce patron. Ces modifications seraient associables aux caractéristiques physiques, chimiques et biologiques des eaux de chacune des stations.

Afin de mieux mettre en évidence les différences entre les stations étudiées, une campagne spéciale de prélèvement a été prévue; à cette fin, un nombre plus important de stations a été choisi (voir figure 3.1). Les mesures du potentiel de fertilité peuvent être divisées selon trois régions distinctes (tableau 5.3; figure 5.4). *Il semble qu'un phénomène d'enrichissement des eaux se dessine en direction de la partie en aval du bassin; les eaux de la partie en amont seraient moins enrichies en substances nutritives.*

L'analyse des valeurs des $\overline{PF}$ des stations suggère le même phénomène (tableaux 5.1 et 5.2; $\overline{PF}$: figure 5.4). Ici, cependant, seules des stations de la section I (G2-106, G2-107 et G2-117) et des stations de la section III (G2-108, G2-123, G2-129) ont été étudiées. La valeur élevée de la station 107 serait associée à la présence dans l'eau de nutriments lessivés d'une région marécageuse tandis que la valeur faible de l'eau de la station 108 pouvait être expliqué par sa provenance du lac Desaulniers.

Normes, limites

La caractérisation de la ressource eau en fonction de l'utilisation d'une norme où le critère serait la mesure du potentiel de fertilité a déjà été développée à l'INRS-Eau (1976b). Ce concept a été élaboré à partir des concentrations limites d'azote et de phosphore à tolérer dans les eaux naturelles afin d'éviter la prolifération de populations massives d'algues; notons ici que ces limites sont généralement plus exigeantes pour les eaux stagnantes que pour les eaux courantes. Deux limites avaient alors été retenues pour l'azote inorganique (0.1 et 0.3 mg N/l) et pour le phosphore inorganique (0.009 et 0.027 mg P/l): dans chaque cas, la valeur inférieure correspondait à une concentration "acceptable", alors que la valeur supérieure représentait un "seuil critique" au-delà duquel on pouvait s'attendre à une surabondance de végétation aquatique.

Les valeurs de $\underline{P}$ ont par la suite été transformées en mesures de biomasse d'algues (voir opération section 3.2: *Toxicité*). Les concentrations de $\underline{P}$ étant inférieures à 10 ppb, le facteur de conversion est établi à 0.1, de sorte que le seuil de la zone critique est défini à partir de 0.9 mg d'algues/l.

Les figures 5.2 et 5.3 montrent la situation des PF mesurés aux différentes stations par rapport à cette zone critique. Aucune station ne présente des potentiels de fertilité situés au-delà de la zone critique (> 11 mg d'algues/l); seuls les échantillons prélevés à la fin de l'été (fin août, début septembre) montrent des potentiels de fertilité voisins ou à l'intérieur de la zone critique ($0.9 < PF < 11$ mg d'algues/l). Plusieurs mesures ($\sim 50\%$) se situent dans la zone inférieure ($PF < 0.9$ mg d'algues/l) à la zone critique et traduisent un niveau de concentration acceptable en substances nutritives.

5.2 Indices d'enrichissement

Caractérisation de la ressource

Miller *et al.* (1974) ont établi un rapprochement entre le niveau trophique de 49 lacs des Etats-Unis et leur mesure du potentiel de fertilité; quatre niveaux de productivité ont alors été caractérisés et ces niveaux ont été ainsi associés à quatre indices. L'indice "1" (productivité faible) s'apparentait au niveau trophique oligotrophe, l'indice "2" (productivité moyenne) était associé au niveau mésotrophe, les indices "3" et "4" (productivité moyenne et élevée) étaient identifiés au niveau trophique eutrophe. Ces indices ont été par la suite appliqués par Greene *et al.* (1974) à un milieu lotique (bassin de la rivière Snake).

L'INRS-Eau (1976b) a récemment utilisé ces indices afin de caractériser les eaux des bassins des rivières Yamaska et Saint-François en développant le concept du "niveau d'enrichissement". Ces niveaux d'enrichissement nous permettent de caractériser la ressource en associant la mesure du potentiel de fertilité à celle d'un milieu dont le niveau trophique est déjà connu.

Les indices d'enrichissement présentés aux tableaux 5.1 et 5.2 montrent une forte diversité: les indices varient tant en fonction des stations qu'en fonction des saisons. Notons, toutefois, que l'analyse des différentes valeurs nous permet d'associer le niveau d'enrichissement des eaux de cette rivière à celui déjà rencontré pour des lacs mésotrophes et eutrophes. Certaines nuances seront toutefois apportées à la section suivante (5.3: Facteur limitatif) afin de rendre plus réaliste la caractérisation du niveau d'enrichissement de ces eaux.

Variations saisonnières: prévision de qualité

Plusieurs ouvrages scientifiques ont traduit les préoccupations de différents chercheurs dans l'établissement de critères capables de prévoir la qualité de l'eau. L'observation des variations saisonnières de paramètres physiques, chimiques et biologiques se retrouve souvent à la base des différentes techniques de prédictions (ex.: Sakshaug et Myklestad, 1973; Harris, 1973). En ce

qui concerne les indicateurs biologiques, notons, par exemple, que Dillon et Rigler (1975) réussirent à prédire les concentrations de chlorophylles dosées au cours de l'été, à partir des mesures de phosphore inorganique total effectuées au printemps durant la période du retournement des eaux. Chiaudani et Vighi (1974) établirent un rapprochement intéressant entre des tests de fertilité effectués à cette même période et le niveau d'eutrophisation de 26 lacs. Il serait donc possible de parvenir à caractériser le potentiel de production des eaux de la rivière Desaulniers à partir des valeurs IE du mois de mai avec toute la prudence cependant que requiert l'application de cette technique à un milieu lotique.

Les potentiels de fertilité mesurés sur les échantillons prélevés au cours du printemps, durant la période de crue (voir tableaux 5.1 et 5.2: mois de mai), montrent des indices d'enrichissement variant entre "2" et "3". Ces indices révèlent des niveaux d'enrichissement comparables à ceux déjà observés (Miller *et al.*, 1974) pour des lacs mésotrophes (indice "2") ou eutrophes (indice "3"). A l'intérieur d'un lac ou d'un réservoir, les niveaux d'enrichissement en substances nutritives déterminés au printemps peuvent être considérés comme un critère capable d'évaluer la production du milieu durant l'été: les substances nutritives mises en circulation dans le milieu au cours du printemps deviennent disponibles aux organismes photoautotrophes durant la période de production. Ainsi appliquées à un milieu lentique, les valeurs IE observées sur la rivière Desaulniers au cours du printemps traduiraient la présence, à certaines stations, d'un niveau trophique mésotrophe-eutrophe.

Il reste cependant difficile de caractériser le niveau réel de production de ce milieu. Toutefois, signalons que l'écart existant entre les valeurs IE du printemps (mois de mai) et les valeurs IE d'été (mois juin et juillet) suggère une modification importante dans la biodisponibilité des éléments nutritifs. Cette baisse importante (facteur 10) pourrait être attribuable à l'activité des producteurs primaires; une visite des différentes stations nous a d'ailleurs permis d'observer que la production de macrophytes ou encore du périphyton gardait une certaine importance à certains endroits du bassin (périphyton, G2-108; macrophytes, G2-117, G2-123).

Variations dans l'espace

L'évolution des valeurs IE tout au long du bassin caractérise la tendance du niveau d'enrichissement des eaux du milieu étudié (tableaux 5.1 et 5.2). Alors que les stations G2-106, G2-107, G2-108, G2-117 et G2-123 se caractérisent par la diversité des IE au cours des saisons, la station G2-129 présente une plus grande incidence de l'indice "3". Ce phénomène suggère un niveau d'enrichissement relativement plus constant à la station G2-129, conséquence normale de la situation physique de cette station; en effet, G2-129 est située dans la région la plus en aval du bassin et intègre ainsi différentes caractéristiques des eaux des stations plus en amont.

Les niveaux d'enrichissement des eaux de cette station, située dans la région de la rivière où les courants sont faibles, sont en général, comparables à ceux déjà mesurés pour des lacs eutrophes (Miller *et al.*, 1974; indices "3" et "4"). Cette situation traduirait la tendance du niveau d'enrichissement des eaux de la rivière Desaulniers.

L'étude de l'évolution des indices d'enrichissement des stations visitées au cours de la campagne spéciale d'échantillonnage (tableau 5.3) montre aussi, de façon moins évidente cependant, la tendance à l'eutrophisation des eaux de cette rivière.

5.3 Facteur limitatif

Le niveau d'enrichissement des eaux en substances nutritives, caractérisé par la mesure du potentiel de fertilité, est fonction des caractéristiques chimiques et biologiques du cours d'eau et des caractéristiques des territoires drainés. L'analyse des valeurs des coefficients de stimulation de croissance (N, P, NP) nous aide à mieux percevoir l'impact de ces caractéristiques sur l'évolution de la ressource.

Caractéristiques chimiques

L'identification du facteur chimique de contrôle de la production primaire contribue aussi à caractériser le niveau d'enrichissement des eaux. En effet, différents auteurs (Miller *et al.*, 1974; Chiaudani et Vighi, 1974) ont déjà remarqué que le phosphore limitait habituellement la production de lacs oligotrophes alors que l'azote contrôlait la production de lacs eutrophes.

L'analyse des coefficients de stimulation de croissance montre qu'en général, seul le phosphore ou le mélange azote + phosphore contrôle chimiquement la production de ces eaux (tableaux 5.4 et 5.5). En effet, l'absence de stimulation significative pour la plupart des échantillons aux ajouts de μ -éléments ($M > 1.3$) et d'EDTA ($E > 1.3$) dénote le peu d'importance de ces éléments sur le contrôle de la production primaire des eaux. De plus, l'absence de stimulation aux ajouts d'azote, durant le printemps, pour l'ensemble des stations et particulièrement G2-108 (embouchure du lac Desaulniers), nous invite à reconsidérer la relation déjà établie entre les niveaux d'enrichissement mesurés ici et ceux observés pour certains lacs eutrophes (voir section 5.2: *Caractérisation de la ressource*).

Les indices de productivité développés par Miller *et al.* (1974) auraient tendance à surestimer le niveau de production réelle des eaux; en effet, développés à partir des mesures de PF effectuées durant le mois de juillet, ces indices ont tendance à biaiser les niveaux de production réelle s'ils sont comparés à ces indices à partir de PF d'échantillons prélevés durant le printemps ou l'automne; durant ces saisons, les PF sont habituellement plus élevés que durant la saison estivale où l'activité des producteurs primaires contribue à utiliser les stocks de substances nutritives du milieu et conséquemment à réduire la mesure de PF. De plus, si nous utilisons plutôt la technique développée par Chiaudani et Vighi (1974) et basée sur l'identification des facteurs de contrôle de la production durant la période estivale, il apparaît évident que le niveau d'enrichissement de ces eaux ne peut être comparé à celui des lacs eutrophes; en effet, ces auteurs ont observé que l'azote limitait davantage la production des eaux des lacs eutrophes.

Bref, compte tenu, d'une part, des effets de stimulation mesurés aux ajouts de phosphore durant le mois de mai (tableaux 5.4 et 5.5) et, d'autre part, des valeurs de PF qui sont en général voisines de celles déjà mesurées dans des lacs mésotrophes, il nous apparaît plus réaliste de comparer les niveaux d'enrichissement observés dans les eaux de la rivière Desaulniers à ceux de lacs mésotrophes.

Caractéristiques biologiques

L'évolution des coefficients de stimulation aux ajouts d'azote et de phosphore au cours des saisons traduisent les variations du métabolisme de la rivière. En effet, les faibles valeurs des coefficients de stimulation aux ajouts de phosphore durant la période estivale et l'apparition durant le mois d'août d'une stimulation aux ajouts d'azote (tableaux 5.4 et 5.5) reflètent une transformation du rapport azote/phosphore dans le milieu.

Cette transformation serait attribuable, d'une part, à l'influence diminuée des sources diffuses durant l'été et, d'autre part, à l'utilisation du phosphore et de l'azote par les végétaux aquatiques au cours de cette période. Durant ces mois d'étiage, les apports de phosphore peuvent être maintenus par les sédiments de fond alors que les apports d'azote sont de beaucoup réduits; l'absence de ruissellement intensif et la présence d'une végétation terrestre active ont pour effet de réduire la quantité d'azote qui atteint le cours d'eau.

De telles variations ont déjà été observées par différents auteurs; signons, par exemple, les études de Potash (1956) sur des étangs de ferme; le phosphore contrôlait la production durant l'hiver alors que l'azote devenait le facteur limitatif au cours de l'été. Des observations semblables ont conduit Hannah (1972) à attribuer la carence en azote caractérisée durant l'été à l'activité de producteurs primaires.

Caractéristiques des territoires drainés

Les valeurs maximales des coefficients de stimulation aux ajouts de phosphore durant le mois de mai traduisent l'importance de l'impact des sources diffuses sur le milieu récepteur. En effet, durant cette période caractérisée par un ruissellement intensif (voir figure 5.1: valeurs maximales des débits), les charges d'azote transportées à la rivière seraient plus importantes que les charges de phosphore; ce phénomène viendrait augmenter le rapport (azote/phosphore) dans l'eau de la rivière et ferait ainsi du phosphore le facteur chimique de contrôle de la production primaire.

Durant l'été, l'efficacité des sources diffuses étant de beaucoup diminuée, comme nous l'avons mentionné précédemment, il s'établit un certain équilibre du rapport (N/P) et le phosphore n'apparaît plus comme facteur de contrôle. Ainsi, durant l'été, l'impact des sources diffuses sur le niveau d'enrichissement des eaux est de beaucoup diminué.

5.4 Toxicité

L'identification de la présence de substances toxiques dans les échantillons d'eau de la rivière Desaulniers est effectuée selon la technique déjà décrite à la section 3.2: *Toxicité*. Les valeurs calculées et les valeurs mesurées des potentiels de fertilité sont présentées dans les tableaux 5.7 et 5.8. Notons ici que seuls les potentiels de fertilité théoriques calculés à partir des différentes concentrations de phosphore (phosphore inorganique total et phosphore total) apparaissent dans ces tableaux. Le choix du phosphore, pour l'établissement de ces valeurs, découle du fait qu'à ces stations, cet élément est habituellement limitatif (seul ou avec l'azote) tout au long de l'année (voir section 5.3: *Facteur limitatif*). Signalons aussi qu'aux valeurs de PFI_p (PF théorique calculé à partir des concentrations de phosphore inorganique total) viennent s'ajouter les valeurs de PFI_{pt} (PF théorique calculé à partir des concentrations de phosphore total). Cette dernière valeur permet d'apporter une meilleure évaluation de la valeur du potentiel de fertilité théorique qui est basé sur l'application de la relation suivante:

$$PFTp \leq PF \leq PFTpt$$

Dans cette étude cette relation pourrait s'appliquer à 50% des résultats obtenus (Tableaux: 5.6, 5.7 et 5.8).

De plus, l'analyse de l'évolution des valeurs de PFTpt dans le temps nous a déjà permis de mettre en évidence un phénomène capable de modifier le potentiel de production des eaux au cours des saisons (voir la section 5.1: *Producteur primaires*).

Difficultés d'interprétation des phénomènes

L'analyse des valeurs présentées dans les tableaux 5.6 et 5.7 ne montre pas les caractéristiques habituellement rencontrées lorsqu'un phénomène d'intoxication est manifesté. En effet, les potentiels de fertilité mesurés ne semblent pas inférieurs aux potentiels de fertilité théorique; du moins, ils semblent conformes aux limites théoriques fixées par les valeurs de PFTp et PFTpt. Les faibles concentrations de phosphore inorganique total, souvent inférieures aux limites de détection de l'appareil, nous empêchent d'établir clairement la valeur de PFTp et viennent nuire à l'identification d'un phénomène d'intoxication des eaux. Par contre, les effets de stimulation de croissance aux ajouts d'EDTA (tableaux 5.4 et 5.5) observés sur des échantillons d'eau où les valeurs de PF sont relativement faibles (tableaux 5.6 et 5.7: $PF < 0.1$) s'avèrent significatifs et suggéreraient la présence d'un effet de limitation de la production (voir aussi figure 5.1: *Facteur limitatif inconnu*).

Effets limitatifs

L'étude des concentrations d'algues mesurées chez les échantillons d'eau enrichie avec le mélange d'azote + phosphore met aussi en évidence ce phénomène (tableaux 5.9 et 5.10: PFnp). Les faibles concentrations d'algues mesurées dans ces échantillons ($PFnp < 20$ mg d'algues/l) traduisent en effet la présence d'un facteur de contrôle capable de limiter la croissance d'algues permises par les concentrations d'azote et de phosphore ajoutées (PFnp devrait être ≥ 20 mg d'algues/l). Un tel facteur de contrôle viendrait expliquer les

faibles coefficients de stimulation aux ajouts de NP (tableaux 5.4 et 5.5) pour des échantillons d'eau à faible valeur de PF (tableaux 5.1 et 5.2: PF < 0.1 mg d'algues/l).

Le contrôle du potentiel de production observé au cours des mois de juin, juillet et août pourrait être associé à l'action de la matière organique sur les oligo-éléments. Cette hypothèse de travail nous est suggérée par le fait que le phénomène de contrôle précédemment établi n'est pas observable sur les échantillons prélevés au début de septembre (voir tableaux 5.9 et 5.10: PF_{np} pour les prélèvements du 8-09-76). Le changement, qui a déjà été observé à cette période (voir section 5.1: *Producteur primaires*) dans la nature des substances organiques, nous invite à établir un parallèle entre ce changement et la diminution de l'effet limitatif de la production à partir de cette période (tableaux 5.4 et 5.5: augmentation des valeurs de NP au cours de septembre et octobre). Les précisions apportées à l'annexe 1 nous aide à mieux comprendre les effets de la matière organique sur le contrôle du potentiel de production d'un échantillon d'eau.

5.5 Dosage biologique du phosphore

L'utilisation de la technique des ajouts dosés (voir section 3.2: *Dosage biologique du phosphore*) s'est avérée inefficace pour le dosage du phosphore disponible des eaux de la rivière Desaulniers. La composition chimique particulière des eaux à certaines périodes serait responsable des difficultés à appliquer cette technique pour la majorité des échantillons.

L'analyse des résultats obtenus montre que les enrichissements d'azote et de phosphore partiqués n'ont que peu ou pas d'effet de stimulation sur la valeur de PF de plusieurs échantillons (Ex.: tableau 5.11: comparer les différentes valeurs de PF obtenues pour le prélèvement du 12-7-76). Ce phénomène traduit la présence de facteur limitatif autre que l'azote et le phosphore (voir section 5.4: *Effets limitatifs*) qui vient interférer sur la valeur de PF des échantillons enrichis. Il devient alors difficile, voire même impossible, de déterminer les concentrations de phosphore disponible à partir de la droite de régression établie selon la méthode illustrée à la figure 3.3.

TABLEAU 5.1 : Potentiel de fertilité et indices d'enrichissement :
tributaires de la rivière Desautins.

Dates du prélèvement	G2-106			G2-107			G2-108		
	PF ¹	CV ²	IE ³	PF	CV	IE	PF	CV	IE
05-05-76							0.6	2	2
11-05-76	1 ⁵	9	3				0.7	6	2
17-05-76	-	-	-	0.5	6	2	0.4	14	2
24-05-76	1	5	3	0.5	10	2	0.8	7	2
31-05-76	<0.1	19	1	0.1	17	1	<0.1	6	1
14-06-76	<0.1	16	1	0.1	2	1	<0.1	2	1
28-06-76	<0.1	9	1	<0.1	8	1	<0.1	18	1
12-07-76	<0.1	17	1	-	-	-	<0.1	8	1
26-07-76	0.1	5	1	<0.1	10	1	<0.1	10	1
09-08-76	0.6	16	2	1.4	1	3	<0.1	6	1
23-08-76	3.6	2	3	4.3	20	3	1.3	9	3
08-09-76	5.8	9	3	7.5	15	4	8	6	4
20-09-76	0.6	16	2	1.1	11	3	0.3	4	2
04-10-76	1	14	3	1.8	6	3	<0.1	11	1
18-10-76	0.5	7	2	1.0	9	3	1.4	5	3
25-10-76	1.0	8	3	0.9	10	3	1.3	12	3
PF ⁴	1.10 ± 1.63			1.48 ± 2.14			0.95 ± 1.95		

¹ PF : potentiel de fertilité mesuré (mg d'algues/l).

² CV : coefficient de variation corrigé au jour 21.

³ IE : indice d'enrichissement :

- 1 = faible;
- 2 = moyen;
- 3 = modérément élevé;
- 4 = élevé.

⁴ PF : PF moyen : moyenne arithmétique des PF.

⁵ - : valeurs rejetées (CV > 20%).

TABLEAU 5.2 : Potentiel de fertilité et indices d'enrichissement :
rivière Desaulniers.

Dates du prélèvement	G2-117			G2-123			G2-129		
	PF ¹	CV ²	IE ³	PF	CV	IE	PF	CV	IE
05-05-76				0.5	16	2	1.1	4	3
11-05-76	0.9	8	3	0.6	7	2	1.4	1	3
17-05-76	1.0	6	3	1.2	2	3	1.8	7	3
24-05-76	0.7	2	2	1.5	10	3	1.7	1	3
31-05-76	<0.1	3	1	0.6	12	2	1.4	6	3
14-06-76	<0.1	14	1	<0.1	13	1	<0.1	18	1
28-06-76	<0.1	10	1	<0.1	20	1	<0.1	13	1
12-07-76	<0.1	5	1	<0.1	18	1	1.1	6	3
26-07-76	<0.1	12	1	0.6	8	2	0.6	8	2
09-08-76	0.7	8	2	0.8	5	2	1.2	14	3
23-08-76	5	5	3	4.2	6	3	4.7	4	3
07-09-76	8.7	9	4	6.9	9	4	7.5	1	4
20-09-76	0.5	2	2	0.6	11	2	0.3	17	2
04-10-76	0.5	16	2	1.8	3	3	1.4	3	3
18-10-76	1.6	7	3	1.2	16	3	0.7	2	2
25-10-76	0.9	8	3	1.5	5	3	1.3	7	3
PF ⁴	1.38 ± 2.37			1.38 ± 1.78			1.64 ± 1.89		

¹ PF : potentiel de fertilité mesuré (mg d'algues/l).

² CV : coefficient de variation corrigé au jour 21.

³ IE : indice d'enrichissement:

- 1 = faible;
- 2 = moyen;
- 3 = modérément élevé;
- 4 = élevé.

⁴ PF : PF moyen : moyenne arithmétique des PF.

TABLEAU 5.3 : Potentiel de fertilité et indices d'enrichissement :
 passe spéciale, bassin de la rivière Desaulniers.

<u>REGION AMONT DU BASSIN</u>		
	PF ¹	PF ²
G2-106	<0.1	
G2-107	0.9	
G2-114	<0.1	0.23 ± 0.38
G2-116	<0.1	
G2-117	0.1	
<u>REGION CENTRALE</u>		
	PF	
G2-118	0.8	
G2-119	0.4	(0.47 ± 0.31)
G2-121	0.2	
<u>REGION AVAL</u>		
	PF	
G2-108	0.3	
G2-122	1.3	
G2-123	0.6	
G2-124	0.6	
G2-125	0.2	0.63 ± 0.32
G2-126	0.8	
G2-127	0.8	
G2-128	0.5	
G2-129	0.6	

¹ PF : potentiel de fertilité mesuré (mg d'algues/l).

² $\overline{\text{PF}}$: potentiel de fertilité moyen.

TABLEAU 5.4 : Coefficients de stimulation de croissance aux ajouts d'azote (N), de phosphore (P), du mélange azote + phosphore (NP), du mélange de μ -éléments (M) et d'EDTA (E) : tributaires de la rivière Desautels.

Dates du prélèvement	G2-106					G2-107					G2-108				
	N ¹	P ²	NP ³	M ⁴	E ⁵	N	P	NP	M	E	N	P	NP	M	E
05-05-76												4.5	55		
11-05-76	0.7	1.0	26	0.9							0.8	4.3	44	1.0	
17-05-76						0.6	1.4	78	0.9		0.8	3.4	109	1.0	
24-05-76	0.8	1.6	52	1.0	1.0	0.5	1.6	- ⁶	1.0	2.1	0.9	3.0	66	1.0	1.0
31-05-76	0.8	1.5	10	0.9	1.9	1.0	2.3	12	1.1	1.6	0.8	2.4	15	1.0	1.5
14-06-76	0.9	1.8	126			1.0	6.4	105			0.9	2.4	30		
28-06-76	0.7	1.1	18			1.0	1.5	20			0.9	1.6	23		
12-07-76	1.0	1.0	1.3		1.0	-	-	-		1.0	1.9	1.5	2.3		1.9
26-07-76	1.1	1.4	2.9		1.3	0.8	1.4	2.8		0.8	1.1	1.4	3.5		1.5
09-08-76	2.0	1.0	5.8	1.9	1.7	1.6	1.3	2.9	1.0	1.0	1.3	1.2	3.1	0.8	1.0
23-08-76	1.2	1.2	3.2			1.1	1.2	3.5			1.4	1.2	3.1		
08-09-76	1.1	1.1	4.4			0.8	0.9	2.1			0.9	0.9	2.5		
20-09-76	1.0	1.7	28	0.9	0.8	1.5	2.2	40	1.2	1.1	1.2	1.3	21	1.1	1.1
04-10-76	0.9	1.4	14	0.8	1.0	0.8	1.2	6.8	0.9	0.6	0.9	1.0	9.8	1.0	
18-10-76	1.0	0.9	26	1.0	1.0	0.5	0.7	5.8	0.9	0.5	1.1	0.9	12	0.9	0.7
25-10-76	0.5	0.7	13	1.0	0.6	1.0	0.9	19	1.1	0.3	0.6	0.7	18	1.3	0.8

¹ N : coefficient de stimulation de croissance avec un ajout de 0.70 mg N/l.

² P : coefficient de stimulation de croissance avec un ajout de 0.060 mg P/l.

³ NP : coefficient de stimulation de croissance avec un ajout de 0.70 mg N/l + 0.060 mg P/l.

⁴ M : coefficient de stimulation de croissance avec un ajout du mélange d'éléments mineurs (milieu de culture PAAP 30%, EPA, 1971).

⁵ E : coefficient de stimulation de croissance avec un ajout de 10 μ M d'EDTA.

⁶ - : valeurs rejetées (CV > 20%).

TABLEAU 5.5 : Coefficients de stimulation de croissance aux ajouts d'azote (N), de phosphore (P), du mélange azote + phosphore (NP), du mélange des μ -éléments (M) et d'EDTA (E) : rivière Desaulniers.

Dates du prélèvement	G2-117					G2-123					G2-129				
	N ¹	P ²	NP ³	M ⁴	E ⁵	N	P	NP	M	E	N	P	NP	M	E
05-05-76															
11-05-76	0.8	1.0	30	0.9		0.9	3.2	34			0.8	1.9	35	- ⁶	
17-05-76	0.8	2.3	23	0.8	0.3	0.7	2.0	30	0.9		0.5	0.7	21		
24-05-76	0.8	12	43	0.9	1.0	0.7	2.3	22	0.9	0.9	0.5	1.0	25	0.9	0.5
31-05-76	0.7	1.7	2.4	1.0	2.1	0.9	4.3	16	1.0	1.0	1.2	0.6	12	0.9	1.0
						0.9	5.3	47	1.2	1.0	0.9	1.1	24	1.0	1.0
14-06-76	0.7	1.9	39			0.9	1.9	37			1.0	2.1	104		
28-06-76	1.0	1.2	31			1.4	1.8	22			1.0	2.2	43		
12-07-76	0.9	-	0.8		0.5	0.9	0.8	0.8		1.1	0.3	0.4	1.5		1.2
26-07-76	0.8	1.4	1.8		1.0	3.6	0.9	3.6		0.8	1.4	1.2	8		1.1
09-08-76	1.6	1.2	3.1	1.1	1.1	1.6	1.0	7.7	1.2	1.3	1.2	0.7	3.6	1.0	1.1
23-08-76	1.0	0.8	2.8			1.3	1.2	1.0			1.6	0.5	1.2		
08-09-76	1.4	0.7	3.8			1.0	1.0	3.0			0.8	0.8	2.5		
20-09-76	2.1	1.1	13	1.4	1.7	1.4	1.2	33	1.2	1.4	1.3	1.2	12	1.6	1.4
04-10-76	1.5	1.0	18	1.1	1.0	0.7	0.8	7.2	1.2	0.7	2.4	0.7	25	1.3	
18-10-76	2.5	0.8	16	1.1	0.5	1.1	0.8	11	1.0	0.8	2.1	1.3	29	1.3	0.9
25-10-76	1.3	1.0	22	1.3	1.2	0.7	1.2	18	1.0	0.4	1.0	0.6	11	1.1	0.7

¹ N : coefficient de stimulation de croissance avec un ajout de 0.70 mg N/l.

² P : coefficient de stimulation de croissance avec un ajout de 0.060 mg P/l.

³ NP : coefficient de stimulation de croissance avec un ajout de 0.70 mg N/l + 0.060 mg P/l.

⁴ M : coefficient de stimulation de croissance avec un ajout du mélange d'éléments mineurs (milieu de culture PAAP 30%, EPA, 1971).

⁵ E : coefficient de stimulation de croissance avec un ajout de 10 μ M d'EDTA.

⁶ - : valeurs rejetées (CV > 20%).

TABLEAU 5.6 : Potentiel de fertilité théorique et potentiel de fertilité mesuré : tributaires de la rivière Desaulniers.

Dates du prélèvement	G2-106			G2-107			G2-108		
	PFTp ¹	PFTpt ²	PF ³	PFTp	PFTpt	PF	PFTp	PFTpt	PF
05-05-76			1						0.6
11-05-76			- ⁴						0.7
17-05-76		0.7			1.0	0.5		<0.7	0.4
24-05-76	<0.7	<0.7	1	<0.7	<0.7	0.5*	0.7	0.7	0.8
31-05-76	<0.7	0.7	<0.1*	<0.7	0.7	0.1*	<0.7	<0.7	<0.1*
14-06-76	<0.7	<0.7	<0.1*	<0.7	11	0.1*	<0.7	<0.7	<0.1*
28-06-76	<0.7	1.0	<0.1*	<0.7	5.6	<0.1*	<0.7	5.6	<0.1*
12-07-76	<0.7	0.7	<0.1*	7	6.9	-	0.7	1.0	<0.1
26-07-76	<0.7	6.9	0.1*	<0.7	5.6	<0.1*	<0.7	1.0	<0.1*
09-08-76	<0.7	<0.7	0.6*	<0.7	<0.7	1.4	<0.7	<0.7	<0.1*
23-08-76	<0.7	1.0	3.6	<0.7	1.0	4.3	<0.7	<0.7	1.3
08-09-76	0.7	6.9	5.8*	1.0	6.9	7.5	<0.7	15	8 *
20-09-76	0.7	8.6	0.6	<0.7	1.0	1.1	<0.7	5.6	0.3*
04-10-76	<0.7	0.7	1.0	1.0	11	1.8*	0.7	1.0	<0.1
18-10-76	<0.7	0.7	0.5*	<0.7	< 0.7	1.0	<0.7	<0.7	1.4
25-10-76	<0.7	0.7	1.0	0.7	0.7	0.9	<0.7	<0.7	1.3

¹ PFTp : potentiel de fertilité théorique calculé à partir des concentrations de phosphore inorganique total (eau non filtrée) (mg d'algues/l).

² PFTpt : potentiel de fertilité théorique calculé à partir des concentrations de phosphore total (eau non filtrée) (mg d'algues/l).

³ PF : potentiel de fertilité mesuré (mg d'algues/l).

⁴ - : valeurs rejetées (CV > 20%).

* : données utilisées pour calculer les valeurs moyennes présentées au tableau 5.8 et pour lesquelles la relation $PFTp \leq PF \leq PFTpt$ s'applique.

TABLEAU 5.7 : Potentiels de fertilité anticipés et potentiels de fertilité mesurés : rivière Desaulniers.

Dates du prélèvement	G2-117			G2-123			G2-129		
	PFTp ¹	PFTpt ²	PF ³	PFTp	PFTpt	PF	PFTp	PFTpt	PF
05-05-76						0.5			1.1
11-05-76			0.9			0.6			1.4
17-05-76	<0.7	1.0	1.0*	<0.7	<0.7	1.2	<0.7	1.0	1.8
24-05-76	<0.7	<0.7	0.7	<0.7	<0.7	1.5	0.7	0.7	1.7
31-05-76	<0.7	0.7	<0.1*	<0.7	<0.7	0.6*	0.7	5.6	1.4*
14-06-76	<0.7	12	<0.1*	<0.7	<0.7	<0.1*	17	17	<0.1
28-06-76	<0.7	0.7	<0.1*	<0.7	0.7	<0.1*	17	17	<0.1
12-07-76	0.7	7	<0.1	0.7	6.9	<0.1	<0.7	5.6	1.1*
26-07-76	<0.7	0.7	<0.1*	0.7	1.0	0.6	1.0	11	0.6
09-08-76	0.7	0.7	0.7*	<0.7	6.9	0.8*	0.7	0.7	1.2
23-08-76	0.7	5.6	5 *	0.7	5.6	4.2*	<0.7	6.9	4.7*
08-09-76	0.7	5.6	8.7	<0.7	11	6.9*	0.7	6.9	7.5
20-09-76	<0.7	5.6	0.5*	<0.7	1.0	0.6*	<0.7	5.6	0.3*
04-10-76	0.7	1.0	0.5	0.7	12	1.8*	1.0	11	1.4*
18-10-76	<0.7	<0.7	1.6	<0.7	0.7	1.2	0.7	0.7	0.7*
25-10-76	<0.7	<0.7	0.9	<0.7	<0.7	1.5	<0.7	<0.7	1.3

¹ PFTp : potentiel de fertilité théorique calculé à partir des concentrations de phosphore inorganique total (eau non filtrée) (mg d'algues/l).

² PFTpt : potentiel de fertilité théorique calculé à partir des concentrations de phosphore total (eau non filtrée) (mg d'algues/l).

³ PF : potentiel de fertilité mesuré (mg d'algues/l).

* : données utilisées pour calculer les valeurs moyennes présentées au tableau 5.8 et pour lesquelles la relation $PFTp \leq PF \leq PFTpt$ s'applique.

TABLEAU 5.8. Valeurs moyennes des potentiels de fertilité théoriques et potentiels de fertilité mesurés de la rivière Desaulniers et ses tributaires.

STATION	$\overline{\text{PFTp}}^1$	$\overline{\text{PF}}^2$	$\overline{\text{PFTpt}}^3$
G2-106	0.40 ± 0.13	0.90 ± 1.99	2.20 ± 2.91
G2-107	0.46 ± 0.27	0.43 ± 0.69	5.71 ± 4.69
G2-108	0.35 ± 0.00	1.22 ± 2.99	4.04 ± 5.40
G2-117	0.44 ± 0.16	0.93 ± 1.69	3.38 ± 4.12
G2-123	0.44 ± 0.16	1.88 ± 2.44	4.74 ± 4.87
G2-129	0.58 ± 0.27	1.60 ± 1.58	5.90 ± 3.30

¹ $\overline{\text{PFTp}}$: potentiel de fertilité moyen calculé à partir des concentrations de phosphore inorganique total.

² $\overline{\text{PF}}$: potentiel de fertilité moyen.

³ $\overline{\text{PFTpt}}$: potentiel de fertilité moyen calculé à partir des concentrations de phosphore total.

TABLEAU 5.9 : Potentiel de fertilité des échantillons sans enrichissement et potentiel de fertilité des échantillons enrichis avec l'EDTA et avec le mélange NP : tributaires de la rivière Desaulniers.

Dates du prélèvement	G2-106			G2-107			G2-108		
	PF ¹	PFe	PFnp	PF	PFe	PFnp	PF	PFe	PFnp
24-05-76				0.5	1.10	- ⁴			
31-05-76	<0.1	0.19	1	0.1	0.16	1.20	<0.1	0.15	1.50
12-07-76	<0.1	<0.10	0.13	-	-	-	<0.1	0.19	0.23
26-07-76	0.1	0.13	0.29	<0.1	<0.10	0.28	<0.1	0.15	0.35
09-08-76	0.6	1.00	3.50	1.4	1.40	4.10	<0.1	<0.10	0.31
23-08-76	3.6		11	4.3		15	1.3		4
08-09-76	5.8		25	7.5		16	8		20
20-09-76	0.6	0.50	17	1.1	1.10	44	0.3	0.30	6.30

¹ PF : potentiel de fertilité des échantillons sans enrichissement (mg d'algues/l).

² PFe : potentiel de fertilité des échantillons enrichis avec 10 µM d'EDTA (mg d'algues/l).

³ PFnp : potentiel de fertilité des échantillons enrichis avec 0.7 mg N/l et 0.60 mg P/l (mg d'algues/l).

⁴ - : valeurs rejetées (CV > 20%).

TABLEAU 5.10: Potentiel de fertilité des échantillons sans enrichissement et potentiel de fertilité des échantillons enrichis avec l'EDTA et avec le mélange NP : rivière Desaulniers.

Dates du prélèvement	G2-117			G2-123			G2-129		
	PF ¹	PFe	PFnp	PF	PFe	PFnp	PF	PFe	PFnp
12-07-76	<0.1	<0.1	<0.10	<0.1	0.11	<0.1	1.1	1.30	1.7
26-07-76	<0.1	<0.1	0.18	0.6	0.50	2.2	0.6	0.70	5.0
09-08-76	0.7	0.7	2.20	0.8	1.00	6.2	1.2	1.30	4.3
23-08-76	5		14	4.2		4.2	4.7		5.6
07-09-76	8.7		33	6.9		21	7.5		19
20-09-76	0.5	0.9	6.50	0.6	0.84	20	0.3	0.42	3.6

¹ PF : potentiel de fertilité des échantillons sans enrichissement (mg d'algues/l).

² PFe : potentiel de fertilité des échantillons enrichis avec 10 µM d'EDTA (mg d'algues/l).

³ PFnp : potentiel de fertilité des échantillons enrichis avec 0.7 mg N/l et 0.060 mg P/l (mg d'algues/l).

TABLEAU 5.11 : Potentiel de fertilité des échantillons d'eau enrichis avec différentes concentrations du mélange NP.

Dates du prélèvement	+NP[P] ¹	POTENTIEL DE FERTILITE ²					
		G2-106	G2-107	G2-108	G2-117	G2-123	G2-129
12-05-76	0	1.2		0.9	1.1	1.3	1.7
	12	3.9		6.3	5.1	7.7	7.6
	60	40		49	40	50	46
17-05-76	0		0.5		1.6	2.2	1.8
	12		12		3.7	5.8	5.1
	60		57		57	63	57
14-06-76	0	<0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
	6	0.3	0.2	- ³	<0.1	<0.1	0.5
	12	2.4	1.3	0.1	<0.1	<0.1	3.2
	60	30	30	3.2	4	5.2	32
12-07-76	0	<0.1	-	<0.1	<0.1	<0.1	1.1
	4	-	<0.1	<0.1	-	<0.1	0.9
	6	<0.1	<0.1	<0.1	-	<0.1	1.7
	12	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	1.0
	60	<0.1	<0.1	0.2	<0.1	<0.1	2.4
09-08-76	0	0.6	1.4	<0.1	0.7	0.8	1.2
	4	4.5	3.1	<0.1	1.1	2.9	3.5
	6	4.1	2.8	0.8	2.1	4.0	4.8
	12	11	6.2	2.2	4.8	9.7	2.5
	60	12	7.5	3.5	5.6	14	11
20-09-76	0	0.6	1.1	0.3	0.5	0.6	0.3
	4	2.6	2.2	0.9	3.3	4.3	1.6
	6	2.8	4.0	1.1	4.0	5.8	1.6
	12	11	12	2.5	7.9	14	11
	60	60	63	29	18	63	21
04-10-76	0	1	1.8	<0.1	0.5	1.8	1.4
	4	1.9	1.4		0.8	1.8	
	6	1.6	1.4		1.3	1.4	
	12	3.5	2.1		2.3	2.4	
	60	35	22	21	34	26	57

¹ +NP[P] : concentration de phosphore ($\mu\text{g P/l}$) du mélange azote + phosphore ajouté à l'échantillon d'eau.

² Potentiel de fertilité mesuré (mg d'algues/l) pour les différents ajouts.

³ - : valeurs rejetées (CV > 20%).

LÉGENDE

- — DÉBITS
- — PF DE L'ÉCHANTILLON D'EAU
- ◇ — PF DE L'ÉCHANTILLON D'EAU ENRICHI DE 0.60 mg P/l
- — IDENTIFICATION DU FACTEUR LIMITATIF
- N — AZOTE
- P — PHOSPHORE
- X — INCONNU

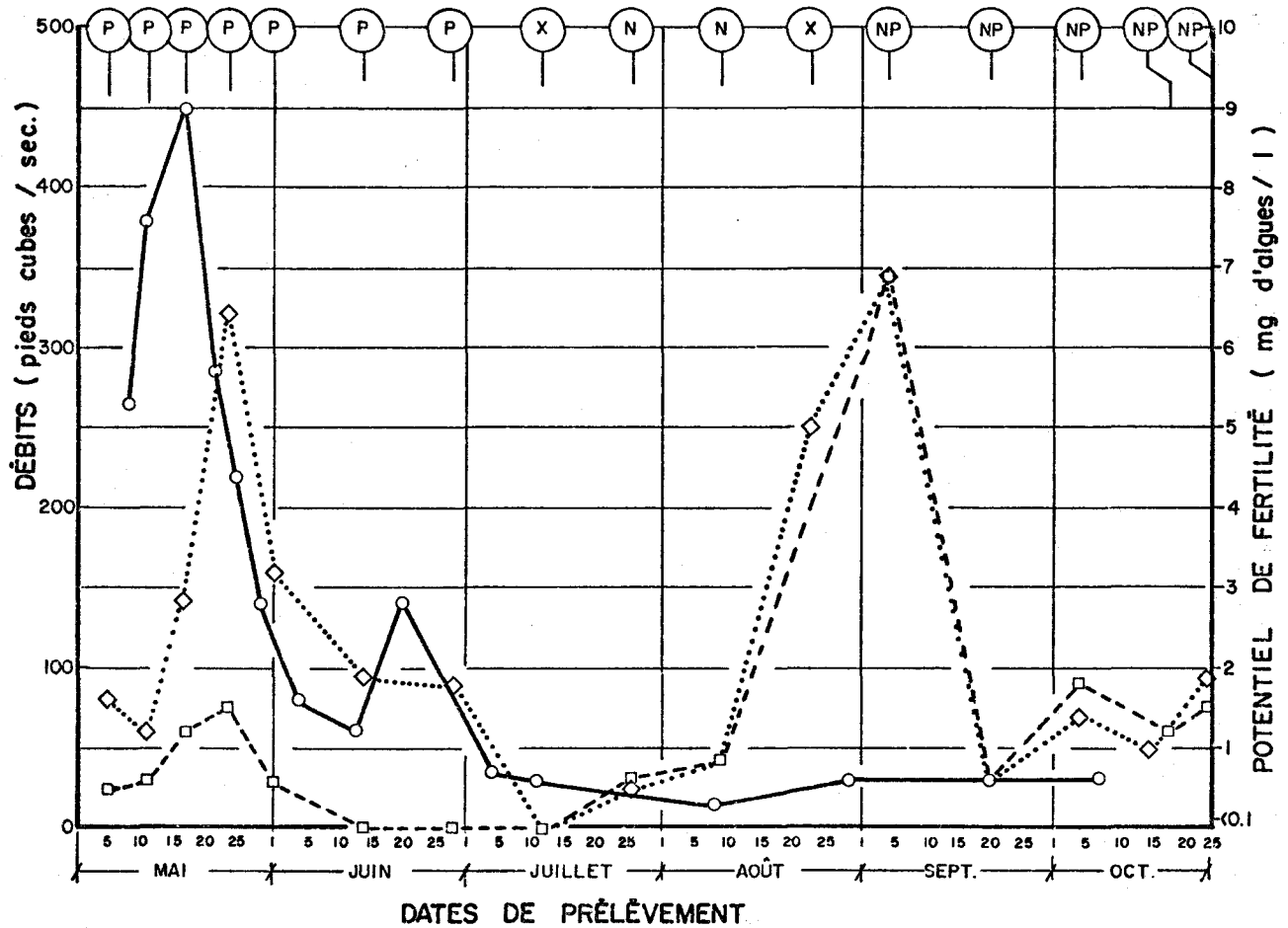


Figure 5.1. Évolution dans le temps des mesures du potentiel de fertilité, du facteur limitatif et des débits : station G2-123.

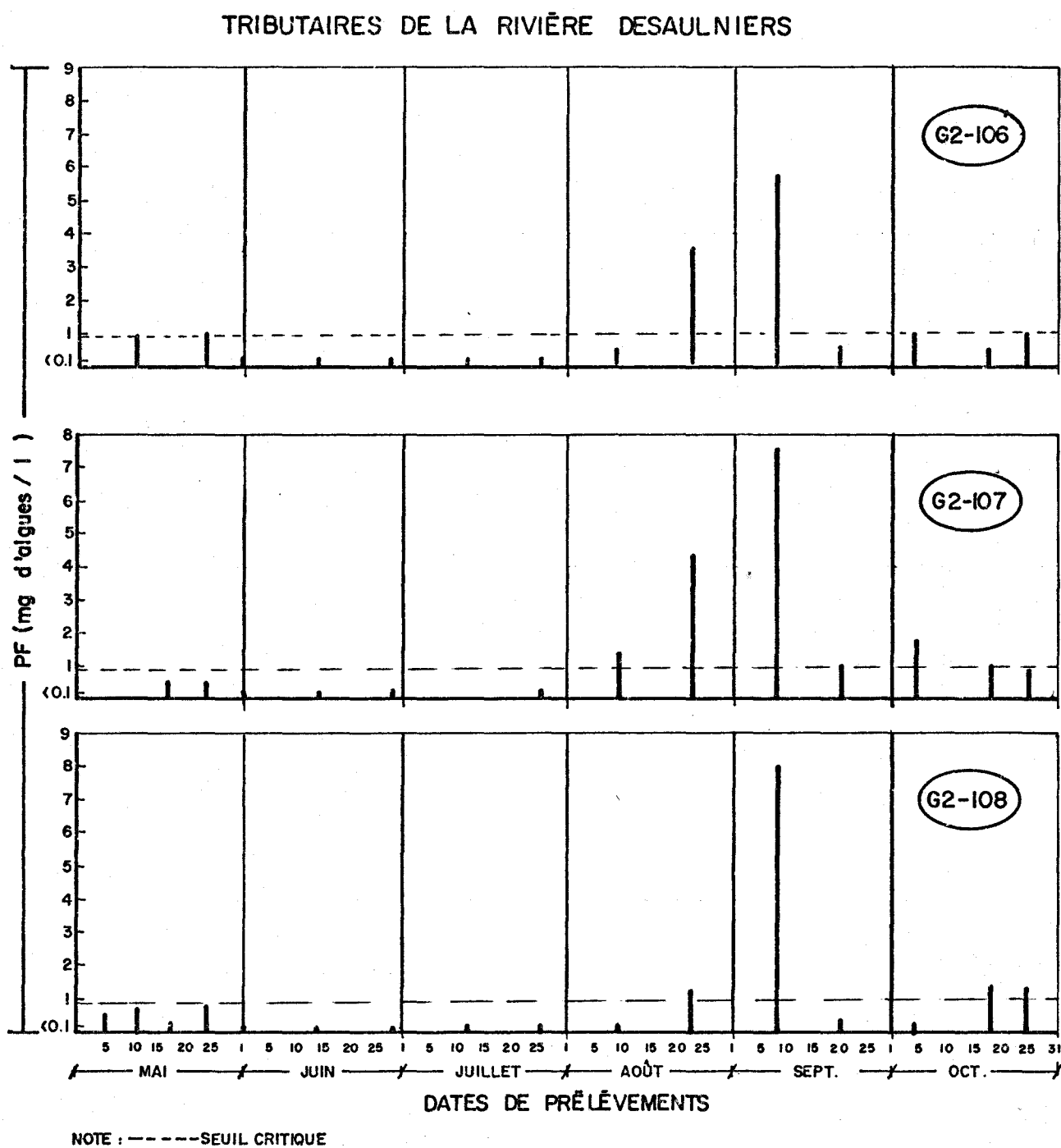


Figure 5.2. Situation dans le temps des mesures du potentiel de fertilité par rapport à une norme d'enrichissement définie pour les tributaires de la rivière Desaulniers.

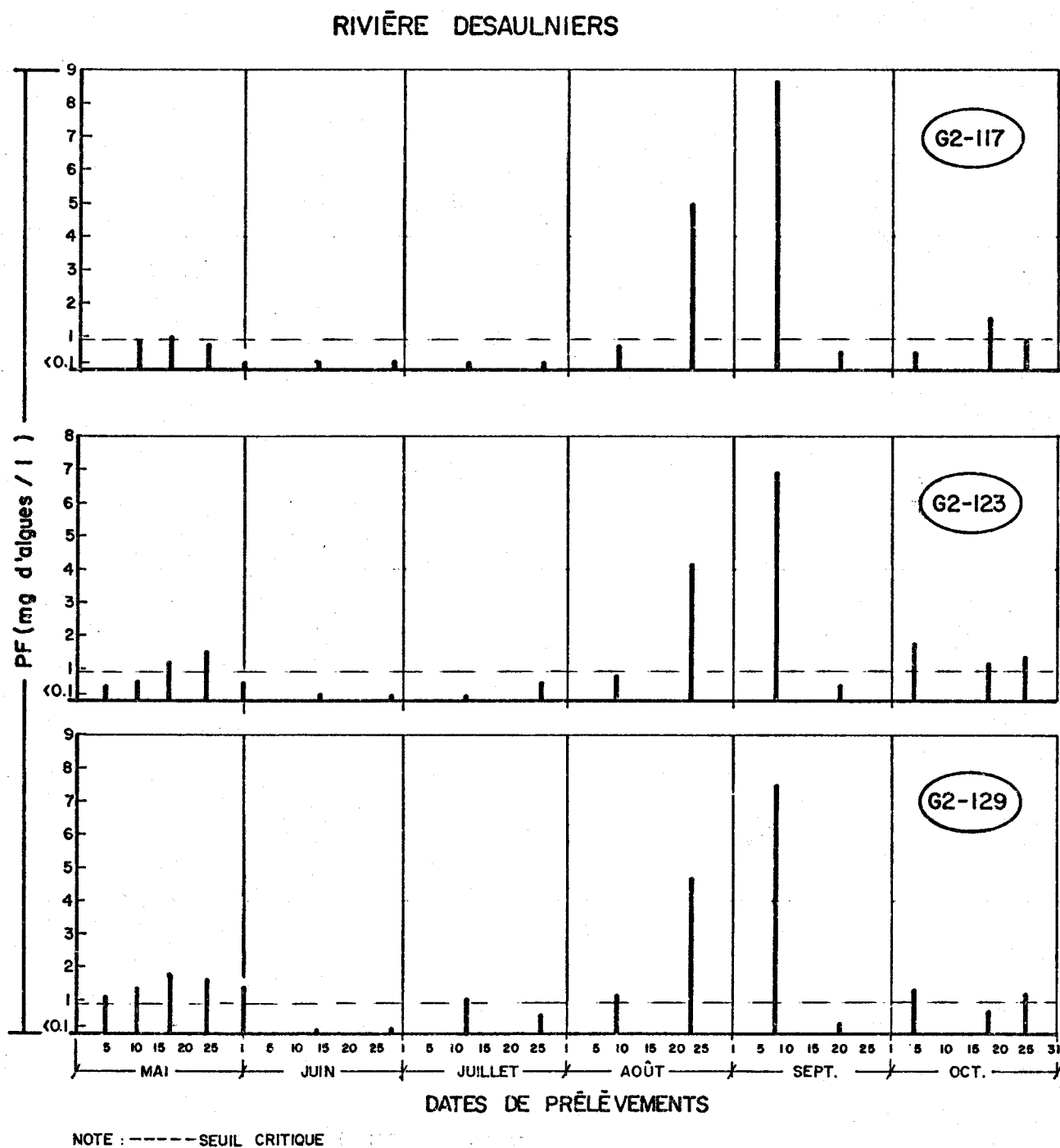


Figure 5.3 . Situation dans le temps des mesures du potentiel de fertilité par rapport à une norme d'enrichissement définie : rivière Desaulniers .

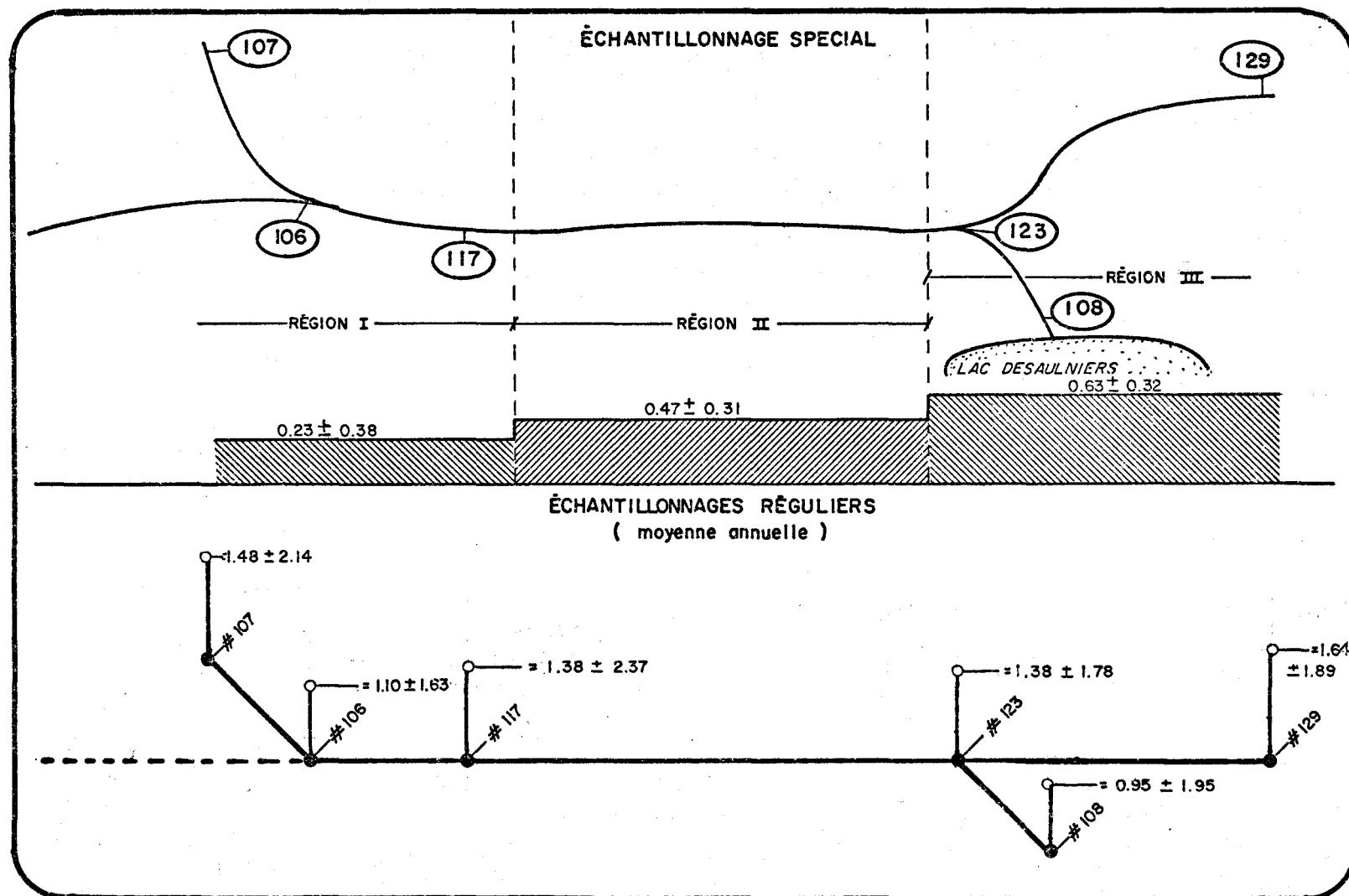


Figure 5.4 . Les potentiels de fertilité moyens pour différentes stations et régions de la rivière Desaulniers et ses tributaires.

CONCLUSION

Les problèmes engendrés par les différentes formes d'utilisation de la ressource eau contraignent les utilisateurs à être prudents quant aux modifications que peuvent entraîner leurs actions sur la qualité du milieu aquatique. Afin d'être en mesure de mieux suivre l'évolution de la ressource suite à une intervention, les autorités établissent habituellement une action à deux niveaux:

- niveau recherche: compréhension des mécanismes impliqués;
- niveau contrôle: établissement de critères capables de suivre l'évolution globale de la qualité.

C'est précisément à l'intérieur du "niveau contrôle" que la mesure du potentiel de fertilité devient un outil particulièrement intéressant; en effet, les résultats déjà obtenus (EPA, 1971; INRS-Eau, 1976b) montrent que ce test peut servir de critère fiable et peut facilement être incorporé à un réseau de contrôle de qualité.

L'utilisation du test de fertilité sous ces différents aspects (indice d'enrichissement, identification d'effets limitatifs) s'est montrée utile à la compréhension de différents phénomènes qui régissent et caractérisent la production des eaux de la rivière Desaulniers. L'emploi d'indicateurs chimiques tels que les concentrations de phosphore ont un usage restreint à l'intérieur de ce type de milieu; les faibles concentrations, souvent inférieures à la limite de détection des appareils, demeurent un désavantage sérieux. Par exemple, il aurait été difficile de voir, à partir des analyses physico-chimiques, l'importance des sources diffuses ou encore l'effet des producteurs primaires sur l'évolution du niveau d'enrichissement des eaux de la rivière en substances nutritives.

Enfin, l'analyse de certains résultats obtenus a contribué à mettre en évidence une évolution de la biodisponibilité de certains éléments nutritifs au cours des saisons. Cette évolution, qui semble reliée au métabolisme des subs-

tances organiques, commande une attention spéciale (voir annexe) étant donné la vocation particulière de ce bassin versant. A cette fin, des études complémentaires devraient être réalisées; ces études viseraient à mieux comprendre l'évolution de la biodisponibilité de cette matière afin de pondérer son action au niveau de la production potentielle du futur réservoir.

BIBLIOGRAPHIE

- Chiaudani, G. et Vighi, M. (1974). The N:P ratio and tests with *Selenastrum* to predict eutrophication in lakes. Water Research, 8(12): 1063-1069.
- 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. Journal of the Fisheries Research Board of Canada, 32(9): 1519-1531.
- EPA. (1971). Provisional algal assay procedures. Final Report. Sanitary Engineering Research Laboratory, College of Engineering and School of Public Health, University of California, Berkeley, SERL Report No. 71-6.
- Forsberg, C. et Forsberg, A. (1972). Algal growth potential test improves sewage effluent control. Ambio, 1(1).
- Greene, J.C. *et al.* (1974). The Pacific Northwest basin algal assay survey. I. The Snake River drainage system. Rapport interne, communication personnelle.
- Hannah, H.H. *et al.* (1972). Nitrogen and phosphorus dynamics in the Central Texas impoundments. Hydrobiologia, 40(1): 121-129.
- Harris, G.P. (1973). Diel and annual cycles of net plankton photosynthesis in Lake Ontario. Journal of the Fisheries Research Board of Canada, 30(12): 1779-1787.
- INRS-Eau. (1975). Impact de l'agriculture sur la qualité des eaux de surface du bassin de la rivière Yamaska. INRS-Eau, rapport scientifique no 50, 99 p. (Pour le Ministère des Richesses naturelles).
- INRS-Eau. (1976a). Effets du décapage de la cuvette d'un réservoir sur la qualité de l'eau emmagasinée: élaboration d'une méthode d'étude et application au réservoir de Victoriaville (rivière Bulstrode, Québec). INRS-Eau, rapport scientifique no 37, 304 p., 3 app. (Rapport rédigé pour le compte du Ministère des Richesses naturelles, Québec).
- INRS-Eau. (1976b). Etude intégrée de la qualité des eaux des bassins versants des rivières Saint-François et Yamaska. Volume 2: Secteur des substances nutritives. INRS-Eau, rapport scientifique no 52, 127 p., 108 t., 52 f., 8 annexes. (Rapport rédigé pour le compte du Ministère des Richesses naturelles, Québec).

- Miller, W.E., Maloney, T.E. et Greene, J.C. (1974). Algal productivity in 49 lakes waters as determined by algal assays. Water Research, 8: 667-679.
- Payne, A.G. (1973). Environmental testing of citrate. Bioassays for algal stimulation. Proceedings of the Conference on Great Lakes Research, 16: 100-115.
- Payne, A.G. (1975). Response of the three test algae of the algal procedure: bottle test. Water Research, 9: 437-445.
- Potash, M. (1956). A biological test for determining the potential productivity of water. Ecology, 37: 631-639.
- Sakshaug, E. et Myklestad, S. (1973). Studies on the phytoplankton ecology of the Trondheimsfjord. Part 3: Dynamics of phytoplankton blooms in relation to environmental factors. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 11(2): 157-188.
- Skulberg, O. (1964). Algal problems related to the eutrophication of European water supplies, and a bioassay method to assess fertilizing influences of pollution on inland waters. In: Algae and Man. Based on lectures presented at the NATO Advanced Study Institutes, July 22 - Aug. 11, 1962, Louisville, Ky. Plenum Press, N.Y., p. 262-299.

ANNEXE

EFFETS DE LA MATIERE ORGANIQUE REFRACTAIRE (MATIERE HUMIQUE) SUR DES PROCESSUS VITAUX DE LA VIE AQUATIQUE

La matière organique (M.O.) du milieu aquatique et surtout la fraction réfractaire (matière humique, M.H.) dont la concentration peut dans certaines eaux dépasser 50 ppm, et qui présente souvent plus que 70% de la M.O., peuvent influencer plusieurs processus chimiques, physiques et biologiques du milieu.

Les effets chimiques et physiques sont surtout liés à la structure moléculaire du matériel, aux type et nombre des groupements terminaux, à la présence de radicaux et de groupes avec des propriétés d'oxydo-réduction et, dans le cas d'un matériel avec un poids moléculaire élevé, de la nature colloïdale des particules. Des phénomènes tels que la solubilisation, le transport, la complexation, la chélation et la réduction de certains métaux, et l'échange ou l'adsorption de certains ions peuvent en résulter. Par sa couleur souvent très intense, la M.H. peut également influencer des processus photochimiques.

Etant donné la valeur énergétique de certaines fractions de la M.O., une partie pourra être absorbée et dégradée par certaines formes de vie aquatique en leur servant de source d'énergie. En outre, des propriétés chimiques et physiques comme le pH, le potentiel redox (affectant la valence de certains ions et l'activité de plusieurs enzymes), la tensioactivité (affectant la perméabilité des membranes cellulaires), la couleur (affectant le processus photosynthétique), les pouvoirs de complexation, chélation et adsorption (affectant la disponibilité de certaines substances nutritives, toxiques ou régulatrices) peuvent profondément influencer l'écosystème aquatique. Il semble que les effets ont lieu surtout sur le niveau de la perméabilité des membranes

cellulaires (55, 56) et de l'activité des enzymes (36, 41, 51, 63, 70); de plus notons des effets dus au pouvoir auxinique (40) et au pouvoir de détoxification (5, 8, 74).

La plupart des effets de la M.H. sur différentes formes de vie ont été étudiés par des agronomes sur des plantes supérieures d'origine terrestre. On a démontré que la M.H. peut avoir un effet sur un grand nombre de processus vitaux (4, 7, 20, 22, 27, 49, 54, 75) aussi diversifiées que la germination, le taux de croissance (2, 9, 12, 18, 44, 47, 48, 50, 59, 60, 61, 65, 66, 68, 76), le métabolisme général (16, 17, 28, 29, 30, 34, 46, 62, 69, 73), le contenu en constituants organique et inorganique, le pourcentage d'eau, le taux d'absorption de cations (6, 57) et d'anions comme le phosphate (25, 35, 45), le taux de respiration (3, 21, 67) et celui de photosynthèse.

Des études concernant des formes de vie simple telles que le zooplancton (10, 15), les bactéries (1, 11, 14, 24, 31), les levures (39), les algues (26, 37, 38, 43, 52, 53) et même les virus (64) ont indiqué que la M.H., à part d'être synthétisée ou dégradée par plusieurs espèces de micro-organismes, peut profondément influencer ces formes de vie à des concentrations aussi faible que 10 ppm.

Quelques auteurs (32, 77, 78) ont étudié l'influence de la M.H. sur des animaux supérieurs et ont démontré, par exemple, que ce groupe de substances peut avoir un effet sur le taux d'absorption d'ions organiques et inorganiques par la membrane intestinale. Selon ce que

nous sachions, il n'existe pas d'information concernant les effets de la M.H. sur les poissons.

Il existe un nombre de rapports traitant des applications médicales de la M.H., comme dans le traitement d'ulcères, des affections épidermiques ou gastroentériques (13, 19, 23, 33, 42, 58, 72, 79). L'évidence n'est cependant pas très convaincante.

En général il semble évident que l'effet physiologique de la M.H. n'a été étudié que d'une façon très incidente de sorte qu'il est difficile de tirer des conclusions générales des résultats. Les problèmes fondamentaux dans la recherche sur les propriétés de la M.H. ont toujours été que:

1. l'origine du matériel d'essai était mal-défini;
2. les méthodes d'extraction et de fractionnement étaient peu fiables et étaient portées à changer certaines propriétés du matériel;
3. la M.H. utilisée dans les essais était souvent composée d'un mélange de différent types de produits;
4. le matériel était souvent mal caractérisé d'un point de vue chimique et physique, de sorte qu'une comparaison entre les résultats obtenus par différents chercheurs était fréquemment impossible.

Pour ces raisons, nous avons, subventionnés par CNRC et FCAC pendant les quatre dernières années, d'une façon systématique, étudié les propriétés chimiques, physiques et biologiques de la M.H., obtenue à des intervalles régulières de plusieurs types d'eaux dans le parc des Laurentides. Avec l'aide de techniques de séparation et de fractionnement comme l'ultrafiltration par des membranes spécifiques et la chromatographie, nous avons réussi à isoler des fractions de différents types de M.H., chacune avec un intervalle de poids moléculaire bien défini. Ces fractions ont été caractérisées par:

- la spectrophotométrie, pour étudier les spectres d'absorption dans les régions ultraviolet, visible et infrarouge et le spectre de fluorescence;
- l'analyse élémentaire;
- l'analyse de plusieurs groupements terminaux;
- la détermination des propriétés tensioactives;
- l'estimation des différents éléments trace contenus dans la M.H.

Après notre méthode de fractionnement et de purification la M.H. aquatique, malgré une structure très complexe, pouvait être bien caractérisée selon ses différentes fractions, dont chacune avait ses propriétés chimiques et physiques caractéristiques. Nous

avons détecté plusieurs fluctuations saisonnières dans la M.H. des échantillons d'eau du parc des Laurentides, autant dans des paramètres qualitatifs que quantitatifs. Une étude statistique détaillée a révélé plusieurs corrélations très significatives entre plusieurs paramètres physico-chimiques des différentes fractions, d'entre certains paramètres et la saison ou le site d'échantillonnage.

Une étude sur des produits parahumiques (mélanines) formés par des souches pures de micro-organismes, sous des conditions bien contrôlées, nous a permis d'identifier certaines étapes dans la formation de la M.H. à partir des molécules simples.

A partir des fractions de M.H. bien caractérisées nous avons commencé à étudier leur effet sur différentes formes de vie aquatique comme le crustacé Daphnia magna et le poisson Poecilia reticulatus. Les résultats préliminaires ont démontré un effet détectable même à des concentrations relativement faibles.

Etant donné que certains résultats décrits dans ce rapport semblent indiquer un effet inhibiteur saisonnier de certaines formes de la matière organique de la rivière Desaulniers sur l'algue Selenastrum capricornutum, nous avons enlevé, par ultrafiltration, la M.H. d'échantillons d'eau prélevés de deux sites de la rivière Desaulniers. On vise à utiliser l'ultrafiltrat (qui ne contient que de la matière organique incolore avec un poids moléculaire inférieur à 500) pour la mesure du

potentiel de fertilité comme décrit dans le rapport. Parallèlement, on veut aussi mesurer le potentiel de fertilité sur l'échantillon d'eau original, non-filtré, et sur des échantillons composés de l'eau ultrafiltrée à laquelle ont été ajoutées différentes quantités soit de la M.O. d'origine rivière Désaulniers, soit des fractions M.H. de notre collection du parc des Laurentides. Parce que dans le cas de l'effet inhibiteur observé il s'agit probablement d'un phénomène saisonnier, nous avons l'intention de répéter ces essais à plusieurs reprises sur une période d'une année. Etant donné que d'un point de vue de gestion il pourrait être intéressant de savoir si la majeure partie de la matière organique de la rivière Desaulniers est d'origine autochtone ou d'origine allochtones, nous voulons faire une étude comparative entre la fraction de la matière organique obtenue des algues et bactéries autochtones de la rivière Desaulniers et la fraction représentant le reste de la matière organique dans l'eau de la rivière. Nous utiliserons une méthode à chromatographie à phase gazeuse suivant la pyrolyse de la matière organique.

REFERENCES

1. BHARDWAJ, K.K.R.; GAUR, A.C. (1970).
The effect of humic and fulvic acids on the growth and efficiency of nitrogen fixation of Azotobacter chroococcum.
Folia microbiol. 15, 364-367.
2. BHARDNAJ, K.K.R.; GAUR, A.C. (1972).
Growth promoting effect of humic substances on Rhizobium trifolii.
Indian J. Microbiol. 12, 19-21.
3. BIBER, V.; MAGAZINER, K. (1951).
[the effect of humic and fulvic acids on the respiration of isolated plant tissues].
Dokl. Akad. Nauk SSR, 76, 609.
4. BIBER, V.; BOGOLYUBOVA, N. (1952).
[humic acid of estuarine mud and its biological activity].
Dokl. Akad. Nauk SSSR 82, 939.
5. BITTON, G.; HENIS, Y.; LAHAR, N. (1972).
Effect of several clay minerals and humic acid on the survival of Klebsiella aerogenes exposed to ultraviolet irradiation.
Appl. J. Microbiology 23, 870-874.
6. BLANCHET, R. (1957).
Influence des colloïdes humiques sur différentes phases de l'absorption des éléments minéraux par les plantes.
C.R. Acad. Sci. Paris 244, 2418-2420.
7. BLANCHET, R. (1958).
Actions directes et indirectes de la matière organique humifiée sur la nutrition des végétaux vasculaires.
Ann. agron. Paris 9, 499-532.
8. BROGAN, J.C. (1964).
The effect of humic acid on aluminium toxicity.
Trans. 8th Int. Congr. Soil Sci. 1964, 227-234.
9. CHAMINADE, R. (1956).
Action de l'acide humique sur le développement et la nutrition minérale des végétaux.
Trans. 6th Int. Congr. Soil Sci., Paris 4, 65.
10. CZECZUGA, B. (1957).
[the effect of humic compounds on zoöplankton]
Roczniki Akad. Med. Biol. 3, 89-126.

11. DE HAAN, H. (1974).
Effect of a fulvic acid fraction on the growth of a *Pseudomonas* from Tjeukemeer.
Freshw. Biol. 4, 301-310.
12. DE KOCK, P.C. (1955).
Influence of humic acids on plant growth.
Science 121, 473-474.
13. DIETZ, W. (1961).
[studies on salicylated humic acid baths].
München Med. Wschr. 103, 561-563.
14. DIKUSAR, M.M. (1945).
[the bactericidal effect of humus].
Dokl. Nauch. Konf. Timiriazev S-Kh. Akad. 1944, 2, 136-139.
15. DORMAAR, J.F. (1975).
Effects of humic substances from chernozemic Ah horizons on nutrient uptake by *Phaseolus vulgaris* and *Festuca scabrella*.
Can. J. Soil Sci. 55, 111-118.
16. FLAIG, W. (1961).
[the effect of humic matter on the metabolism of plants].
Maataloust. Aikak. 33, 1-16.
17. FLAIG, W. (1970).
Effect of humic substances on plant metabolism.
Second International Peat Congress, Leningrad. Edit. R.A. Robinson, H.M.S.O., Edinburgh, 579-606.
18. GAUR, A.C. (1964).
[influence of humic acid on growth and mineral nutrition of plants].
Bull. Ass. franç. Et. Sol 5, 207-219.
19. GRAMSCH, H. (1961).
[a contribution to the treatment of gastropathies].
Med. Mschr. 15, 685-687.
20. GUMINSKI, S.; GUMINSKA, Z. (1955).
Recherches ultérieures sur le mécanisme de l'activité de l'humus sur l'organisme végétal.
Acta Soc. Bot. Pol. 24, 723

21. GUMINSKI, S. (1960).
[the effect of humic substances on the respiration of root seeds].
Acta agrobot. 9, 123-127.
22. GUMINSKI, S.; GUMINSKA, Z. (1962).
[direct and indirect effects of humic compounds on the organism of
higher plants].
Materialy konf. nauk. "Nawozy Oragniczme", 1959, 149-156.
23. HAMMER, F. (1962).
[treatment of hyperacidity and its concomitant conditions and
sequelae with gastrohumate].
Munch. Med. Wschr. 104, 335-337.
24. JAKUBIEC, M.; MISZCZAK, E.; SZCZERKOWSKA, J. (1971).
Comparison of the effect of natural and synthetic humates and EDTA
on the growth of Escherichia coli.
Acta Microbiologica Polonica, ser. B, 3, 63-66.
25. JELENIC, D.B.; HAJDUKOVIC, M.; ALEKSIC, Z. (1966).
The influence of humic substances on phosphate utilization from
labelled superphosphate.
"The Use of Isotopes in Soil Organic Matter studies". Rep. FAO/IAEA
tech. Meet. Brunswick-Völkensrode 1963, 85-99.
26. JURAIDA, K. (1974).
Influence of sodium humate on the growth of Scenedesmus quadricauda
(Turp. Breb.) and Gonium pectorale in the case of different calcium
and iron doses.
Acta Soc. Botan. Poloniae 43, 519-530.
27. KHRISTEVA, L.A. (1948).
[the nature of the influence of humic acid on plants].
Doklady Vsesoyuz. Akad. Selsko-khoz. Nauk im. V.I. Lenina (USSR)
13, 29-36.
28. KHRISTEVA, L.A. (1951).
[the role of humic acids in the nutrition of plants and humic ferti-
lizers].
Trudy Pochv. Inst. Dokuchaeva 38, 108-184.
29. KHRISTEVA, L.A. (1953).
[the participation of humic acids and other organic substances in
the nutrition of higher plants].
Pochvovedenie 10, 46-59.
30. KHRISTEVA, L.A. (1957).
[physiological function of humic acid in the nutrition of higher
plants].
Nauchn. Zap. Khersonsk. S.-kh. Inst. (1957), 47-60.

31. KLEVENSKAYA, I.L.; KLEONOV, B.N. (1972).
[growth and nitrogen fixation of some oligonitrophilous microorganisms
in humic and fulvic acids].
Izv. Sib. Otd. Akad. Nauk SSSR, Ser. Biol. Nauk 3, 127-129.
32. KLOCKING, VON R.; HOFMANN, R.; MUCKE, D. (1968).
[experimental studies in animals on the antiphlogistic activity of
humate].
Arzneimittel-Forsch. 18, 941-942.
33. KLOCKING, R.; SPROSSIG, M. (1972).
Antiviral properties of humic acids.
Experientia 28, 607-608.
34. KONONOVA, M.M.; ALEXANDROVA, I.V. (1971).
The effect of humus substances on the utilization of mineral nitrogen
by plants.
Transact. Int. Symp. "Humus et Planta V", 497-503.
35. KOTLYUBA, V.G.; REUTOV, V.A. (1960).
[the effect of humic acid on the uptake of phosphorus by plants].
Trudy dnepropetrov. S.-kh. Inst. 7, 165-166.
36. LADD, J.N.; BUTLER, J.H.A. (1971).
Inhibition by soil humic acids of native and acetylated proteolytic
enzymes.
Soil Biol. Biochem. 3, 157-160.
37. LANGE, V. (1970).
Blue-green algae and humic substances.
Proc. 13th Conf. Great Lakes Res. 1970, 58-70.
38. LHOTSKY, S. (1960).
[the influence of humic substances on cultures of algae].
Acta agrobot. 9, 113-116.
39. McLOUGHLIN, A.J.; KUSTER, E. (1972).
The effect of humic substances on the respiration and growth of
micro-organisms.
I. Effects on the yeast Candida utilis.
Plant and Soil 37, 17-25.
40. MATO, M.C. (1976).
Effect of fungal humic-like polymers and their phenolic units on
auxin destruction.
Soil Biol. Biochem. 8, 33-35.

41. MATO, M.C.; FABREGAS, R.; MENDEZ, J. (1971).
Inhibitory effect of soil humic acids on indoleacetic acid oxidase.
Soil Biol. Biochem. 3, 285-288.
42. MIEHLKE, K., THUERIGEN, G. (1961).
[the effects of salicylated humic acid baths on humoral factors].
Z. Rheumaforsch. 20, 39-43.
43. MINAR, J.; MANNSBARTOVA, E.; TICHY, V. (1964).
Changes in the biological activity of agropyrene on combined application with humus substances in the cultivation of Scenedesmus obliquus (turp.) Krüger.
Biol. Plant. 6, 265-272.
44. NIKLEWSKI, B.; WOJCIECHOWSKI, J. (1938).
The influence of humic compounds on plant development.
Acta Soc. Bot. Polon. 15, 61-109.
45. NIKLEWSKI, B.; WOJCIECHOWSKI, J. (1938).
[the influence of humic compounds on the absorption of ammonium phosphate and sulphate by plants].
Acta Soc. Bot. Polon. 15, 111-151.
46. NIKLEWSKI, B. (1960).
[humus as a link in the metabolism of plants].
Acta agrobot. 9, 5-10.
47. O'DONNELL, R.W. (1973).
The auxin-like effects of humic preparations from leonardite.
Soil Science 116, 106-112.
48. OLSEN, C. (1930).
On the influence of humic substances on the growth of green plants in water culture.
C.R. Lab. Carlsberg 18, 1.
49. PAULI, F.W. (1961).
Humus and plant.
Sci. Progr. Lond. 49, 427-439.
50. PETERBURGSKII, A.V. (1962).
[the effect of small doses of humic substances on the yield and chemical composition of plants].
Ust. Ved. Inf. MZLVH (Rostl. Vyroba) 8, 867-880.

51. POSPISIL, F.; HRUBCOVA, M. (1974).
[the effect of humic acids and of their fractions on the phytase activity].
Ustred Vyzk Ustav Rosil Vyroby, ved Prague 18, 47-54.
52. PRAKASH, A.; RASHID, M.A.; JENSEN, A.; RAO, D.V.S. (1973).
Influence of humic substances on the growth of marine phytoplankton: diatoms.
Limnol. Oceanogr. 18, 516-524.
53. PRAT, S. (1955).
[the effect of humic substances on algae].
For. Biol. 1.
54. PRAT, S. (1962).
The effect of humus substances on regeneration of plants.
"Studies about Humus", Symp. Humus & Plant, Praha 223-234.
55. PRAT, S. (1963).
Permeability of plant tissues to humic acids.
Biol. Plant. 5, 279-283.
56. PRAT, S. (1970).
Permeability and the effect of humic substances on plant cells.
Second International Peat Congress, Leningrad, Edit. R.A. Robertson, H.M.S.O., Edinburgh, 607-610.
57. PROZOROVSKAYA, A.A. (1936).
[the effect of humic acid and its derivatives on the uptake of nitrogen, phosphorus, potassium and iron by plants].
Trudy nauch. - issled. Inst. Udobr. Insektisid. Fungisid., 127, 143-161.
58. RE, A. (1964).
[the effect of a humus extract on the endocrine system].
Deutsch. Med. J. 15, 838-842.
59. RERABEK, J. (1960).
Humic acid interactions in the growth process.
Biol. Plant. 2, 88-97.
60. RERABEK, J. (1963).
The effect of humic acids on growth and metabolism of plant cells.
Advan. Frontiers Plant Sci. 6, 87-111.

61. SAALBACH, E. (1955).
[humic materials and plant growth].
Landb. - Forsch. 5, 88-89.
62. SAALBACH, E. (1956).
[the influence of humic substances on the metabolism of plants].
6th Congr. int. Sci. Sol. Rapp D, 107-111.
63. SCHEFFER, F.; ZIECHMANN, W.; ROCHUS, W. (1962).
[the effect of humus on phosphatase activity].
Naturwiss. 49, 158-159.
64. SCHULTZ, H. (1965).
[investigations on the viricidal effects of humic acids in peat-mull].
Deutsch. Tierarztl. Wschr. 72, 294-297.
65. SCHNITZER, M.; POAPST, P.A. (1967).
Effects of soil humic compound on root initiation.
Nature, Lond. 213, 598-599.
66. SHARMA, K.D.; CHAWAN, D.D.; SEN, D.N. (1972).
Antagonism between humic acid and some growth "retardins".
Biochem. Physiol. Pflanzen 163, 477-482.
67. SMIDOVA, M. (1960).
The influence of humic acids on the respiration of plant roots.
Biol. Plant 2, 152-164.
68. SOCHTING, H. (1964).
[plant metabolism as affected by humus and its components, and the
resulting growth and yield].
Landb. - Forsch. 14, 9-16.
69. SOUKUP, J.; MATOUS, J. (1958).
[humic substances in plant nutrition. The physiological effect of
humic acids from leaf mould].
Sborn. cs1. Akad. zemed. Ved (Rostl. Vyroba) 31, 11-22.
70. STANCHEV, L.; MASHEV, N. (1972).
The effect of humic acid on oxidase reactions and gibberellin
biosynthesis in plant products.
Soil Science and Agrochemistry 7, 43-50.

71. STOKLASA, J. (1962).
Effect of potassium humate on photosynthesis..
Biol. Plant. 4, 98-100.
72. TAUGNER, G. (1963).
[experimental studies on a sodium humate - salicylic acid bath].
Arzneimittel forschung 13, 329-333.
73. TICHY, V. (1960).
[the effect of some humic fractions on growth and carbohydrate
metabolism of plants].
Acta agrobot. 9, 145-158.
74. TICHY, V.; MANNSBARTOVA, E.; MINAR, J. (1964).
[nature of the detoxicant action of humic acids].
Biol. Plant. 6, 306-314.
75. TICHY, V.; NECHUTOVA, H. (1967).
The influence of humic substances on the calorific value of the
plant dry matter and on its production.
Trans. Int. Symp. "Humus et Planta IV", Prague, 291-292.
76. VIMAL, O.P. (1971).
Humic substances and plant growth.
J. Scient. Ind. Res. 31, 439-445.
77. VISSER, S.A. (1973).
Physiological action of humic acids on living cells.
4th Int. Peat Congress, Proc., Otaniemi, 5, 155-176.
78. VISSER, S.A. (1973).
Some biological effects of humic acids in the rat.
Acta Biol. Med. Cprm. 31, 591-581.
79. WISCHMANN, J. (1960).
[a contribution to the therapy of phlebitic conditions in medical
practice].
Med. Mschr. 14, 316-319.