

Record Number: 860
Author, Monographic: Couture, P./Visser, S. A.
Author Role:
Title, Monographic: Évaluation à l'aide d'un bioessai de l'effet de facteurs environnementaux sur la fertilité potentielle des eaux de la rivière Desaulniers, Baie-James
Translated Title:
Reprint Status:
Edition:
Author, Subsidiary:
Author Role:
Place of Publication: Québec
Publisher Name: INRS-Eau
Date of Publication: 1978
Original Publication Date:
Volume Identification:
Extent of Work: vii, 85
Packaging Method: pages incluant un annexe
Series Editor:
Series Editor Role:
Series Title: INRS-Eau, Rapport de recherche
Series Volume ID: 86
Location/URL:
ISBN: 2-89146-084-7
Notes: Rapport annuel 1977-1978
Abstract: Rapport rédigé pour la Société d'Énergie de la Baie-James
15.00\$
Call Number: R000086
Keywords: rapport/ ok/ dl

Evaluation à l'aide d'un bioessai de
l'effet de facteurs environnementaux sur
la fertilité potentielle des eaux de la
rivière Desaulniers, baie James

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

RAPPORT SCIENTIFIQUE No 86
1978

Version finale du
rapport couvrant la période d'activité
de novembre 1976 à octobre 1977

(pour la Société d'énergie de la baie James)

par

P. Couture, S.A. Visser

Evaluation à l'aide d'un bioessai de
l'effet de facteurs environnementaux sur
la fertilité potentielle des eaux de la
rivière Desaulniers, baie James

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

RAPPORT SCIENTIFIQUE No 86
1978

Version finale du
rapport couvrant la période d'activité
de novembre 1976 à octobre 1977

(pour la Société d'énergie de la baie James)

par

P. Couture, S.A. Visser

ISBN 2-89146-084-7
DEPOT LEGAL 1978

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

© 1978 - Institut national de la recherche scientifique

TABLE DES MATIERES

	<u>PAGE</u>
LISTE DES TABLEAUX	ii
LISTE DES FIGURES	vi
1. INTRODUCTION	1
1.1 Historique	1
1.2 Description des objectifs	1
2. PROBLEMATIQUE	3
2.1 Généralités	3
2.2 Historique de la technique	4
2.3 Signification de la mesure	5
2.4 Un aspect technique: la sensibilité	9
3. METHODOLOGIE	11
3.1 Echantillonnage	11
3.2 Techniques d'analyses	12
3.3 Transformation du nombre de cellules en biomasse	13
3.4 Coefficient de variation	14
3.5 Facteur limitatif	15
4. DISCUSSION DES RESULTATS	18
4.1 Limite de détection et précision	18
4.2 Niveaux d'enrichissement des eaux	20
4.3 Facteurs physiques	23
4.4 Facteurs biologiques	24
4.5 Facteur limitatif	26
4.6 Dosage biologique	29
5. CONCLUSION	32
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	68

LISTE DES TABLEAUX

	<u>PAGE</u>
1. Description des objectifs poursuivis en 1977	35
2. Revue de quelques définitions et applications générales du test de fertilité	36
3. Revue de quelques définitions et applications particulières du test de fertilité: paramètre de caractérisation	37
4. Principales caractéristiques des cultures de l'espèce <i>Selenastrum capricornutum</i>	38
5. Relations mathématiques établies entre la mesure de PF et certains paramètres reliés au phytoplancton indigène	39
6. Liste des valeurs minimales et maximales de PF obtenues pour différents bassins versants	40
7. Types de prélèvement utilisés aux différentes stations	41
8. Identification des différentes voies analytiques: nombre d'analyses prévues vs nombre d'analyses réalisées	42
9. Procédé de nettoyage de la verrerie	43
10. Schéma des différentes étapes suivies lors de la réalisation du test de fertilité	44

11.	Schéma des différentes étapes suivies pour le dosage biologique du phosphore	45
12.	Description des étapes suivies lors du dosage de l'ATP	46
13.	Description des étapes suivies lors de la détermination de poids sec des cultures d'algues	47
14.	Comparaison de la qualité des analyses de PF effectuées en 1976 et 1977: limite de détection et précision de la technique	48
15.	Fréquence (%) des indices d'enrichissement observés en 1976 et 1977	49
16.	Potentiel de fertilité calculé et potentiel de fertilité mesuré	50
17.	Tableau récapitulatif des effets de la MO provenant des eaux du réservoir Desaulniers (INRS-Eau, 1978)	51
18.	Coefficient de stimulation des échantillons d'eau prélevés à différentes profondeurs et enrichis à l'aide du milieu PAAP-P, PAAP-N ou PAAP: Station G2-123	52
19.	Coefficient de stimulation des échantillons d'eau prélevés à différentes profondeurs et enrichis à l'aide du milieu PAAP-P, PAAP-N ou PAAP: Station G2-129	53
20.	Concentration d'azote disponible déterminée à partir des échantillons enrichis du milieu PAAP-N: tributaires la rivière Desaulniers	54

21.	Concentration d'azote disponible déterminée à partir des échantillons enrichis du milieu PAAP-N: rivière Desaulniers	55
22.	Comparaison entre les valeurs calculées et les valeurs mesurées de chlorophylles	56
23.	Fréquence d'échantillonnage recommandée durant chaque mois pour 1978	57
A-1	Potentiel de fertilité des échantillons d'eau prélevés à différentes profondeurs: Stations G2-123 et G2-129	77
A-2	Potentiel de fertilité et indice d'enrichissement: tributaires de la rivière Desaulniers	78
A-3	Potentiel de fertilité et indice d'enrichissement: rivière Desaulniers	79
A-4	Biomasse d'algues obtenues après 14 jours de croissance dans les échantillons d'eau non enrichis et dans les échantillons d'eau enrichis: Station G2-106	80
A-5	Biomasse d'algues obtenues après 14 jours de croissance dans les échantillons d'eau non enrichis et dans les échantillons d'eau enrichis: Station G2-107	81
A-6	Biomasse d'algues obtenues après 14 jours de croissance dans les échantillons d'eau non enrichis et dans les échantillons d'eau enrichis: Station G2-108	82
A-7	Biomasse d'algues obtenues après 14 jours de croissance dans les échantillons d'eau non enrichis et dans les échantillons d'eau enrichis: Station G2-117	83

- A-8 Biomasse d'algues obtenues après 14 jours de croissance dans les échantillons d'eau non enrichis et dans les échantillons d'eau enrichis: Station G2-123 84
- A-9 Biomasse d'algues obtenues après 14 jours de croissance dans les échantillons d'eau non enrichis et dans les échantillons d'eau enrichis: Station G2-129 85

LISTE DES FIGURES

	<u>PAGE</u>
1. Situation physique des différentes stations de la rivière Desaulniers et de ses tributaires	58
2. Comparaison entre les valeurs de PF obtenues avec des échantillons d'eau filtrés et non filtrés	59
3. Comparaison entre les valeurs de PF mesurées à partir d'échantillons prélevés à différentes profondeurs	60
4. Comparaison entre les valeurs de PF mesurées à partir d'échantillons prélevés à différentes profondeurs	61
5. Evolution du potentiel de fertilité des eaux au cours de l'année 1977, tributaires de la rivière Desaulniers	62
6. Evolution du potentiel de fertilité des eaux au cours de l'année 1977, rivière Desaulniers	63
7. Variation du niveau des eaux et de la mesure du potentiel de fertilité des eaux du réservoir Desaulniers	64
8. Evolution des coefficients de stimulation de croissance des cultures inoculées dans les échantillons d'eau enrichis des milieux PAAP-P et PAAP-N: tributaires de la rivière Desaulniers	65

9. Evolution des coefficients de stimulation de croissance des cultures inoculées dans les échantillons d'eau enrichis des milieux PAAP-P et PAAP-N: rivière Desaulniers 66
10. Evolution de la biomasse d'algues mesurée à l'aide de différentes techniques à partir de cultures inoculées dans les échantillons des stations G2-108 et G2-129. 67



1. INTRODUCTION

1.1 Historique

Au cours de l'année 1976, l'Institut national de la recherche scientifique (INRS-Eau) réalisait pour la Société d'énergie de la baie James (SEBJ - environnement) des études sur plusieurs indicateurs biologiques susceptibles d'être utilisés par la SEBJ pour suivre l'évolution de la qualité des eaux des grands réservoirs (INRS-Eau, 1977a; INRS-Eau, 1977b). L'analyse des résultats suscita alors plusieurs rencontres où les différents chercheurs impliqués discutèrent de l'efficacité et de la signification biologique des paramètres étudiés.

Suite aux différentes recommandations du groupe de consultants affectés à la rédaction du rapport *"Réseau de surveillance écologique: choix de paramètres pour le monitoring de la production microbiologique des eaux douces du territoire de la baie James, Québec"* (INRS-Eau, 1977a) et à l'expérience acquise par le groupe du *Réservoir Desaulniers* (INRS-Eau, 1977b), de nombreuses discussions furent engagées sur la pertinence et la signification biologique du paramètre *potentiel de fertilité*. Afin de tenter d'apporter une réponse aux questions soulevées et afin de continuer l'étude amorcée en 1976 sur la rivière Desaulniers, on décidait, en février 1977, de poursuivre pour une seconde année les mesures de potentiel de fertilité (PF).

1.2 Description des objectifs

Les objectifs poursuivis ont été définis à partir de l'étude des résultats acquis au cours de l'année 1976; ils s'inscrivent dans le cadre des préoccupations générales des projets déjà en place pour l'étude de ce bassin versant, c'est-à-dire suivre les effets de la mise en eau du réservoir Desaulniers sur l'évolution de la qualité des eaux. Les objectifs résumés au tableau 1 ont été regroupés à l'intérieur de deux secteurs liés soit à la technique elle-même (sensibilité, précision), soit à la compréhension des valeurs obtenues (signification de la mesure).

Le présent rapport discute des résultats obtenus à la suite des échantillonnages effectués entre le mois de novembre 1976 et octobre 1977; les différents objectifs fixés seront discutés à l'intérieur des thèmes suivants:

1. évolution des niveaux d'enrichissement des eaux;
2. effet de la mise en eau du réservoir sur l'évolution du facteur chimique de contrôle de la production primaire;
3. variations des concentrations d'azote et de phosphore biologiquement disponibles au cours de l'année;
4. caractérisation physiologique de la matière organique des eaux de la rivière.

2. PROBLEMATIQUE

Les notions apportées ici se veulent un complément à la problématique déjà développée dans un rapport antérieur préparé pour la SEBJ (INRS-Eau, 1977a). Elles viennent à la fois préciser ou confirmer certaines notions relatives à la signification de la mesure du PF dans les eaux douces. Afin de faciliter la compréhension du texte, nous préférerons répéter certaines parties des précédents rapports (INRS-Eau, 1977a; INRS-Eau, 1977c) plutôt que de demander au lecteur d'y référer.

2.1 Généralités

Au cours des dernières années, les préoccupations environnementales de plus en plus évidentes des scientifiques ont apporté aux sciences de l'eau un essor considérable. Quantité de techniques sont aussi apparues et sont devenues des outils de travail plus ou moins efficaces pour suivre l'évolution du métabolisme de l'écosystème aquatique. Parmi ces techniques, celles qui sont basées sur des indicateurs biologiques apparaissent en général comme étant les méthodes qui possèdent le plus haut potentiel de signification vis-à-vis de l'étude des phénomènes reliés à la production des eaux.

Au cours de l'année 1977, de nombreuses discussions entre les représentants de la SEBJ-environnement et de l'INRS-Eau ont eu pour but de tenter de préciser la signification de certains paramètres biologiques. Parmi ces paramètres, la mesure du PF a suscité quelques controverses et l'on en est arrivé à la conclusion que la mesure de ce paramètre constituait une *méthode biotique pour mesurer un composant abiotique du milieu et que par conséquent on ne pouvait l'inclure comme mesure de la production microbiologique du milieu* (INRS-Eau, 1977a). A la lumière des activités effectuées depuis une année, nous sommes maintenant en mesure de discuter davantage de ce concept qui s'avère maintenant plus ou moins exact.

2.2 Historique de la technique

Toerien *et al.* (EPA, 1971a) mentionnent que c'est Allen et Nelson qui, en 1910, utilisèrent les premiers la technique des bioessais avec des algues: ils enrichirent de l'eau de mer et étudièrent des cultures d'organismes marins. Plus tard, en 1927, Schreiber, comme nous le rapportent Berland *et al.* (1972), décrit une procédure appelée "analyse physiologique" de l'eau de mer: cette méthode lui permit de mettre en évidence le facteur chimique limitant la production du plancton marin. Enfin, plusieurs auteurs comme Skulberg (1964), Oswald et Gaonkar (1969), Lund (1970), Berland *et al.* (1972), Fitzgerald (1972), Greene *et al.* (1976b) décrivent comment l'utilisation de cette technique s'est développée au cours des quinze dernières années. Deux concepts ont alors été exploités: les essais biologiques et les tests biologiques.

Berland *et al.* (1972) ont précisé ces deux concepts. D'une part, les essais biologiques sont des dosages d'éléments effectués à l'aide d'indicateurs biologiques en cultures pures: par exemple, Carlucci et Silber-nagel (1966) utilisèrent une diatomée (Cyclotella nana) pour déterminer les concentrations de vitamines B-12 dans l'eau de mer. D'autre part, les tests biologiques qui ne possèdent pas l'aspect quantitatif des essais biologiques, ont pour but de caractériser l'effet (stimulateur ou inhibiteur) sur un indicateur biologique des éléments chimiques présents dans le milieu.

C'est d'abord avec les tests biologiques que s'est apparentée la mesure du PF. En effet, rappelons-nous que, suite aux recommandations du comité *ad hoc*¹ de 1968, ce type de bioessai développé par l'*Environmental Protection Agency* des Etats-Unis (EPA, 1970; 1971a; 1971b) avait originellement été conçu pour répondre aux exigences suivantes:

- 1- caractérisation d'une eau en déterminant sa sensibilité à l'enrichissement et en évaluant son niveau nutritionnel;

1

Joint Industry/Government Task Force on the algal assay procedure.

- 2- caractérisation de la nature (auxinique ou toxique) des substances ajoutées à une eau à partir de leurs effets observés sur la croissance d'une population d'algues;
- 3- évaluation de l'effet du processus de traitement des eaux.

Cependant, l'exploitation des capacités du test à suivre l'évolution des niveaux d'enrichissement du milieu en substances nutritives a conféré à cette technique un aspect quantitatif (Toerien et Steyn, 1973; Miller *et al.*, 1974; Chiaudani et Vighi, 1974; EPA, 1975; Greene *et al.*, 1975 a; b; 1976a; Robarts et Southall, 1977). La mesure a ainsi tendance, depuis quelques années, à acquérir les caractères propres aux essais biologiques; des études entreprises depuis peu pour établir la relation qui existe entre les concentrations de PO_4 -P mesurées chimiquement et les concentrations dosées biologiquement (PO_4 -P bio-disponible) en sont un exemple adéquat (Robarts et Southall, 1977).

2.3 Signification de la mesure

Bien que plusieurs auteurs (tableaux 2 et 3) aient déjà défini la mesure du PF, il n'en reste pas moins que la signification de ce paramètre vis-à-vis le milieu naturel reste à être établie. Nous tenterons de préciser cette relation en analysant:

- 1- le choix de l'organisme;
- 2- la signification de la mesure vis-à-vis le milieu naturel.

Choix de l'organisme

L'efficacité d'un bioessai trouve son optimisation lorsque l'application au milieu naturel des résultats obtenus en laboratoire est rendu possible. Afin que cette éventualité se réalise, il importe donc que l'organisme test choisi soit aussi représentatif que possible du biota. Les algues

semblent répondre à ce critère; en effet, ces organismes constituent la base de la communauté aquatique (premier maillon de la chaîne alimentaire) et sont à ce titre les plus représentatifs du statut nutritionnel du milieu (Sawyer, 1968; Wang *et al.*, 1973; Soniassy, 1974; Rainville *et al.*, 1975). Enfin, leur sensibilité particulière à tout changement dans leur environnement en font des indicateurs biologiques par excellence de la qualité de l'eau (Soniassy, 1974).

Les besoins nutritionnels des différentes espèces d'algues étant sensiblement les mêmes, il s'en suit que le choix de l'espèce à être utilisée, à l'intérieur d'un bioessai, peut être basé sur les deux critères suivants (Gerhold et Otto, 1976):

- facilité des souches à être manipulées au laboratoire;
- représentativité de la physiologie générale de l'organisme vis-à-vis du milieu à tester.

Ce dernier critère est en effet important si nous voulons que les résultats acquis soient comparables; en effet, par exemple, l'utilisation d'une espèce bleu-vert capable de fixer l'azote atmosphérique (Dugdale, 1959; Howard *et al.*, 1970) devient particulièrement problématique (Keenam et Auer, 1974) à l'intérieur d'expériences visant à suivre l'évolution du facteur chimique de contrôle de la production potentielle. A cet effet, l'algue verte *Selenastrum capricornutum* se révèle un organisme plus adéquat comme organisme test (Walmsley et Toerien, 1975).

Parmi les algues, *Selenastrum* est présentement le genre le plus couramment utilisé lors de bioessais sur les eaux douces (EPA, 1971a; Toerien et Steyn, 1973; Denison, 1974; Walmsley et Toerien, 1975). Signalons que cette algue a aussi été sélectionnée par le "Joint Industry/Government Task Force", aux Etats-Unis (EPA, 1970), à titre d'organisme standard pour des bioessais.

Les principales caractéristiques qui favorisent l'utilisation de cette espèce ont été résumées par différents auteurs (Skullberg, 1964; 1968; Condit, 1972; Reynolds *et al.*, 1975); celles-ci apparaissent au tableau 4.

Signification vis-à-vis le milieu naturel

La signification de la mesure de PF face au milieu naturel a fait partie des préoccupations à moyen terme du comité *ad hoc* de 1968. Weiss (1975) rapporte à cet effet que ce comité avait recommandé qu'à la phase de développement de la technique, suive une étape d'évaluation et d'interprétation de la mesure pour le milieu environnemental.

A travers les différentes définitions et applications que plusieurs auteurs ont donné au test de fertilité (tableaux 2 et 3), il est possible de voir se dessiner la relation de la mesure du PF vis-à-vis du milieu naturel. Selon nous, trois principaux types de travaux ont conduit à la connaissance de cette relation.

Les premiers concernent l'application du test à des produits d'usage domestique (Sturm et Payne, 1973; Payne, 1973; Mitchell et Buzzell, 1971¹). Les résultats obtenus sont discutés en fonction de considérations environnementales comme, par exemple, les effets de l'utilisation d'une substance donnée sur le milieu naturel (ex.: les détergents).

Les seconds travaux utilisent les mesures de PF pour établir des niveaux trophiques ou encore pour identifier le ou les nutriment(s) qui contrôle(nt) la production du milieu aquatique (Toerien et Steyn, 1973; Francisco et Weiss, 1973; Steyn *et al.*, 1974; Payne, 1975; Doemel et Brooks, 1975). Certains travaux ont, par exemple, été réalisés afin de suivre le niveau nutritionnel d'un réservoir pour en estimer par la suite le niveau trophique (Toerien et Steyn, 1973); d'autres ont établi une relation significative entre le niveau trophique de différents lacs et la mesure de PF (Chiaudani et Vighi, 1974; Miller *et al.*, 1974); enfin, une étude de Greene *et al.*

¹ Auteurs cités par Weiss, 1975.

(1975) associe les différentes mesures de PF obtenues pour un milieu lotique (rivière) aux différents niveaux d'enrichissement développés par Miller *et al.* (1974) sur des lacs.

La troisième catégorie de travaux concerne une préoccupation importante des différents utilisateurs des bioessais employant des algues; cette préoccupation a été résumée par la question suivante: "*comment ces tests biologiques effectués au laboratoire sur des eaux naturelles reflètent-ils les conditions trouvées dans l'environnement?*" (Greene, 1975b). Plusieurs chercheurs ont tenté de répondre à cette question en associant les résultats de PF à différents paramètres (biomasse et chlorophylle *a*) caractéristiques du phytoplancton indigène (Mahoney, 1973¹; Greene *et al.*, 1975b; 1976a; b): les résultats obtenus suggèrent une relation importante ($r = 0.95^2$; $r = 0.93^3$) entre les mesures effectuées au laboratoire (PF) et les mesures faites sur l'environnement (concentration d'algues indigènes et concentration de chlorophylle *a*). Dans ces travaux, les chercheurs ont établis des équations capables de définir les concentrations de phytoplancton et les concentrations de chlorophylle *a* à partir des mesures de PF (tableau 5).

Tous ces travaux suggèrent que la mesure de PF est non seulement représentative des constituants abiotiques du système mais aussi de ses constituants biotiques. Bien sûr, nous sommes d'avis que cette mesure ne peut déterminer les relations écologiques entre les différentes populations d'algues (Gerhold et Otto, 1976) du milieu naturel, mais il n'en reste pas moins qu'elle se révèle à la lumière de récents travaux un excellent outil capable de prévoir la production du phytoplancton indigène. A cet effet, ce type de bioessai, lorsqu'apparenté à des études axées sur la détermination de la productivité potentielle des eaux ou encore aux effets de biostimulation de certaines conditions, représente une approche raisonnable pour quantifier les

¹ Référence citée par Shiroyama *et al.*, 1976.

² Coefficient de corrélation PF vs biomasse d'algues indigènes.

³ Coefficient de corrélation PF vs concentration de chlorophylle.

taux et les niveaux d'enrichissement d'un système aquatique (Middlebrooks *et al.*, 1971).

2.4 Un aspect technique: la sensibilité

La revue de la littérature, effectuée pour les fins de ce travail, nous a permis de constater que la gamme des valeurs de PF obtenues est très étendue. Le tableau 6 nous présente à cet effet quelques-uns des résultats (valeurs minimales et maximales) obtenus lors d'études sur des bassins américains et québécois; notons que les valeurs détectées varient entre 0.02 mg d'algues par litre (Miller *et al.*, 1974) et 248 mg d'algues par litre (Katko, 1975). Dans l'étude de Miller *et al.* (1974), la gamme des valeurs de PF obtenues pour des lacs oligotrophes ou encore légèrement mésotrophes se situe entre 0.02 et 0.8 mg d'algues par litre (pour une seule campagne d'échantillonnage).

La sensibilité de la mesure peut être mise en évidence par des expériences capables de détecter des faibles concentrations de substances nutritives. Payne (1975) obtient, par exemple, des variations significatives de croissance d'algues avec des ajouts de 1 µg de P/l dans des échantillons d'eau de Split Rock Lake. Miller *et al.* (1974) prétendent que ce type de bioessai répond à des concentrations d'azote, de phosphore et d'autres éléments stimulateurs de croissance, inférieures aux concentrations normalement détectables par les analyses chimiques standards. Enfin, notons l'étude de Maloney et Miller (1975) dans laquelle ils ont appliqué la technique du PF à un lac ultra-oligotrophe (Waldo Lake) afin de déterminer l'effet du NTA¹ sur la production potentielle des eaux de ce lac.

Le test de fertilité posséderait ainsi la sensibilité requise pour en faire un outil indispensable pour l'étude des niveaux d'enrichissement en substances nutritives d'un milieu oligotrophe. Dans ce type de milieu, des techniques chimiques habituellement utilisées pour doser les concentrations de phosphore sont inadéquates; en effet, les résultats obtenus sont

¹ NTA = le sel trisodique de l'acide nitrilotriacétique: utilisé en tant que substitut des poly-phosphates dans les détergents.

habituellement inférieurs aux limites de détection de ces techniques (selon Payne, 1975, au laboratoire de Procter and Gamble, lors du dosage au molybdate, la limite de détection est de 2 µg P/l)¹.

1

Limite de détection, dosage au molybdate:

INRS-Eau : 2 µg P/l (ortho-P)
MRN : 6 µg P/l (ortho-P).

3. METHODOLOGIE

3.1 Echantillonnage

Telle que pratiquée durant l'année 1976, la responsabilité des différentes activités de terrain (prélèvements, conservation et acheminement des échantillons vers les laboratoires de l'INRS-Eau) incombait à la SEBJ-environnement.

Localisation

Pour l'année 1977, les stations échantillonnées régulièrement durant le projet de 1976 furent conservées; cependant, à cause des facilités d'accès propres à la station G2-130, celle-ci fut échantillonnée de préférence à G2-129 durant les mois d'hiver et de printemps. Deux types de stations ont été visitées régulièrement: les stations situées sur les tributaires de la rivière Desaulniers et celles localisées sur la rivière elle-même. La figure 1 situe les stations de ce sous-bassin compris à l'intérieur du bassin de la Grande rivière.

Prélèvements

Deux méthodes d'échantillonnage ont été utilisées lors des prélèvements. La première permettait d'obtenir un échantillon composite en intégrant la colonne d'eau jusqu'à une certaine profondeur (ex.: $\approx 0 - 1$ mètre); la seconde méthode consistait à prélever l'eau à une profondeur donnée. La profondeur sélectionnée était fonction de l'augmentation du niveau à l'intérieur du réservoir. Le tableau 7 identifie les techniques de prélèvement employées à chacune des stations ainsi que les profondeurs d'échantillonnage.

Le plan d'échantillonnage a été conçu de façon à conserver une fréquence variable qui était fonction des différentes saisons, telle que nous l'avions déjà établie en 1976. A cette fin, par exemple, la période susceptible

de voir apparaître les crues de printemps (mai) est particulièrement favorisée au point de vue fréquence (tableau 7); ainsi, alors que durant les mois d'été, les campagnes d'échantillonnage ont été fixées à deux par mois (1 par 2 semaines), au cours du mois de mai, le nombre de prélèvements s'est élevé à dix.

Les échantillons d'eau prélevés étaient disposés à l'intérieur de glacières, à environ 4°C. Celles-ci étaient acheminées le plus rapidement possible vers les laboratoires de l'INRS-Eau, à Québec.

3.2 Techniques d'analyses

Les différentes techniques utilisées lors de ce projet étaient toutes apparentées à des bioessais effectués à l'aide de l'algue *Selenastrum capricornutum*. Ces techniques ont été sélectionnées après l'analyse des résultats obtenus en 1976 pour répondre aux différents objectifs de l'étude.

Un schéma récapitulatif (tableau 8) identifie les différentes voies analytiques suivies par l'échantillon d'eau dès son arrivée au laboratoire de bioessai de l'INRS-Eau; de plus, les fréquences d'analyses déterminées par l'offre de service sont comparées aux fréquences effectivement réalisées.

Préparation des fioles d'incubation

Les différentes techniques d'analyses utilisées ici requièrent toutes une attention particulière au niveau de la propreté des contenants utilisés. Les différentes étapes de la procédure de lavage apparaissent au tableau 9; celles-ci sont habituellement employées par l'ensemble des auteurs qui utilisent le test.

Potentiel de fertilité

Afin d'être en mesure de comparer nos valeurs avec celles obtenues par d'autres auteurs et afin d'améliorer la sensibilité de la technique,

nous avons employé la technique décrite par APHA *et al.* (1975).

Les différentes étapes apparaissent au tableau 10. Mentionnons qu'essentiellement, la technique utilisée consiste à prendre un échantillon d'eau stérilisée (eau filtrée) et à y ensemer une souche d'algues (*Selenastrum capricornutum*: $\sim 1,000$ 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: 24 heures de photo-période (5,400 lux), $24 \pm 2^{\circ}\text{C}$. Les échantillons inoculés sont agités constamment et la population d'algues est mesurée à la fin de la période d'incubation (14 jours) à l'aide d'un compteur de particules (Coulter Counter Model TA, cellule de $70 \mu\text{m}$).

3.3 Transformation du nombre de cellules en biomasse

Comme nous venons de le mentionner, la mesure du potentiel de fertilité est faite à l'aide d'un compteur de particules: la valeur ainsi obtenue s'exprime en quantité de particules par millilitre. Cette valeur (nombre de cellules/ml) est par la suite transformée en biomasse (mg d'algues/litre) à l'aide d'une constante établie à chaque campagne de mesures. Celle-ci est calculée à partir d'une suite d'opérations qui consistent:

- 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.* (1975a):

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

où: 0.43 = quantité d'algues produites pour chaque μg de P;

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

c) à établir la constante:

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

3.4 Coefficient de variation

Afin de déterminer la précision de chaque 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 < 15%, la valeur du potentiel de fertilité est établie d'après la moyenne arithmétique des trois mesures. Pour un CV \geq 15%, une sélection de deux mesures est faite afin de ramener le CV à une valeur de < 15%; si, malgré cette opération, le CV reste \geq 15%, les trois mesures sont rejetées (APHA *et al.*, 1975). La norme de précision de \pm 15% a été établie à partir des résultats acquis au cours des années 1970 et 1971 par les chercheurs de l'EPA (EPA, 1971b).

Indice d'enrichissement

Les indices d'enrichissement (INRS-Eau, 1976) ont été définis à partir de la notion des indices de productivité développés par Miller *et al.*

(1974). Quatre niveaux d'enrichissement des eaux en substances nutritives sont caractérisés:

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

3.5 Facteur limitatif

La technique utilisée cette année est différente de celle employée en 1976. Alors que l'on utilisait jadis la technique des ajouts sélectifs (i.e. échantillon d'eau + un élément), nous procédons maintenant à des ajouts d'un milieu nutritif complet auquel nous enlevons un élément (ex.: échantillon d'eau + milieu de culture PAAP sans phosphore).

Cette technique a été utilisée entre autre par Berland *et al.* (1976). Dans notre cas, nous nous sommes restreints à trois types d'enrichissement:

1. échantillon d'eau + milieu PAAP¹ sans phosphore;
2. échantillon d'eau + milieu PAAP sans azote;
3. échantillon d'eau + milieu PAAP complet.

L'analyse des résultats obtenus est faite à l'aide des coefficients de stimulation; ces valeurs sont établies de la façon suivante:

$$PAAP-P = \frac{PF_{PAAP-P}}{PF} \quad \text{où } PAAP-P = \text{coefficient de stimulation de croissance obtenu avec un ajout du milieu PAAP sans phosphore}$$

¹ Dilution de 33% du milieu PAAP original (EPA, 1971a).

PF_{PAAP-P} = potentiel de fertilité de l'échantillon d'eau enrichi avec le milieu PAAP sans phosphore

PF = potentiel de fertilité de l'échantillon d'eau non-enrichi (témoin).

$$PAAP-N = \frac{PF_{PAAP-N}}{PF}$$

où PAAP-N = coefficient de stimulation de croissance obtenu avec un ajout du milieu PAAP sans azote

PF_{PAAP-N} = potentiel de fertilité de l'échantillon d'eau enrichi avec le milieu PAAP sans azote

$$PAAP = \frac{PF_{PAAP}}{PF}$$

où PAAP = coefficient de stimulation de croissance obtenu avec un ajout du milieu PAAP

PF_{PAAP} = potentiel de fertilité de l'échantillon d'eau enrichi avec le milieu PAAP.

Dosage biologique

Les techniques utilisées ici sont pour l'instant au stade du développement. Bien qu'elles soient basées sur l'application de relations déjà développées par d'autres auteurs (Miller *et al.*, 1974; 1975; Greene *et al.*, 1975a), il n'en reste pas moins qu'au niveau de la sensibilité, lorsqu'utilisées sur des eaux à faible concentration en substances nutritives, certains problèmes surgissent.

Deux méthodes ont été utilisées ici. Les étapes de la première apparaissent au tableau 11. Cette technique consiste à concentrer l'échantillon par lyophilisation et à le diluer par la suite de façon à obtenir des milieux représentant 5x et 10x la concentration naturelle initiale; cette

dilution est faite avec de l'eau ultra pure (procédé Millipore). Par la suite, ces milieux sont inoculés (*S. capricornutum*) et incubés durant 14 jours; la biomasse est alors déterminée et les concentrations de phosphore disponible sont calculées à partir de l'équation qui définit le PF en fonction des concentrations de phosphore lorsque ce dernier est limitatif (Greene *et al.*, 1975a).

La seconde technique a consisté à utiliser les valeurs de PF_{PAAP-N} et PF_{PAAP-P} . Ces deux valeurs sont représentatives des concentrations d'azote et de phosphore disponibles dans le milieu; en effet, la concentration d'algues dosées dans un échantillon d'eau enrichi avec le milieu PAAP-N représente une biomasse qui s'est développée jusqu'à épuisement des concentrations d'azote présent dans l'échantillon d'eau original; le même raisonnement s'applique à l'échantillon enrichi avec le milieu PAAP-P pour le dosage du phosphore. Les concentrations d'azote ou de phosphore sont calculées d'après les relations déjà établies entre PF et ces deux éléments (Greene *et al.*, 1975a).

Analyses spéciales

Afin de comparer la mesure du nombre de cellules établie à partir du Coulter Counter avec d'autres mesures relatives à la biomasse, la croissance de *Selenastrum capricornutum* est suivie à l'aide de trois paramètres:

- ATP → ATP - mètre
- nombre d'algues → Coulter Counter (TA)
- poids secs des algues → μ -balance (Mettler ME22)

Les techniques suivies pour le dosage de l'ATP ainsi que pour la détermination du poids sec sont décrites aux tableaux 12 et 13.

4. DISCUSSION DES RESULTATS

L'ensemble des valeurs de PF obtenues sont rassemblées à l'intérieur de l'annexe A (tableaux A-1 à A-9). Ces données ont servi à l'établissement des valeurs utilisées dans la composition des figures 2 à 9.

4.1 Limite de détection et précision

En 1976, il était impossible de mesurer des valeurs de PF inférieures à 0.1 mg d'algues par litre; la quantité de particules présentes dans l'échantillon d'eau avant l'inoculation ($\approx 20,000/\text{ml}$) masquait les concentrations d'algues inférieures à 0.1 mg/l. Cette année, une filtration sur Millipore 0.45 μ nous a permis de réduire la concentration de ces particules à 4,000/ml, ce qui nous a conduit à baisser la limite de détection de la technique à 0.02 mg d'algues par litre.

Nous avons établi cette limite en suivant les étapes suivantes:

1) détermination théorique du poids d'une cellule (INRS-Eau, 1977a)

- a) calcul de la biomasse de cellules produites par le milieu PAAP après 14 jours de croissance selon les conditions décrites au tableau 3.3:

$$186^1 \times 0.43^2 \approx 80 \text{ mg/l}$$

¹ concentration de phosphore dans le milieu PAAP ($\mu\text{g/l}$)

² facteur de conversion (Greene *et al.*, 1975b)

- b) nombre moyen de cellules produites à l'intérieur du milieu PAAP après 14 jours de croissance selon les conditions d'incubation décrites au tableau 3.3:

$$5 \times 10^9 \text{ cellules/l (EPA, 1971b)}$$

c) poids d'une cellule: $\frac{\text{biomasse}}{\text{nombre moyen de cellules}}$:

$$\frac{80}{5 \times 10^9} = 1.6 \times 10^{-8} \text{ mg}$$

2) détermination du nombre d'algues équivalant à un poids de 0.02 mg:

$\frac{0.02}{\text{poids d'une cellule en mg}}$:

$$\frac{0.02}{1.6 \times 10^{-8}} = 1.25 \times 10^6 \text{ algues}$$

3) particules présentes dans les échantillons d'eau avant l'incubation en 1977:

nombre enregistré/ml = $\frac{\text{particules présentes}}{\text{facteur de dilution}}$:

$$\frac{4,000}{40} = \boxed{100 \text{ (nombre enregistré)}^1}$$

¹ nombre enregistré directement par le compteur de particules

4) concentration de particules obtenues après l'incubation (algues + sédiments) pour un échantillon d'eau où la concentration d'algues serait égale à 0.02 mg/l:

par ml, on aura: $1250 + 4,000 = 5250$ particules

nombre enregistré par le compteur de particules:

$\frac{\text{particules présentes/ml}}{\text{facteur de dilution}}$

$$\frac{5250}{40} = \boxed{131 \text{ (nombre enregistré)}}$$

- 5) si nous considérons qu'aux valeurs des nombres enregistrés (131 et 100) la précision est de 8% (Sheldon et Parsons, 1967), il nous est possible de distinguer les deux valeurs (131 et 100)

$$(131^1 - 100^2) 40^3 \approx 1250 \text{ algues/ml}$$

- ¹ nombre enregistré dans l'échantillon après incubation (algues + sédiments)
² nombre enregistré dans l'échantillon avant inoculation
³ facteur de dilution

Soit 0.02 mg d'algues/l

La précision de la technique a aussi été améliorée en 1977; en effet, alors qu'en 1976, 20% des valeurs de PF présentaient un CV $\geq 15\%$ et conséquemment furent éliminées, en 1977, seulement 4% des valeurs étaient rejetées (tableau 14).

4.2 Niveaux d'enrichissement des eaux

Caractérisation

Les niveaux d'enrichissement des échantillons d'eau analysés ont été déterminés à l'aide des indices d'enrichissement (INRS-Eau, 1976); ceux-ci ont été développés à partir des indices de productivité déterminés par Miller *et al.* (1974) pour des lacs et appliquées en rivière par Greene *et al.* (1975a). Comparativement aux résultats mesurés en 1976, les valeurs de PF obtenues en 1977 sont caractérisées par des indices plus faibles (tableau 15); en effet, alors qu'en 1976, 45% des valeurs de PF s'associaient à des indices supérieurs à 2, en 1977, seulement 16% des valeurs correspondaient à l'indice 3 et 0% à l'indice 4.

Cette baisse du niveau d'enrichissement des échantillons d'eau pourrait être attribuable à une modification apportée en 1977 à la technique; celle-ci consistait en une filtration (0.45 μm) après stérilisation des échantillons. Pour tenter d'apporter une explication à cette diminution du PF, signalons que Lean (1973) a observé une absorption de phosphore sur des filtres de même type que ceux qui ont été utilisés ici¹; par contre, Roberts et Southall (1977) mentionnent qu'aucune différence significative au niveau des concentrations de $\text{PO}_4\text{-P}$ n'est observée entre des échantillons filtrés et non-filtrés (expérience réalisée sur des eaux oligotrophes et mésotrophes); quant à nous, les expériences effectuées sur des eaux filtrées et non filtrées (Tableau A-1) montrent clairement l'influence de la filtration sur la mesure de PF: une diminution significative est observée pour l'ensemble des échantillons filtrés (figure 2). Il serait intéressant de préciser le mode d'action de cet effet.

Il est avantageux pour nous d'utiliser la filtration; comme nous l'avons déjà mentionné précédemment, cette étape permet une amélioration de la limite de détection de la technique. De plus, afin d'être en mesure de comparer nos résultats avec ceux obtenus lors d'études relatives à la détermination des indices de productivité, il importe d'utiliser ce type de traitement.

Les valeurs de PF obtenues au cours de 1977 (tableaux A-2 et A-3) sont en général comparables à celles mesurées en milieu oligotrophe et mésotrophe (Miller *et al.*, 1974 et Greene *et al.*, 1975a); en effet, 84% des valeurs de PF obtenues sont caractérisées par les indices 1 et 2 (tableau 15). Signalons, de plus, que l'ensemble des valeurs (90%) sont inférieures à 1 mg/l; cette valeur est considérée par Katko (1975) comme étant le reflet d'un niveau d'enrichissement acceptable pour un lac. Enfin, même si nous considérons les valeurs de PF mesurées comme étant directement représentatives de la production maximum possible des algues du milieu, les biomasses d'algues obtenues au laboratoire restent en générales bien inférieures aux biomasses déjà mesurées dans des eaux où la production est très élevée; certains auteurs ont mesuré en de telle circonstance des concentra-

¹ Filtre Millipore HAWP 0.45 μm .

tions d'algues variant entre 5 et 20 mg/l (Azad *et al.*, 1970; Robarts et Southall, 1977).

Evolution des mesures

Pour les stations G2-106, 107, 108 et 117, l'analyse est faite à partir de valeurs provenant d'un échantillon composite. Pour les stations G2-123 et G2-129, la même technique est utilisée; toutefois, à partir du 27 juin, seules les valeurs des prélèvements effectués à 1 mètre ont été retenues pour des fins de comparaison avec les mesures obtenues au cours des mois précédents¹. A ces dernières stations, des variations de PF sont parfois observés à une même station sur des prélèvements échantillonnés à différentes profondeurs (figures 3 et 4). Il demeure difficile pour nous d'apporter une signification exacte à cette situation; nous pouvons peut-être parler d'une stratification conséquente à l'apparition de certains phénomènes physiques ou biologiques. De plus, certaines valeurs de PF mesurées sur des échantillons intégrés apparaissent nettement inférieures aux valeurs mesurées à des profondeurs particulières (figure 4: G2-123, 19-09 et 3-10; G2-129, 3-10 et 31-10); cette situation pourrait indiquer un problème en rapport avec la technique de prélèvement.

L'analyse de la variation des valeurs de PF au cours de l'année montre que ces dernières évoluent en général selon le même modèle (figures 5 et 6); en effet, aux différentes stations étudiées, les valeurs minimales se rencontrent à la fin des mois de janvier et mai alors que les valeurs les plus fortes sont observées au cours des mois de mars et avril. De plus, pour les stations situées sur la rivière (figure 6), on note une augmentation importante des valeurs à la fin du mois d'août.

Ces variations traduisent une évolution de la quantité (concentration) et de la qualité (nature) des substances nutritives présentes dans le milieu; ces variations ont lieu à des périodes qui correspondent à la présence

¹

Les équipes de prélèvement n'ont procédé à aucun prélèvement de type intégré au cours des mois de juin, juillet et août.

de facteurs physiques (étiage, crue, mise en eau du réservoir) ou encore à des facteurs biologiques (production, décomposition). Il est difficile d'établir une relation précise entre ces différents phénomènes; toutefois, l'analyse des résultats tend à en suggérer l'existence.

4.3 Facteurs physiques

L'augmentation des valeurs de PF à la fin de l'hiver (mois de mars et avril) est un phénomène qui est commun à l'ensemble des stations (figures 5 et 6) et traduit une augmentation des concentrations en substances nutritives dans les milieux; ce phénomène d'enrichissement observé durant la période hivernale a d'ailleurs déjà été observé par d'autres chercheurs (Menzel *et al.*, 1963; Okland, 1973, Maglianesi *et al.*, 1973; INRS-Eau, 1976). Dans le cas des eaux étudiées ici, cette augmentation est concomitante à une période d'étiage qui aurait pour conséquence d'entraîner un effet de concentration des substances libérées dans le milieu.

Les sources diffuses en éléments nutritifs seraient un autre facteur susceptible d'avoir une influence sur les mesures de PF; comme nous l'avons déjà mentionné (INRS-Eau, 1977b), elles se manifesteraient surtout durant la période des crues et entraîneraient une augmentation des substances nutritives dans les eaux; toutefois, cet enrichissement est beaucoup moins évident que celui noté durant l'étiage d'hiver car un effet de dilution dû à l'augmentation des débits s'exerce. L'examen des résultats fournis par la SEBJ concernant les débits montre que les augmentations de PF mesurés durant la première moitié du mois de mai ont lieu durant la période des crues de printemps; cette augmentation nous laisse soupçonner un effet des sources diffuses durant cette période.

L'influence d'un autre facteur physique est observé à la station G2-129; en effet, suite à la mise en eau du réservoir¹, on note une augmentation du potentiel de fertilité de cette station (figure 6: comparer l'évolution des

1

Date de la mise en eau: 26 mai 1977.

PF mesurés à G2-123 vs G2-129 après la mise en eau du réservoir). La figure 7 montre d'ailleurs qu'il existe une étroite relation entre l'augmentation du niveau des eaux et l'évolution des mesures de PF après le 26 mai si nous faisons exception de la mesure de PF du 22 août; de plus, signalons qu'à partir de la mise en eau du réservoir, l'augmentation rapide des PF calculés à partir des concentrations de phosphore inorganique (tableau 16: station G2-129 PF_p) traduit bien une augmentation du niveau d'enrichissement des eaux en phosphore après cette date.

4.4 Facteurs biologiques

Certains facteurs biologiques (production, décomposition) sont susceptibles de jouer un rôle sur la dynamique des substances nutritives présentes dans le milieu; ils interviendraient sur le potentiel de fertilité des eaux en modifiant les caractéristiques chimiques, physiques et physiologiques de ces substances (forme inorganique \longleftrightarrow forme organique).

Pour les stations G2-117 et G2-123, nous sommes portés à associer l'augmentation soudaine du PF des échantillons du 22 août (figure 6) à ces facteurs. Cette hausse de valeurs de PF, concomitante à l'augmentation des concentrations de substances organiques présentes dans le milieu à cette période, suggérerait une relation entre les deux phénomènes (tableau 16¹); d'ailleurs, une comparaison de la situation des valeurs de PF par rapport aux valeurs des PF_p et PF_{pT} montre une contribution des formes organiques au "pool" des substances biodisponibles (tableau 16: $PF > PF_p$ et $< PF_{pT}$). Ainsi, la fertilité potentielle des eaux à cette époque serait liée non seulement au phosphore inorganique mais aussi à une partie du phosphore organique.

¹

L'augmentation des concentrations des formes organiques est perçue ici à partir de l'augmentation des valeurs de PF_{pT} alors qu'à la même période les valeurs de PF_p restent voisines de la limite de détection (0.60 mg/l).

Cette augmentation soudaine des valeurs de PF est aussi observée à la station G2-129 (figure 6) et pourrait s'expliquer de la même façon. Le phénomène semble cependant masqué par l'action d'un facteur limitatif autre que le phosphore; en effet, après la date de mise en eau, l'ensemble des valeurs de PF restent en général inférieures aux valeurs de PF calculées à partir des concentrations de phosphore inorganique (PF_p) ou encore de phosphore total (PF_{pT}); il faut cependant noter qu'à la date du 22 août, bien que les valeurs de PF_p et P_{pT} restent stables par rapport à celles calculées depuis la mise en eau, la valeur de PF mesurée à cette date subit une nette amélioration par rapport aux précédentes. Cette stimulation soudaine pourrait aussi s'expliquer par la présence de substances organiques; elle est de plus observée à la même date que celle déjà mentionnée aux stations G2-117 et G2-123.

L'action de la matière organique (MO) sur la fertilité potentielle des eaux n'est pas un phénomène inconnu; Berland *et al.* (1974) ont en effet déjà observé que la MO permettait une meilleure croissance d'une algue test dans des échantillons d'eau pauvre en substance nutritive; ici, il est intéressant de noter que Schnitzer, en 1969, a démontré que les complexes formés par les substances humiques et certains métaux tels que le fer ou l'aluminium pouvaient se lier au phosphore (Jackson, 1975); rappelons aussi les études de Shapiro (1964) et celles de Erickson *et al.* (1970) sur l'effet de MO sur la disponibilité des éléments traces.

Une certaine controverse existe cependant au sujet des effets physiologiques de la MO sur les algues; en effet, alors que certains auteurs (Shapiro, 1957; Prakash, 1971) suggèrent la présence d'un effet de stimulation de la MO sur la croissance du phytoplancton, les travaux de Christman et Minear (1971) montrent une relation inverse entre les concentrations de substances humiques et la productivité. Nous avons discuté dans un autre rapport la question MO; certaines expériences réalisées sur les eaux de la rivière Desaulniers nous ont en effet permis de mettre en évidence certaines caractéristiques physiologiques de la matière organique qui sont résumées au tableau 17 (INRS-Eau, 1978).

4.5 Facteur limitatif

Durant l'année 1976, cet aspect avait été étudié à partir de la méthode décrite par l'EPA (1971b). Cette technique consistait à enrichir un échantillon d'eau soit d'azote, soit de phosphore; l'élément qui provoquait la meilleure stimulation de croissance de l'algue test identifiait le facteur limitatif. Durant l'année 1977, nous avons utilisé une méthode qui consistait à enrichir l'échantillon d'eau avec un milieu de culture complet auquel seul l'azote ou le phosphore était enlevé. Cette dernière technique, utilisée par plusieurs auteurs (Thomas *et al.*, 1974; Berland *et al.*, 1974; 1976; Robarts et Southall, 1977), a l'avantage de caractériser l'aspect limitatif de l'azote ou du phosphore, même si d'autres éléments étaient en concentration limitative avant l'ajout.

Avec cette dernière méthode, le caractère limitatif de l'azote ou du phosphore est mis en évidence en comparant les valeurs des coefficients de stimulation PAAP-N¹ et PAAP-P². Ainsi, dû à la composition chimique des enrichissements, l'azote sera en concentration limitative lorsque la valeur de PAAP-P montre une stimulation significative (> 1.3³) de la croissance; cette valeur doit de plus être plus grande que celle de PAAP-N. Par contre, une valeur de PAAP-N > 1.3 et > PAAP-P identifierait le caractère limitatif du phosphore.

Evolution des valeurs

L'évolution des valeurs PAAP-N et PAAP-P est présentée aux figures 8 et 9; ces valeurs ont été calculées à partir des mesures obtenues lors des expériences d'enrichissement (tableaux A-4 à A-9). L'absence de données ou encore les trop faibles valeurs des PF mesurés au cours du mois de janvier explique le manque de résultats pour cette période aux figures 8 et 9.

$$^1 \text{ PAAP-N} = \frac{\text{PF}_{\text{PAAP-N}}}{\text{PF}}$$

$$^2 \text{ PAAP-P} = \frac{\text{PF}_{\text{PAAP-P}}}{\text{PF}}$$

³ Berland *et al.* (1974) considèrent qu'une stimulation est significative lorsqu'un écart de 15% est observé entre l'échantillon enrichi et l'échantillon non enrichi.

L'analyse des valeurs obtenues montre qu'en général les eaux de cette rivière sont carencées en phosphore (figures 8 et 9: voir l'importance de la stimulation à l'ajout du milieu PAAP-N). Il faut cependant remarquer qu'à G2-129, dès la mise en eau du réservoir, cette caractéristique disparaît; en effet, à partir de ce moment, c'est l'azote qui souvent devient limitatif dans les eaux du réservoir (figure 9: PAAP-P > PAAP-N). Ce phénomène traduirait une augmentation du niveau d'enrichissement des eaux; plusieurs auteurs ont en effet mis en évidence que les milieux pauvres en éléments nutritifs étaient habituellement carencés en phosphore alors que l'azote était habituellement limitatif dans des milieux plus riches (Miller *et al.*, 1974; Greene *et al.*, 1975a; INRS-Eau, 1976; Robarts et Southall, 1977).

D'autres facteurs influencent aussi le comportement de l'évolution du caractère limitatif de l'azote et du phosphore dans les eaux. Les crues du printemps, par exemple, ont pour effet de favoriser les concentrations d'azote dans le milieu plutôt que celles du phosphore. Ce phénomène est ici observé durant le mois de mai et a pour conséquence de rendre plus évident le caractère limitatif du phosphore dans le milieu (figures 8 et 9). Les études de Glooschenko et Alvis (1973), de Bombowna et Burka (1974) et de l'INRS-Eau (1976) ont déjà mis en évidence une situation semblable.

La mise en eau du réservoir et les crues ne sont pas les seuls phénomènes susceptibles d'avoir un impact sur le rapport des concentrations d'azote et de phosphore présentes dans le milieu. L'évolution du caractère limitatif des concentrations de phosphore (figures 8 et 9: PAAP-N) au cours des mois d'hiver et d'été le montre bien. Durant ces mois, on constate que le phosphore est beaucoup plus limitatif en février qu'il ne l'est au cours des mois de mars et avril; l'enrichissement des eaux déjà observé durant ces deux derniers mois (figures 5 et 6) se ferait donc en favorisant les concentrations de phosphore, ce qui aurait pour conséquence de diminuer alors le caractère limitatif de cet élément.

Au cours des mois d'été, on assiste aussi à un changement du caractère limitatif du phosphore aux différentes stations. Sans considérer la station

G2-129 où nous avons déjà mis en évidence l'effet de la mise en eau, on constate d'importantes variations pour les valeurs de PAAP-N au cours des mois de juin, juillet et août. Afin de tenter d'apporter une explication à ce phénomène, signalons que Bombowna et Bucka (1974) ont observé dans des réservoirs, durant l'été, une diminution des concentrations d'azote sans toutefois assister à un changement des concentrations de phosphore; une telle situation aurait donc pour effet de débalancer le rapport azote phosphore présents dans le milieu en faveur du phosphore qui perdrait ainsi son caractère limitatif; ce phénomène a aussi été observé par Hannah (1972). On peut l'attribuer à l'activité des producteurs primaires et au recyclage plus rapide du phosphore par rapport à l'azote.

Autres facteurs de contrôle

Nous avons tenté de mettre en évidence la présence d'autres facteurs de contrôle de la fertilité potentielle des eaux à l'aide des expériences réalisées sur les échantillons d'eau enrichis avec le milieu PAAP. Les résultats obtenus (tableaux A-4 à A-9) montrent que l'ensemble des PF_{PAAP} sont habituellement inférieurs à la valeur espérée avec le milieu PAAP¹. Cette situation révèle la présence de certaines substances dans les eaux de la rivière Desaulniers qui agiraient sur la fertilité potentielle de cette rivière.

Un tel phénomène traduit la présence de substances qui agissent sur l'algue test soit en inhibant directement son métabolisme (toxiques), soit en rendant moins disponibles des substances essentielles à sa croissance. De tels effets au niveau de la disponibilité des substances présentes dans les ajouts ont d'ailleurs été observés par plusieurs chercheurs (Ryther et Dunstan, 1971; Oertli, 1972; Berland *et al.*, 1974; Thomas *et al.*, 1974).

Observations sur les échantillons prélevés à différentes profondeurs

Des expériences d'enrichissement ont aussi été réalisées sur des

¹

Les concentrations de phosphore présentes dans le milieu PAAP permettent le développement d'une biomasse d'algues d'environ 80 mg/l.

échantillons d'eau prélevés à différentes profondeurs. Les coefficients de stimulation obtenus montre que le phosphore est limitatif par rapport à l'azote à G2-123 (tableau 18: $PAAP-N \geq 1.3$ et $> PAAP-P$) et ceci quel que soit le type de prélèvements utilisé (intégré ou à une profondeur). Pour la station G2-129, tantôt c'est l'azote qui apparait en concentration limitative (tableau 19: $PAAP-P \geq 1.3$ et $> PAAP-N$), tantôt c'est le phosphore qui le devient; de plus, pour certains échantillons, l'azote et le phosphore seraient ensemble en concentration limitative (tableau 19: $PAAP-N = PAAP-P$ et $< PAAP$).

Nous observons donc pour les échantillons prélevés à différentes profondeurs des variations qui révèlent une composition en azote et phosphore qui évolue selon la profondeur de prélèvement. Pour les échantillons intégrés, les valeurs des coefficients de stimulation ne semblent pas toujours refléter la valeur moyenne prévue à partir des mesures faites aux différentes profondeurs.

4.6 Dosage biologique

L'utilisation des équations reliant les mesures de PF aux concentrations de phosphore (Miller *et al.*, 1974; Greene *et al.*, 1975a) pose certains problèmes; en effet, ces équations ont été définies en fonction d'un niveau de concentration de phosphore présent dans le milieu (> 10 ppb ou < 10 ppb). Afin de contourner ce problème, nous avons cru adéquat de concentrer (5x et 10x) les échantillons d'eau afin de ramener les concentrations à un seuil > 10 ppb. Cette méthode entraîne cependant des interférences qui diminuent considérablement la disponibilité des substances nutritives; il nous a en effet été impossible d'observer une croissance de l'algue test dans les échantillons d'eau concentrés 5 fois et 10 fois. Il se peut que cet effet soit lié à des pertes de phosphore soluble lors de l'étape de lyophilisation.

Par contre à l'aide d'une autre méthode, nous avons pu évaluer la quantité d'azote disponible dans des échantillons enrichis du milieu PAAP

sans ajout d'azote (milieu PAAP-N). Les résultats sont obtenus en appliquant la relation décrite par Miller *et al.* (1974) et Greene *et al.* (1975a) pour le calcul de la valeur de PF^1 . Les valeurs obtenues semblent réalistes: dans l'ensemble, elles sont situées à l'intérieur des limites déterminées par les concentrations d'azote inorganique et d'azote total dosé à l'aide d'une technique chimique² (tableaux 20 et 21).

Analyses spéciales

Ces analyses ont servi à suivre la croissance d'une culture d'algue à partir de trois types de mesures:

- détermination de la concentration d'ATP;
- dénombrement cellulaire;
- μ -balance.

Des échantillons d'eau en provenance des stations G2-108 et G2-129 ont servi de milieux de culture. Trois prélèvements ont servi aux fins de cette expérience:

- 15 août;
- 19 septembre;
- 31 octobre.

Les mesures ont été faites après 1, 2, 3, 4, 5, 8, 11, 15, 18 et 22 jours de croissance. Les résultats sont présentés à la figure 10.

Les courbes de croissance obtenues à partir des valeurs des différentes

¹ $PF = [N_{Ti}] \times 38$

où $[N_{Ti}]$ = concentration d'azote total inorganique (mg N/l)

38 = constante

² Système "Technicon", MRN.

mesures présentent en général la même configuration. Il faut signaler que, parfois, des différences appréciables sont observées entre les mesures de biomasse faite au Coulter et celles obtenues à partir de la μ -balance. La constante de transformation du nombre de cellules en unité de biomasse pourrait être responsable de cette situation; en effet, cette constante, calculée à partir du rapport d'une biomasse théorique et d'un nombre de cellules mesurées dans un milieu de culture témoin (voir section 3.3), peut s'avérer inexacte. Des expériences présentement en cours, dont les résultats seront discutés à l'intérieur du rapport couvrant les activités de 1978, semblent confirmer cette hypothèse. De plus, il n'est pas exclu que dans certains cas les mesures faites au Coulter puissent conduire à une mauvaise estimation de la biomasse. Il faut cependant ajouter que cette situation serait assez rare; en effet, les concentrations d'azote biodisponible calculé à partir des valeurs de PF obtenue à l'aide du Coulter sont adéquates; elles se situent en général entre les limites permises par les concentrations d'azote inorganique et d'azote total (tableau 20).

5. CONCLUSION

Tel que nous l'avions recommandé dans un précédent rapport (INRS-Eau, 1977a), nous avons, au cours de l'année 1977, amélioré la sensibilité et la précision de la technique. La sensibilité de l'analyse nous permet maintenant de détecter des concentrations d'algues égales à 0.02 mg/l. La précision se situe autour de celle prescrite par l'EPA (1971a): les replicas présentent en général des CV < 15%.

Les résultats de PF obtenus lors des étiages d'hiver, des crues du printemps ou encore de la mise en eau nous assurent de la pertinence de la technique pour suivre l'évolution du niveau d'enrichissement des eaux lors de ces événements. L'analyse des résultats relatifs aux expériences d'enrichissement réalisés avec le milieu PAAP modifié a mis en évidence les changements dans la composition qualitative des eaux durant ces périodes. Il semblerait, toutefois, que les substances inorganiques ne soient pas les seules responsables de l'évolution de la fertilité potentielle des eaux; en effet, les résultats obtenus avec la matière organique extraite des eaux de la rivière Desaulniers montrent que celle-ci est susceptible de jouer un rôle déterminant sur la fertilité de ces eaux à certains moments.

Tous ces éléments indiquent l'intérêt que peut avoir la mesure de PF à l'intérieur d'un programme de monitoring visant à suivre l'évolution de la qualité des eaux d'un réservoir. Il faut cependant signaler qu'un tel paramètre (PF) susciterait un intérêt encore plus vif s'il pouvait être considéré comme étant représentatif des éléments biotiques du système étudié. Très peu d'expériences ont été réalisées à cette fin durant la dernière année; nous avons toutefois tenté de voir si cette relation pouvait s'appliquer ici en utilisant l'équation de Greene *et al.* (1975b) pour calculer les concentrations de chlorophylle a ; celles-ci ont été par la suite comparées aux concentrations effectivement mesurées dans le milieu.

L'analyse des résultats obtenus montre qu'en général les concentrations calculées ($\text{Chloro}_{\text{PF}}$) et les concentrations mesurées (Chloro)

sont du même ordre de grandeur (tableau 22); cette situation nous permet de soupçonner que la relation déjà décrite par Greene *et al.* (1975b; 1976a; b) peut ici s'appliquer. Il nous faut cependant être prudent car les résultats que nous comparons proviennent de valeurs obtenues sur des échantillons prélevés à des dates différentes. L'existence d'une telle relation devient donc particulièrement intéressante puisqu'elle pourrait nous permettre d'évaluer la biomasse du phytoplancton du milieu à partir de la mesure du PF.

Une fréquence de prélèvement capable (tableau 23) de bien préciser l'enrichissement du réservoir à différentes périodes, ainsi qu'une analyse plus poussée de l'effet physiologique de la matière organique sur la fertilité potentielle des eaux, sont des facteurs importants qui contribueront à définir la relation $PF \approx$ production primaire. Trop de chercheurs ont en effet tendance à attribuer aux substances inorganiques l'entière responsabilité des niveaux de production observés; à cet effet, bien que la signification nutritionnelle des molécules organiques dans les eaux ait déjà été considérée (Vallentyne, 1957; Shapiro, 1964; Erickson *et al.*, 1970; Middlebrooks, 1971; Berland *et al.*, 1974; Jackson, 1975), une tendance actuelle de la recherche semble persister à associer la production primaire uniquement aux substances inorganiques (Moore et McLarty, 1975). Les valeurs de PF obtenues avec les expériences d'enrichissement des échantillons à l'aide de différentes concentrations de matière organique provenant du milieu montrent bien la grande sensibilité des eaux de cette rivière à des substances de cette nature (INRS-Eau, 1978).

D'autre part, les expériences d'enrichissement ont contribué à mettre en évidence l'effet de facteurs environnementaux sur la composition chimique des eaux de la rivière. Ici encore, il nous faut conserver une fréquence d'analyse adéquate si nous voulons bien mettre en évidence ces facteurs; la période des crues du printemps nous apparaît pour l'instant particulièrement importante si nous voulons être en mesure de prédire les niveaux de production dans le réservoir; d'ailleurs, certains auteurs utilisent durant ces événements différents paramètres tels les coefficients de stimulation

au ajout de phosphore ou encore les concentrations calculées de phosphore total pour prédire le niveau trophique des lacs (Chiaudani et Vighi, 1974; Dillon et Rigler, 1975).

La connaissance de l'évolution de la composition qualitative des eaux du réservoir à l'aide du test de fertilité peut aussi nous renseigner sur l'évolution des différentes populations de phytoplancton dans ces eaux. La proportion relative des différents éléments à l'intérieur d'un milieu contribuerait, selon certains auteurs, à exercer un mécanisme de sélection; les travaux de Menzel *et al.* (1963) et Jacques *et al.* (1973) suggèreraient en effet la présence d'un tel phénomène: l'environnement chimique serait en partie responsable de la distribution et des successions saisonnières du phytoplancton.

Il devient de plus en plus évident que le test de fertilité (mesure du potentiel ou encore détermination des coefficients de stimulation) constitue un outil capable de nous renseigner sur l'évolution de certains phénomènes biotiques. La sensibilité, la précision et la signification de la mesure vis-à-vis du milieu en font un instrument adéquat au bon fonctionnement d'un réseau de monitoring de la qualité de l'eau.

TABLEAU 1: Description des objectifs poursuivis en 1977

Techniques

- Amélioration de la limite de sensibilité de la technique: capacité de détecter des concentrations d'algues de l'ordre de 0.02 mg / litre.
- Amélioration de la précision de la technique: obtenir pour les répliques, des coefficients de variation égaux ou inférieurs à 15%.

Compréhension des phénomènes

- Mettre en évidence l'impact de la mise en eau du réservoir sur le potentiel de production primaire des eaux.
- Tenter de percevoir la signification biologique du paramètre.

TABLEAU 2: Revue de quelques définitions et applications générales du test de fertilité.

- "Analyse physiologique" d'un échantillon d'eau;	Schreiber, 1927 (eau de mer); Strom, 1933 (eau douce);
- Mesure de l'intégration des effets combinés de la solubilité d'un ion, de la force ionique et de la disponibilité de l'ion pour l'organisme test;	Greene, 1976b;
- Mesure de la capacité d'une eau à supporter la croissance d'un organisme autotrophe témoin;	INRS-Eau, 1977a (Chapitre 7); Thomas, 1975; Berland, 1976;
- Mesure de la réponse d'une algue test aux conditions d'un milieu expérimental contrôlé;	Soniassy, 1974;
- Méthode biotique pour mesurer un composant abiotique du milieu;	INRS-Eau, 1977a (Chapitre 8);
- Outil capable de définir et d'apporter une compréhension aux problèmes de gestion de la qualité de l'eau.	Greene, 1976a;

TABLEAU 3: Revue de quelques définitions et applications particulières du test de fertilité: paramètre de caractérisation.

<i>Un paramètre de caractérisation</i>	
<i>des composantes abiotiques et de leurs effets sur les composantes biotiques en:</i>	Toerien et Steyn, 1973 (réservoirs); Bombowna et Bucka, 1972 (rivières); Miller <i>et al.</i> , 1974 (lacs); Greene <i>et al.</i> , 1975a (rivières); Potash, 1956; Denison, 1974;
- caractérisant le niveau nutritionnel et le niveau trophique d'une eau;	EPA, 1970, 1971 a, b.
- déterminant la disponibilité biologique des éléments nutritifs;	
- déterminant la sensibilité à l'enrichissement d'une eau et en évaluant son potentiel nutritionnel pour les algues;	
- caractérisant la nature des substances (auxiniques ou toxiques) ajoutées à une eau;	
- nous renseignant sur le potentiel de production des eaux:	
- en déterminant les concentrations d'azote et de phosphore assimilables;	Cullimore et McCann, 1972; Bombowna et Bucka, 1972;
- en donnant une réponse biologique qui correspond à l'interaction de l'ensemble des substances présentes (nutritives, toxiques: organiques, inorganiques) sur la croissance d'une algue;	
- identifiant les effets de différents types de toxiques sur la production primaire du milieu;	Johnson <i>et al.</i> , 1970;
- identifiant les effets des nutriments et des toxiques sur les producteurs primaires de l'environnement aquatique;	Maloney et Miller, 1975; Klotz <i>et al.</i> , 1975;
- prévoyant efficacement le potentiel de production primaire apporté par différents effluents d'eaux usées aux lacs et rivières tout en prédisant le facteur nutritionnel contrôlant la production de ces eaux;	Shiroyama <i>et al.</i> , 1976; Miller et Maloney, 1971; Greene <i>et al.</i> , 1975 a; Maloney <i>et al.</i> , 1972; Miller <i>et al.</i> , 1974;
<i>des composantes biotiques en:</i>	
- déterminant la production d'algues du milieu lorsqu'aucun autre facteur que les substances nutritives n'en limite la production;	Chiaudani et Vighi, 1974;
- mesurant la production du milieu (relation avec la biomasse du phytoplancton indigène ou les concentrations de chlorophylle)	Shiroyama <i>et al.</i> , 1976; Mahoney, 1973; Greene <i>et al.</i> , 1975 b, 1976 a, b.

TABLEAU 4: Principales caractéristiques des cultures de l'espèce
Selenastrum capricornutum

- Les manipulations relatives à la conservation et à l'entretien des cultures sont faciles;
- Les changements morphologiques des cellules sont faibles durant la croissance;
- Ces organismes sont des unicellulaires; les individus d'une culture peuvent être dénombrés à l'aide d'un compteur électronique de particules;
- Les cellules demeurent en suspension sans s'agglomérer; les cultures demandent peu d'agitation;
- Ces organismes sont des photo-autotrophes;
- Dans le milieu naturel, ces organismes se retrouvent dans des eaux oligotrophes et dans des eaux eutrophes.

TABLEAU 5: Relations mathématiques établies entre la mesure de PF et certains paramètres reliés au phytoplancton indigène*

phytoplancton indigène	= 0.94 PF + 0.11	Greene <i>et al.</i> , 1975 b
chlorophylle a	= 1.54 PF + 1.96	
phytoplancton indigène	= 1.07 PF - 0.04	Greene <i>et al.</i> , 1976 a, b
chlorophylle a	= 1.41 PF + 1.95	

* Observations faites sur les eaux du lac Long, Washington

TABLEAU 6: Liste des valeurs minimales et maximales de PF obtenues pour différents bassins versants

<u>Etats-Unis</u>	<u>Valeur minimale</u> (mg d'algues/l)	<u>Valeur maximale</u> (mg d'algues/l)	Référence
<u>Eaux de surface de la Caroline du Nord</u> (40 stations)	0.1	53.6	Weiss, 1975
<u>Lacs et réservoirs de 10 états du nord-est</u> (206 lacs)	0.1	243.0	Katko, 1975
<u>Rivières du bassin de la rivière Snake</u> (18 affluents)	0.04	23.06	Greene <i>et al.</i> , 1975a
<u>Lacs de quatre grandes régions (Nord-ouest, Sud-ouest, Centre-ouest et du Sud-est)</u> (49 lacs)	0.02	18.70	Miller <i>et al.</i> , 1974
<u>Québec</u>			
<u>Bassin de la rivière Yamaska</u> (19 stations)	0.3	139	INRS-Eau, 1976
<u>Bassin de la rivière St-François</u> (17 stations)	0.2	72	INRS-Eau, 1976
<u>Tributaires du Lac Saint-Jean</u> (17 rivières)	0.1	37.0	Couture, 1977
<u>Bassin du lac Matamec</u> Lac: 14 stations Rivière: 5 stations	<0.1 <0.1	4.8 4.5	Couture, 1976

TABLEAU 7: Types de prélèvement utilisés aux différentes stations

STATIONS DATES	STATIONS					
	G2-106	G2-107	G2-108	G2-117	G2-123	G2-129
1976						
16-11	I*	I	I	I	I	I ¹³⁰
29-11	I	I	I	I	I	I ¹³⁰
13-12	I	I	I	I	I	I ¹³⁰
1977						
26-01		I	I	I	I	I ¹³⁰
22-02	I	I	I	I	I	I ¹³⁰
14-03	I	I	I	I	I	I ¹³⁰
12-04	I	I	I	I	I	I ¹³⁰
09-05	I	I	I	I	I	I ¹³⁰
13-05	I	I	I	I	I	I ¹³⁰
16-05	I	I	I	I	I	I ¹³⁰
19-05	I	I	I	I	I	I
23-05	I	I	I	I	I	I
26-05	I	I	I	I	I	I
30-05	I	I	I	I	I	I
06-06	I	I	I	I	3	7
13-06	I	I	I	I	4	7
27-06	I	I	I	I	1; 3	1; 3; 6
11-07	I	I	I	I	1; 3	1; 3; 6
25-07	I	I	I	I	1; 3	1; 3; 6
15-08	I	I	I	I	1; 3	1; 3; 6
22-08	I	I	I	I	1; 3	1; 3; 6
05-09	I	I	I	I	1; 3	1; 3; 6
19-09	I	I	I	I	I(0-3); 1; 3	I(0-6); 1; 3; 6
03-10	I	I	I	I	I(0-4); 1; 4	I(0-3); 1; 6; 8
17-10	I	I	I	I	I(0-4); 1; 4	I(0-9); 1; 6; 9
31-10	I	I	I	I	I(0-6); 1; 6	I(0-9); 1; 9;

* I: échantillon d'eau intégré (composite de la colonne d'eau, surface + fond)

Les chiffres arabes indiquent la profondeur (en mètres) de prélèvement

I¹³⁰: durant la période des glaces les équipes de prélèvement échantillonnaient la station G2-130 à la place de G2-129

TABLEAU 8: Identification des différentes voies analytiques: nombre d'analyses prévues vs nombre d'analyses réalisées

	Echantillon d'eau stérilisé (filtré 0.45 µ)										Echantillon d'eau naturel
	Potentiel de fertilité		Identification du facteur de contrôle			Dosage biologique du phosphore		Analyses spéciales			Matière organique
	x	y	PAAP-N ¹	PAAP-P ²	PAAP ³			PF ⁴	ATP ⁵	Poids ⁶	
1976											
NOVEMBRE	36	<u>36</u>	36 <u>36</u>	36 <u>36</u>	36 <u>36</u>						
DECEMBRE	18	<u>18</u>	18 <u>18</u>	18 <u>18</u>	18 <u>18</u>						
1977											
JANVIER	18	<u>15</u>	18 <u>15</u>	18 <u>15</u>	18 <u>15</u>						
FEVRIER	18	<u>18</u>	18 <u>18</u>	18 <u>13</u>	18 <u>18</u>						
MARS	18	<u>18</u>	13 <u>18</u>	18 <u>18</u>	18 <u>18</u>						
AVRIL	18	<u>18</u>	18 <u>18</u>	18 <u>18</u>	18 <u>18</u>						
MAI	180	<u>126</u>	180 <u>126</u>	180 <u>126</u>	180 <u>126</u>	36	<u>12</u>				
JUIN	36	<u>63</u>	36 <u>63</u>	36 <u>63</u>	36 <u>63</u>	36	<u>30</u>				
JUILLET	36	<u>54</u>	36 <u>54</u>	36 <u>54</u>	36 <u>54</u>	18	<u>24</u>				
AOUT	36	<u>54</u>	36 <u>54</u>	36 <u>54</u>	36 <u>54</u>	18	<u>24</u>	60 <u>60</u>	60 <u>20</u>	60 <u>20</u>	
SEPTEMBRE	36	<u>57</u>	36 <u>57</u>	36 <u>57</u>	36 <u>57</u>	18	<u>12</u>	60 <u>60</u>	60 <u>20</u>	60 <u>20</u>	90 <u>90</u>
OCTOBRE	72	<u>96</u>	72 <u>96</u>	72 <u>96</u>	72 <u>96</u>	18	<u>12</u>	60 <u>60</u>	60 <u>20</u>	60 <u>20</u>	
NOVEMBRE *	18	<u>0</u>	18 <u>0</u>	18 <u>0</u>	18 <u>0</u>	18	-				
DECEMBRE *	18	<u>24</u>	18 <u>24</u>	18 <u>24</u>	18 <u>24</u>	18	<u>18</u>				
TOTAL	558	<u>597</u>	558 <u>597</u>	558 <u>597</u>	558 <u>597</u>	180	<u>132</u>	180 <u>180</u>	180 <u>60</u>	180 <u>60</u>	90 <u>90</u>

TOTAL PREVU : 3042
TOTAL REALISE : 2910

x = nombre d'analyses prévues
y = nombre d'analyses réalisées

¹ PAAP-N : échantillon d'eau enrichi à l'aide du milieu de culture PAAP sans azote

² PAAP-P : échantillon d'eau enrichi à l'aide du milieu de culture PAAP sans phosphore

³ PAAP : échantillon d'eau enrichi à l'aide du milieu de culture PAAP

⁴ Mesure de la biomasse à l'aide du Coulter (potentiel de fertilité)

⁵ Mesure de la biomasse à l'aide de l'ATP

⁶ Mesure de la biomasse à l'aide de la micro-balance

* L'analyse de ces résultats est prévue pour 1978

TABLEAU 9: Procédé de nettoyage de la verrerie

Les différents contenants utilisés sont soumis aux étapes suivantes:

- 1) trempage 30 min.
 - dans solution de Decon'75*, 10% bouillant
- 2) brossage
- 3) cycles de lavage:
 - pré-rinçage (eau du robinet)
 - lavage (eau du robinet)
 - rinçage (eau du robinet)
 - rinçage (eau déminéralisée)
- 4) rinçage à l'acide:
 - HCl 10%
 - agitation
 - trempage 30 minutes
- 5) rinçage consécutif à l'eau déminéralisée
(7 fois)
- 6) séchage (100⁰C; 30 minutes)

*

L'étude de Bradshaw (1970) a établi l'efficacité de cet agent tensio-actif.

TABLEAU 10: SCHEMA DES DIFFERENTES ETAPES SUIVIES LORS DE LA REALISATION DU TEST DE FERTILITE

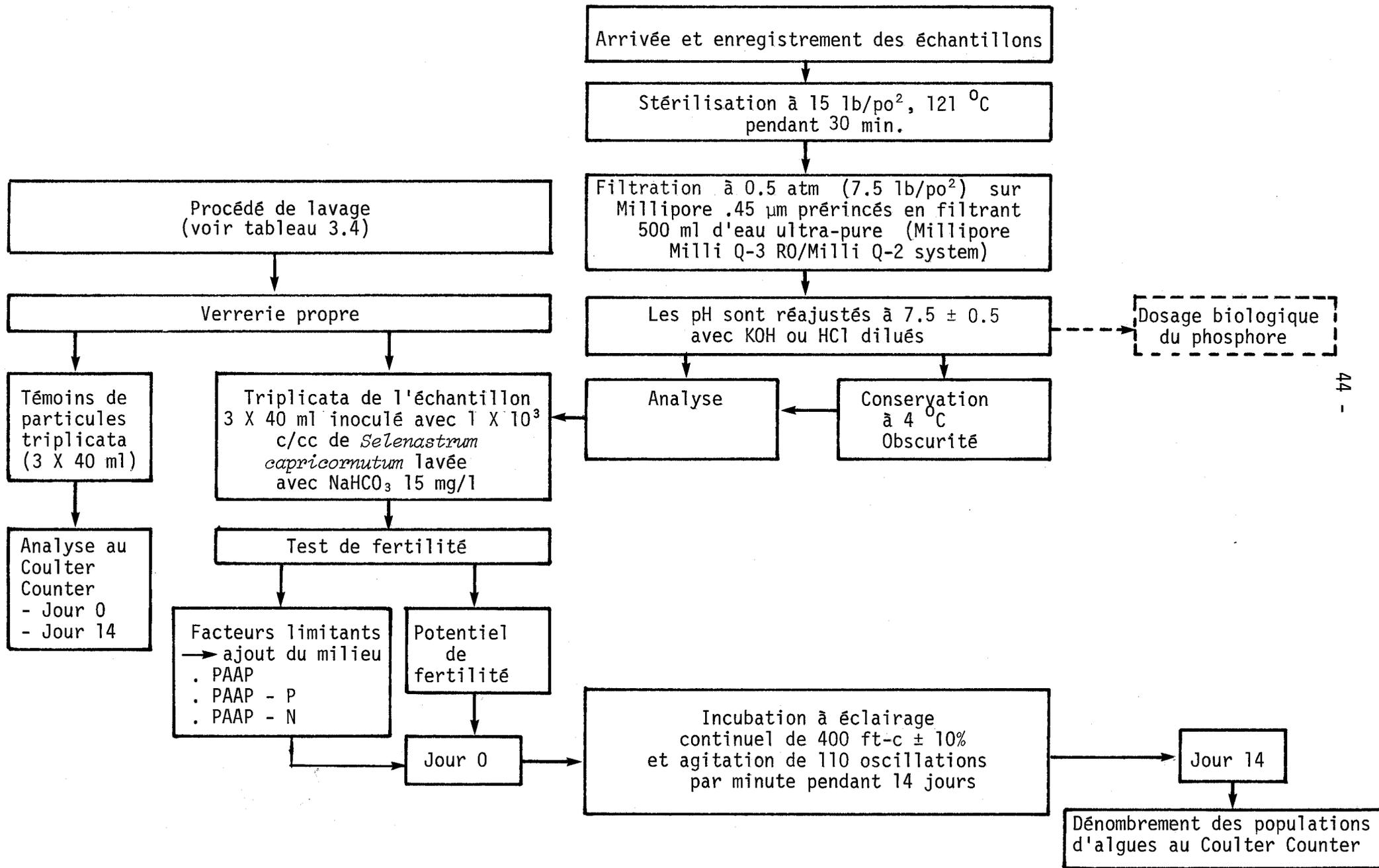


TABLEAU 11: SCHEMA DES DIFFERENTES ETAPES SUIVIES POUR LE DOSAGE BIOLOGIQUE DU PHOSPHORE

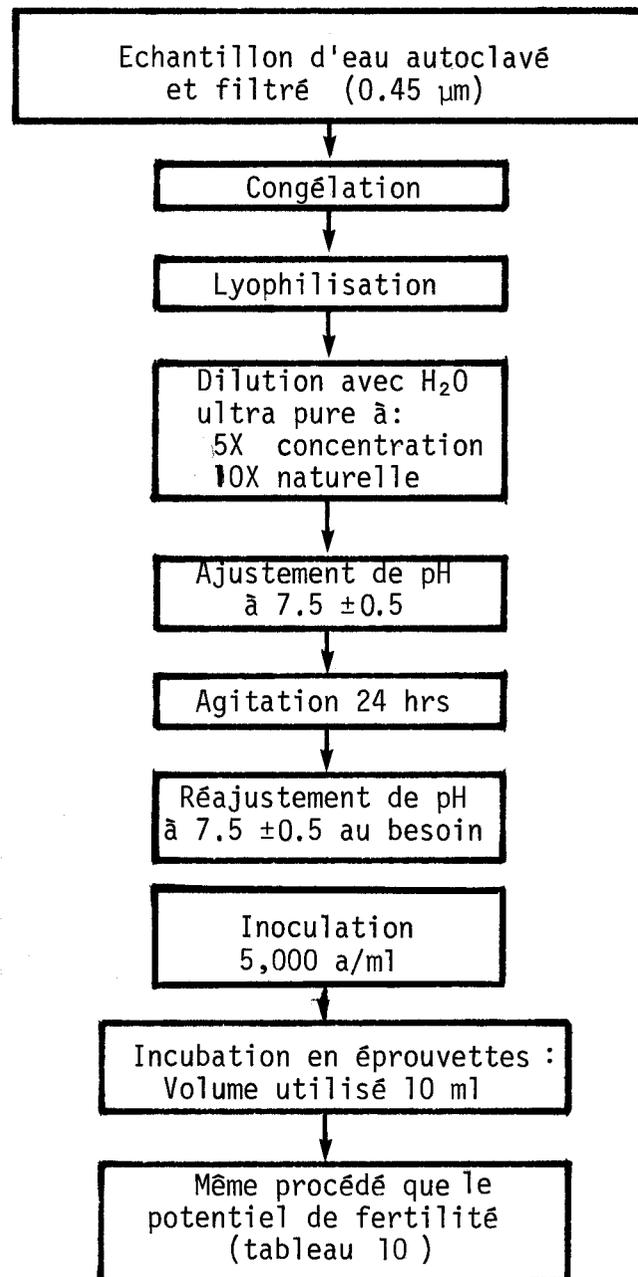


TABLEAU 12: DESCRIPTION DES ETAPES SUIVIES LORS DU DOSAGE DE L'ATP

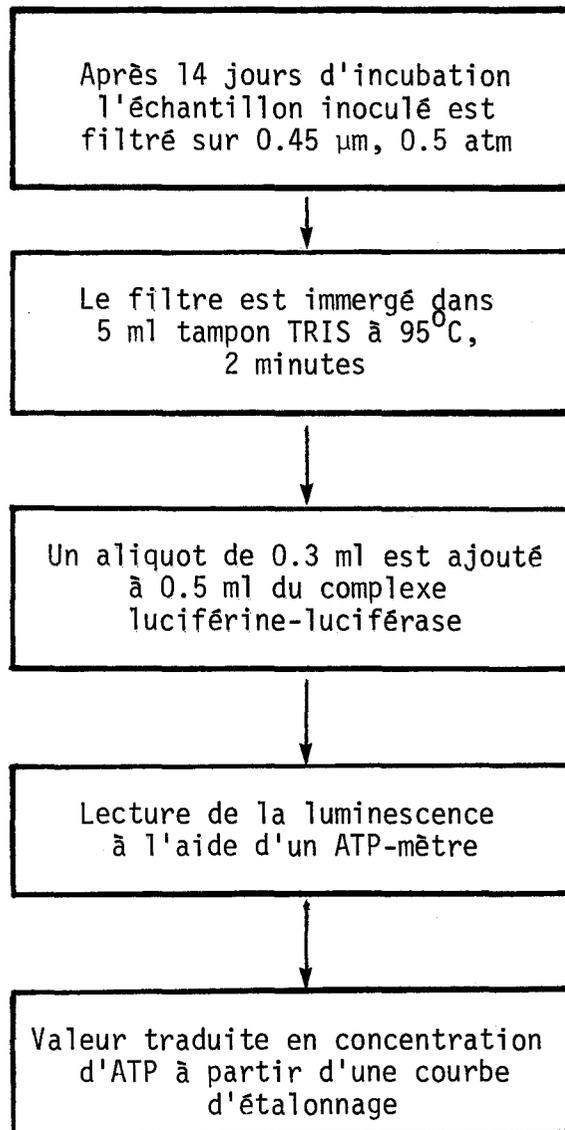


TABLEAU 13: DESCRIPTION DES ETAPES SUIVIES LORS DE LA DETERMINATION DE POIDS SEC DES CULTURES D'ALGUES

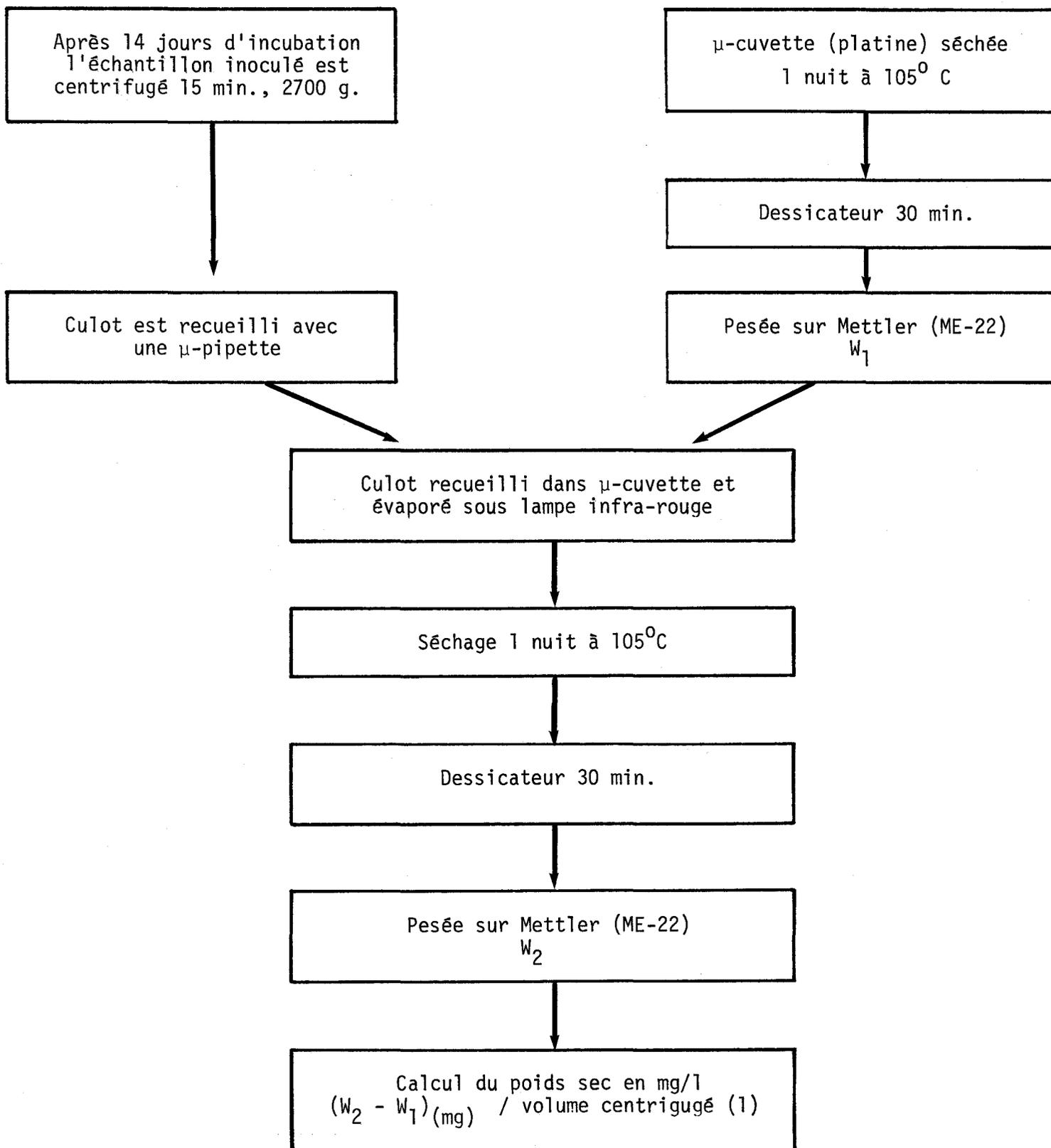


TABLEAU 14: Comparaison de la qualité des analyses de PF effectuées en 1976 et 1977: limite de détection et précision de la technique.

	1976	1977
<i>Limite de détection</i> (mg d'algues/l)	0.1 (INRS-Eau, 1977b)	0.02
<i>Précision</i>		
A - Nombre de mesures de PF effectuées	92	191
B - Nombre de mesures de PF où CV \geq 15%	18	7
% des valeurs rejetées (B/A)	\approx 20%*	4%**

* Voir INRS-Eau (1977b): tableaux 5.1 et 5.2

** Voir annexe tableaux A-1 et A-2

TABLEAU 15: Fréquence (%) des indices d'enrichissement observés en 1976 et 1977

<i>Indices d'enrichissement</i>	1976 ¹	1977 ²
1 (PF ≤ 0.1 mg/l)	29%	9%
2 (PF 0.1 - 0.8)	26%	75%
3 (PF 0.8 - 6)	40%	16%
4 (PF > 6)	5%	0
<i>% des valeurs du PF ≤ 1 mg/l</i>	65%	90%

¹ PF mesuré sur des échantillons autoclavés mais non-filtrés (INRS-Eau, 1977b)

² PF mesuré sur des échantillons autoclavés et filtrés (Annexe, tableau A-2 et A-3)

TABLEAU 16: Potentiel de fertilité calculé et potentiel de fertilité mesuré

STATIONS DATES D'ECHANTILLONNAGE	G2-117			G2-123			G2-129		
	PF _P ¹	PF ²	PF _{PT} ³	PF _P	PF	PF _{PT}	PF _P	PF	PF _{PT}
16-11-76	0.70	0.66	0.70	0.70	0.16	0.70	0.70	0.14	0.70
29-11-76	0.70	1.15	0.70	0.70	0.09	0.70	0.70	0.11	0.70
13-12-76	5.59	0.44	8.60	0.70	0.69	0.70	1.00	1.19	1.00
26-01-77	<0.60	<0.02	0.90	<0.60	<0.02	5.16	<0.60	0.14	<0.60
22-02-77		0.18			0.22			0.17	
14-03-77	<0.60	0.92	<0.60	0.60	3.00	0.90	0.90	1.44	5.16
12-04-77	<0.60	0.78	<0.60	<0.60	1.21	0.90	<0.60	0.69	0.60
09-05-77	<0.60	1.61	6.45	<0.60	0.61	0.60	<0.60	1.20	0.60
16-05-77	<0.60	1.81	0.60	<0.60	0.26	<0.60	0.60	0.17	0.90
23-05-77	<0.60	0.28	5.16	<0.60	0.23	0.60	<0.60	0.28	0.60
26-05-77	0.60	0.08	0.90	0.60		0.60	<0.60	0.11	0.60
30-05-77	<0.60	0.10	5.16	<0.60	0.24	<0.60	11.61	0.39	12.90
02-06-77	0.60		0.90				7.74		9.03
06-06-77	<0.60	0.37	5.16	<0.60	0.31		0.90	0.47	6.45
13-06-77	<0.60	0.17	<0.60	<0.60	0.20	<0.60	5.16	0.33	10.32
27-06-77	<0.60	0.62	0.60	<0.60	0.28	0.60	<0.60	0.65	11.61
11-07-77	<0.60	0.23	0.90	<0.60	0.32	0.60	6.45	0.69	19.35
25-07-77	0.60	0.35	5.16	0.60	0.26	5.16	5.16	0.59	19.35
22-08-77	<0.60	4.96	11.61	<0.60	1.85	5.16	6.45	2.89	16.77
05-09-77	0.60	0.42	7.74	<0.60	0.33	0.90	9.03	0.41	16.77
19-09-77	0.60	0.05	6.45	0.60	0.53	9.03	6.45	0.30	12.90
03-10-77	0.60	0.42	0.90	0.60	0.82	7.74	5.16	0.72	14.19
17-10-77	<0.60	0.29	<0.60	0.60	0.73	6.45	5.16	1.08	11.61
31-10-77	<0.60	0.37	6.45	0.60	0.61	9.03	6.45	0.93	12.90

¹ PF_P potentiel de fertilité calculé à partir des concentrations de phosphore inorganique (mg d'algues/l)

² PF potentiel de fertilité mesuré (mg d'algues/l)

³ PF_{PT} potentiel de fertilité calculé à partir des concentrations de phosphore total (mg d'algues/l)

TABLEAU 17: Tableau récapitulatif des effets de la MO provenant des eaux du réservoir Desaulniers (INRS-Eau, 1978)

	EFFETS GÉNÉRAUX		EFFETS SAISONNIERS
	MO totale	Fractions moléculaires	
<u>A. Formation de biomasse</u>			
1. C organique	La stimulation de la production augmente avec la concentration en MO		
2. Nombre de cellules	<p>La concentration en MO du milieu naturel peut stimuler de 5 fois la production d'algues obtenue en absence de cette matière</p> <p>L'effet de la MO sur la biomasse est plus marquée à des concentrations faibles qu'à des concentrations plus élevées.</p> <p>L'efficacité de la production augmente avec la concentration de MO: la MO servirait de source de nutriments</p> <p>Les concentrations en phosphore théoriquement disponibles dans la MO sont supérieures à celles utilisées pour la synthèse de la biomasse: présence d'un facteur inhibiteur?</p>	Fractions à pm faibles sont plus actives que les fractions à pm élevées.	
3. Chlorophylle			La production augmente avec la concentration de MO. La MO formée au cours de l'été stimule davantage la production de chlorophylle que celle présente dans le milieu à d'autres périodes de l'année.
<u>B. Photosynthèse</u>	L'efficacité diminue avec l'augmentation de concentration de MO		La MO formée en hiver a peu d'effet sur le taux de photosynthèse lorsqu'elle est ajoutée à des concentrations autour de la concentration naturelle.
<u>C. Formation d'ATP</u>	L'efficacité diminue avec l'augmentation de concentration de MO		La MO présente en automne et en hiver stimule la formation d'ATP; celle formée durant l'été a peu d'effet.

TABLEAU 18: COEFFICIENT DE STIMULATION DES ECHANTILLONS D'EAU PRELEVES A DIFFERENTES PROFONDEURS ET ENRICHIS A L'AIDE DU MILIEU PAAP-P, PAAP-N OU PAAP: STATION G2-123

	Intégré			1 mètre			3 mètres			4 mètres			6 mètres		
	¹ PAAP-P	² PAAP-N	³ PAAP	PAAP-P	PAAP-N	PAAP	PAAP-P	PAAP-N	PAAP	PAAP-P	PAAP-N	PAAP	PAAP-P	PAAP-N	PAAP
27-06-77				1.0	23.3	210.1	0.9	39.0	219.4						
11-07-77				1.5	2.6	220.6	1.6	9.4	-						
25-07-77				1.3	1.7	282.5	*	*	*						
15-08-77				1.0	10.5	227.3	0.7	-	218.0						
22-08-77				1.8	2.4	31.3	1.6	4.3	142.0						
05-09-77				1.1	1.7	191.6	-	1.9	98.0						
19-09-77	*	*	*	*	1.0	99.5	0.9	3.1	435.1						
03-10-77	1.3	2.0	137.7	1.0	1.4	85.4				1.0	1.6	88.3			
17-10-77	0.8	4.2	89.5	0.8	5.0	91.5				1.1	2.5	99.3			
31-10-77	1.4	6.9	163.6	1.2	3.3	115.0							1.2	4.0	97.5

¹ PAAP-P : Coefficient de stimulation de l'échantillon d'eau enrichi à l'aide du milieu PAAP-P

² PAAP-N : Coefficient de stimulation de l'échantillon d'eau enrichi à l'aide du milieu PAAP-N

³ PAAP : Coefficient de stimulation de l'échantillon d'eau enrichi à l'aide du milieu PAAP

* : Une des deux valeurs du rapport est inférieure à 0.01 mg d'algues/litre

- : Valeurs rejetées: une des deux valeurs du rapport a un CV \geq 15%

TABLEAU 19: COEFFICIENT DE STIMULATION DES ECHANTILLONS D'EAU PRELEVES A DIFFERENTES PROFONDEURS ET ENRICHIS A L'AIDE DU MILIEU PAAP-P, PAAP-N OU PAAP: STATION G2-129

	Intégré			1 mètre			3 mètres			6 mètres			9 mètres		
	PAAP-P	PAAP-N	PAAP	PAAP-P	PAAP-N	PAAP	PAAP-P	PAAP-N	PAAP	PAAP-P	PAAP-N	PAAP	PAAP-P	PAAP-N	PAAP
27-06-77				15.6	1.1	103.5	22.9	1.1	279.3	1.8	4.6	197.2			
11-07-77				1.7	1.6	98.8	0.9	1.2	135.4	1.5	1.1	26.6			
25-07-77				8.3	1.8	141.6	2.3	-	101.1	3.3	1.6	107.5			
15-08-77				2.2	1.3	319.4	1.4	2.2	239.7	5.1	1.1	66.2			
22-08-77				0.7	1.3	25.2	4.5	1.0	56.4	1.9	2.6	28.1			
05-09-77				1.6	1.1	165.9	2.6	1.5	201.6	15.0	1.3	265.7			
19-09-77	-	-	-	3.4	3.6	209.9	1.5	1.9	275.0	1.9	2.4	282.4			
03-10-77	1.5	1.4	165.2	1.1	1.3	96.5				1.7	1.0	63.5	1.7	1.4	76.2
17-10-77	0.8	1.6	65.6	0.9	1.7	65.5				0.7	1.4	44.5	1.0	1.9	78.5
31-10-77	2.0	1.8	120.6	1.6	2.8	77.6							1.3	1.1	54.4

¹ PAAP-P : Coefficient de stimulation de l'échantillon d'eau enrichi à l'aide du milieu PAAP-P

² PAAP-N : Coefficient de stimulation de l'échantillon d'eau enrichi à l'aide du milieu PAAP-N

³ PAAP : Coefficient de stimulation de l'échantillon d'eau enrichi à l'aide du milieu PAAP

* : Une des deux valeurs du rapport est inférieure à 0.01 mg d'algues/litre

- : Valeurs rejetées: une des deux valeurs du rapport a un CV \geq 15%

TABLEAU 20: Concentration d'azote disponible déterminée à partir des échantillons enrichis du milieu PAAP-N: tributaires la rivière Desautels

DATES DE PRELEVEMENT	Station G2-117			Station G2-123			Station G2-129		
	N _{Ti} ¹	N _D ²	N _T ³	N _{Ti}	N _D	N _T	N _{Ti}	N _D	N _T
16-11-76	0.032	0.081	0.182	0.065	0.030	0.195	0.065	0.034	0.205
29-11-76	0.065	0.074	0.295	<0.032 ≥0.022	0.013	0.172	0.065	0.016	0.285
13-12-76	0.125	0.057	0.485	0.075	0.088	0.225	0.085	0.044	0.185
26-01-77	0.07	0.007	0.25	0.07	0.106	0.17	0.06	0.080	0.17
22-02-77	<0.03	0.074		0.05	0.012	0.27	0.05	0.012	0.28
14-03-77	0.10	0.080	0.19	0.07	0.075	0.21	0.04	0.063	0.18
12-04-77	0.08	0.076	0.23	0.09	0.060	0.37	0.08	0.072	0.25
09-05-77	0.03	0.046	0.29	0.03	0.038	0.12	0.03	0.038	0.24
13-05-77		0.038			0.038			0.156	
16-05-77	0.01	0.059	0.25	0.03	0.036	0.15	0.02	0.013	0.23
19-05-77	0.02	--	0.42	0.02	--	0.17	0.02	0.050	0.22
23-05-77	0.02	0.203	0.26	0.01	0.069	0.17	0.03	0.075	0.15
26-05-77	0.03	0.067	0.31	0.04	0.052	0.18	0.015	0.045	0.20
30-05-77	0.02	0.057	0.32	0.035	0.057	0.31	0.015	0.019	0.21
05-06-77	0.02	0.019	0.295	0.02	0.019	0.175	0.02	0.012	0.235
13-06-77	0.025	0.013	0.115	0.02	0.011	0.115	0.02	0.011	0.215
27-06-77	0.03	0.027	0.18	0.03	0.172	0.18	0.03	0.019	0.40
11-07-77	0.015	0.032	0.29	0.015	0.022	0.12	0.015	0.029	0.40
25-07-77	0.015	0.021	0.18	0.015	0.011	0.14	0.02	0.028	0.25
15-08-77		0.011		> .01 < .03	0.083	≥ .21 < .23	> .04 < .06	0.006	≈ .39 < .40
22-08-77	0.03	0.065	0.28	0.03	0.114	0.25	0.04	0.096	0.42
05-09-77	0.03	0.018	0.38		0.015			0.012	
19-09-77	0.03	0.014	0.28	0.02	0.014	0.27	0.04		0.33
03-10-77	0.06	0.042	0.28	> .01 < .03	0.030	≥ .29 < .31	> .01 < .03	0.024	≈ .44 < .46
17-10-77	> .02 < .04	0.101	≥ .32 < .03	> .02 < .04	0.084	≥ .33 < .35	> .02 < .04	0.048	≈ .47 < .40
31-10-77	.04	0.115	.33	.04	0.053	.36	> .01 < .03	0.068	≈ .39 < .41

¹ N_{Ti} : concentration d'azote total inorganique (NH₃ + NO₃) en mg N/l; dosage selon la méthode "technicon" au laboratoire du MRN.

² N_D : concentration d'azote disponible en mg N/l établie selon la relation $N_D = \frac{PF_{PAAP-N}}{38}$

³ N_T : concentration d'azote total (N_{Ti} + N_{org}) en mg N/l; dosage selon la méthode "Technicon" (MRN) au laboratoire du MRN.

TABLEAU 21: Concentration d'azote disponible déterminée à partir des échantillons enrichis du milieu PAAP-N: rivière Desaulniers

DATES DE PRELEVEMENT	Station G2-106			Station G2-107			Station G2-108		
	N_{Ti}^1	N_D^2	N_T^3	N_{Ti}	N_D	N_T	N_{Ti}	N_D	N_T
16-11-76	0.075	0.15	0.205	0.128	0.141	0.418	<0.032 ≥ .01	0.026	<0.182 ≥ .16
29-11-76	0.065	0.07	0.225	0.042	0.034	0.142	0.042	0.051	0.252
13-12-76	0.095	0.05	0.135	0.075	0.79	0.135	<0.032 ≥ .01	0.015	<0.132 ≥ .11
26-01-77				0.08	--	0.18	0.04	0.003	0.19
22-02-77	0.07	0.05	0.23	0.12	0.066	0.24	0.33	0.330	--
14-03-77	0.29	0.45	1.31	0.08	0.073	0.21	0.04	0.048	0.24
12-04-77	0.05	0.06	0.14	0.09	0.071	0.18	0.10	0.061	0.23
09-05-77	0.02	0.03	0.21	0.03	0.039	0.30	0.04	0.036	0.16
13-05-77		0.04			0.031			0.033	
16-05-77	0.01	0.04	0.16	0.04	0.054	0.27	0.04	0.034	0.23
19-05-77	0.01	0.18	0.24	0.02	<0.001	0.30	0.03	0.011	0.23
23-05-77	0.02	0.11	0.19	0.02	0.053	0.28	0.03	0.138	0.16
26-05-77	0.015	0.04	0.185	0.025	0.049	0.30	0.035	--	0.14
30-05-77	0.03	0.03	0.23	0.015	0.020	0.39	0.025	0.043	0.17
05-06-77	0.015	0.06	0.175	0.02	0.019	0.215	0.02	0.013	0.135
13-06-77	0.105	0.02	0.185	0.025	0.018	0.135	0.02	0.030	0.12
27-06-77	0.05	0.04	0.27	0.05	0.015	0.22	0.02	0.013	0.185
11-07-77	0.015	0.01	0.200	0.025	0.012	0.30	0.02	0.016	0.16
25-07-77	0.02	0.02	0.15	0.015	0.023	0.14	0.02	0.014	0.13
15-08-77		0.04			0.022			--	
22-08-77	0.02	0.07	0.20	0.03	0.056	0.32	0.025	0.131	0.20
05-09-77	> .01 < .03	0.01	≥ .24 < .26	0.04	0.013	0.44	> .01 < .03	--	≥ .18 < .18
19-09-77	.03	0.01	0.22	.06	0.061	0.35	0.02		0.10
03-10-77	> .03 < .05	0.04	≥ .22 < .24	.06	0.032	.29	> .01 < .03	0.017	≥ .15 < .17
17-10-77	> .04 < .06	0.03 0.03	≥ .20 < .22	> .02 < .04	0.111	≥ .30 < .32	≥ .01 < .03	0.060	≥ .21 < .23
31-10-77	> .01 < .03	0.08	≥ .15 < .17	.08	0.157	.32	.04	0.025	.21

¹ N_{Ti} : concentration d'azote total inorganique ($NH_3 + NO_3$) en mg N/l; dosage selon la méthode "technicon" au laboratoire du MRN.

² N_D : concentration d'azote disponible en mg N/l établie selon la relation $N_D = \frac{PF_{PAAP-N}}{38}$

³ N_T : concentration d'azote total ($N_{Ti} + N_{org}$) en mg N/l; dosage selon la méthode "Technicon" (MRN) au laboratoire du MRN.

TABLEAU 22: COMPARAISON ENTRE LES VALEURS CALCULEES ET LES VALEURS MESUREES DE CHLOROPHYLLES

	G2-123 (1 mètre ¹)		G2-123 (3 mètres)		G2-123 (Int)	
	chloro _{PF} *	chloro**	chloro _{PF}	chloro	chloro _{PF}	chloro
27-06-77 29-06-77	2.4	1.36	2.4	1.26		
11-07-77 13-07-77	2.4	2.37	2.8	1.28		
14-09-77 17-09-77	2.8	4.10	2.2	2.35		
03-10-77 06-10-77	3.2	5.33			2.4	5.66
	G2-129 (1 mètre)		G2-129 (6 mètres)		G2-129 (Int)	
27-06-77 29-06-77	3.0	3.52	2.4	0.82		
11-07-77 13-07-77	3.0	2.04	7.45	3.58		
14-09-77 19-09-77	2.4	6.99	2.3	4.23		
03-10-77 06-10-77	3.1	4.64	3.7	3.87	4.0	4.48

¹ Profondeur de prélèvement; Int = échantillon intégré

* Concentration de chlorophylle calculée à partir de la mesure de PF: équation de Greene *et al.*, 1975 b (mg/m³)

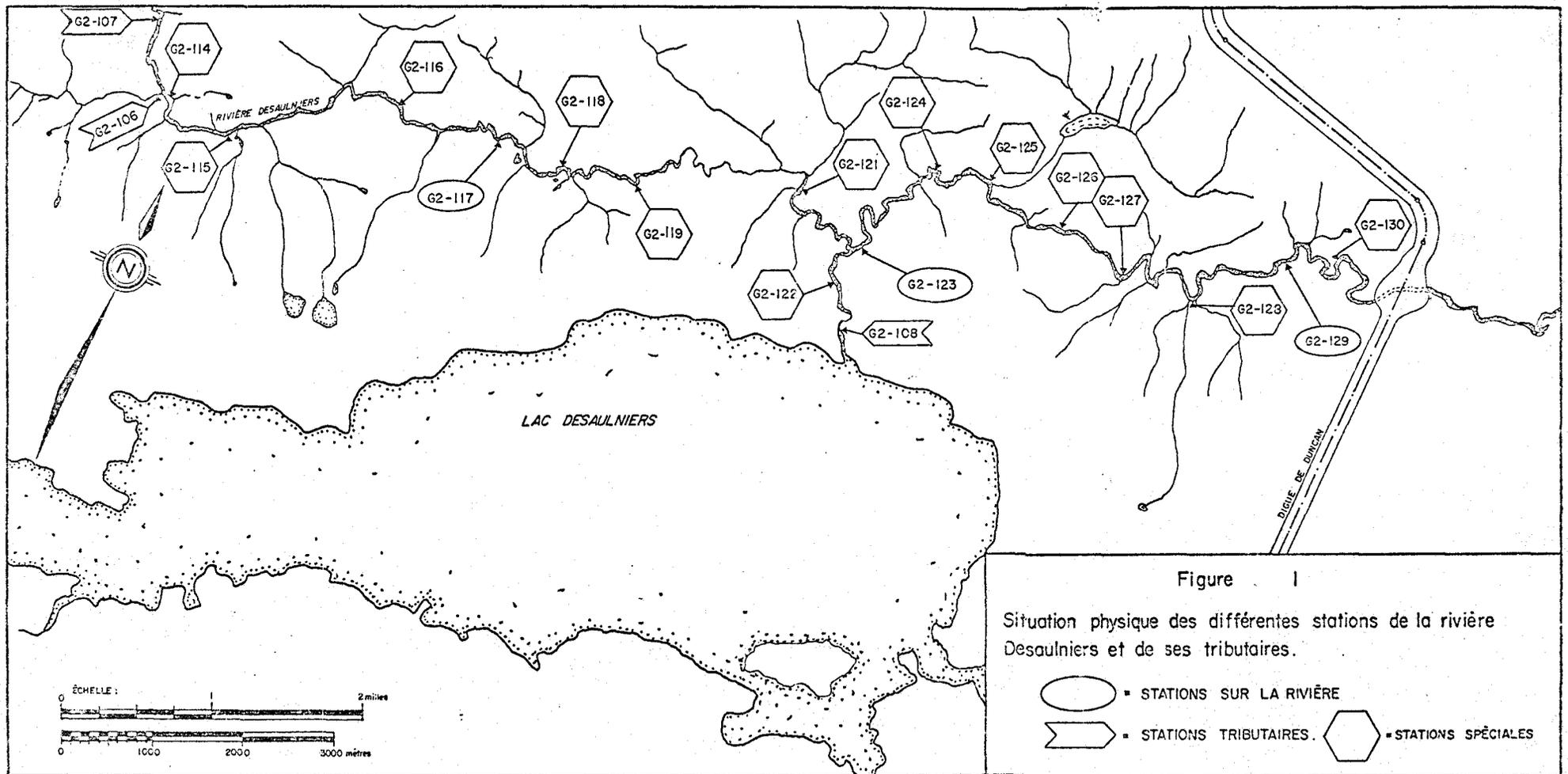
** Concentration de chlorophylle α total (SCOR-UNESCO) mesurée: valeurs provenant de la SEBJ.

TABLEAU 23: Fréquence d'échantillonnage recommandée durant chaque mois pour 1978

	PF ¹	FL ²
Janvier	1	1
Mars	1	1
Avril	1	1
Mai	9	9
Juin	2	2
Juillet	3	3
Août	4	4
Septembre	2	2
Octobre	5	5
Novembre	1	1
Décembre	1	1

¹ PF: potentiel de fertilité

² FL: facteur limitatif; expérience d'enrichissement des échantillons d'eau.



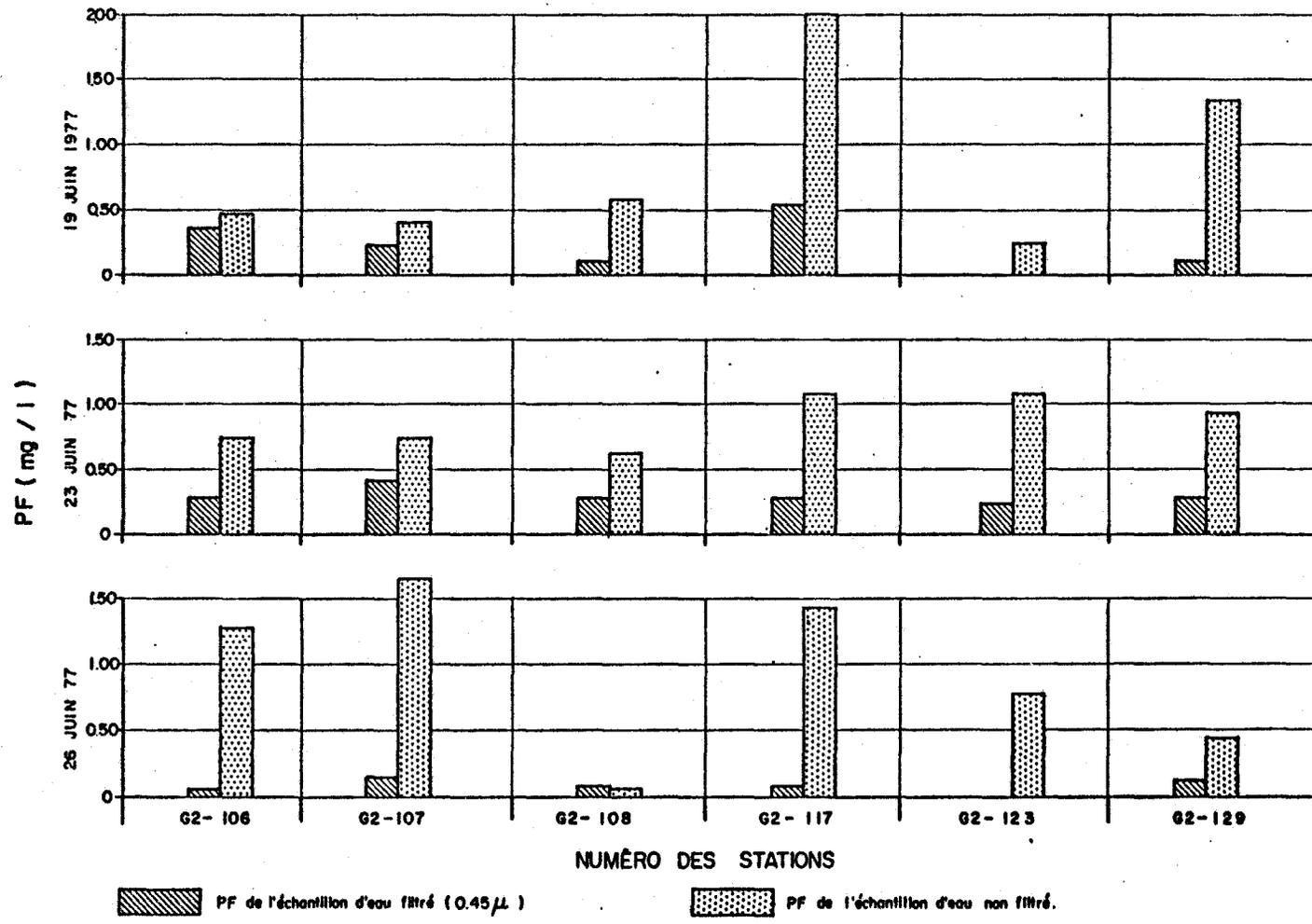


Figure 2 . Comparaison entre les valeurs de PF obtenues avec des échantillons d'eau filtrés et non filtrés .

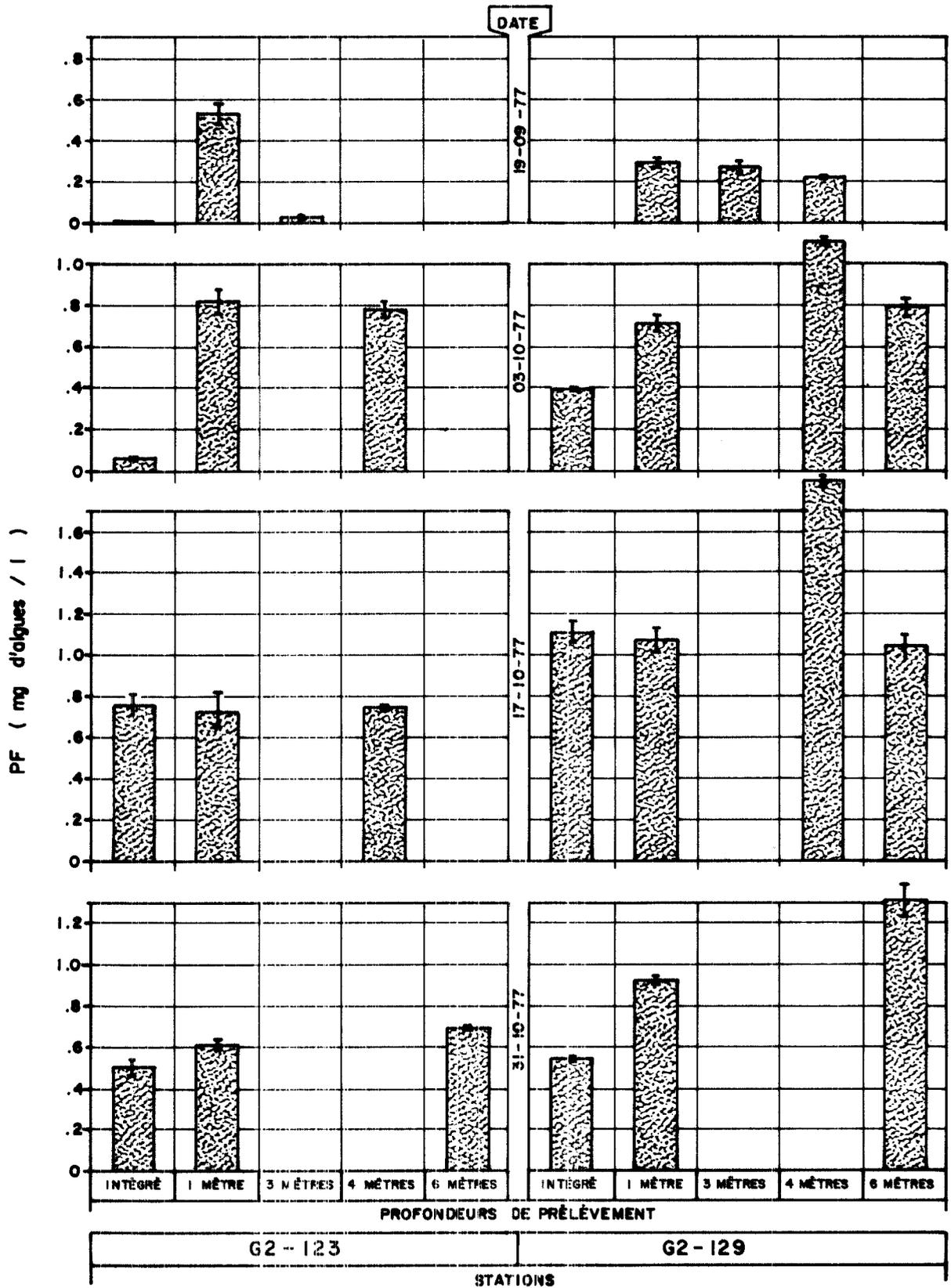


Figure 4 . Comparaison entre les valeurs de PF mesurées à partir d'échantillons prélevés à différentes profondeurs .

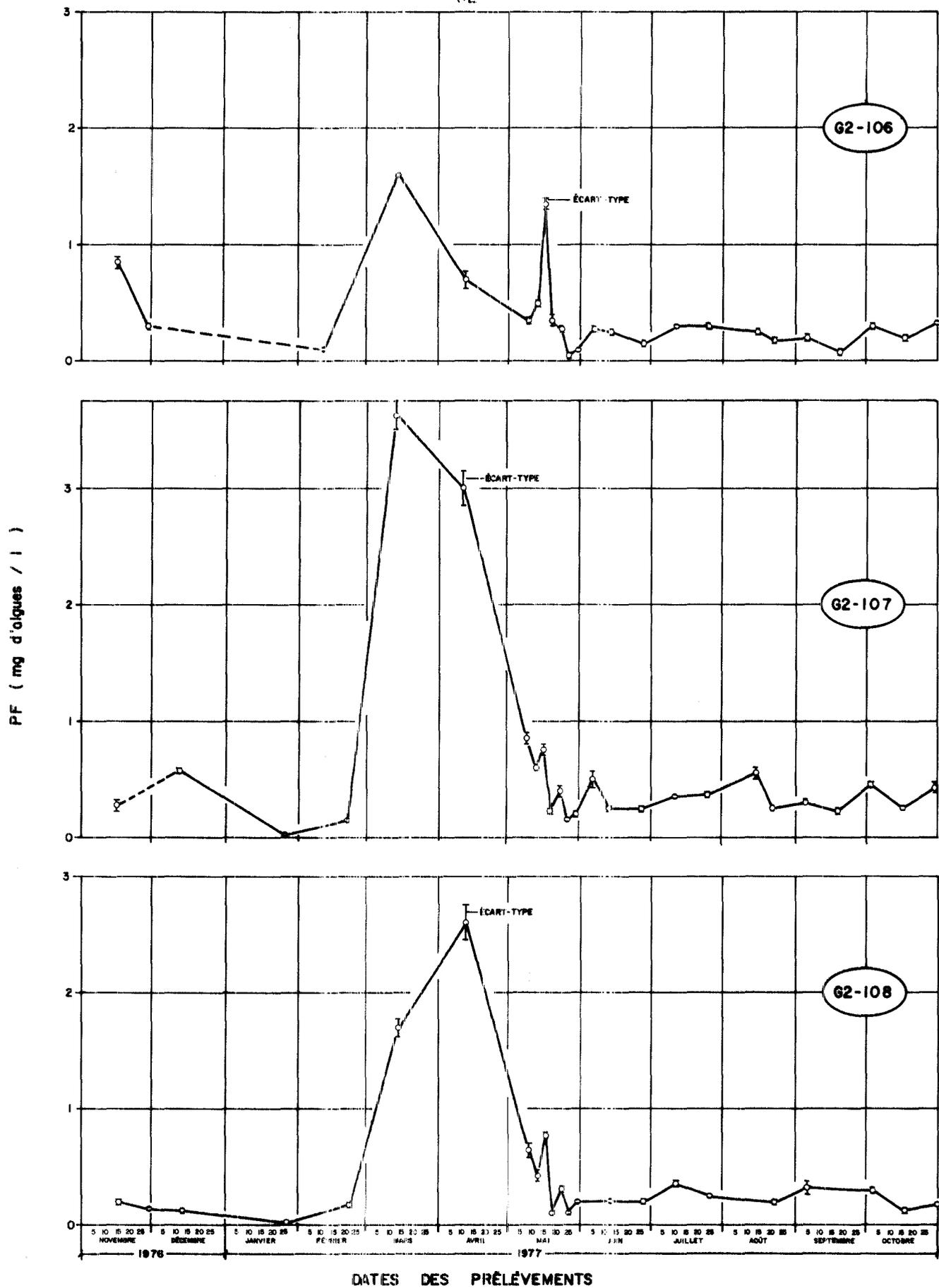


Figure 5 Évolution du potentiel de fertilité des eaux au cours de l'année 1977 : tributaires de la rivière Desaulniers.

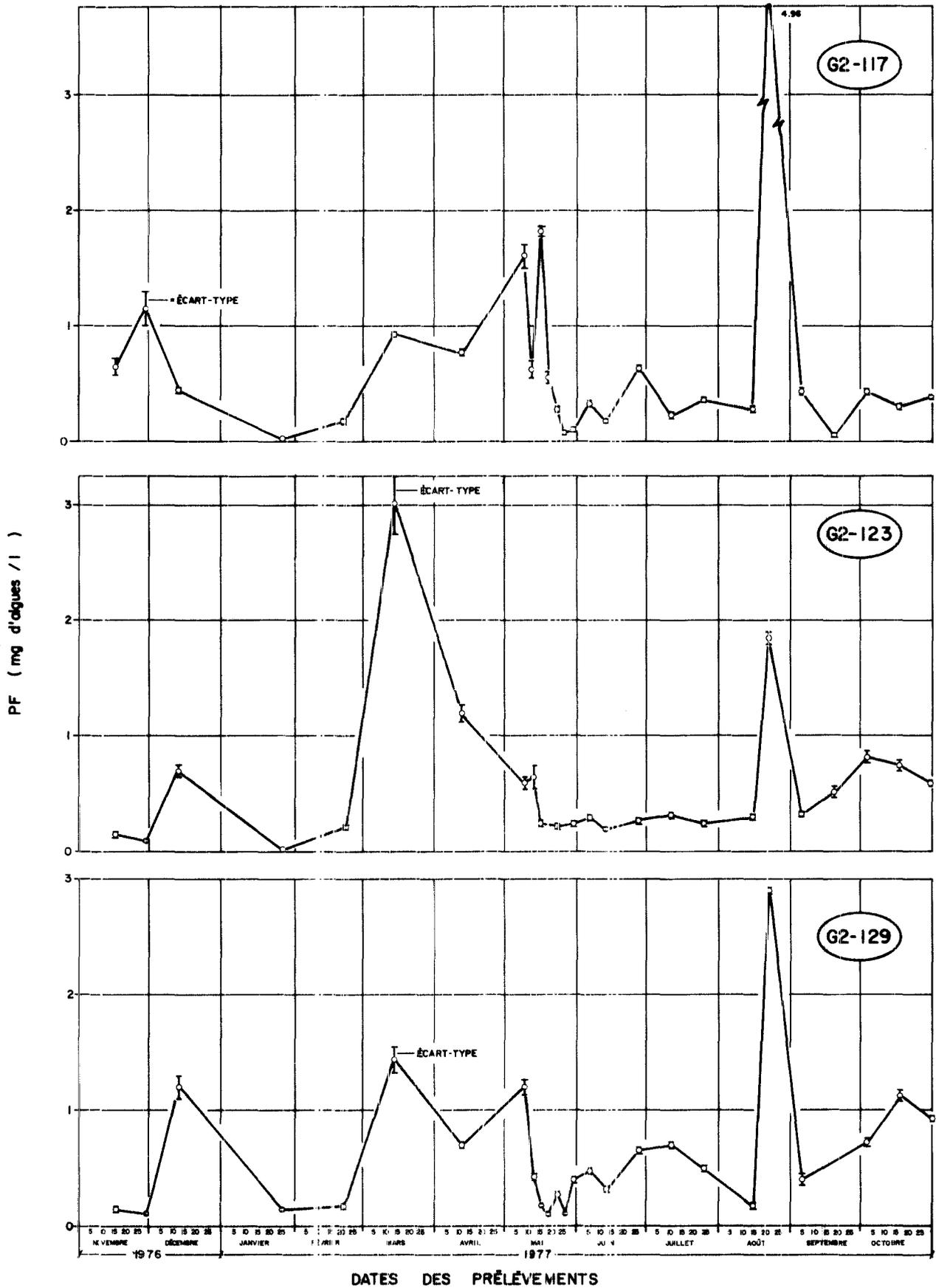


Figure 6 .Évolution du potentiel de fertilité des eaux au cours de l'année 1977 : rivière Desaulniers.

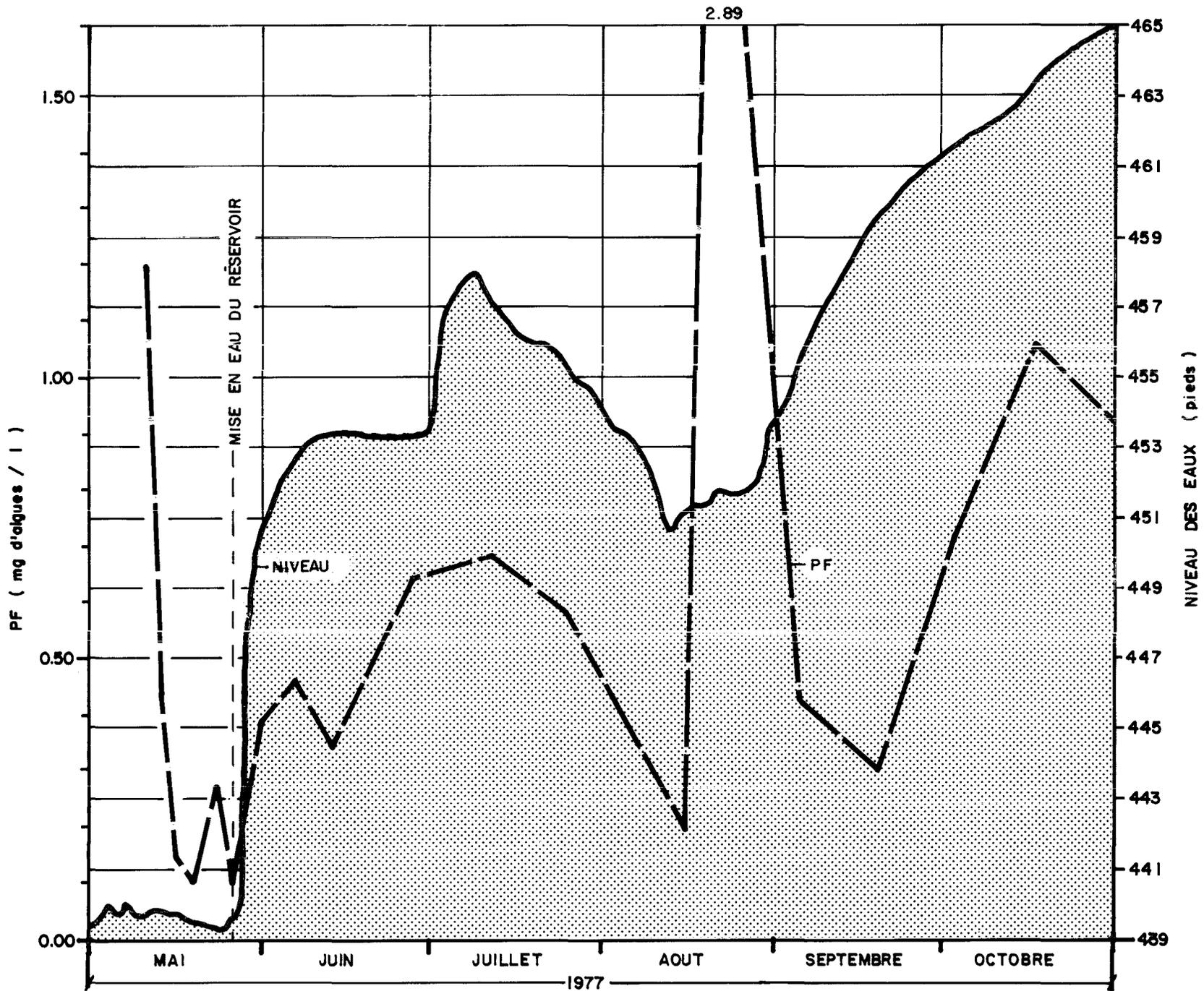


Figure 7. Variation du niveau des eaux et de la mesure du potentiel de fertilité des eaux du réservoir Desaulniers.

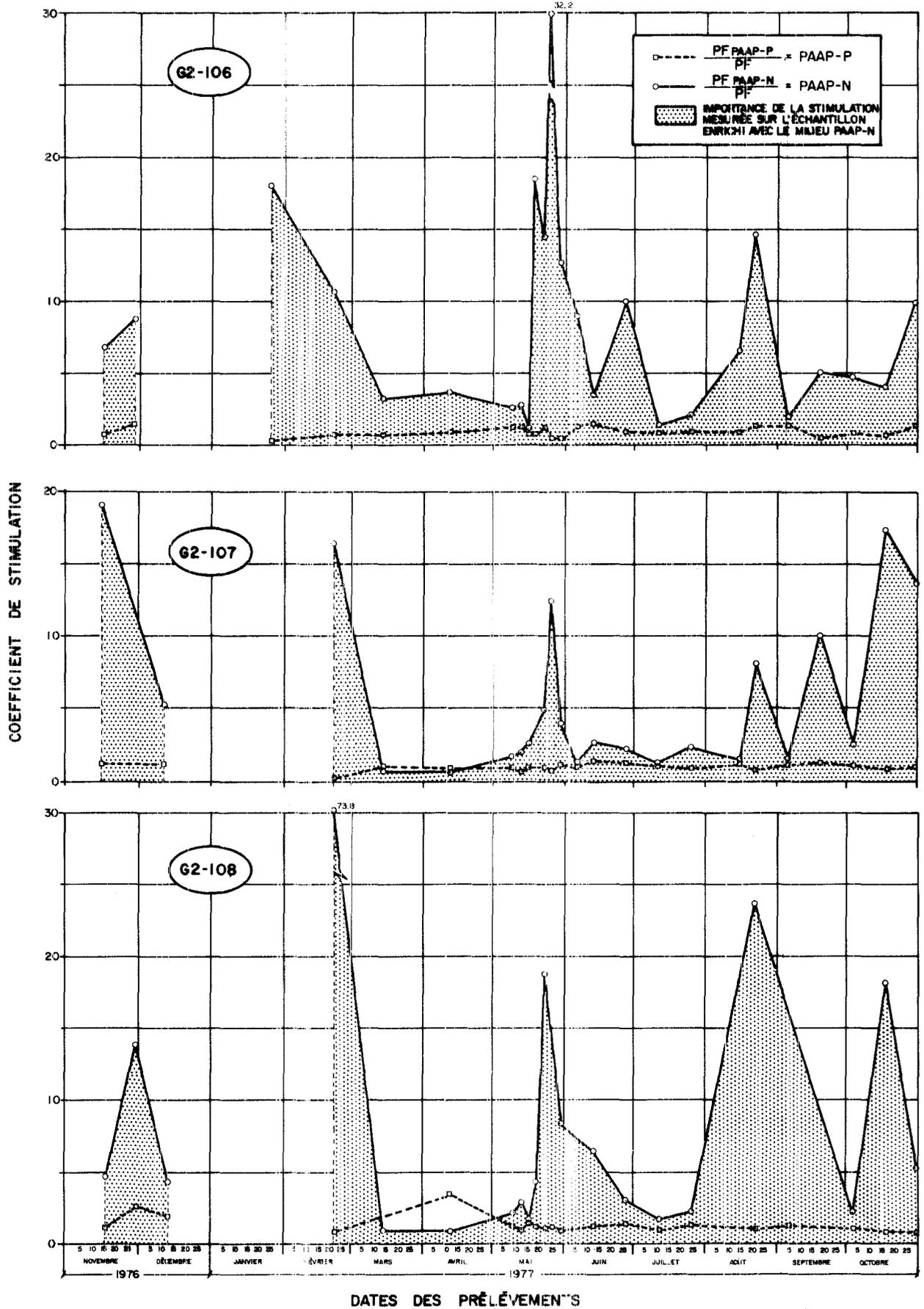


Figure 8 Évolution des coefficients de stimulation de croissance des cultures inoculées dans les échantillons d'eau enrichis des milieux PAAP-P et PAAP-N : tributaires de la rivière Desoulziers.

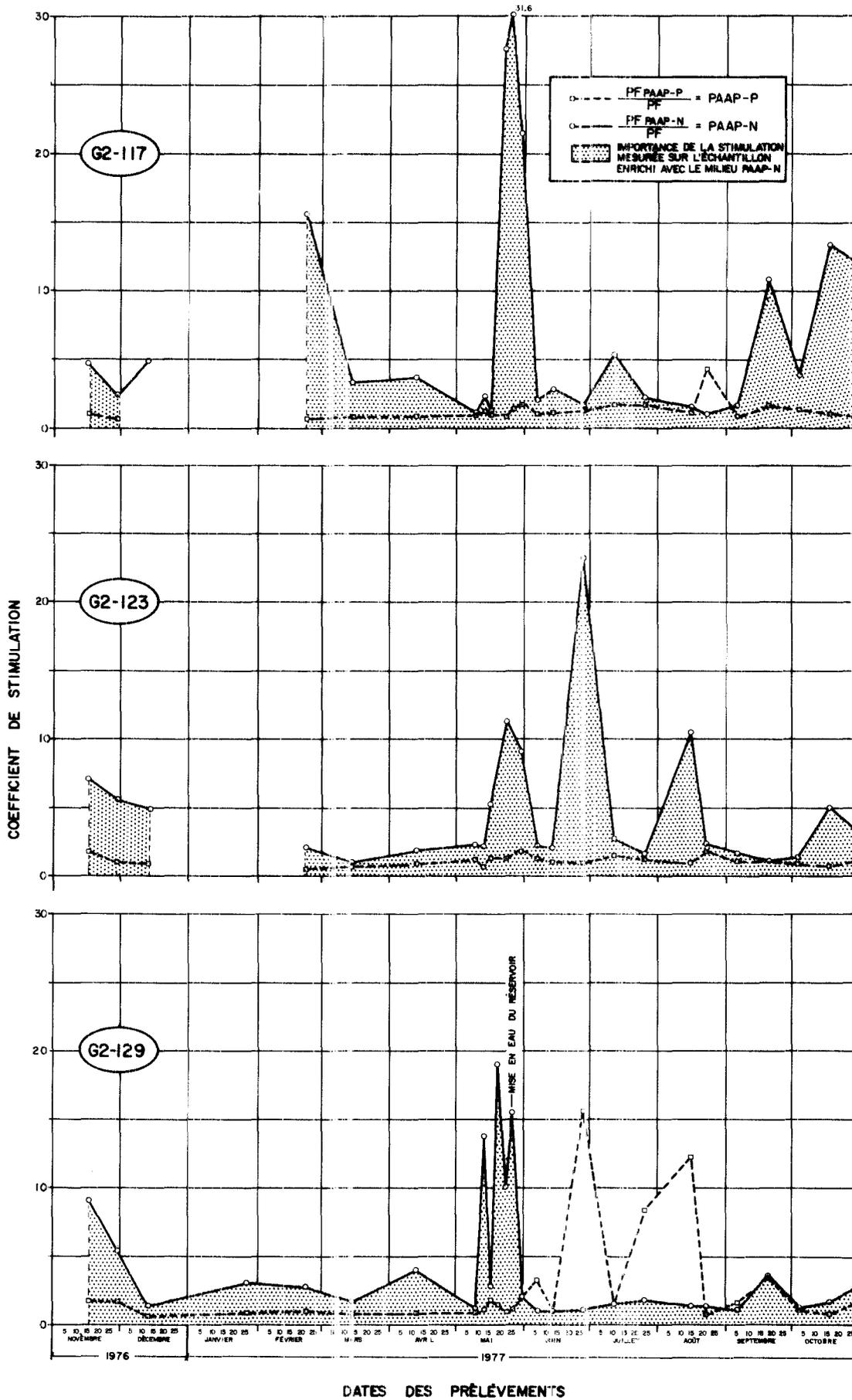


Figure 9 Évolution des coefficients de stimulation de croissance des cultures inoculées dans les échantillons d'eau enrichis des milieux PAAP-P et PAAP-N : rivière Desaulniers .

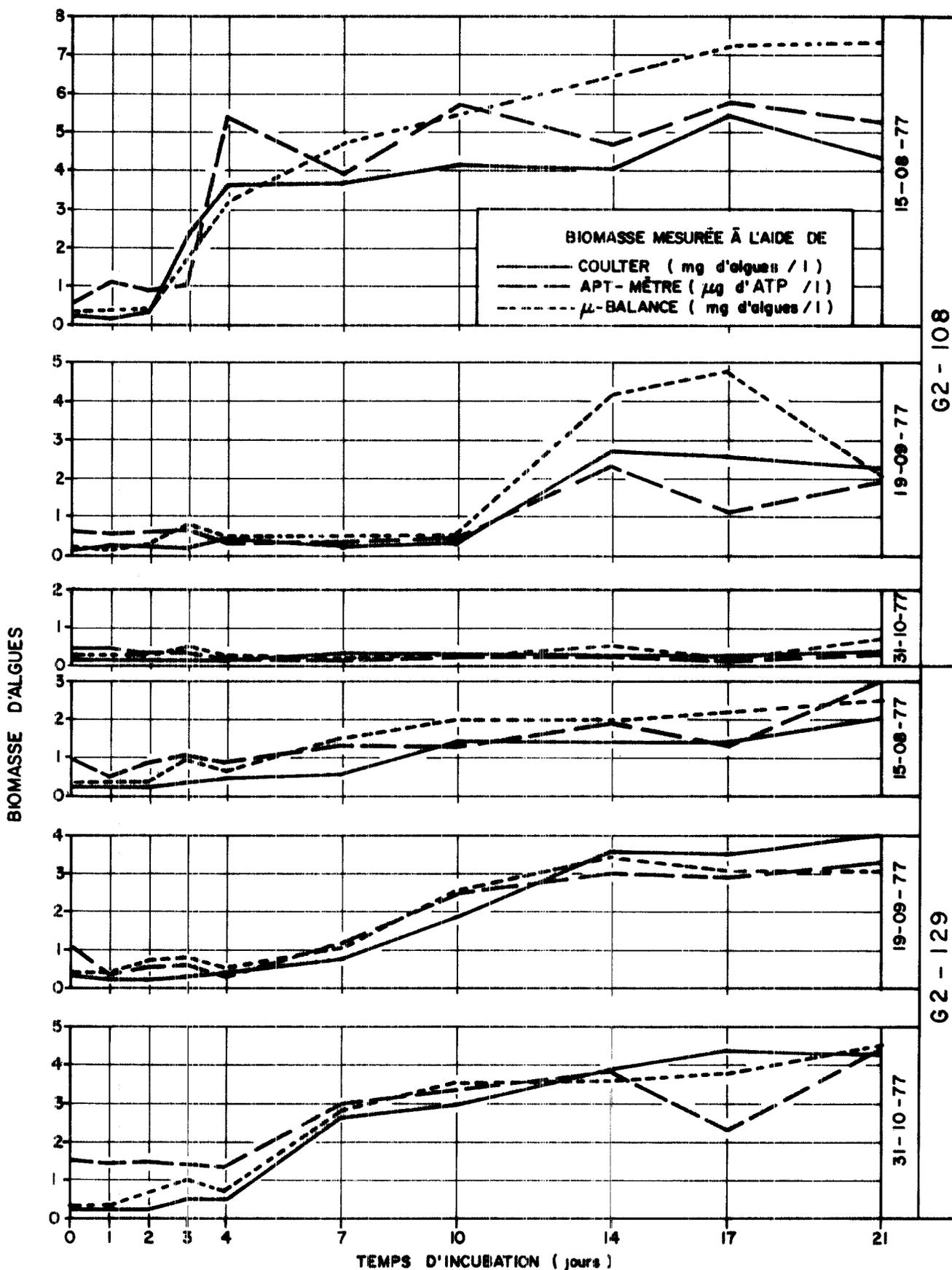


Figure 10 .Évolution de la biomasse d'algues mesurée à l'aide de différentes techniques à partir de cultures inoculées dans les échantillons des stations G2-108 et G2-129.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- APHA - AWWA - WPCF. (1975).
Standard methods for the examination of water and wastewater. 14th
edition, 1193 p.
- AZAD, H.S. and J.B. BORCHARDT. (1970).
Variations in phosphorus uptake by algae. Environ. Sci. Technol., 4(9):
737-743.
- BERLAND, B.R., D.J. BONIN, S.Y. MAESTRINI et J.P. POINTIER. (1972).
Etudes de la fertilité des eaux marines au moyen de tests biologiques
effectués avec des cultures d'algues. 1- Comparaison des méthodes
d'estimation. Int. Revue Ges. Hydrobiol., 57(6): 933-944.
- BERLAND, B.R., D.J. BONIN et S.Y. MAESTRINI. (1974).
Mise en évidence de facteurs réglant la productivité du phytoplancton
des eaux de surface dans la partie nord occidentale de la mer Méditer-
ranée au moyen de tests biologiques. Ann. Inst. Oceanogr. Paris, 50
(1): 5-25.
- BERLAND, B.R., D.J. BONIN et S.Y. MAESTRINI. (1976).
De l'emploi concomitant d'enceintes dialysantes et de tests biologi-
ques pour la détermination des facteurs nutritionnels limitant la
production primaire des eaux marines. Ann. Inst. Oceanogr. Paris,
52(1): 45-55.
- BOMBOWNA, M. and H. BUCKA. (1972).
Bioassay and chemical composition of some Carpathian rivers. Verh.
Internat. Verein. Limnol., 18: 735-741.
- BOMBOWNA, M. and H. BUCKA. (1974).
Some Carpathian reservoirs and their production relations. Acta Hy-
drobiol., 16(3-4): 379-400.
- BRADSHAW, J.R. (1970).
Comparaison of surface active agents. Proc. Biochem., 5(11): 19-20.
- CARLUCCI, A.F. and S.B. SILBERNAGEL. (1966).
A C-14 uptake method for the determination of concentrations of vitamin
B-12 in seawater. Can. J. Microbiol., 12: 175-183.
- CHIAUDANI, G. and M. VIGHI. (1974).
The N:P ratio and tests with *Selenastrum* to predict eutrophication
in lakes. Water Research, 8: 1063-1069.
- CONDIT, R.J. (1972).
Phosphorus and algal growth in the Spokane River. Northwest Science,
46(3): 177-189.

- COUTURE, P. (1976).
Le potentiel de fertilité des eaux de la rivière et du lac Matamek.
Matamek Annual Meeting, Québec, 13-14 décembre 1976.
- COUTURE, P. (1977).
Evolution de la qualité des eaux du lac St-Jean: mesures de chlorophylle et du potentiel de fertilité. Colloque sur le lac St-Jean, INRS-Eau, 17 février 1977.
- CHRISTMAN, R.F. and R.A. MINEAR. (1971).
Organics in lakes. In: S.J. Faust and J.V. Hunter (eds.). Organic compounds in aquatic environments. Marcel Dekker, New-York, pp. 119-143.
- CULLIMORE, D.R. and A. McCANN. (1972).
Initial studies on a method of algal assay for nutrient parameters in water. J. Fish. Res. Board Can., 29(2): 195-198.
- DENISON, J.R. (1974).
Limiting nutrient tests used in an investigation of factors controlling phytoplankton development. Water Treat. Examin., 23(1): 52-75.
- DILLON, P.J. and F.H. RIGLER. (1975).
A simple method for predicting the capacity of a lake for development based on lake trophic status. J. Fish. Res. Board Can., 32(9): 1519-1531.
- DOEMEL, W.N. and A.E. BROOKS. (1975).
Detergent phosphorus and algal growth. Water Res., 9: 713-719.
- DUGDALE, R., V. DUGDALE, J. NEESS and J. GOERING. (1959).
Nitrogen fixation in lakes. Science, 130: 859-860.
- EPA. (1970).
Provisional algal assay procedures. First annual report. Sanitary Engineering Research Laboratory, College of Engineering and School of Public Health, University of California, Berkeley, SERL Report no 70-8.
- EPA. (1971a).
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.
- EPA. (1971b).
The interlaboratory precision test. An eight laboratories evaluation of the provisional algal assay procedure bottle test. Department of Environmental Sciences and Engineering School of Public Health, University of North Carolina at Chapel Hill.

- EPA. (1975).
Proceedings: Biostimulation and Nutrient Assessment Workshop. National Environmental Research and Development. U.S. Environmental Protection Agency, Corvallis, Oregon. EPA-660/3-75-634.
- ERICKSON, S.J., T.E. MALONEY and J.H. GENTILE. (1970).
Effects of nitrilotriacetic acid on the growth metabolism of estuarine phytoplankton. *J. Water Pollut. Cont. Fed.*, 42(8): Pt. 2: R329-R335.
- FITZGERALD, G.P. (1972).
Bioassay analyses of nutrient availability in natural waters. In: M.E. Allen and J.R. Kramer (eds.), p. 147-169.
- FRANCISCO, D.F. and C.M. WEISS. (1973).
Algal response to detergent phosphate levels. *J. Water Pollut. Cont. Fed.*, 45(3): 480-489.
- GERHOLD, R.M. and R.G. OTTO. (1976).
Algal bioassays to evaluate a proposed cooling lake. *J. Water Pollut. Cont. Fed.*, 48(10): 2351-2366.
- GLOOSCHENKO, W.A. and C. ALVIS. (1973).
Changes in species composition of phytoplankton due to enrichment by N, P and Si of water from a North Florida lake. *Hydrobiologia*, 42 (2-3): 285-294.
- GREENE, J.C., W.E. MILLER and T. SHIROGAMA. (1975a).
Utilization of algal assays to assess the effects of municipal, industrial and agricultural wastewater effluents upon phytoplankton production in the Snake River system. *Water Air Soil Pollut.*, 4: 415-434.
- GREENE, J.C., R.A. SOLTERO, W.E. MILLER, A.F. GASPERINO and T. SHIROYAMA. (1975b).
The relationship of laboratory algal assays to measurements of indigenous phytoplankton in Long Lake, Washington. *Biostimulation and Nutrient assessment, Proceedings of a Workshop held at Utah State University, Sept. 10-12, 1975*, p. 93-126.
- GREENE, J.C., W.E. MILLER, T. SHIROYAMA, R.A. SALTERO and K. PUTMAN. (1976a).
Use of algal assay to assess the effects of municipal and smelter wastes upon phytoplankton production. *Proceedings of the Symposium on Terrestrial and Aquatic Ecological Studies of the Northwest, March 26-27, 1976*, p. 327-335.
- GREENE, J.C., W.E. MILLER, T. SHIROYAMA, R.A. SALTERO and K. PUTMAN. (1976b).
Use of laboratory cultures of *Selenastrum*, *Anabaena* and the indigenous isolate *Sphaerocystis* to predict effects of nutrient and zinc interactions upon phytoplankton growth in Long Lake, Washington. *International Symposium on Experimental Use of Algal Cultures in Limnology, Oct. 26-28, 1976*, p.
- HOWARD, D.L., J.I. FREA, R.M. PFISTER and P.R. DUGAN. (1970).
Biological nitrogen fixation in lake Erie. *Science*, 169: 61-62.

- INRS-Eau. (1976).
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. (Pour le Ministère des Richesses naturelles, Québec).
- INRS-Eau. (1977a).
Réseau de surveillance écologique: choix de paramètres pour le monitoring de la production microbiologique des eaux douces du territoire de la baie James, Québec. INRS-Eau, rapport scientifique No 75, 322 p. (Pour la Société d'énergie de la baie James).
- INRS-Eau. (1977b).
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).
- INRS-Eau. (1977c).
Planification de l'acquisition des données de qualité de l'eau au Québec. Tome 2: Processus de régulation de la qualité des eaux d'un bassin. INRS-Eau, rapport scientifique No 33, 760 p. (Pour le ministère des Richesses naturelles, Québec).
- INRS-Eau. (1978).
Etude de quelques effets de la matière organique dissoute provenant de la baie James sur des processus physiologiques dans le milieu aquatique. INRS-Eau, rapport scientifique no 97, 69 p. (Pour la Société d'énergie de la baie James).
- JACKSON, T.A. (1975).
Humic matter in natural waters and sediments. *Soil. Sci.*, 119(1): 56-64.
- JACQUES, G., G. CAHET, M. FIALA et M. PANOUSE. (1973).
Enrichissement des communautés phytoplanctoniques nétriques de Méditerranée nord occidentale. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 11: 287-295.
- JOHNSON, J.M., O.R. RUSCHMEYER, T.O. ODLANG and Y.A. OLSON. (1970).
Algal bioassay potential primary productivity studies of the lower St-Louis River, Minnesota. *Int. Assoc. Water Pollut. Res., Proc. of the Fifth Intern. Conf., San Francisco and Hawaii, 1970*, p. HA-18/1 à HA-18/10.
- KATKO, A. (1975).
Algal assay for the national eutrophication survey. *Biostimulation and Nutrient Assessment, Proceedings of a Workshop, oct 16-17, 1973*, p. 44-52.
- KEENAN, J.D. and M.T. AUER. (1974).
The influence of phosphorus luxury uptake on algal bioassays. *J. Water Pollut. Cont. Fed.*, 46(3): 532-542.

- KLOTZ, R.L., J.R. CAIN and F.R. TRAINOR. (1975).
A sensitive algal assay: an improved method for analysis of freshwaters.
J. Phycol., 11: 411-414.
- LEAN, D.R.S. (1973).
Movements of phosphorus between its biologically important forms in
lake water. J. Fish. Res. Board. Can., 30: 1522-1536.
- LUND, J.W.G. (1970).
Primary production. Water Treat. Examin., 19(4): 332-358.
- MAGLIANESI, R.E., M.S. RADICI and M. GARCIA. (1973).
Phytoplankton primary production and its main associated variables
in Cathedral Branch, Marcardi lake. Bol. Soc. Argent. Bot., 15(1):
12-22.
- MAHONEY, J.L. (1973).
Shagawa lake project report. U.S. Environmental Protection Agency,
Eutrophication and Lake Restoration Branch, Corvallis, Oregon (un-
published report).
- MALONEY, T.E., W.E. MILLER and T. SHIROYAMA. (1972).
Algal responses to nutrient additions in natural waters. I: Labora-
tory assays. Nutrient and Eutrophication: The limiting-nutrient con-
troversy. Special Symposia, Vol. 1., Limnol. Oceanog., p. 134-156.
- MALONEY, T.E. and W.E. MILLER. (1975).
Algal assays: development and application. Amer. Soc. for Testing and
Materials (ASTM), STP 573, p. 344-355.
- MENZEL, D.W., E.M. HULBURT and J.H. RYTHER. (1963).
The effects of enriching Sargasso Sea water on the production and
species composition of the phytoplankton. Deep-Sea Res., 10: 209-219.
- MIDDLEBROOKS, E.J., D.B. PORCELLA, E.A. PEARSON, P.H. MCGAUHEY and G.A.
ROHLICH. (1971).
Biostimulation and algal growth kinetics of wastewater. J. Water Pol-
lut. Cont. Fed., 43(3): 454-473.
- MILLER, W.E. and T.E. MALONEY. (1971).
Effects of secondary and tertiary wastewater effluents on algal growth
in a lake-river system. J. Water Pollut. Cont. Fed., 43(12): 2361-
2365.
- MILLER, W.E., T.E. MALONEY and J.C. GREENE. (1974).
Algal productivity in 49 lake waters as determined by algal assays.
Water Res., 8: 667-679.
- MILLER, W.E., J.C. GREENE, T. SHIROYAMA and E. MERWIN. (1975).
The use of algal assays to determine effects of waste discharges in the
Spokane river system. Biostimulation and Nutrient Assessment, Procee-
dings of a Workshop, oct. 16-17, 1973, p. 113-130.

- MITCHELL, D. and J.C. BUZZELL. Jr. (1971).
Estimating eutrophic potential of pollutants. J. Sanit. Eng. Div.,
Proceedings Amer. Soc. Civil Eng., (SA4): 453-465.
- MOORE, L.F. and D.A. McLARTY. (1975).
Influence of soil water extract and thiamine on the growth of *Cladophora*
glomerata. Can. J. Bot., 53(6): 530-535.
- OERTLI, J.J. (1972).
Responses of biomass production to nutrient enrichments of water of
lake Maggiou. Memori Dell' Istituto Italiano Di Idrobiologia Dott,
29: 191-208.
- OKLAND, K.A. (1973).
Phytoplankton and eutrophication in some lakes in Westfold, South
Norway. Blyttia Ld., 31(2-3): 175-187.
- OSWALD, W.J. and S.A. GAONKAR. (1969).
Batch assays for determination of algal growth potential. In: Pro-
ceedings on the Eutrophication Biostimulation Assessment Workshop,
p. 23-38.
- PAYNE, A.G. (1973).
Environmental testing of citrate: Bioassays for algal stimulation.
Proceedings 16th Conference Great Lakes Research. International As-
sociation Great Lakes Research, p. 100-115.
- PAYNE, A.G. (1975).
Responses of the three test algae of the algal assay procedure: bottle
test. Water Res., 9: 937-455.
- POTASH, M. (1956).
A biological test for determining the potential productivity of water.
Ecology, 37(4): 631-639.
- PRAKASH, A. (1971).
Terrigenous organic matter and coastal phytoplankton fertility. In:
J.D. Bostlow (ed.) Fertility of the sea, vol. 2. Gordon Breach,
London and New-York, pp. 351-368.
- RAINVILLE, R.P., B.J. COPELAND and N.T. McKEAN. (1975).
Toxicity of kraft mill wastes to an estuarine phytoplankter. J. Water
Pollut. Cont. Fed., 47(3): 487-503.
- REYNOLDS, J.H., E.J. MIDDLEBROOKS, D.B. PORCELLA and W.J. GREENEY. (1975).
Effect of temperature on growth constants of *Selenastrum capricornutum*.
J. Water Pollut. Cont. Fed., 47(10): 2420-2436.
- ROBARTS, R.D. and G.C. SOUTHALL. (1977).
Nutrient limitation of phytoplankton growth in seven tropical man-made
lakes, with special reference to lake McIlwaine, Rhodesia. Arch.
Hydrobiol., 79(1): 1-35.

- RYTHER, J.H. and W.M. DUNSTAN. (1971).
Nitrogen, phosphorus and eutrophication in the coastal marine environment. *Science*, 171: 1008-1013.
- SAWYER, C.N. (1968).
The need for nutrient control. *J. Water Cont. Pollut. Fed.*, 40(3): 363-370.
- SCHREIBER, E. (1927).
Die Reinkultur von marinem Phytoplankton und deren Bedeutung für die Erforschung der Produktions-fähigkeit des Meerwassers. *Wiss. Meereunters. Abt. Helgoland*, 16: 1-134.
- SHAPIRO, J. (1957).
Chemical and biological studies on the yellow organic acids of lake water. *Limnol. Oceanogr.*, 2: 161-179.
- SHAPIRO, J. (1964).
Effect of yellow organic acids on iron and others metal in water. *J. Amer. Water Works Assoc.*, 56: 1062-1082.
- SHELDON, R.W. and T.R. PARSONS. (1967).
A practical manual on the use of the Coulter counter marine research. Coulter Electronics Sales Company - Canada, 66 p.
- SHIROYAMA, T., W.E. MILLER, J.C. GREENE and C. SHIGIHARA. (1976).
Growth response of *Anabaena flosaquae* (Lyngb.) De Brebisson in waters collected from Long Lake Reservoir, Washington. *Proceedings of the Symposium on Terrestrial and Aquatic Ecological Studies of the Northwest*, March 26-27, 1976, p. 267-274.
- 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*. Plenum Press, p. 262-299.
- SKULBERG, O. (1968).
Studies on the eutrophication of some Norwegian inland waters. *Mitt. int. Verein. theor. angew. Limnol.*, 14: 187.
- SONIASSY, R.N. (1974).
Algal bioassays - a tool for environmental engineers. *J. Water Pol. Control.*, 112: 15-17.
- STEYN, D.J., D.F. TOERIEN and J.H. VISSER. (1974).
Continuous culture algal bioassays. *South African J. Sci.*, 70: 277-278.
- STROM, K.M. (1933).
Nutrition of algae. Experiments upon: the feasibility of the Schreiber method in fresh waters; the relative importance of iron and manganese in the nutritive medium; the nutritive substance given off by lake bottom muds. *Arch. Hydrobiol.*, 25: 38-47.

- STURM, R.N. and A.G. PAYNE. (1973).
Environmental testing of trisodium nitrilotriacetate: bioassays for aquatic safety and algal stimulation. In: Bioassay Techniques and Environmental Chemistry, Glass, G.E. (ed). Ann Arbor, Ann Arbor Science Publishers Inc., p. 403-424.
- THOMAS, W.H., D.L.R. SEIBERT and A.N. DODSON. (1974).
Phytoplankton enrichment experiments and bioassays in natural coastal sea water and in sewage outfall receiving waters off Southern California. Estuar. Coast. Mar. Sci., 2: 191-206.
- TOERIEN, D.F. and D.J. STEYN. (1973).
Application of algal bioassays in eutrophication analyses. South African J. Sci., 69: 79-82.
- VALLENTYNE, J.R. (1957).
The molecular nature of organic matter in lakes and oceans, with reference to sewage and terrestrial soils. J. Fish. Res. Board Can., 14(1): 33-82.
- WALMSLEY, R.D. and E.F. TOERIEN. (1975).
Algal bioassays and nitrogen fixation. South African J. Sci. 71: 313-314.
- WANG, N.C., W.T. SULLIVAN and R.L. EVANS. (1973).
A technique for evaluating algal growth potential in Illinois surface waters. State of Illinois / Report of investigation 72, no. ISWS-73-R172: 1-16.
- WEISS, C.M. (1975).
Field evaluation of the algal assay procedure on surface waters of North Carolina. Biostimulation and Nutrient assessment, Proceedings of a Workshop held at Utah State University, Sept, 10-12, 1975, p. 29-76.

ANNEXE A

Données non traitées

TABLEAU A.1: POTENTIEL DE FERTILITE DES ECHANTILLONS D'EAU PRELEVES A DIFFERENTES PROFONDEURS:
STATIONS G2-123 ET G2-129.

STATIONS DATES D'ECHANTIL- LONNAGE	G2-123					G2-129				
	I*	1**	3**	4**	6**	I	1	3	6	9
27-06-77		0.28(7)	0.31(6)				0.65(7)	0.27(14)	0.30(11)	
11-07-77		0.32(7)	0.53(14)				0.69(7)	0.46(7)	3.57(10)	
25-07-77		0.26(6)	-				0.59(6)	0.76(2)	0.56(11)	
15-08-77		0.30(12)	0.40(8)				0.18(9)	0.18(1)	0.50(9)	
22-08-77		1.85(2)	0.55(1)				2.89(1)	1.57(3)	2.31(17)	
05-09-77		0.33(1)	0.52(7)				0.41(14)	0.33(13)	0.30(4)	
19-09-77	<0.01(1)	0.53(8)	0.18(8)			-	0.30(8)	0.28(6)	0.23(3)	
03-10-77	0.29(1)	0.82(7)		0.78(4)		0.39(1)	0.72(5)		1.12(2)	0.79(5)
17-10-77	0.76(6)	0.73(13)		0.75(1)		1.13(4)	1.08(6)		1.86(1)	1.05(6)
31-10-77	0.50(8)	0.61(4)			0.70(1)	0.55(1)	0.93(2)			1.32(6)

* I: PF de l'échantillon d'eau intégré

** : profondeur de prélèvement en mètre

- : valeurs rejetés CV \geq 15%

TABLEAU A.2: POTENTIEL DE FERTILITE ET INDICE D'ENRICHISSEMENT:
TRIBUTAIRES DE LA RIVIERE DESAULNIERS

DATES DU PRELEVEMENT	STATION G2-106			STATION G2-107			STATION G2-108		
	PF ¹	CV ²	IE ³	PF	CV	IE	PF	CV	IE
16-11-76	0.85	2*	3	0.28	13*	2	0.21	11	2
29-11-76	0.29	4	2	—	17*	2	0.14	8	2
13-12-76	—	19*	3	0.58	3*	2	0.13	3	2
26-01-77	**			<0.02	14	1	<0.02	5	1
22-02-77	0.11	2	2	0.15	8	2	0.17	6*	2
14-03-77	1.59	1	3	3.62	5	3	1.69	5	3
12-04-77	0.70	10	2	3.00	5	3	2.60	6	3
09-05-77	0.34	9	2	0.85	12	3	0.64	12	2
13-05-77	0.49	7*	2	0.59	7*	2	0.43	12*	2
16-05-77	1.36	5*	3	0.75	6	2	0.77	4	2
19-05-77	0.36	13*	2	0.22	9	2	0.10	10	2
23-05-77	0.28	3*	2	0.41	7	2	0.28	10	2
26-05-77	0.05	13	1	0.15	12	2	0.09	8*	1
30-05-77	0.09	3	1	0.19	12	2	0.20	4	2
06-06-77	0.27	9*	2	0.51	14	2	—	18*	2
13-06-77	0.25	5	2	0.24	2*	2	0.18	8	2
27-06-77	0.16	8	2	0.25	7	2	0.17	2	2
11-07-77	0.29	3	2	0.35	3*	2	0.35	11	2
25-07-77	0.29	6	2	0.37	1	2	0.24	5	2
15-08-77	0.24	8	2	0.55	10	2	—	15*	2
22-08-77	0.18	5	2	0.26	5	2	0.21	7	2
05-09-77	0.20	9*	2	0.30	9*	2	0.33	14	2
19-09-77	0.08	14	1	0.23	12	2	**		
03-10-77	0.29	10	2	0.46	6	2	0.29	6	2
17-10-77	0.20	10	2	0.24	4	2	0.12	10	2
31-10-77	0.32	3	2	0.43	11	2	0.18	9	2

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

² CV: coefficient de variation corrigé

³ IE: indice d'enrichissement

1 = faible: PF ≤ 0.1

2 = moyen: PF > 0.1 et ≤ 0.8

3 = modérément élevé: PF > 0.8 et ≤ 6

* Une valeur des trois replicats a été rejetée

**Echantillon non reçu

—Les valeurs des trois replicats ont été rejetées (CV ≥ 15%)

TABLEAU A.3: POTENTIEL DE FERTILITE ET INDICE D'ENRICHISSEMENT:
RIVIERE DESAULNIERS

DATES DU PRELEVEMENT	STATION G2-117			STATION G2-123			STATION G2-129		
	PF ¹	CV ²	IE ³	PF	CV	IE	PF	CV	IE
16-11-76	0.66	13	2	0.16	11	2	0.14	13	2
29-11-76	1.15	14	3	0.09	14	1	0.11	4	2
13-12-76	0.44	9	2	0.69	9	2	1.19	10	3
26-01-77	<0.02	9	1	<0.02	3	1	0.14	9	2
22-02-77	0.18	11*	2	0.22	5	2	0.17	11	2
14-03-77	0.92	1	3	3.00	8	3	1.44	8	3
12-04-77	0.78	4*	2	1.21	6*	3	0.69	6	2
09-05-77	1.61	8	3	0.61	8	2	1.20	5	3
13-05-77	0.63	13	2	0.67	12*	2	0.43	8	2
16-05-77	1.81	2*	3	0.26	5	2	0.17	5	2
19-05-77	0.54	12	2	—	18*	1	0.10	12	1
23-05-77	0.23	9	2	0.23	7	2	0.28	5*	2
26-05-77	0.08	5	1	—	27*	2	0.11	10	2
30-05-77	0.10	4*	1	0.24	12	2	0.39	8	2
06-06-77	0.37	8*	2	0.31	8*	2	0.47	6	2
13-06-77	0.17	3	2	0.20	1	2	0.33	8*	2
27-06-77	0.62	6	2	0.28	7	2	0.65	7	2
11-07-77	0.23	10	2	0.32	7	2	0.69	7*	2
25-07-77	0.35	1	2	0.26	6	2	0.59	6	2
15-08-77	0.27	12	2	0.30	12	2	0.18	9	2
22-08-77	4.96	2*	3	1.85	2*	3	2.89	1*	3
05-09-77	0.42	11*	2	0.33	1	2	0.41	14	2
19-09-77	0.05	9	1	0.53	8	2	0.30	8	2
03-10-77	0.42	2	2	0.82	7	3	0.72	5	2
17-10-77	0.29	10	2	0.73	3	2	1.08	6	3
31-10-77	0.37	4	2	0.61	4	2	0.93	2	3

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

² CV: coefficient de variation corrigé

³ IE: indice d'enrichissement

1 = faible: PF ≤ 0.1

2 = moyen: PF > 0.1 et ≤ 0.8

3 = modérément élevé: PF > 0.8 et ≤ 6

* Une valeur des trois replicats a été rejetée

**Echantillon non reçu

—Les valeurs des trois replicats ont été rejetées (CV ≥ 15%)

TABLEAU A.4: BIOMASSE D'ALGUES OBTENUES APRES 14 JOURS DE CROISSANCE DANS LES ECHANTILLONS D'EAU NON ENRICHIS ET DANS LES ECHANTILLONS D'EAU ENRICHIS: STATION G2-106

DATE DU PRELEVEMENT	PF ¹	PF _{PAAP-P} ²	PF _{PAAP-N} ³	PF _{PAAP} ⁴
16-11-76	0.85(2)	0.68(5)	5.82(1)	— (17)
29-11-76	0.29(4)	0.40(5)	2.55(9)	41.95(12)
13-12-76	— (19)	0.55(2)	2.08(14)	49.29(5)
26-01-77*				
22-02-77	0.11(2)	0.05(7)	1.99(12)	79.16(1)
14-03-77	1.59(1)	1.45(9)	17.12(12)	64.05(13)
12-04-77	0.70(10)	0.56(14)	2.41(10)	65.96(10)
09-05-77	0.34(9)	0.43(14)	1.30(2)	61.15(8)
13-05-77	0.49(7)	0.67(14)	1.40(5)	57.73(2)
16-05-77	1.36(5)	1.16(5)	1.70(5)	68.88(6)
19-05-77	0.36(13)	0.38(11)	6.71(10)	75.36(11)
23-05-77	0.28(3)	0.37(3)	4.09(4)	77.37(13)
26-05-77	0.05(13)	0.03(6)	1.61(8)	71.69(13)
30-05-77	0.09(3)	0.05(5)	1.15(6)	67.40(9)
06-06-77	0.27(9)	0.37(14)	2.45(9)	66.14(1)
13-06-77	0.25(5)	0.41(1)	0.91(10)	62.19(6)
27-06-77	0.16(8)	0.17(10)	1.61(6)	65.96(4)
11-07-77	0.29(3)	0.29(8)	0.43(7)	63.63(11)
25-07-77	0.29(6)	0.33(3)	0.64(2)	76.40(4)
15-08-77	0.24(8)	0.23(4)	1.61(9)	68.55(8)
22-08-77	0.18(5)	0.25(9)	2.64(8)	74.43(3)
05-09-77	0.20(9)	0.30(5)	0.40(4)	60.65(10)
19-09-77	0.08(14)	0.05(10)	0.41(3)	81.72(12)
03-10-77	0.29(10)	0.30(14)	1.40(4)	63.28(13)
17-10-77	0.20(10)	0.24(7)	1.19(2)	73.50(11)
31-10-77	0.32(3)	0.44(9)	3.20(6)	75.08(2)

¹ PF : potentiel de fertilité de l'échantillon d'eau non enrichi

² PF_{PAAP-P}: potentiel de fertilité de l'échantillon d'eau enrichi avec le milieu de culture PAAP sans phosphore

³ PF_{PAAP-N}: potentiel de fertilité de l'échantillon d'eau enrichi avec le milieu de culture PAAP sans azote

⁴ PF_{PAAP} : potentiel de fertilité de l'échantillon d'eau enrichi avec le milieu de culture PAAP

— Valeurs rejetées (CV ≥ 15%)

() Coefficient de variation (%)

* Echantillons non prélevés

TABLEAU A.5: BIOMASSE D'ALGUES OBTENUES APRES 14 JOURS DE CROISSANCE DANS LES ECHANTILLONS D'EAU NON ENRICHIS ET DANS LES ECHANTILLONS D'EAU ENRICHIS: STATION G2-107

DATE DU PRELEVEMENT	PF ¹	PF _{PAAP-P} ²	PF _{PAAP-N} ³	PF _{PAAP} ⁴
16-11-76	0.28(13)	0.31(4)	5.35(5)	43.58(4)
29-11-76	— (17)	0.43(6)	1.28(13)	47.06(1)
13-12-76	0.58(3)	0.65(6)	3.00(6)	40.28(8)
26-01-77	<0.02(14)	<0.02(7)	— (15)	58.56(7)
22-02-77	0.15(8)	0.05(14)	2.49(9)	83.56(9)
14-03-77	3.62(5)	3.63(5)	2.76(6)	51.89(12)
12-04-77	3.00(5)	2.63(4)	2.70(3)	70.39(2)
09-05-77	0.85(12)	0.89(9)	1.50(3)	62.79(7)
13-05-77	0.59(7)	0.40(3)	1.16(4)	62.45(3)
16-05-77	0.75(6)	0.72(8)	2.04(8)	54.73(10)
19-05-77	0.22(9)	<0.02(6)	<0.02(9)	50.61(5)
23-05-77	0.41(7)	0.39(7)	2.03(8)	91.50(13)
26-05-77	0.15(12)	0.12(6)	1.88(11)	61.89(11)
30-05-77	0.19(12)	0.22(12)	0.77(8)	73.88(11)
06-06-77	0.51(14)	0.52(14)	0.72(5)	63.28(12)
13-06-77	0.24(2)	0.33(5)	0.68(3)	— (23)
27-06-77	0.25(7)	0.33(6)	0.58(5)	58.03(9)
11-07-77	0.35(3)	0.37(9)	0.47(7)	73.44(7)
25-07-77	0.37(1)	0.38(7)	0.87(11)	75.44(12)
15-08-77	0.55(10)	0.59(10)	0.85(12)	66.74(10)
22-08-77	0.26(5)	0.21(4)	2.13(2)	86.84(1)
05-09-77	0.30(9)	0.32(3)	0.49(8)	63.67(5)
19-09-77	0.23(12)	0.31(10)	2.33(1)	72.19(6)
03-10-77	0.46(6)	0.50(3)	1.20(1)	72.62(9)
17-10-77	0.24(4)	0.22(1)	4.20(6)	— (19)
31-10-77	0.43(11)	0.44(3)	5.95(3)	71.59(7)

¹ PF : potentiel de fertilité de l'échantillon d'eau non-enrichi

² PF_{PAAP-P}: potentiel de fertilité de l'échantillon d'eau enrichi avec le milieu de culture PAAP sans phosphore

³ PF_{PAAP-N}: potentiel de fertilité de l'échantillon d'eau enrichi avec le milieu de culture PAAP sans azote

⁴ PF_{PAAP} : potentiel de fertilité de l'échantillon d'eau enrichi avec le milieu de culture PAAP

— Valeurs rejetées (CV ≥ 15%)

() Coefficient de variation

TABLEAU A.6: BIOMASSE D'ALGUES OBTENUES APRES 14 JOURS DE CROISSANCE DANS LES ECHANTILLONS D'EAU NON ENRICHIS ET DANS LES ECHANTILLONS D'EAU ENRICHIS: STATION G2-108

DATE DU PRELEVEMENT	PF ¹	PF _{PAAP-P} ²	PF _{PAAP-N} ³	PF _{PAAP} ⁴
16-11-76	0.21(11)	0.26(9)	0.98(1)	33.85(5)
29-11-76	0.14(8)	0.36(8)	1.93(11)	23.36(12)
13-12-76	0.13(3)	0.26(3)	0.56(1)	51.84(9)
26-01-77	<0.02(9)	<0.02(4)	0.10(5)	64.49(9)
22-02-77	0.17(6)	0.13(7)	12.54(1)	64.72(13)
14-03-77	1.69(5)		1.81(2)	63.78(4)
12-04-77	2.60(6)	9.15(2)	2.33(4)	84.90(9)
09-05-77	0.64(12)	0.76(4)	1.37(4)	60.02(11)
13-05-77	0.43(12)	0.37(4)	1.24(1)	55.53(5)
16-05-77	0.77(4)	1.07(9)	1.30(12)	64.70(4)
19-05-77	0.10(10)	0.12(10)	0.43(10)	61.71(8)
23-05-77	0.28(10)	0.23(15)	5.23(1)	81.21(4)
26-05-77	0.09(8)	0.11(8)	— (16)	0.44(13)
30-05-77	0.20(4)	0.17(6)	1.65(13)	68.42(5)
06-06-77	— (18)	0.40(12)	0.50(1)	52.14(1)
13-06-77	0.18(8)	0.21(6)	1.15(3)	49.98(13)
27-06-77	0.17(2)	0.23(14)	0.51(9)	68.75(2)
11-07-77	0.35(11)	0.32(0)	0.59(10)	— (15)
25-07-77	0.24(5)	0.30(13)	0.53(12)	57.87(4)
15-08-77	— (15)	0.24(7)	— (19)	33.41(12)
22-08-77	0.21(7)	0.21(3)	4.96(4)	59.90(6)
05-09-77	0.33(14)	0.41(7)	— (15)	61.77(5)
19-09-77*				
03-10-77	0.29(6)	0.30(10)	0.65(12)	68.99(14)
17-10-77	0.12(10)	0.10(12)	2.29(14)	76.13(3)
31-10-77	0.18(9)	0.12(3)	0.94(6)	— (15)

¹ PF : potentiel de fertilité de l'échantillon d'eau non enrichi

² PF_{PAAP-P}: potentiel de fertilité de l'échantillon d'eau enrichi avec le milieu de culture PAAP sans phosphore

³ PF_{PAAP-N}: potentiel de fertilité de l'échantillon d'eau enrichi avec le milieu de culture PAAP sans azote

⁴ PF_{PAAP} : potentiel de fertilité de l'échantillon d'eau enrichi avec le milieu de culture PAAP

— Valeurs rejetées (CV ≥ 15%)

() Coefficient de variation

* Echantillons non prélevés

TABLEAU A.7: BIOMASSE D'ALGUES OBTENUES APRES 14 JOURS DE CROISSANCE DANS
LES ECHANTILLONS D'EAU NON ENRICHIS ET DANS LES ECHANTILLONS
D'EAU ENRICHIS: STATION G2-117

DATE DU PRELEVEMENT	PF ¹	PF _{PAAP-P} ²	PF _{PAAP-N} ³	PF _{PAAP} ⁴
16-11-76	0.66(13)	0.70(7)	3.08(3)	50.51(9)
29-11-76	1.15(14)	0.82(10)	2.30(13)	— (15)
13-12-76	0.44(9)	— (15)	2.16(7)	55.38(6)
26-01-77	<0.02(9)	<0.02(4)	0.27(13)	67.35(1)
22-02-77	0.18(11)	0.13(7)	2.81(6)	77.26(13)
14-03-77	0.92(1)	0.71(11)	3.04(3)	56.02(9)
12-04-77	0.78(4)	0.74(5)	2.39(2)	69.33(2)
09-05-77	1.61(3)	1.55(3)	1.75(1)	67.94(7)
13-05-77	0.63(13)	0.73(6)	1.45(1)	63.52(9)
16-05-77	1.31(2)	2.03(13)	2.23(7)	70.27(4)
19-05-77	0.54(12)	— (16)	— (18)	— (21)
23-05-77	0.28(9)	0.21(13)	7.72(1)	97.86(2)
26-05-77	0.08(5)	0.11(2)	2.53(1)	59.91(4)
30-05-77	0.10(4)	0.17(4)	2.15(8)	76.59(3)
06-06-77	0.37(8)	0.40(11)	0.74(11)	57.29(8)
13-06-77	0.17(3)	0.20(5)	0.43(11)	— (42)
27-06-77	0.62(6)	0.82(11)	1.01(8)	62.06(9)
11-07-77	0.23(10)	0.38(6)	1.23(3)	74.16(2)
25-07-77	0.35(1)	0.61(10)	0.78(6)	76.05(10)
15-08-77	0.27(12)	0.30(9)	0.41(11)	54.89(7)
22-08-77	4.96(2)	20.82(4)	2.64(11)	50.51(12)
05-09-77	0.42(11)	0.38(13)	0.68(7)	65.36(5)
19-09-77	0.05(9)	0.08(4)	0.54(14)	69.19(5)
03-10-77	0.42(2)	0.53(10)	1.59(7)	72.45(2)
17-10-77	0.29(10)	0.30(6)	3.35(5)	82.57(13)
31-10-77	0.37(4)	0.35(5)	4.37(2)	73.21(11)

¹ PF : potentiel de fertilité de l'échantillon d'eau non enrichi

² PF_{PAAP-P}: potentiel de fertilité de l'échantillon d'eau enrichi avec le milieu de culture PAAP sans phosphore

³ PF_{PAAP-N}: potentiel de fertilité de l'échantillon d'eau enrichi avec le milieu de culture PAAP sans azote

⁴ PF_{PAAP} : potentiel de fertilité de l'échantillon d'eau enrichi avec le milieu de culture PAAP

— Valeurs rejetées (CV ≥ 15%)

() Coefficient de variation

TABLEAU A.8: BIOMASSE D'ALGUES OBTENUES APRES 14 JOURS DE CROISSANCE DANS LES ECHANTILLONS D'EAU NON ENRICHIS ET DANS LES ECHANTILLONS D'EAU ENRICHIS: STATION G2-123

DATE DU PRELEVEMENT	PF ¹	PF _{PAAP-P} ²	PF _{PAAP-N} ³	PF _{PAAP} ⁴
16-11-76	0.16(11)	0.28(8)	1.13(5)	18.66(8)
29-11-76	0.09(14)	0.09(4)	0.50(1)	11.47(6)
13-12-76	0.69(9)	0.63(8)	3.36(6)	47.09(12)
26-01-77	<0.02(3)	<0.02(5)	4.04(5)	58.71(8)
22-02-77	0.22(5)	0.10(7)	0.47(3)	66.11(2)
14-03-77	3.00(8)	2.13(3)	2.85(10)	39.76(3)
12-04-77	1.21(6)	1.03(3)	2.29(5)	65.70(8)
09-05-77	0.61(8)	0.75(10)	1.43(2)	65.11(10)
13-05-77	0.67(12)	0.49(6)	1.45(5)	63.18(6)
16-05-77	0.26(5)	0.34(3)	1.38(4)	72.73(8)
19-05-77	— (18)	0.09(6)	— (15)	— (72)
23-05-77	0.23(7)	0.30(13)	2.61(9)	92.17(3)
26-05-77	— (27)	0.09(9)	1.97(4)	61.61(7)
30-05-77	0.24(12)	0.43(11)	2.18(4)	72.17(4)
06-06-77	0.31(8)	0.40(3)	0.71(9)	71.01(10)
13-06-77	0.20(1)	0.22(7)	0.41(6)	55.49(1)
27-06-77	0.23(7)	0.28(14)	6.53(1)	58.82(11)
11-07-77	0.32(7)	0.49(13)	0.83(7)	70.60(4)
25-07-77	0.26(6)	0.34(5)	0.43(4)	73.46(6)
15-08-77	0.30(12)	0.29(13)	3.16(6)	68.20(4)
22-08-77	1.85(2)	3.27(8)	4.35(1)	57.84(13)
05-09-77	0.33(1)	0.36(7)	0.56(11)	63.22(7)
19-09-77	0.53(1)	<0.01(5)	0.52(6)	52.71(3)
03-10-77	0.82(7)	0.82(1)	1.13(2)	70.01(10)
17-10-77	0.73(13)	0.63(5)	3.21(1)	69.56(7)
31-10-77	0.61(4)	0.73(1)	2.01(3)	70.15(3)

¹ PF_T : potentiel de fertilité de l'échantillon d'eau non enrichi

² PF_{PAAP-P} : potentiel de fertilité de l'échantillon d'eau enrichi avec le milieu de culture PAAP sans phosphore

³ PF_{PAAP-N} : potentiel de fertilité de l'échantillon d'eau enrichi avec le milieu de culture PAAP sans azote

⁴ PF_{PAAP} : potentiel de fertilité de l'échantillon d'eau enrichi avec le milieu de culture PAAP

— Valeurs rejetées

() Coefficient de variation

TABLEAU A.9: BIOMASSE D'ALGUES OBTENUES APRES 14 JOURS DE CROISSANCE DANS LES ECHANTILLONS D'EAU NON ENRICHIS ET DANS LES ECHANTILLONS D'EAU ENRICHIS: STATION G2-129

DATE DU PRELEVEMENT	PF ¹	PF _{PAAP-P} ²	PF _{PAAP-N} ³	PF _{PAAP} ⁴
16-11-76	0.14(13)	0.28(3)	1.28(6)	3.23(10)
29-11-76	0.11(4)	0.19(6)	0.59(11)	3.30(5)
13-12-76	1.19(10)	0.74(3)	1.66(12)	51.73(2)
26-01-77	0.14(9)	0.15(4)	3.05(7)	60.37(14)
22-02-77	0.17(11)	0.17(6)	0.47(8)	59.19(4)
14-03-77	1.44(8)	1.12(8)	2.40(6)	75.03(1)
12-04-77	0.69(6)	0.59(6)	2.73(8)	67.73(7)
09-05-77	1.20(5)	1.12(4)	1.46(22)	67.36(2)
13-05-77	0.43(8)	0.47(2)	5.93(1)	66.73(7)
16-05-77	0.17(5)	0.31(14)	0.48(7)	65.88(7)
19-05-77	0.10(12)	0.15(8)	1.90(13)	— (16)
23-05-77	0.28(5)	0.26(3)	2.84(3)	56.74(5)
26-05-77	0.11(10)	0.12(13)	1.71(4)	29.74(3)
30-05-77	0.39(8)	0.73(4)	0.73(4)	65.18(4)
06-06-77	0.47(6)	1.49(6)	0.47(2)	74.95(12)
13-06-77	0.33(8)	0.41(9)	0.40(1)	58.89(2)
27-06-77	0.65(7)	10.15(7)	0.74(7)	67.29(8)
11-07-77	0.69(7)	1.20(8)	1.10(2)	68.14(6)
25-07-77	0.59(66)	4.88(6)	1.08(55)	83.55(2)
15-08-77	0.18(9)	2.20(2)	0.24(6)	57.49(3)
22-08-77	2.89(1)	2.10(6)	3.65(13)	72.78(7)
05-09-77	0.41(14)	0.65(13)	0.44(10)	68.02(10)
19-09-77	0.30(8)	1.02(7)	1.08(11)	62.96(3)
03-10-77	0.72(5)	0.82(4)	0.90(4)	69.47(3)
17-10-77	1.03(6)	0.90(4)	1.83(2)	73.99(10)
31-10-77	0.93(2)	1.51(8)	2.57(4)	72.14(8)

¹ PF : potentiel de fertilité de l'échantillon d'eau non enrichi

² PF_{PAAP-P}: potentiel de fertilité de l'échantillon d'eau enrichi avec le milieu de culture PAAP sans phosphore

³ PF_{PAAP-N}: potentiel de fertilité de l'échantillon d'eau enrichi avec le milieu de culture PAAP sans azote

⁴ PF_{PAAP} : potentiel de fertilité de l'échantillon d'eau enrichi avec le milieu de culture PAAP

— Valeurs rejetées (CV ≥ 15%)

() Coefficient de variation