

UNIVERSITE DU QUEBEC

mémoire

présenté

à

L'INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE (EAU)

comme exigence partielle

de la

maîtrise ès Sciences (eau)

par

Aline Sylvestre

B. Sc. Biologie

"Etude de l'évolution du potentiel de
fertilité lors de la mise en eau d'un réservoir"

Juin 1979

Remerciements

Plusieurs personnes ont joint leurs efforts aux miens, lors de la réalisation de ce mémoire de maîtrise. Les informations fournies, les conseils judicieux et l'aide précieuse de ceux qui sont allés jusqu'à mettre la main à la pâte, ont servi de pierre angulaire à ce travail.

Je tiens à remercier tout particulièrement Messieurs Simon Visser et Pierre Couture pour leur support scientifique de premier ordre.

Mes remerciements s'adressent également à Messieurs Bernard Bobée et Dominique Roy qui ont su apporter une critique constructive, Monsieur Marius Lachance qui a effectué le traitement informatique de même que pour son aide précieuse dans le domaine statistique, Monsieur Roger Lemire pour son efficacité et sa patience à me fournir l'information concernant le bassin versant étudié.

J'aimerais de plus remercier et souligner le travail de Monsieur Magella Cantin pour sa contribution lors du raffinement final, Madame Marie A. Sylvestre pour le filtrage littéraire, Monsieur André Parent pour la réalisation des figures et Mademoiselle Lise Raymond pour la dactylographie du manuscrit.

J'ajoute un merci particulier à Monsieur Jean-Louis Sasseville qui a permis une prise de contact du sujet dès l'automne dans le cadre de son cours de systémologie.

Finalemant, je remercie mes confrères et consoeur de deuxième année à l'INRS-Eau pour le solide et constant soutien moral qu'ils m'ont si généreusement fourni tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Résumé

Afin de mieux prévoir les effets environnementaux de la mise en eau du grand réservoir LG-2, les membres du service Environnement de la SEBJ ont profité de la création préalable d'un petit lac de barrage situé en bordure. Un programme d'étude élaboré du réservoir Desaulniers a donc été mis au point et réalisé durant une période de trois ans au milieu de laquelle la fermeture de la digue était réalisée.

Parmi les paramètres étudiés, on retrouve le potentiel de fertilité, ce dernier servant d'indicateur de la qualité générale d'une eau. Ce mémoire discute des résultats des mesures de potentiel de fertilité, les principaux objectifs le concernant étant de vérifier son efficacité à mettre en évidence les effets de la mise en eau d'un réservoir et sa signification face aux constituants biotiques du milieu naturel.

La réalisation de ce programme reposait sur l'utilisation de méthodes statistiques simples. Malheureusement, le manque de données ne nous permet pas de conclure en ce qui concerne le deuxième objectif. Mais dans le cas du premier, il est évident que le potentiel de fertilité est sensible à la mise en eau d'un réservoir, mais l'effet n'est visible qu'après une période d'environ un an dans le cas du réservoir Desaulniers.

TABLE DES MATIERES

| | <u>Page</u> |
|--|-------------|
| REMERCIEMENTS | i |
| RESUME | iii |
| TABLE DES MATIERES | iv |
| LISTE DES TABLEAUX | vii |
| LISTE DES FIGURES | ix |
| | |
| INTRODUCTION | 1 |
| | |
| II PROBLEMATIQUE | 5 |
| | |
| 2.1 Cadre de l'étude | 6 |
| 2.2 Potentiel de fertilité (historique et signification physique) | 8 |
| 2.3 Objectifs du mémoire | 11 |
| | |
| III ASPECTS GEOGRAPHIQUES ET PHYSIOGRAPHIQUES DU BASSIN DE LA RI- VIERE DESAULNIERS | 13 |
| | |
| IV ORIGINE ET CARACTERISTIQUES DES DONNEES | 19 |
| | |
| 4.1 Description des stations d'échantillonnage | 20 |
| 4.2 Potentiel de fertilité | 25 |
| 4.2.1 Echantillonnage | 25 |
| 4.2.2 Technique d'analyse | 27 |

| | | |
|----------|--|----|
| 4.3 | Paramètres physico-chimiques | 32 |
| 4.4 | Chlorophylle | 33 |
| 4.4.1 | Echantillonnage | 33 |
| 4.4.2 | Technique d'analyse | 35 |
| V | METHODOLOGIE DU TRAITEMENT STATISTIQUE | 36 |
| 5.1 | Comparaison de moyennes | 37 |
| 5.2 | Coefficient de corrélation | 38 |
| 5.3 | Modalités d'application | 39 |
| VI | DISCUSSION | 40 |
| 6.1 | Causes possibles de variabilité du PF | 41 |
| 6.2 | Variabilité spatiale | 44 |
| 6.3 | Variabilité temporelle | 53 |
| 6.3.1 | Fluctuations saisonnières du PF | 53 |
| 6.3.2 | Evolution pendant les trois ans d'étude | 55 |
| 6.4 | Corrélation entre le PF et la chlorophylle α active | 60 |
| 6.4.1 | Stations non affectées par la mise en eau | 62 |
| 6.4.2 | Stations affectées par la mise en eau | 63 |
| VII | CONCLUSION | 66 |
| | REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES | 69 |
| ANNEXE A | Tests statistiques: méthodologie | 74 |

| | | |
|----------|---|-----|
| ANNEXE B | Tableaux et graphiques, potentiel de fertilité bassin versant de la rivière Desaulniers, 1976, 1977, 1978 | 89 |
| ANNEXE C | Paramètres physico-chimiques et biologiques, bassin versant de la rivière Desaulniers 1977, 1978 | 111 |

LISTE DES TABLEAUX

| | <u>PAGE</u> | |
|-----|--|----|
| 4.1 | Dates d'incorporation au réservoir des stations affectées par la mise en eau | 26 |
| 4.2 | Profondeur de prélèvements effectués aux différentes stations pour les trois années | 28 |
| 4.3 | Modifications aux procédures d'analyse du potentiel de fertilité | 29 |
| 4.4 | Schéma des différentes étapes suivies lors de la réalisation du test de fertilité | 30 |
| 4.5 | Etapes de transformation du nombre de cellules en biomasse | 31 |
| 4.6 | Echantillonnage physico-chimique pour les années 1976-1977 | 34 |
| 6.1 | Comparaison de moyennes entre les stations, par années | 45 |
| 6.2 | Comparaison de moyennes entre les stations, par périodes | 46 |
| 6.3 | Moyennes des mesures de potentiel de fertilité | 48 |
| 6.4 | Technique d'identification du facteur chimique limitant | 49 |
| 6.5 | Données physico-chimiques et biologiques du 22 août 1977 pour les stations G2-117, G2-123, G2-129 | 51 |
| 6.6 | Comparaison de moyennes entre les années, par stations | 56 |
| 6.7 | Pourcentage d'augmentation du potentiel de fertilité entre les stations affectées et les stations non affectées par la mise en eau | 58 |

6.8 Corrélation entre la chlorophylle α active et le po-
tentiel de fertilité

61

LISTE DES FIGURES

| | <u>PAGE</u> |
|---|-------------|
| 2.1 Bassin de la rivière Desaulniers | 7 |
| 3.1 Relief du bassin de la rivière Desaulniers | 15 |
| 3.2 Couvert végétal du bassin de la rivière Desaulniers | 17 |
| 4.1 Réservoir Desaulniers, stations d'échantillonnage, potentiel de fertilité de 1976 à 1978 | 21 |
| 6.1 Mécanismes influençant la variabilité du potentiel de fertilité | 42 |

INTRODUCTION

INTRODUCTION

La connaissance de son environnement, apparaît de tout temps, comme une des préoccupations majeures de l'homme, car c'est une condition fondamentale à sa survie. Tout au long des temps, il a sans cesse imaginé de nouveaux moyens d'augmenter son savoir, et ainsi, nous disposons aujourd'hui d'une multitude d'appareils et de techniques qui vont au-delà de nos sens chercher des renseignements de plus en plus précis sur le monde qui nous entoure.

Les écosystèmes naturels, par leur diversité et leur dynamisme très élevés, rendent la tâche difficile aux chercheurs, et notre bagage de connaissances dans ce domaine demeure très léger. Le milieu aquatique en particulier, garde encore beaucoup de ses secrets, mais l'ingéniosité et la soif de savoir de l'homme percent continuellement les mystères qui s'y cachent et mettent à jour des phénomènes de plus en plus complexes.

La gamme des moyens utilisés pour puiser l'information relative au comportement des eaux s'étend sur une vaste échelle. Les techniques le plus souvent employées afin de caractériser une eau sont d'ordre physico-chimique. Ces méthodes atteignent un haut niveau de raffinement et semblent très utilisées. Malgré leur grande popularité, elles montrent des lacunes évidentes en ce qui concerne la mesure de la dynamique des systèmes naturels; en effet les réactions synergétiques, les chélationes et la biodisponibilité des éléments nutritifs par exemple, échappent aux analyses traditionnelles simples. Ces lacunes sont à l'origine de la mise au point des bioessais,

sorte de paramètre intégrateur de l'ensemble des réactions chimiques qui se déroulent dans le milieu naturel. Parmi ce type de test figure en bonne place le potentiel de fertilité.

L'utilisation de ce paramètre a connu une expansion considérable depuis quelques années; on s'en sert habituellement pour contrôler la qualité des eaux, en définir le niveau trophique, identifier les facteurs chimiques limitant la production primaire ou mettre en évidence la présence de substances toxiques.

Il devrait en principe suivre l'évolution de la qualité de l'eau lors de la création d'un réservoir.

Parce que le potentiel de fertilité dépend d'un nombre important de paramètres, l'analyse des causes de sa variabilité peut s'avérer une étude d'envergure. Mais en général on s'oriente du côté des éléments nutritifs principaux. De plus, les conditions physiques et biologiques du milieu risquent de l'influencer fortement.

Mais du fait même de sa globalité et surtout parce que c'est une méthode développée en laboratoire sur des monocultures d'algues, la signification du potentiel de fertilité par rapport au milieu naturel demeure encore obscure et fait l'objet de maintes controverses. On le reconnaît habituellement comme étant un paramètre de mesure d'un composant abiotique du milieu mais son sens face au composant biotique n'est pas encore bien connu et on en est réduit aux hypothèses.

La solution à cette question, pourrait être à l'origine d'un nouveau moyen de connaître et de prévoir les phénomènes naturels et ainsi reculer encore un peu les frontières de l'ignorance.

CHAPITRE 2

PROBLEMATIQUE

2. PROBLEMATIQUE

2.1 Cadre de l'étude

Suite à la décision de la Société d'Energie de la Baie James, en 1972, de faire des aménagements hydroélectriques sur la Grande Rivière, de vastes travaux ont été entrepris sur un immense territoire situé à l'est de la baie James. Un important barrage a été construit à LG2.

La fermeture du réservoir de LG2 aurait eu pour effet d'inonder le bassin du lac Alder, jusqu'à la ligne de partage des eaux située à environ 11 km à l'ouest. Les terrains auraient été inondés jusqu'à la côte 152 m avant que les eaux ne se déversent naturellement vers l'ouest (Boucher *et al.*, 1978) (figure 2.1). Afin de contrer cette éventualité le service Ingénierie de la SEBJ a vu à l'implantation de digues dans la vallée Desaulniers. Mais cette barrière artificielle créée pour contenir les eaux du réservoir LG2, empêche en même temps l'écoulement naturel de la rivière Desaulniers à l'est, vers la Grande Rivière où elle se jetait à l'origine.

Plusieurs alternatives ont été envisagées concernant l'aménagement du bassin de la rivière et du lac Desaulniers. Finalement suite à l'évaluation de critères techniques, économiques et écologiques, la solution retenue consiste en l'installation d'une station de pompage permanente au pieds de la digue Duncan.

Afin de tirer le maximum d'informations scientifiques au moment de la création de ce réservoir, le service Environnement a décidé d'utiliser

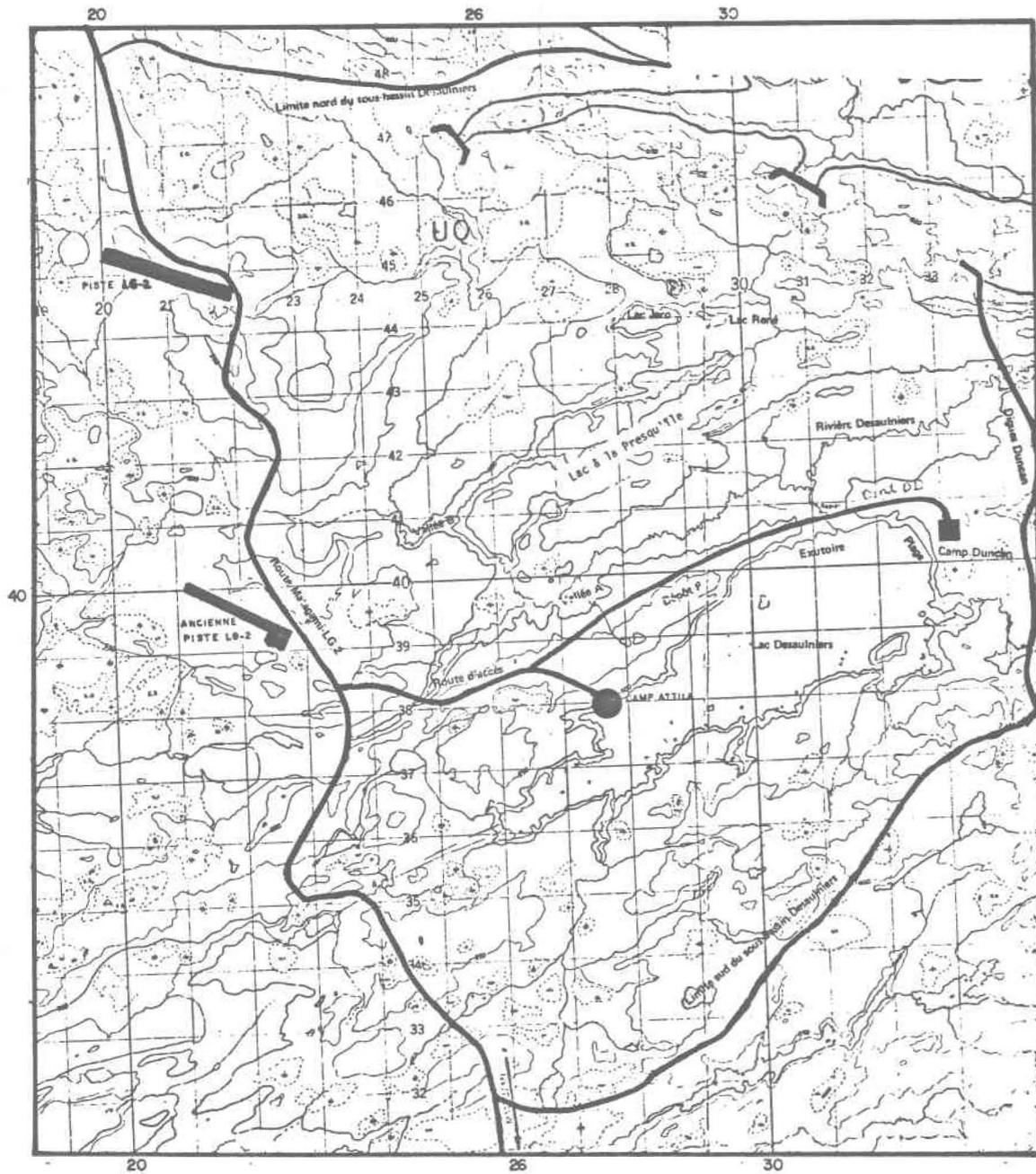


Figure 2.1 . Bassin de la rivière Desaulniers (SEBJ, 1976).

la vallée Desaulniers comme un vaste laboratoire naturel. Les mesures effectuées avant et après la création du lac de barrage, serviront à suivre les modifications induites sur les écosystèmes environnants. Cette étude globale a pour but de mettre en lumière les différents facteurs qui interviennent lors de la mise en eau et sera utilisée à la planification du programme de surveillance écologique des réservoirs du complexe La Grande.

Parmi les paramètres de contrôle choisis on retrouve le potentiel de fertilité (PF). Des rencontres entre les représentants du service Environnement et l'INRS-Eau sont à l'origine du plan d'étude de ce paramètre. Les objectifs définis par les deux parties se résument comme suit: à court terme, vérifier l'efficacité de la mesure de PF en tant que paramètre capable de suivre l'évolution de la production primaire des eaux de ce bassin; à moyen terme, utiliser ce paramètre pour mettre en évidence l'impact de la mise en eau du réservoir Desaulniers sur l'évolution de la production primaire de ce système aquatique (Couture et Visser, 1977). L'entente stipulait que l'échantillonnage figurait au nombre des responsabilités de la SEBJ tandis que l'analyse et l'interprétation incombaient à l'INRS-Eau.

2.2 Potentiel de fertilité (historique et signification physique)

L'utilisation de matériel biologique pour évaluer la qualité des eaux, est devenue pratique courante depuis une quinzaine d'années. Mais les débuts dans ce domaine remontent beaucoup plus loin. C'est en 1910 que pour la première fois des bioessais avec algues étaient réalisés par Allen et Nelson (Couture et Visser, 1978). Ils servaient surtout à caractériser de façon qualitative certaines eaux; on les désigne sous le nom de tests

biologiques. Plus tard des méthodes plus raffinées permirent de doser certaines substances chimiques telle la vitamine B12 (Carlucci et Silbernagel, 1966). Ces expériences ayant un aspect quantitatif sont regroupées sous le terme d'essais biologiques.

Le potentiel de fertilité a suivi sensiblement la même évolution: devenant d'indicateur qualitatif, paramètre quantitatif. On le définit de plusieurs façons, on peut dire de manière générale qu'il représente: "La mesure de la capacité d'une eau à supporter la croissance d'un organisme autotrophe témoin" (Couture et Visser, 1977). Des représentants du service Environnement et de l'INRS-Eau en sont arrivés en 1977 à la conclusion "que la mesure de ce paramètre constituait une méthode biotique pour mesurer une composante abiotique du milieu et que par conséquent on ne pouvait l'inclure comme mesure de la production microbiologique du milieu" (Couture et Visser, 1978).

La mesure du PF réalisée en laboratoire sur un échantillon d'eau provenant du milieu naturel utilise un inoculum monospécifique d'algues et s'effectue sous des conditions physiques entièrement contrôlées et sous des conditions écologiques (compétition, prédation, etc.) presque inexistantes. La mesure apparaît en fait comme un reflet de la composition chimique de l'eau analysée.

En plus d'être facilement réalisable techniquement, un autre avantage de la méthode vient du fait qu'elle intègre l'ensemble de l'état chimique de l'échantillon. Des phénomènes importants tels la synergie, la chélation et autres réactions entre composés chimiques sont intégrés à l'intérieur des résultats obtenus.

Le potentiel de fertilité a été utilisé à plusieurs fins au cours des dernières années, en voici quelques exemples regroupés en quatre grandes catégories :

1. Détermination du niveau trophique d'une eau, en lac (Miller *et al.*, 1974, Chiaudini et Vighi, 1974) et en rivière (Greene *et al.*, 1975a). A l'aide données de PF, ces auteurs ont réussi à établir une correspondance avec le niveau trophique du milieu étudié. Dans un même ordre d'idée on a aussi utilisé le PF pour déterminer la sensibilité à l'enrichissement d'une eau, son potentiel de production, et aussi pour évaluer l'efficacité des processus de traitements.
2. Identification des nutriments qui contrôlent la production du milieu aquatique. Toerien et Steyn (1973) ont mis au point une méthode procédant par ajouts dosés de substances nutritives. La réponse à ces ajouts met en évidence la substance chimique qui limite la production primaire.
3. Vérification de la présence de substances toxiques dans l'échantillon testé. Le PF est très fréquemment utilisé pour vérifier l'état de toxicité de l'eau qu'elle soit due à la présence d'un élément ou à l'action combinée de plusieurs substances toxiques (Miller *et al.*, 1975; Greene *et al.*, 1976; Shiroyama *et al.*, 1976).
4. Dosage biologique afin de déterminer quantitativement la concentration biodisponible des nutriments. Cullimore et McCann (1972) ont établi une équation entre les résultats de PF et la fraction assimilable de l'azote et du phosphore. Citons aussi, dans le même ordre d'idée les travaux de Shiroyama *et al.* (1973).

La méthode de mesure du PF est souvent critiquée du fait qu'elle est réalisée en laboratoire, ainsi sa signification face à l'aspect biotique du milieu demeure obscure. Ce point particulier fait l'objet des recherches actuelles et des auteurs tels que Greene *et al.* (1975b, 1976) et Shiroyama *et al.* (1976), ont constaté des corrélations entre la chlorophylle α , la biomasse phytoplanctonique et la mesure de PF. Leurs travaux ont débouché sur des équations permettant, à partir des données de PF, de prévoir les concentrations de phytoplancton et de chlorophylle α existant dans le milieu d'où provient l'échantillon.

Quoi qu'il en soit, les expériences utilisant du matériel vivant pour donner de l'information sur la nature et la qualité de l'environnement seront sûrement de plus en plus utilisées dans les années à venir, car elles renferment une dimension vitale que les autres types d'analyses ne possèdent pas.

Les connaissances s'accumulant, les questions qui demeurent aujourd'hui en suspens ne résisteront pas indéfiniment aux recherches.

2.3 Objectifs du mémoire

A la lumière des buts définis et recherchés par les instigateurs de l'échantillonnage et de l'analyse de PF réalisés sur le bassin de la rivière Desaulniers, des données disponibles et des connaissances actuelles sur ce paramètre de qualité des eaux, trois principaux objectifs ont été définis pour cette étude:

1. Détermination de l'efficacité de la mesure de PF en tant que paramètre capable de suivre les effets de la mise en eau d'un réservoir sur l'évolution de la qualité de cette eau.
2. Explication des variations spatiales et temporelles de PF à l'aide de paramètres physico-chimiques et biologiques.
3. Mise en évidence de la signification de ce test biologique effectué en laboratoire face aux constituants biotiques du milieu naturel.

CHAPITRE 3

ASPECTS GEOGRAPHIQUES ET PHYSIOGRAPHIQUES DU BASSIN

DE LA RIVIERE DESAULNIERS

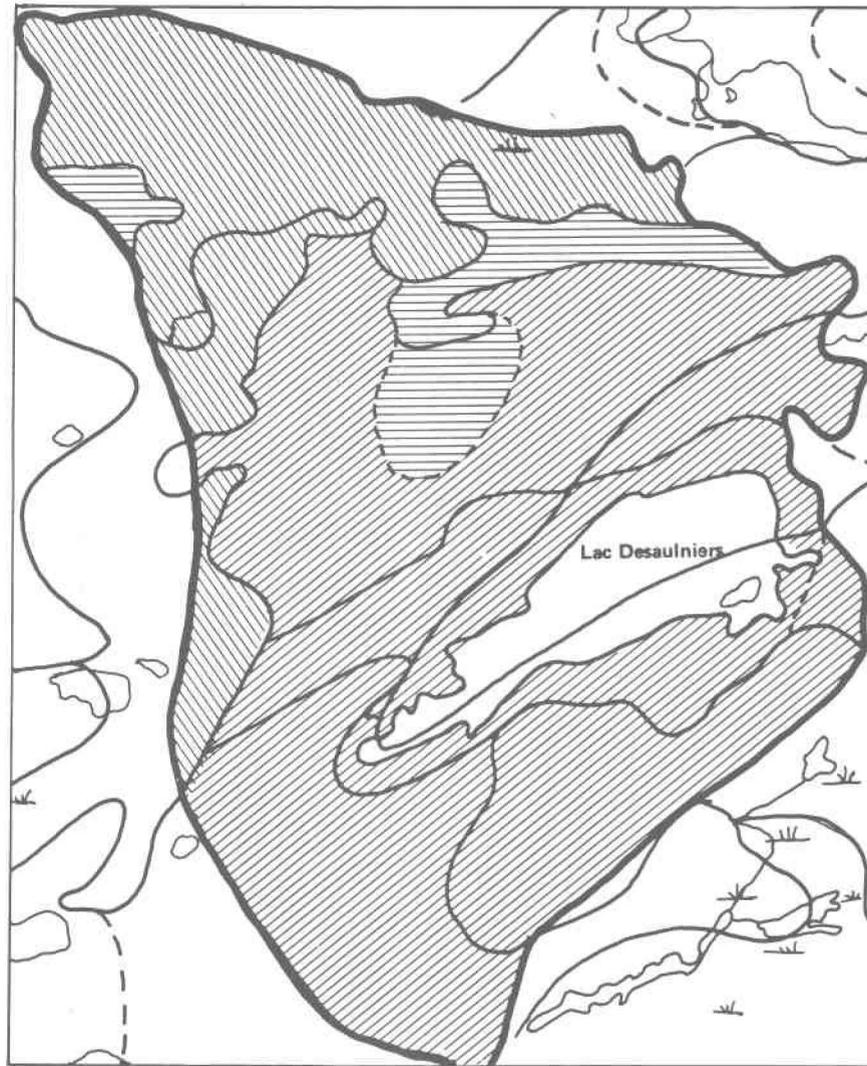
3. ASPECTS GEOGRAPHIQUES ET PHYSIOGRAPHIQUES DU BASSIN DE LA RIVIERE
DESAULNIERS

Le bassin de la rivière Desaulniers (figure 2.1) se situe au sud du barrage de LG2. Cette rivière se déversait à l'origine vers l'est dans la La Grande Rivière, en amont du site de la digue nord-est de LG2. Le réservoir Desaulniers qui doit sa naissance à la mise en place de la digue D-20 sur la rivière, se trouve à 24 km du site de LG2. Son orientation sud-ouest, nord-est le place parallèlement à l'axe du lac Desaulniers. La décharge de ce dernier constitue le principal tributaire de l'ancienne rivière. Le bassin des rivières Du Castor à l'ouest et au sud et de La Grande Rivière au nord bordent les limites du bassin Desaulniers.

Sa position assez nordique classe cette région dans la zone climatique Dfc*, c'est-à-dire que la température moyenne est supérieure à 10°C pour le mois le plus chaud et inférieure à -30°C pour le plus froid. La moyenne annuelle se situe aux alentours de -4°C (Boucher *et al.*, 1978). La température dans la région est caractéristique d'un climat de type sub-arctique et présente des fluctuations inter-saisonniers assez fortes.

De relief moutonné (figure 3.1) dans l'ensemble, quoique variant de ondulé à plat dans la partie nord, le bassin de la rivière Desaulniers présente trois vallées orientées nord-est sud-ouest. Le lac et la rivière Desaulniers occupent les deux sillons les plus au sud tandis que le lac à la Presqu'île et son exutoire logent dans la dernière vallée. Des formations rocheuses du type volcanique composées de laves métamorphosées et intermédiaires, constituent en grande partie la base du terrain. Ces roches sont

* Dfc.: d'après la classification Köppen-Geiger.



-  Plat
-  Ondulé
-  Moutonné

**Figure 3.1 . Relief du bassin de la rivière Desaulniers
(Projet ETBS , SEER , Environnement Canada , 1973 ,
in: SEBJ, 1976) .**

associées à la minéralisation de sulfures, de cuivre, de zinc et de fer. On a découvert des formations de fer-magnétite du nord de la rivière Desaulniers de même qu'à l'ouest et au sud-ouest du lac Desaulniers. Le reste de la région est occupé par des dépôts d'origine glaciaire (moraine, sable et gravier).

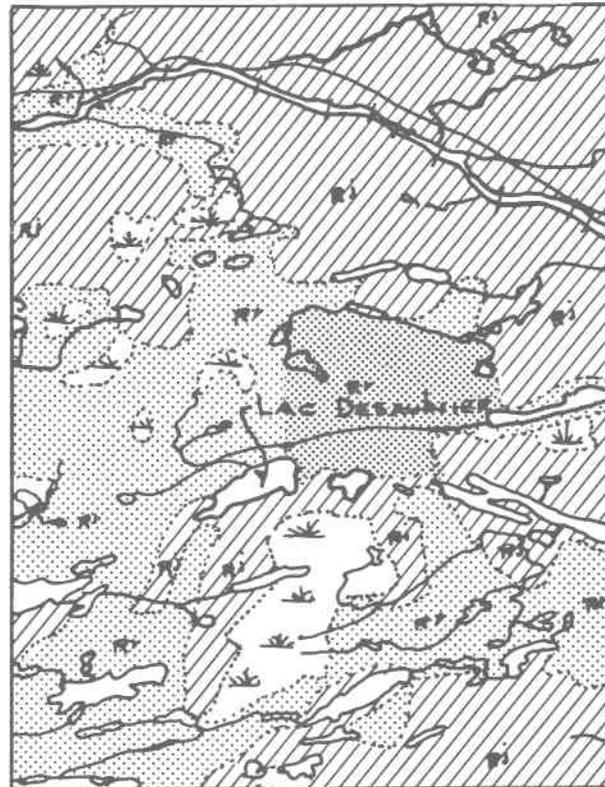
Le bassin versant de la rivière Desaulniers s'étend sur 168.3 km² et comprend une quinzaine de plans d'eau dont le plus important est celui du lac Desaulniers. Les autres lacs d'importance sont les lacs aux Nénuphars, à l'Aigle-Pêcheur et à la Presqu'île. De plus, il est à noter que plusieurs tourbières réticulées s'étendent au nord-ouest du bassin dont une en bordure de la rivière. Le débit de cette dernière apparaît plutôt faible, de l'ordre d'environ 2.8 m³/sec (Boucher *et al.*, 1978).

La partie nord du bassin est occupée par des résineux en régénération tandis que dans le sud, ce sont des jeunes résineux qui prédominent (figure 3.2). Le couvert végétal est caractéristique de la sous-zone moyenne subarctique:

"Il semble que la limite septentrionale du Moyen Subarctique ait une signification écologique très importante puisqu'elle coïncide avec la limite des forêts de densité D (25% à 40%) et C (40% à 60%) de recouvrement". Tiré de Zarnovican, R. et al. 1976".

(Boucher *et al.*, 1978).

Le domaine de la pessière à épinette noire, mousse et lédon occupe tout le bassin. La forêt montre un pourcentage de recouvrement faible dû au peu de



-  Rj: Résineux jeunes
-  Rr: Résineux en régénération
-  W : Tourbière

Figure 3.2 . Couvert végétal du bassin de la rivière Desaulniers
(Thériault, Dumont et associés, in :SEBJ, 1976).

densité des arbres. Les espèces les plus fréquentes sont le pin gris (Pinus Banksiana), le bouleau glanduleux (Betula glandulosa), l'épinette noire (Picea mariana) et le mélèze (Larix laricina). Les espèces ripicoles sont surtout des arbustes tels l'aulne crispé (Alnus crispa) et le saule (Salix argyrocarpa). Ces derniers constituent la majorité de la végétation arbustive noyée. Le sol est couvert en grande partie de mousse et de lédon; il offre en général une bonne résistance à l'érosion, mais le drainage est souvent mauvais.

En ce qui concerne les influences humaines autres que les travaux de construction, elles demeurent très irrégulières et ne se font sentir que par intermittence. En fait aucune population permanente n'occupe le bassin quoique lors de la construction de la digue, le camp Duncan était installé sur le côté est du lac Desaulniers. Ce camp a été établi en 1976 et abandonné durant l'été 1978; sa population a atteint et dépassé les 1,000 personnes au plus gros des travaux. Le lac Desaulniers servait de lieu de récréation ses plages étaient habituellement utilisées durant l'été. Les eaux usées en provenance des installations subissaient un traitement de type étangs aérés. Les responsables estiment que ce système était assez efficace réduisant le DBO d'environ 85%. (Roger Lemire, communication personnelle, 1979).

Par contre d'autres travaux tels que la construction de la route (en 1974 et 1975), le "lavage" de la digue ou des camions, ont amené des perturbations assez importantes au milieu aquatique. Mais sauf ces cas localisés, on peut dire que ce bassin est encore à l'état sauvage et que les changements observés sont des conséquences directes des phénomènes survenant lors de la mise en eau.

CHAPITRE 4

ORIGINE ET CARACTERISATION DES DONNEES

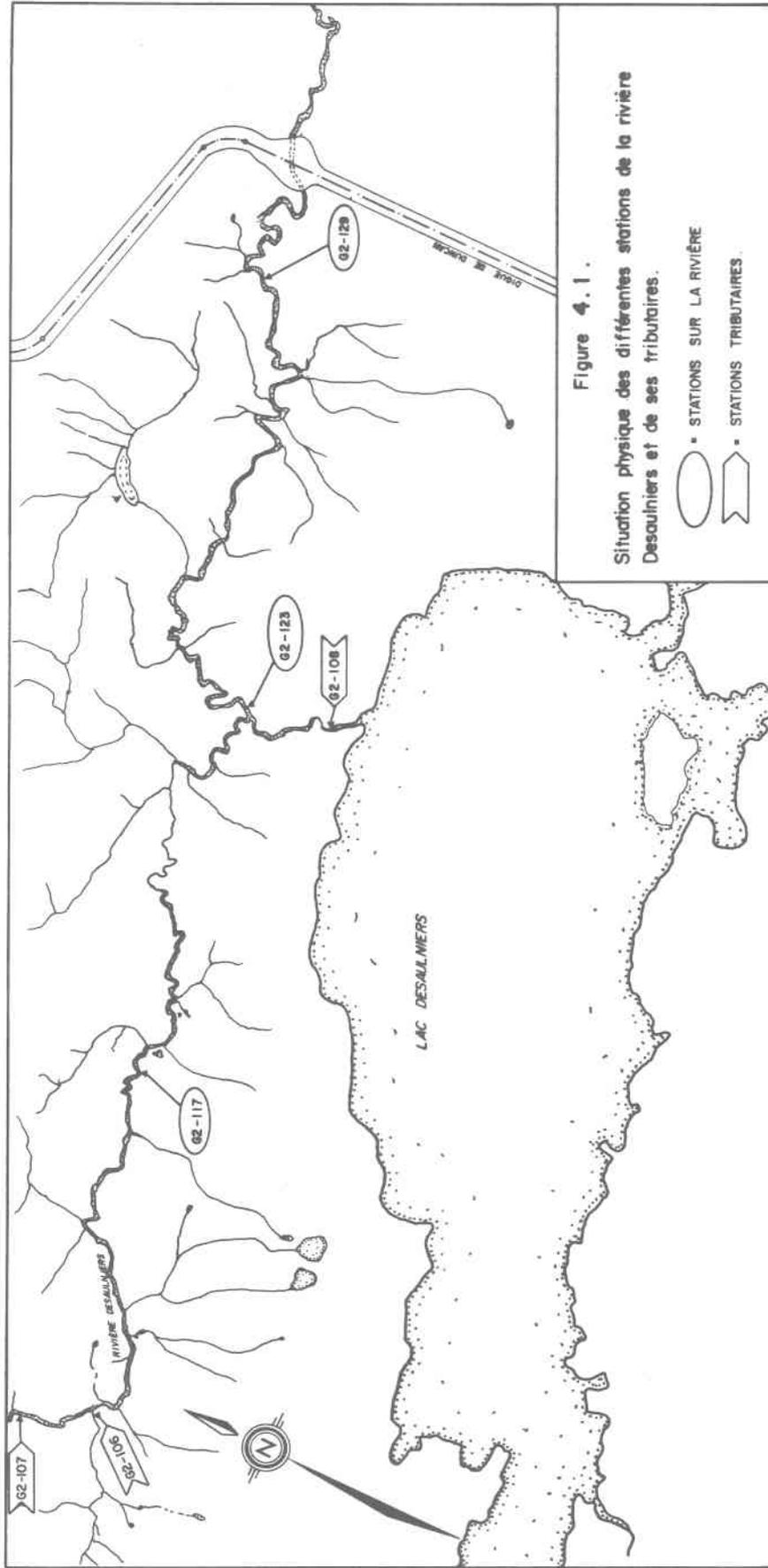
4. ORIGINE ET CARACTERISATION DES DONNEES

4.1 Description des stations d'échantillonnage

Le service Environnement de la SEBJ, pour les fins de son étude a sélectionné différents types de stations; elles correspondent soit à des endroits bien précis, soit à des tronçons de rivière ou encore à des lacs. Celles qui sont localisées à des endroits précis, ont servi à l'échantillonnage pour des analyses physico-chimiques, de PF et d'autres paramètres biologiques: zooplancton, périphyton, benthos, etc. Les stations où la mesure de PF a été effectuée sont identifiées à la figure 4.1 de la manière suivante: G2-106, G2-107, G2-108, G2-117, G2-123 et G2-129. La station G2-130 a remplacé quelques fois la station G2-129 à cause de l'accessibilité difficile de cette dernière, à certaines périodes de l'année. Ces stations ont déjà été décrites par les membres du service Environnement (Boucher *et al.*, 1978). On se contentera ici de résumer brièvement leurs observations pour chacune de ces stations pour la période précédant la mise en eau du réservoir.

Station G2-106

Située sur le ruisseau Desaulniers à environ 60 m de son point de confluence avec la rivière du même nom, cette station reçoit les eaux du lac à l'Aigle-Pêcheur. Elles s'écoulent sur une largeur d'environ 2 m et sur .5 m de profondeur. Les berges peu abruptes n'arrivent pas à contenir la crue printannière d'où un important élargissement du cours d'eau durant cette saison. Un fond sablonneux mêlé avec des



dépôts de limon et des débris organiques permet l'implantation d'une végétation aquatique. On y retrouve différentes espèces de nénuphars, de potamogetons et de rubaniers. Les rives sont occupées surtout par des arbustes dont l'aulne crispé (Alnus crispa) et le saule (Salix planifolia).

Station G2-107

Cette station, la plus en amont sur la rivière Desaulniers se trouve à la limite de la plaine argilo-marine dans une région plus ou moins uniforme, au drainage mauvais surtout dans la partie sud. D'une profondeur moyenne de 2 m et d'une largeur d'environ 7 m, cette section de la rivière coule sur un lit de sable, d'argile, de limon et de débris organiques. Sur les berges nettement définies, on retrouve du saule, de l'aulne crispé de même que du pin gris et du bouleau granduleux; l'ensemble forme un couvert ombrageant cette partie de la rivière. La zone uniforme et tourbeuse environnante est recouverte de sphaignes et d'éricacées; de plus, quelques épinettes noires et mélèzes viennent compléter le paysage.

Station G2-108

Placée directement à l'exutoire du lac Desaulniers, à environ 50 m de ce dernier, la station G2-108 se situe un peu en amont de la route conduisant au camp Duncan. A cet endroit, les dimensions de la rivière sont les suivantes: .5 m de profondeur et environ 6 m de largeur. Le gravier fin qui couvre le fond constitue un site privilégié pour les frayères, il est accompagné de limon, de silt et de matières organiques.

Les berges sont occupées par les aulnes et des éricacées. Aucune plante aquatique n'a été signalée car le courant est assez rapide.

Station G2-117

C'est dans une région uniforme et mal drainée que se situe la station G2-117, au milieu d'une série de méandres dessinés par la rivière. D'une profondeur de 1.5 m et de 5 à 8 m de largeur, le peu de relief des rives permet à la rivière de quitter son lit au moment des crues. Le sable, l'argile, le limon et les débris organiques forment le fond de la rivière. Des arbustes tels que le saule occupent les rives.

Station G2-123

De même que les stations précédentes, G2-123 loge dans une région peu accidentée, mal drainée, renfermant plusieurs marécages et platières tourbeuses. L'intérêt de cette station réside dans le fait que, localisée à près de 40 m en aval de l'émissaire du lac Desaulniers, elle reflète le résultat du mélange des eaux du lac et de la rivière. Large de 10 à 12 m, et profonde de 1.5 m, la rivière à cet endroit, est constituée de sable silteux mêlé de limon, d'argile, de matières organiques et de sédiments. Ces derniers proviennent principalement des travaux de construction de la route. "Le transport de sédiments et de débris de toutes sortes, engendrés par ces travaux, a modifié d'une façon appréciable la nature de fond de la rivière en colmatant le substrat". (Boucher *et al.*, 1978). On peut noter la présence de thalles filamenteuses, d'algues et de macrophytes aquatiques des genres potamogeton et rubanier. L'eau est contenue par des berges assez escarpées où

poussent en grande quantité des aulnes et des saules.

Station G2-129

Au milieu d'un bassin circulaire de 30 m de diamètre, cette station est la plus en aval sur la rivière; elle précède la station de pompage d'à peine 800 m et suit une série de rapides. Sa profondeur moyenne est de 2.5 m; le fond se compose de sable fin à grossier, associé à du limon, du silt et de la matière organique. Cette station subit aussi l'influence des activités humaines déjà mentionnées pour G2-123; on a donc pu y observer une augmentation des apports en sédiments. Le milieu terrestre environnant montre un relief accidenté et le terrain demeure assez bien drainé. Les berges sont occupées par l'épinette noire, le mélèze, le saule et des éricacés. Les espèces aquatiques pour leur part sont plutôt rares.

Station G2-130

Cette station la plus en aval de toutes, a remplacé occasionnellement G2-129 lors des prélèvements. Elle partage d'ailleurs avec cette dernière plusieurs points communs puisqu'elle loge dans le même bassin mais seulement un peu plus bas sur la rivière. Les différences les plus notables sont un courant plus lent, un fond plus silteux et graveleux.

La localisation amont des stations G2-106, G2-107, G2-108 leur a permis d'échapper à l'inondation résultant de la fermeture de la digue. Elles peuvent donc être considérées à titre de station témoin pour l'ensemble du pro-

jet.

Les autres stations ont été influencées par la mise en eau. Certaines caractéristiques physiques telles que la profondeur, la largeur, la nature du fond, ont été perturbées de façon variée selon les fluctuations de niveau du réservoir. Le tableau 4.1 montre les dates où l'eau a atteint chacune de ces stations.

La région inondée n'avait pas été décapée mais certaines zones avaient été déboisées. Plus particulièrement, il s'agit des secteurs environnant les stations G2-123 et G2-129.

4.2 Potentiel de fertilité

4.2.1 Echantillonnage

Durant les trois années de mesure du PF des eaux du bassin de la rivière Desaulniers, les équipes de prélèvements de la SEBJ ont assumé la responsabilité du prélèvement, de la conservation et de l'acheminement des échantillons vers les laboratoires de l'INRS-Eau. Ils ont échantillonné les stations décrites précédemment selon une cédule où la fréquence des prélèvements augmentait en période de crue, 2 par semaine, pour ensuite diminuer à environ 1 par 2 semaines durant l'été. En hiver la fréquence était faible une fois par mois et peu constante.

La méthode de prélèvement utilisée permettait d'obtenir un échantillon composite en intégrant la colonne d'eau jusqu'à une certaine profondeur. Celle-ci était variable puisque déterminée par l'augmentation du niveau des

TABLEAU 4.1: Date d'incorporation au réservoir des stations affectées par la mise en eau (26 mai 1977)

| Stations | Dates de la première incorporation au réservoir | Station en rivière après la première incorporation au réservoir (dates) |
|----------|---|---|
| G2-129 | 27-05-77 | |
| G2-123 | 01-06-77 | 11-08-77 au 14-08-77 |
| G2-117 | 27-09-77 | 18-03-78 au 15-06-78 14-09-78 au 30-10-78 |

eaux (tableau 4.2). Les échantillons étaient conservés à l'obscurité et à la température de la glace fondante, puis acheminés dans des glaciers vers les laboratoires de l'INRS-Eau à Québec.

4.2.2 Technique d'analyse

La technique utilisée durant ce projet est celle qui a été décrite par EPA (1971). Cependant le souci d'améliorer la sensibilité de la mesure a amené des changements mineurs dans la procédure d'analyse, dès 1977 (tableau 4.3). Ces modifications sont demeurées en application l'année suivante.

Le tableau 4.4 montre les différentes étapes à suivre pour mesurer le PF selon la technique utilisée en 1977 et 1978. La méthode est simple: en résumé, il s'agit d'ajouter à un échantillon d'eau filtrée et stérilisée un inoculum de Selenastrum capricornutum en phase de croissance exponentielle; on le laisse incuber sous des conditions bien précises pendant 14 jours (tableau 4.4). Ensuite, à l'aide d'un compteur de particules, on mesure la population d'algues présentes. Puis on convertit le nombre d'algues obtenu en biomasse, de la façon décrite dans le tableau 4.5, à l'aide d'une constante établie à chaque campagne de mesures et d'après la relation définie par Greene *et al.* (1975 a).

L'utilisation pour des bio-essais de l'algue verte Selenastrum capricornutum est assez répandue parce qu'elle offre des avantages intéressants; le plus important étant la vaste distribution de l'espèce tant en milieu oligotrophe qu'eutrophe. C'est de plus un organisme unicellulaire

TABLEAU 4.2: Profondeurs de prélèvements effectués aux différentes stations pour les trois années.
(Lemire et Vinet, 1978 a,b; Couture et Visser, 1978; SEBJ, 1979 a, b).

| | G2-106 | G2-107 | G2-108 | G2-117 | G2-123 | G2-129 |
|------|------------------------|-----------|---------|-----------|-----------|---------|
| 1976 | Potentiel de fertilité | 0 à 1 m | 0 à 1 m | 0 à 1 m | 0 à 1 m | 0 à 1 m |
| | Physico-chimie | 0 à 0.5 m | 0 à 2 m | 0 à 0.3 m | 0 à 2.5 m | 0 à 4 m |
| | Chlorophylle α | - | - | - | - | - |
| 1977 | Potentiel de fertilité | 0 à 1 m | 0 à 1 m | 0 à 1 m | 0 à 1 m | 0 à 1 m |
| | Physico-chimie | 0 à 1 m | 0 à 1 m | 0 à 1 m | 0 à 1 m | 0 à 1 m |
| | Chlorophylle α | - | - | - | - | - |
| 1978 | Potentiel de fertilité | 0 à 1 m | 0 à 1 m | 0 à 1 m | 0 à 1 m | 0 à 1 m |
| | Physico-chimie | 0 à 1 m | 0 à 1 m | 0 à 1 m | 0 à 3 m | 0 à 5 m |
| | Chlorophylle α | 0 à 1 m | 0 à 1 m | 0 à 1 m | 0 à 3 m | 0 à 5 m |

Tous les échantillons ci-haut mentionnés ont été intégrés.

TABLEAU 4.3: Modification aux procédures d'analyse du potentiel de fertilité
(Couture et Visser, 1977, 1978)

| ANNEES | Avant l'incubation | | Pendant l'indubation | | Comptage des algues | | |
|--------|--|---------------------------------------|---|-----------------|--|---------------|--|
| | Stérilisation | Filtration | pH ajustement | Inoculum | | Photo période | Période d'incubation |
| 1976 | à 1.25 atm. 121°C pendant 30 min. | | | 5,000 cel/ml | 16 heures: 5,400 lux 9 heures obscurité | 21 jours | Coulter Counter Model ZB cellules 100 µm |
| 1977 | à 1.25 atm. 121°C pendant 30 min. | à .5 atm sur millipore .45µm | à 7.5 ± 5 avec KOH ou HCl | 1,000 cel/ml | 24 heures à 5,400 lux | 14 jours | Coulter Counter Model TA cellules 70 µm |

TABLEAU 4.4: Schéma des différentes étapes suivies lors de la réalisation du test de fertilité (Adapté de Couture et Visser, 1978).

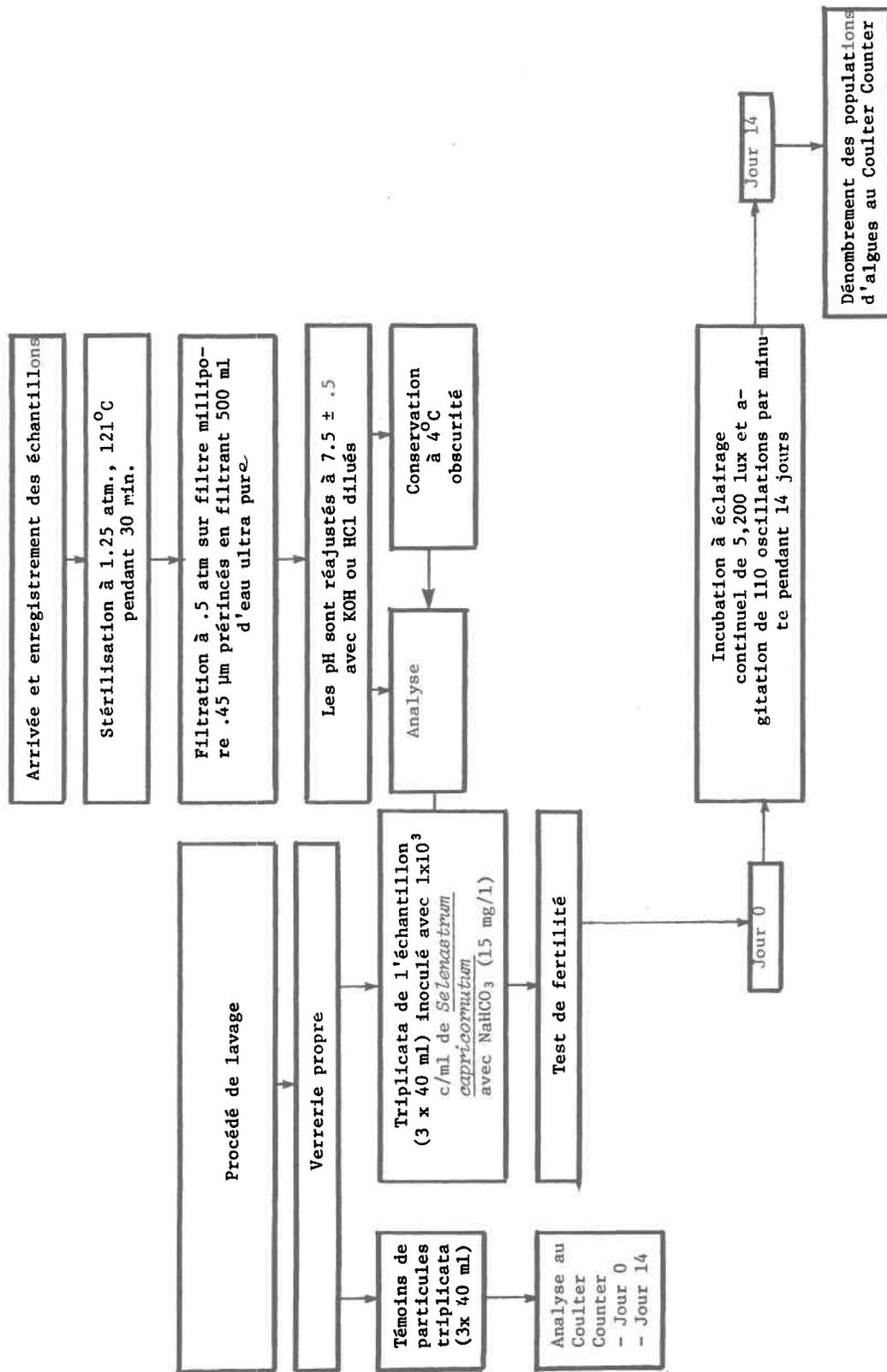


TABLEAU 4.5: Etapes de transformation du nombre de cellules en biomasse
(Adapté de Couture et Visser, 1978).

1° Déterminer le nombre de cellules produites (X) à l'intérieur d'un milieu de culture témoin (PAAP)*

2° Trouver le facteur de conversion

$$k = \frac{0.43 \cdot 186}{X}$$

0.43 = quantité d'algues produites pour chaque μg de P:
(Greene *et al.* 1975)

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

X = nombre de cellules produites

* PAAP: Provisional Algal Assay Procedure

qui demeure en suspension sans s'agglomérer; cette caractéristique facilite leur dénombrement à l'aide d'un compteur de particules. Enfin la conservation et l'entretien des cultures se fait très facilement. Il est à noter que la souche utilisée par l'INRS-Eau provient de Pacific Northwest Water Laboratory (Corvallis, Oregon).

Afin d'assurer une bonne précision, le test a été effectué en triplicata et le coefficient de variation (CV)* a été calculé. Pour un CV < 15% la valeur du potentiel de fertilité est établie d'après la moyenne arithmétique des trois mesures. Pour un CV ≥ 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 ≥ 15%, les trois mesures sont rejetées. (APHA *et al.*, 1975).

4.3 Données physico-chimiques

Dans le cadre de leurs programmes de relevés et d'analyse écologique, avant, pendant et après la mise en eau du réservoir Desaulniers, l'équipe de la SEBJ a échantillonné les eaux de la région en vue d'une étude physico-chimique. Une partie de ces résultats sera utilisée afin de mieux comprendre les variations du PF.

L'échantillonnage pour les paramètres physico-chimiques a été effectué à plusieurs endroits et en particulier aux stations qui nous intéressent soit: G2-106, G2-107, G2-108, G2-117, G2-123, G2-129, (figure 4.1). Les prélèvements ont été faits selon diverses méthodes, à différentes profondeurs et

* Coefficient de variation = $\frac{\text{écart-type}}{\text{moyenne}}$

l'analyse a suscité l'utilisation de plusieurs types d'appareils et de méthodes. Le tableau 4.6 résume la méthodologie utilisée dans chaque cas.

Les paramètres retenus pour les fins de cette étude sont: température, oxygène dissous, azote total et phosphore total. Le choix de ces derniers a été effectué d'après la fiabilité des données disponibles ou suite à une sélection faite à l'aide de graphiques de données physico-chimiques confrontés à ceux du PF. Le paramètre était choisi lorsque les variations semblaient intéressantes pour expliquer la variabilité du PF.

4.4 Chlorophylle

4.4.1 Echantillonnage

L'étude des pigments phytoplanctoniques n'a été entreprise sur la rivière Desaulniers qu'à partir de mai 1977; elle visait à suivre les variations spatio-temporelles de la biomasse phytoplanctonique. Les prélèvements pour cette année n'ont été faits qu'à deux stations et les dates ne coïncidaient pas avec celles de l'échantillonnage du PF. Les données de 1977 pour ce paramètre ont ainsi été négligées.

Toutefois en 1978, les dates et les profondeurs de prélèvements sont concomitantes. Ceci permet d'utiliser ces données.

Pour ce qui est de la méthode de prélèvement, c'est la même que celle destinée à l'échantillonnage du PF.

TABLEAU 4.6: Echantillonnage physico-chimique pour les années 1976 et 1977
(Adapté de Lemire et Vinet, 1978a).

| Paramètres | Conservation | Laboratoire | Appareil | Précision | Limite inférieure de détection |
|---|--------------------|-------------|----------------|---|--------------------------------|
| T° | - | in situ | thermomètre | ± 1.0°C | |
| OD | Méthode de Winkler | SEBJ | | ± 0.1 mg/l O ₂ | |
| Azote total _k (N _k +NO ₂ +NO ₃) | Obscurité 4°C | SEBJ MRN | Technicon AA-2 | N _k ± 1.0% | 0.02 mg/l N |
| | | | | NO ₂ +NO ₃ : ± 1.5% | 0.02 mg/l N |
| Phosphore total | obscurité 4°C | SEBJ MRN | Technicon AA-2 | ± 1.0% | .007 mg/l |

4.4.2 Technique d'analyse

La chlorophylle α a été mesurée en 1978 selon la méthode décrite par Rodriguez en 1977. Un volume d'eau connu est filtré sur filtre Whatman/GFC. Le filtre est congelé et conservé à l'obscurité. Les filtres sont ensuite placés dans des tubes de centrifugation, broyés dans une solution d'acétone à 90% et conservés au froid pendant 25 heures. Les échantillons sont ensuite centrifugés et dosés au spectrophotomètre aux longueurs d'onde 750, 665, 663, 645 et 630 nm. Une fois les lectures terminées, on ajoute 2 gouttes d'acide chlorhydrique et on effectue de nouvelles lectures aux longueurs 750 et 663 nm (Lorenzen, 1967).

A partir des valeurs obtenues, on évalue les concentrations des chlorophylles α , b , c et de la phéophytine en utilisant les équations de SCOR-Unesco (1966) et de Lorenzen (1967). La chlorophylle est ensuite corrigée en soustrayant les phaeopigments.

Etant donné la nature du PF, il représente la capacité d'une eau à produire de la matière végétale suivante, on n'a gardé que les mesures de chlorophylle α corrigées qui reflètent la biomasse phytoplanctonique active pour tenter de voir s'il y a corrélation entre les deux.

CHAPITRE 5

METHODOLOGIE DU TRAITEMENT STATISTIQUE

5. METHODOLOGIE DU TRAITEMENT STATISTIQUE

Les outils statistiques utilisés ici, afin de mettre en évidence les phénomènes naturels, sont des méthodes simples couramment utilisées pour le traitement préliminaire de données. Elles consistent en des tests de comparaison de moyennes et de signification du coefficient de corrélation. Les détails théoriques de chacun figurent en annexe A, mais afin de faire ressortir l'esprit de ces techniques et leurs limitations, nous en présentons succinctement les grandes lignes dans ce qui suit.

5.1 Comparaison de moyennes

L'analyse de variance à un critère permet de tester l'égalité simultanée des moyennes de plusieurs populations, à partir des estimations que l'on peut en faire sur des échantillons tirés de ces populations.

Un certain nombre d'hypothèses (annexe A.2.1) régissent les conditions d'application de l'analyse de variance, on suppose en particulier que les échantillons proviennent de populations normales. Mais l'hypothèse la plus importante, demeure celle de l'égalité des variances des populations statistiques dont proviennent les échantillons; afin de vérifier cette hypothèse on peut utiliser le test de Bartlett (annexe A.2.2) préalablement à l'analyse de variance. Même si l'homogénéité des variances n'est pas respectée, le résultat de l'analyse peut quand même donner parfois une indication sur l'égalité simultanée des moyennes. Lorsque l'égalité n'est pas vérifiée pour l'ensemble du groupe, il est intéressant de déterminer si l'on peut constituer des sous-groupes à l'intérieur desquels il y a égalité si-

multanée des moyennes. Le test de Scheffe (annexe A.2.3) permet d'effectuer ce regroupement et, donc d'analyser en détail le rejet de l'hypothèse d'égalité simultanée de l'ensemble des moyennes théoriques en constituant des sous-groupes homogènes.

5.2 Coefficient de corrélation

On utilise généralement le coefficient de corrélation (annexe A.3.1) pour faire ressortir l'intensité d'une relation linéaire entre deux variables. Il n'a cependant aucun sens dans le cas de dépendance non linéaire entre les séries d'observations. Le calcul du coefficient de corrélation, fait jouer un rôle symétrique aux deux variables. Les hypothèses à vérifier préalablement au calcul, ont trait à la normalité et à l'homogénéité des deux séries d'observations tirées des populations considérées; s'il y a hétérogénéité, par exemple dans le cas où l'on mélange deux phénomènes, et que les données se scindent en deux groupes, le coefficient de corrélation calculé pour l'ensemble peut être élevé alors qu'il peut être faible si on considère les deux groupes séparément; il s'agit là d'une corrélation fictive. Certaines corrélations fictives peuvent aussi résulter du fait que les variables corrélées entre elles dépendent en fait d'une variable commune.

Une dépendance complète de deux séries d'observations donne un coefficient de corrélation théorique, entre les deux populations dont proviennent les échantillons, égal à ± 1 * tandis que, lorsqu'il n'y a aucune dépendance linéaire, on obtient un coefficient nul.

* + 1: relation directe
 - 1: relation inverse

Pour établir, si le coefficient obtenu est significativement différent de 0 à un niveau de signification donné, il est possible d'effectuer un test (annexe A.3.2). Ce test tient compte de la taille des échantillons étudiés et de la valeur estimée à partir des échantillons du coefficient de corrélation. Ainsi un coefficient relativement fort estimé à partir de séries de faible taille peut être non significativement différent de zéro, tandis qu'un coefficient relativement peu élevé mais issu d'un échantillon de grande taille peut être significativement différent de zéro.

5.3 Modalités d'application

Les données recueillies ont été mises sur cartes informatiques, traitées et analysées en utilisant les tests décrits précédemment. Les programmes informatiques utilisés sont ceux de la librairie SPSS* (Nie *et al.*, 1975).

Aucun mode de validation et de contrôle des données n'a été effectué, étant donné que dans le cas du PF la fiabilité des données est assurée en ne retenant que la moyenne des triplicatas ayant un coefficient de variation inférieur à 15%. En ce qui a trait aux données physico-chimiques et de chlorophylle, elles ont été validées lors d'études préliminaires effectuées par le service Environnement de la SEBJ.

*

SPSS: Statistical Package for the Social Sciences.

CHAPITRE 6

DISCUSSION

6. DISCUSSION

6.1 Causes possibles de variabilité du PF

Afin de faciliter l'interprétation des résultats, il est utile de discuter d'abord, des principaux phénomènes susceptibles de provoquer les variations du potentiel de fertilité.

Trois types de facteurs de croissance régissent la production de l'algue Selenastrum capricornutum (figure 6.1, phase III): il s'agit des conditions physiques, chimiques et écologiques présentes lors de l'incubation. Etant donné que celle-ci est effectuée en laboratoire, le milieu physique est normalement contrôlé (tableau 4.4). Quant aux conditions écologiques, elles sont réduites au minimum, étant donné que l'on utilise une seule espèce autotrophe. Signalons toutefois la présence de bactéries associées à l'algue test, mais leur influence semble plutôt négligeable. Finalement considérons les facteurs chimiques de croissance, ce sont eux qui définissent la production potentielle du milieu naturel. C'est aussi le seul agent de croissance qui provient directement du milieu étudié. Les conditions chimiques cernent la nature même du PF: "une mesure intégrative de la disponibilité de l'élément nutritif pouvant limiter la production primaire" (Campbell *et al.*, 1976 b).

C'est donc dans la variation des éléments chimiques du milieu, principalement de celui ou ceux qui limitent la production autotrophe qu'il faut chercher l'explication des fluctuations du PF. Ces produits chimiques recueillis dans le milieu naturel peuvent provenir de deux types de source, soit du milieu aquatique même (apports autochtones), soit des sols du

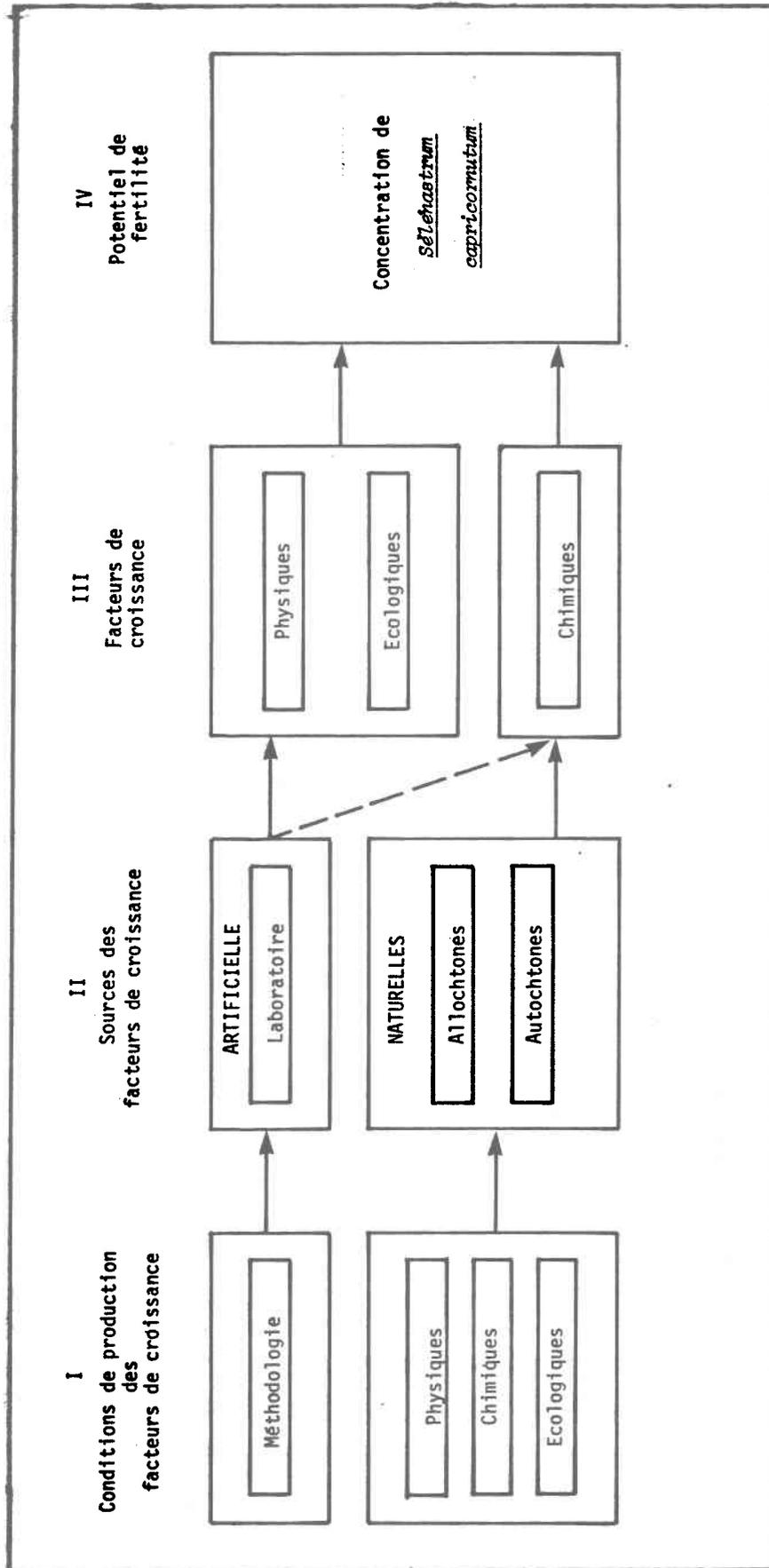


FIGURE 6.1. Mécanismes influençant la variabilité du potentiel de fertilité.

bassin de drainage, ou même des précipitations atmosphériques (apports allochtones) (figure 6.1, phase 11). Quel que soit leur type d'origine, ces matières nutritives sont le résultat des conditions physiques, chimiques et écologiques qui existent dans la région étudiée. Les périodes de crue ou d'étiage par exemple, sont des évènements qui agissent physiquement en diluant ou concentrant les nutriments. Les réactions chimiques qui se produisent lors de période d'anoxie favorisent la libération du phosphore, important nutriment. Les phénomènes d'adsorption et la chélation peuvent rendre non biodisponibles certaines substances importantes pour la croissance des autotrophes. Lors de la production primaire, les nutriments peuvent être emmagasinés par certaines espèces, entraînant ainsi une chute de PF. Toutes ces conditions sont en fait très reliées et interagissent continuellement.

Certaines erreurs peuvent parfois se glisser au sein des analyses et de l'échantillonnage, et influencer les résultats du test de fertilité. Il est reconnu que les manipulations modifient légèrement les concentrations des éléments chimiques. Un échantillon autoclavé contient plus de phosphore et d'azote qu'un autre non autoclavé (Miller *et al.*, 1974). Le perfectionnement de la méthode d'analyse au cours des trois ans d'acquisition des données, rend les résultats non uniformes. Il faut donc considérer une cause supplémentaire de variabilité du PF issue de la méthodologie.

Ainsi nous avons finalement identifié quatre principales causes aux fluctuations du PF, il s'agit des conditions physiques, chimiques et écologiques responsables des changements dans la nature et la concentration des substances chimiques présentes dans le milieu naturel, et aussi des variations engendrées par la méthodologie.

6.2 Variabilité spatiale

Il apparaît assez difficile de traiter cet aspect des mesures du PF sans l'associer à l'évolution temporelle qui l'accompagne. Les variations spatio-temporelles serviront d'ailleurs à mettre en évidence les changements survenus durant les trois années.

L'étude des variabilités spatiales portera donc sur les périodes suivantes :

- les trois années considérées globalement,
- chaque année traitée séparément,
- la période précédant la mise en eau,
- la période suivant la mise en eau (1 an),
- la période allant de la mise en eau à la fin de l'échantillonnage.

Les tableaux 6.1 et 6.2 montrent les résultats de la comparaison des moyennes entre les stations. Comme on peut le constater il est rare que le test de Bartlett soit respecté, c'est-à-dire que les variances apparaissent non homogènes au niveau de signification 1%. Ainsi les résultats de l'analyse de variance et du test de Scheffe doivent être considérés à titre d'indicateurs des tendances de la variabilité spatiale des différentes stations. Les résultats de l'analyse de variance entre les stations, au niveau des trois années ensemble (tableau 6.1), montrent une tendance à l'augmentation d'amont vers l'aval des valeurs de PF. Le phénomène semble plus évident si l'année 1976 n'est pas considérée (tableau 6.1); celle-ci introduit un biais à cause des moyennes élevées résultant du fait qu'initialement les échantillons n'étaient pas filtrés (tableau 4.3). Cet en-

TABLEAU 6.1: Comparaison de moyennes entre les stations, par années

| Période | Test de Bartlett | Analyse de Variance | Test de Scheffé* |
|----------------------|----------------------------------|---------------------------------|--|
| Années | égalité simultanée des variances | égalité simultanée des moyennes | égalité simultanée des moyennes d'un groupe de stations |
| 1976 1977 1978 | non homogènes | non égales | <u>106 108 107 117 123 129</u> |
| 1977 1978 | non homogènes | non égales | <u>106</u> <u>108</u> <u>107 117</u> <u>123</u> <u>129</u> |
| 1976 | homogènes | égales | <u>108 106 123 117 107 129</u> |
| 1977 | non homogènes | égales | <u>106 108 107 129 123 117</u> |
| 1978 | non homogènes | non égales | <u>106 108</u> <u>117 107</u> <u>123</u> <u>129</u> |

Niveau de signification du test de Bartlett, $\alpha = .01$; niveau de signification de l'analyse de variance et du test de Scheffé, $\alpha = .05$.

*

- les moyennes des stations sont classées par ordre croissant
- l'égalité simultanée des moyennes d'un groupe de stations est représentée par le symbole .

TABLEAU 6.2: Comparaison de moyennes entre les stations, par périodes

| Période | Test de Bartlett | Analyse de Variance | Test de Scheffé* |
|--|----------------------------------|---------------------------------|---|
| Années | égalité simultanée des variances | égalité simultanée des moyennes | égalité simultanée des moyennes d'un groupe de stations |
| 1977 1978 sans: 22-08-77 | non homogènes | non égales | 106 108 117 107 123 129 |
| Avant la mise en eau (05-05-76 au 26-05-77) | homogènes | égales | 108 106 117 123 129 107 |
| Après la mise en eau (26-05-77 au 26-05-78) | non homogènes | non égales | 108 106 107 123 117 129 |
| Après la mise en eau (26-05-77 au 26-05-78) sans: 22-08-77 | non homogènes | non égales | 108 106 117 123 107 129 |
| Après la mise en eau (26-05-77 au 31-10-78) | non homogènes | non égales | 106 108 107 117 123 129 |

Niveau de signification du test de Bartlett, $\alpha = .01$; l'analyse de variance et du test de Scheffé, $\alpha = .05$.

*

- les moyennes des stations sont classées par ordre croissant
- l'égalité simultanée des moyennes d'un groupe de stations est représentée par le symbole .

richissement longitudinal des eaux a déjà été observé (Campbell *et al.*, 1976 b) et il résulte des apports allochtones en substances nutritives que reçoit la rivière.

La station G2-108 montre des valeurs de PF très faible. Ceci s'explique par le fait qu'elle se situe à la décharge du lac Desaulniers. Il est bien connu que les eaux relativement calmes des lacs permettent, par le phénomène physique de sédimentation (Sawyer, 1966), et par photosynthèse (Hannan *et al.*, 1972) une réduction de la quantité des nutriments disponibles aux organismes autotrophes. Les lacs se comportent donc comme des pièges à substances nutritives.

Par contre si l'on compare les moyennes des stations sur une base annuelle, on constate qu'elles ne diffèrent pas au niveau de signification 5%, pour les années 1976 et 1977 de même que pour la période complète précédant la mise en eau (tableau 6.1 et 6.2). La tendance à l'augmentation du PF semble évidente d'amont vers l'aval, à quelques exceptions près: les valeurs légèrement élevées de G2-107 en 1976 et de G2-117 en 1977. Toutefois soulignons que la différence avec les autres stations demeure très faible (tableau 6.3) et non significative. Le cas de G2-117 en 1977 est particulier car cette station possède la moyenne annuelle la plus élevée (tableau 6.1), cette situation serait due à l'influence d'un pic de PF de 4.97 mg/l survenu le 22 août (Annexe B, tableau B.2). Le même phénomène de hausse se produit simultanément aux trois stations situées le plus en aval sur le bassin. A cette date, les expériences d'enrichissement (tableau 6.4) visant à caractériser les variations du ou des facteurs chimiques de contrôle de la production primaire de ces eaux révèlent que pour G2-117 seul l'azote serait limitant, alors que pour G2-123 et 129, le rôle de l'azote et/ou du phosphore

TABLEAU 6.3: Moyennes des mesures de potentiel de fertilité

| | | Les 6 stations | G2-106 | G2-107 | G2-108 | G2-117 | G2-123 | G2-129 |
|------|-----------|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1976 | n | 372 | 64 | 63 | 63 | 59 | 61 | 62 |
| | \bar{m} | .70 | .44 | .66 | .45 | .72 | .92 | 1.02 |
| | s | | .87 | 1.19 | 1.07 | 1.40 | 1.26 | 1.28 |
| 1976 | n | 106 | 16 | 15 | 19 | 18 | 19 | 19 |
| | \bar{m} | 1.19 | 1.03 | 1.34 | .82 | 1.29 | 1.22 | 1.46 |
| | s | | 1.5 | 2.01 | 1.8 | 2.17 | 1.68 | 1.79 |
| 1977 | n | 136 | 23 | 24 | 20 | 24 | 21 | 24 |
| | \bar{m} | .55 | .36 | .60 | .45 | .65 | .62 | .62 |
| | s | | .38 | .86 | .62 | 1.02 | .68 | .60 |
| 1978 | n | 130 | 25 | 24 | 24 | 17 | 21 | 19 |
| | \bar{m} | .45 | .15 | .32 | .16 | .23 | .95 | 1.09 |
| | s | | .19 | .43 | .22 | .20 | 1.27 | 1.98 |

n: taille de l'échantillon

 \bar{m} : moyenne

s: écart-type

unités: mg/l

TABLEAU 6.4: Technique d'identification du facteur chimique limitant
(Berland *et al.*, 1976)

technique: ajouts d'un milieu nutritif complet moins un élément

| no | Types d'enrichissements |
|----|--|
| 1 | échantillon d'eau + milieu PAAP sans phosphore |
| 2 | échantillon d'eau + milieu PAAP sans azote |
| 3 | échantillon d'eau + milieu PAAP complet |

analyse des résultats: à l'aide des coefficients de stimulation

| Calcul du coefficient de stimulation | Signification des variables de l'équation |
|--------------------------------------|---|
| $PAAP-P = \frac{PF_{PAAP-P}}{PF}$ | <p>PAAP-P = coefficient de stimulation de croissance obtenu avec un ajout du milieu PAAP sans phosphore</p> <p>PF_{PAAP-P} = PF de l'échantillon d'eau enrichi avec le milieu PAAP sans phosphore</p> <p>PF = PF de l'échantillon d'eau non-enrichi témoin</p> |
| $PAAP-N = \frac{PF_{PAAP-N}}{PF}$ | <p>PAAP-N = coefficient de stimulation de croissance obtenu avec un ajout du milieu PAAP sans azote</p> <p>PF_{PAAP-N} = PF de l'échantillon d'eau enrichi avec le milieu PAAP sans azote</p> |
| $PAAP = \frac{PF_{PAAP}}{PF}$ | <p>PAAP = coefficient de stimulation de croissance obtenu avec un ajout du milieu PAAP</p> <p>PF_{PAAP} = PF de l'échantillon d'eau enrichi avec le milieu PAAP</p> |

en tant qu'élément limitant, n'apparaît pas évident, c'est-à-dire qu'ils semblent limiter tous deux la croissance de Selenastrum capricornutum (tableau 6.5). Il est à signaler qu'avant la mise en eau, le phosphore avait été identifié comme principal facteur chimique limitant la production primaire de ces eaux (Couture et Visser, 1977). Les données de phosphore du 22 août indiquent une augmentation de concentration à ces trois stations (annexe C, figure C.12, C.13, C.14) quoique le phénomène soit moins marqué en G2-123. Etant donné que la quantité totale est inférieure en G2-117 par rapport à G2-129, il faut donc en déduire que le phosphore se présente sous forme plus biodisponible en G2-117. L'origine de ces produits organo-phosphorés semble de nature autochtone puisqu'aucune pluie importante ne survient avant le 22 août (Annexe C, figure C.19), d'ailleurs contrairement à l'azote cet élément a tendance à être difficilement lavé du sol et sera donc peu entraîné par les eaux de ruissellement (Wang et Evans, 1970). En fait les conditions très différentes à G2-117 par rapport à G2-123 et G2-129 tendent à favoriser l'hypothèse d'une origine autochtone différente du phosphore. En effet, le 22 août 1977, la station G2-117 n'était pas encore atteinte par les eaux d'inondation alors que G2-123 faisant déjà partie du réservoir depuis le premier juin et G2-129 depuis le 27 mai (tableau 4.1). De plus des conditions d'anoxie sévissaient au fond, en G2-129, depuis le 10 août (Annexe C, figure C.7). Les eaux désoxygénées du fond favorisent normalement la libération de phosphates accumulés dans les sédiments et les bactéries peuvent libérer des produits organiques non entièrement dégradés (Wetzel, 1975). Ainsi les causes d'augmentation du phosphore en G2-129 et possiblement en G2-123 seraient surtout dues aux conditions biologiques et chimiques. Cette situation serait la résultante de deux facteurs principaux, le premier étant lié à l'apparition de fortes concentrations en matières organiques produites par les producteurs primaires et les bactéries anaérobiques, le second étant associé aux conditions

TABLEAU 6.5: Données physico-chimiques et biologiques du 22 août 1977 pour les stations G2-117, G2-123, G2-129 (Couture et Visser, 1978; Lemire et Vinet, 1978[†] b).

| Stations | PF ¹ | PF ² _{PAAP-P} | PF ³ _{PAAP-N} | PF ⁴ _{PAAP} | P ⁵ _T | PF ⁶ _{PT} | PF ⁷ _P |
|----------|-----------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| G2-117 | 4.96 | 20.82 | 2.64 | 50.51 | 0.027 | 11.61 | <0.60 |
| G2-123 | 1.85 | 3.27 | 4.35 | 57.84 | .012 | 5.16 | <0.60 |
| G2-129 | 2.89 | 2.10 | 3.65 | 72.78 | .039 | 16.77 | 6.45 |

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

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

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

⁴ PF_{PAAP} : potentiel de fertilité de l'échantillon d'eau enrichi avec le milieu de culture PAAP (mg d'algues/l)

⁵ P_T : concentration en phosphore total (P en mg/l)

⁶ PF_{PT} : potentiel de fertilité calculé à partir du phosphore total (mg d'algues/l)

⁷ PF_P : potentiel de fertilité calculé à partir des concentrations de phosphore inorganiques (mg d'algues/l)

coefficients de stimulation significatif: > 1.3

d'anoxie présentes dans le milieu. A G2-117 cependant, aucune baisse importante d'oxygène ne survient. L'augmentation du phosphore semble donc le résultat de l'activité des organismes autotrophes.

Pour l'année suivant le 26 mai 1977, date de fermeture du barrage, l'analyse de variance nous amène à supposer que les moyennes du PF sont différentes (tableau 6.2). Mais le test de Scheffe, légèrement moins sensible, n'arrive pas à distinguer de sous-groupes de stations semblables.

Si on considère l'année 1978 seule (tableau 6.1) ou si on ajoute les données d'été et d'automne 78 aux mesures de la première année suivant la fermeture du barrage (tableau 6.2), on observe alors des sous-groupes bien définis de stations. Il apparaît donc qu'il faut attendre un an avant que l'effet de la mise en eau sur le PF ne se manifeste de façon évidente. Ceci n'est pas si étonnant quand on considère le temps nécessaire pour remplir le réservoir; en effet, ce n'est que le 27 septembre 1978, que l'inondation atteint G2-117. De plus, il faut signaler que le test statistique diminue l'influence des valeurs élevées dans la masse des autres.

Ainsi un peu plus d'un an après l'inondation une variation spatiale nettement définie apparaît (Tableau 6.2). Les deux stations situées le plus en aval se détachent des autres par leurs valeurs élevées surtout G2-129. Les stations les plus en amont ressortent par leurs moyennes faibles quoique la différence entre G2-117 et G2-107 ne soit pas significative. Les eaux résidant dans le réservoir sont plus riches en matières nutritives si on les compare avec celles de régions plus en amont. Les causes de cette augmentation apparaissent liées aux changements chimiques, physiques et écologiques survenus dans le milieu. Ces changements sont intimement

associés aux nouvelles conditions hydrologiques occasionnées par le ralentissement des eaux courantes, facteur qui favorise la production primaire. Les principaux phénomènes physiques impliqués sont la diminution de la turbidité et la réduction de la turbulence. L'inondation d'un sol non décapé implique la libération d'éléments nutritifs aussi bien sous forme organique que minérale (Campbell *et al.*, 1976 a). La production primaire en sera accrue. Signalons de plus, les conditions d'anoxie déjà mentionnées; un étude effectuée en 1978 dans ce réservoir a montré que les basses concentrations en oxygène dissous au fond de l'eau favorise la libération de certaines substances nutritives dont le phosphore (Serodes, 1979). Tous ces phénomènes rendent les eaux du réservoir plus fertiles par rapport à celles provenant des régions en amont et non influencées.

6.3 Variabilité temporelle

La variabilité temporelle sera examinée durant deux principales périodes, les fluctuations saisonnières du PF échelonnées sur une année, l'évolution survenue au cours des trois dernières années. Dans ce dernier cas, deux aspects principaux feront l'objet de l'analyse, d'une part, les changements apparus dans l'amplitude des valeurs du PF, et d'autre part, ceux concernant le synchronisme saisonnier des variations entre les stations.

6.3.1 Fluctuations saisonnières du PF

Les conditions du milieu étant très variables d'une année à l'autre, il apparaît très difficile de généraliser les variations saisonnières du PF.

Les graphiques (Annexe B, figure B.1 à B.18) laissent entrevoir certaines fluctuations qui se répètent aux différentes stations. Le PF des eaux drainant la région étudiée semble subir deux hausses importantes durant l'année; l'une durant l'hiver, en mars, et l'autre vers les derniers jours de l'été, fin août début septembre. Cette augmentation automnale a aussi été observée au lac Nathalie, plan d'eau situé non loin du réservoir Desaulniers (Jones *et al.*, 1977). Durant l'été et vers le début de l'hiver les valeurs de PF sont plus faibles. Les deux hausses originent principalement de deux types de production de nutriments différents. Le maximum de fin d'été semble le résultat direct de l'activité biologique autotrophe puisque l'on observe en même temps une augmentation des matières organiques dans le milieu. La production primaire des mois de juin, juillet et août accaparait cependant la matière nutritive de façon très active gardant ainsi le PF très bas durant l'été. Mais fin août à la baie James c'est déjà le début de la saison froide et la diminution de la photopériode. Beaucoup de matières nutritives emmagasinées dans la matière vivante sont alors relâchées et sans doute immédiatement recyclées par l'action des bactéries permettant ainsi les hausses de PF enregistrées durant cette période. Ensuite les substances nutritives sédimentent, ou quittent le bassin, entraînées par les eaux courantes. Il faut attendre la fin de l'hiver pour qu'un étiage marqué favorise la concentration, et qu'une activité hétérotrophe probablement ralentie ramènent dans les eaux des nutriments favorisant cette remontée du PF, en mars. Les grandes quantités d'eau issues de la fonte des neiges viennent les diluer et ramener le PF à un niveau plus modeste au printemps.

6.3.2 Evolution sur les trois ans d'étude

a) Variations dans l'amplitude du PF

Le tableau 6.6 résume les résultats statistiques de la comparaison des moyennes entre les trois années d'échantillonnage. Les variances ne sont jamais homogènes, quelle que soit la station considérée. L'interprétation qui découle de ce tableau se base donc sur des tendances plutôt que sur des faits indiscutables.

L'analyse de variance (tableau 6.6) des moyennes des trois années, montre que l'année 1976 possède des valeurs très élevées de PF. Mais aucun phénomène physique, chimique ou écologique ne semble justifier cette position de l'année 1976, il est possible que l'explication se situe au niveau de la méthodologie utilisée. On sait d'ailleurs (tableau 4.3) que les échantillons de 1976 n'étaient pas filtrés avant l'analyse. Ceci favorise la présence de plus fortes concentrations en substances nutritives, toutes celles présentes dans les particules organiques et inorganiques pouvant être libérées lors de la stérilisation. De plus ces particules amenaient plus de possibilité d'erreur lors du comptage des algues produites. C'est pour ces raisons que les données de 1976 se trouvent parfois exclues de l'analyse statistique et de l'interprétation.

Si l'on ne considère pas 1976, le tableau 6.6, indique que 1978 possède des valeurs plus élevées que 1977 dans le cas des deux stations les plus influencées par la mise en eau (G2-123 et G2-129) mais cette différence demeure non significative. N'oublions pas que ces deux sites ont été inondés dès l'été 1977.

TABLEAU 6.6: Comparaison de moyennes entre les années, par stations

| Stations | Test de Bartlett | Analyse de Variance | Test de Scheffé* |
|----------|----------------------------------|---------------------------------|---|
| | égalité simultanée des variances | égalité simultanée des moyennes | égalité simultanée des moyennes d'un groupe de stations |
| G2-106 | non homogènes | non égales | <u>78</u> <u>77</u> <u>76</u> |
| G2-107 | non homogènes | non égales | <u>78</u> <u>77</u> <u>76</u> |
| G2-108 | non homogènes | égales | <u>78</u> <u>77</u> <u>76</u> |
| G2-117 | non homogènes | égales | <u>78</u> <u>77</u> <u>76</u> |
| G2-118 | non homogènes | égales | <u>77</u> <u>78</u> <u>76</u> |
| G2-129 | non homogènes | égales | <u>77</u> <u>78</u> <u>76</u> |

Niveau de signification du test de Bartlett, $\alpha = .01$; niveau de signification de l'analyse de variance et du test de Scheffé, $\alpha = .05$

*

- les moyennes des années sont classées par ordre croissant
- l'égalité simultanée des moyennes d'un groupe d'années est représentée par le symbole .

Une autre information intéressante que donne ce tableau (6.6) est que, pour les stations G2-106 et G2-107, les moyennes entre les trois années d'échantillonnage sont significativement différentes dans les limites du rejet de test de Bartlett, alors que ce n'est pas du tout le cas pour les autres stations. Ce fait peut révéler indirectement l'influence de la mise en eau du réservoir. La filtration introduite dans la méthode en 1977 et 1978, amenait des valeurs de PF plus basses pour toutes les stations. Mais l'augmentation des éléments nutritifs due aux apports du sol et aux nouvelles conditions hydrodynamiques, ramène les valeurs du PF à un niveau plus élevé dans le cas des stations inondées. Ainsi la différence entre les moyennes de 1976 et celles des deux autres années apparaît comme non évidente à ces stations, ce qui n'est pas le cas pour celles des zones non affectées. Seul G2-108, échappe à cette explication, mais ses valeurs de PF sont très basses en 1976 en raison de la position de cette station à l'exutoire du lac Desaulniers.

Le calcul du pourcentage d'augmentation des moyennes annuelles de PF entre les stations affectées et celles non affectées permet de mieux cerner l'effet de la mise en eau en supprimant l'impact de l'années 1976 sur les calculs. L'augmentation relative apparaît très élevée en 1978 (tableau 6.7) comparativement aux années précédentes où les pourcentages plus faibles ne sont que le reflet de la tendance à l'accroissement longitudinal déjà mentionné. Ainsi en 1978 l'influence du plan d'eau nouvellement formé se fait fortement sentir sur les valeurs du PF ce qui n'est pas le cas en 1977.

L'étude comparative des variations spatiales de la période d'avant la mise en eau par rapport à celles survenues après cet évènement (tableau 6.2) montre l'évolution importante subie au cours des trois années. Avant

TABLEAU 6.7: Pourcentage d'augmentation du potentiel de fertilité entre les stations affectées et les stations non affectées par la mise en eau

| Années | $\frac{\Sigma \bar{m}}{n}$ | $\frac{\Sigma \bar{m}}{n}$ | % d'augmentation |
|--------|----------------------------|----------------------------|------------------|
| | G2-106, G2-107, G2-108 | G2-117, G2-123, G2-129 | |
| 1976 | 0.52 | 0.89 | 71 |
| 1977 | | | |
| 1978 | | | |
| 1976 | 1.06 | 1.32 | 25 |
| 1977 | 0.47 | 0.63 | 34 |
| 1978 | 0.21 | .75 | 260 |

le 26 mai 1977, les moyennes de toutes les stations sont significativement égales, et ce d'autant plus que dans ce cas le test de Bartlett est pleinement respecté; ceci met en évidence l'homogénéité présente au sein de cette rivière. Mais après la mise en eau les moyennes apparaissent très différentes et les variances sont non homogènes. Le test de Scheffe décèle trois sous-groupes de moyennes. Les stations gardent l'ordre croissant d'amont en aval et les sous-groupes suggèrent l'apparition de 2 catégories principales: les stations non affectées et les stations affectées, quoique la distinction ne soit pas aussi nette. En conclusion, la création du réservoir amène une hétérogénéité importante parmi les stations. Et cette différence provient surtout de l'augmentation des matières nutritives (Campbell *et al.*, 1976 a) que l'on observe aux stations inondées.

b) Synchronisme de la variabilité du PF entre les stations

A l'origine cet aspect a été traité statistiquement, mais le test de signification du coefficient de corrélation étant trop sensible aux valeurs extrêmes les résultats ont été jugés peu valables. Etant donné l'importance de ce type de variations, dans les mesures de PF, ceci nous amène à le considérer quand même, mais en utilisant une approche descriptive.

En 1976 toutes les stations montrent un patron de variabilité du PF très uniforme (Annexe B, figure B.1 à B.6). Le pic d'automne apparaît en même temps partout après les basses valeurs d'été. Mais déjà en 1977, (Annexe B, figure B.7 à B.12) ce synchronisme est moins évident. Si on considère les différentes variations du PF, elle sont synchronisées jusqu'à l'automne. A cette période les trois stations témoins n'enregistrent pas de hausse importante alors que des augmentations surviennent aux

autres stations. En 1978, (Annexe B, figure B.13 à B.18) la tendance à la non-synchronisation s'accroît car on observe d'importantes fluctuations du PF en juin et juillet à l'intérieur du réservoir. Il semble donc que l'inondation en plus d'amener des changements dans l'amplitude des valeurs du PF entraîne en même temps des modifications quant aux périodes de fluctuation de ce paramètre.

Les expériences d'enrichissement démontrent que souvent après la mise en eau le facteur chimique limitant la production primaire est l'azote et ce pour de longues périodes alors que ceci ne se produisait qu'exceptionnellement avant.

6.4 Corrélation entre PF et la chlorophylle α active

Afin de mettre en évidence la corrélation qui peut exister entre les données de PF et de chlorophylle α active nous avons utilisé le test de corrélation simple (Annexe A.3).

Deux facteurs principaux contribuent à rendre les résultats statistiques moins sûrs; d'abord la taille réduite des échantillons statistiques ($N \leq 13$) disponibles. Le deuxième est l'influence marquée des valeurs extrêmes (PF de $< .02$ à 4.25 mg/l, chlorophylle α activé de $.01$ à 12.23 mg/m³). Elles donnent un poids trop grand à certaines valeurs et peut entraîner parfois des résultats aberrants.

Ainsi lors de cette étude les résultats statistiques (tableau 6.8) serviront d'indicateurs de certaines tendances non significatives seulement, tandis que la corrélation entre le PF et la chlorophylle α active

TABLEAU 6.8: Corrélation entre la chlorophylle α active et le potentiel de fertilité

a) Données concomitantes à partir du 26 mai 1978

| | G2-106 | G2-107 | G2-108 | G2-117 | G2-123 | G2-129 |
|-------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| n | 13 | 12 | 11 | 11 | 12 | 11 |
| r | .09 | .30 | -.23 | -.01 | .35 | .12 |
| r_{critique} à 5% | $\pm .41$ | $\pm .57$ | $\pm .45$ | $\pm .45$ | $\pm .57$ | $\pm .45$ |

b) Données décalées de deux semaines à partir du 26 mai 1978

| | G2-106 | G2-107 | G2-108 | G2-117 | G2-123 | G2-129 |
|-------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| n | 9 | 9 | 8 | 10 | 9 | 8 |
| r | -.12 | -.31 | .49 | -.18 | .48 | .49 |
| r_{critique} à 5% | $\pm .50$ | $\pm .50$ | $\pm .54$ | $\pm .47$ | $\pm .50$ | $\pm .54$ |

sera faite par l'analyse des graphiques (Annexe B, figure B.13 à B.18 et Annexe C, figure C.1 à C.6).

6.4.1 Stations non affectées par la mise en eau

Si l'on considère les trois stations témoins, toutes situées en amont du réservoir, on constate que dans le cas de G2-106 et G2-107, aucune fluctuation marquée ni en PF, ni en chlorophylle α n'est survenue du 26 mai à la fin d'octobre. L'information dont nous disposons ne nous permet pas de conclure statistiquement au sujet d'une corrélation entre ces deux paramètres. Ces stations se situent toutes en rivière dans un milieu où les eaux coulent à des vitesses plus ou moins grandes. Les recherches visant à cerner la relation entre le PF et la chlorophylle α active ont été réalisées pour la plupart, à partir d'échantillons issus d'un milieu lacustre (Greene *et al.*, 1976). Un état prolongé de stagnation des eaux favoriserait la corrélation entre le PF et les producteurs autotrophes. Il n'est donc pas étonnant que nos résultats ne confirment pas ceux de la littérature.

Le cas de G2-108 diffère légèrement de celui de deux autres stations non affectées par la mise en eau. Les données de chlorophylle α apparaissent plus élevées que pour les stations G2-106 et G2-107 alors que le PF demeure faible. Les concentrations en chlorophylle α proviennent probablement de la production primaire du lac Desaulniers. Le lac relacherait ainsi la matière autotrophe qui y a été produite, tout en réduisant les concentrations des matières nutritives. Ce phénomène serait responsable des résultats que nous obtenons à l'exutoire. A la fin de l'automne nous observons un pic de PF, il devrait coïncider assez bien avec la période d'isothermie automnale du lac Desaulniers; le phénomène d'homogénéisation thermique

automnale des eaux des lacs de cette région ayant déjà été observé (Jones *et al.*, 1977). Cette hausse de PF précède de 24 jours une augmentation toute aussi marquée en chlorophylle α . Un phénomène semblable a déjà été observé par Greene *et al.* (1975 b); il faut cependant signaler que dans ce cas (milieu eutrophe: Lac Long, Washington) le PF suivait l'évolution des valeurs de chlorophylle avec 15 jours de décalage. Le coefficient de corrélation décalé de deux semaines pour la station G2-108 (tableau 6.8) demeure non significatif mais se situe près de la valeur critique au niveau de signification 5%. Ces intervalles de temps correspondraient au temps requis par le phytoplancton pour transformer les substances nutritives du milieu en biomasse. En ce qui concerne le lac Desaulniers, il ne serait pas étonnant d'observer une période de décalage plus longue entre les valeurs du PF et la concentration en chlorophylle α active, à cause de la situation nordique de ce lac et de son état oligotrophique. La vitesse de croissance des espèces colonisant ce type de milieu serait probablement plus lente que celle trouvée dans un lac où les conditions apparaîtraient plus favorables (température élevées, forte concentration en substances nutritives, etc.). Ainsi les fortes concentrations en chlorophylle α seraient dues à la production autotrophe du lac, elles surviendraient une vingtaine de jours après la période d'isothermie automnale.

6.4.2 Stations affectées par la mise en eau

Les trois stations situées à l'intérieur du réservoir montrent des comportements assez différents en ce qui concerne la relation entre PF et la chlorophylle α active.

Aucune relation tant concomittante que décalés, ne semble exister entre les deux paramètres considérés à la station G2-117. Cette station a d'ailleurs subi des perturbations fréquentes quant à son niveau d'eau durant le printemps, l'été et l'automne 1978 (Tableau 4.1).

A G2-123, la situation apparaît très différente. L'analyse concomittante des données montre une corrélation potentielle (tableau 6.8) mais non significative. Le décalage de deux semaines entre les données des deux paramètres augmente la corrélation et la rapproche très près de la valeur critique au niveau de signification 5%. Un décalage des graphiques de 25 jours, laisse voir des variations synchronisées assez importantes. La situation du type réservoir rencontrée à cette station semble favoriser la relation PF, chlorophylle α active. Le décalage observé peut provenir de la croissance plus lente des espèces indigènes due aux conditions physiques de température et de photopériode plus sévères.

En G2-129 l'analyse statistique (tableau 6.8) démontre que la corrélation est plus forte si on considère les séries décalées de deux semaines. Les résultats se rapprochent de la valeur critique au niveau 5% mais sont quand même non significatifs. Il semble difficile de se prononcer sur un décalage plus long, tel que celui observé en G2-123, les fluctuations étant moins bien synchronisées.

Au point de vue théorique, la corrélation entre les données décalées sont très acceptables. Le PF mesuré à un moment donné représente la biomasse potentielle que cette eau peut produire en utilisant les nutriments biodisponibles. Ainsi il apparaît normal de corréler cette mesure avec celle

du phytoplancton indigène une fois qu'il a converti cette matière nutritive en biomasse. La chlorophylle a active représente cette biomasse phytoplanc-
tonique indigène.

Par contre le temps nécessaire à cette transformation peut être très variable et relève directement des conditions présentes dans le milieu au moment de la croissance. C'est pourquoi le décalage devrait varier selon les régions et même suivant la saison de l'année considérée.

CHAPITRE 7

CONCLUSION

7. CONCLUSION

Cette analyse des données de trois ans du PF des eaux de la rivière Desaulniers, nous amène aux conclusions suivantes:

- 1^o On observe une augmentation de l'amont vers l'aval des valeurs de PF sur la rivière en 1976.
- 2^o Le PF de la rivière Desaulniers semble varier selon un cycle saisonnier dans lequel on remarque deux pics de variation importants, l'un en hiver et l'autre à la fin de l'été.
- 3^o Le PF est un paramètre sensible à la mise en eau d'un réservoir mais il faut attendre jusqu'à un an avant que les effets ne se fassent sentir de façon significative.
- 5^o La mise en eau affecte les valeurs de PF à deux niveaux:
 - a) on assiste à une augmentation dans l'amplitude des données de PF;
 - b) on note une désynchronisation dans les fluctuations du PF entre les stations témoins et celles influencées par la mise en eau;

L'augmentation du PF semble due aux hausses de concentrations en phosphore qui cesse par intermitence d'être le facteur chimique limitant la production primaire. Des périodes d'anoxie au fond du réservoir apparaissent comme étant responsables, en grande partie, de ces augmentations en phosphore.

Le nombre insuffisant de données ne nous permet pas de conclure

statistiquement, en ce qui concerne la pertinence du PF à évaluer la biomasse phytoplanctonique présente dans le milieu naturel. Précisons toutefois qu'une tendance semble parfois se dessiner surtout lorsque l'on décale d'environ un mois les données de PF et celles de la chlorophylle α active. Il serait intéressant de vérifier statistiquement cette tendance avec davantage de données.

La solution de ce problème revêt un grand intérêt puisqu'elle permettrait, de lever le voile sur la signification du PF par rapport au milieu naturel, et ainsi, d'orienter la recherche vers d'autres voies d'exploration, ou de mettre au point un nouvel outil de connaissance de l'environnement.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

APHA - AWWA - WPCF. (1975).

Standard methods for the examination of water and wastewater. 14th Edition, 1193 p.

BERLAND, B.R. *et al.* (1976).

De l'emploi concomitant d'enceintes dialysantes et de tests biologiques pour la détermination des facteurs nutritionnels limitant la production primaire des eaux marines. Ann. Inst. Océanogr. Paris, 52(1): 45-55.

BOBEE, B. (1973).

Eléments de statistiques. INRS-Eau, note de cours 7121, 141 p. (non publiées).

BOBEE, B., D. CLUIS, M. GOULET, M. LACHANCE, L. POTVIN et A. TESSIER. (1977).

Evaluation du réseau de qualité des eaux (M.R.N.). Analyse et interprétation des données de la période 1967-1975. INRS-Eau, rapport scientifique no 78, 129 p. (Rapport rédigé pour le compte du ministère des Richesses naturelles, Québec).

BOUCHER, R., G. GUAY et R. LEMIRE. (1978).

Description générale du bassin de la rivière Desaulniers et des stations échantillonnées en 1976. Service Environnement, Société d'énergie de la baie James, Programme no 75, Montréal, 29 p.

CAMPBELL, P.G., B. BOBEE, A. CAILLE, M.J. DEMALSY, P. DEMALSY, J.L. SASSEVILLE, S.A. VISSER, P. COUTURE, M. LACHANCE, R. LAPOINTE et L. TALBOT. (1976a). Effets du décapage de la cuvette d'un réservoir sur la qualité de l'eau emmagasinée: élaboration d'une méthode d'étude et application au réservoir de Victoriaville (Rivière Bulstrode, Québec). INRS-Eau, rapport scientifique no 37, chap 4 et 5, p. 240-304. (Rapport rédigé pour le compte du ministère des Richesses naturelles, Québec).

CAMPBELL, P.G., P. COUTURE, M. LACHANCE et L. TALBOT. (1976b).

Etude intégrée de la qualité des eaux des bassins versants des rivières Saint-François et Yamaska. Vol. 2: Secteur des substances nutritives. INRS-Eau, rapport scientifique no 52, 127 p. (Rapport rédigé pour le compte du ministère des Richesses naturelles, Québec).

CARLUCCI, A.F. et S.B. SILBERNAGEL. (1966).

AC-14 uptake method for the determination of concentrations of vitamin B-12 in seawater. Can. J. Microbiol. 12: 175-183.

CHIAUDANI, G. et M. VIGHI. (1974).

The N:P ratio and tests with "*Selenastrum*" to predict eutrophication in lakes. Water Res., 8: 1063-1069.

COUTURE, P. et S.A. VISSER. (1977).

Le potentiel de fertilité: paramètre de contrôle de la qualité des eaux de la rivière Desaulniers. INRS-Eau, rapport scientifique no 73, 46 p., 1 annexe. (Rapport rédigé pour le compte de la Société d'énergie de la baie James).

COUTURE, P. et S.A. VISSER. (1978).

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, rapport scientifique no 86, 85 p., 1 annexe. (Rapport rédigé pour le compte de la Société d'énergie de la baie James).

CULLIMORE, D.R. et A. McCANN. (1972).

Initial studies on a method of algal assay for nutrient parameters in water. J. Fish. Res. Board Canada, 29: 195-198.

EPA. (1971).

Provisional algal assay procedures. Final Report. Sanitary Engineering Research Laboratory. College of Engineering and School of Public Health, University of California, Berkeley. SERL Report No 71-6.

GREENE, J.C., W.E. MILLER, T. SHIROYAMA et T.E. MALONEY. (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 and Soil Pollution, 4: 415-434.

GREENE, J.C., R.A. SALTERO, W.E. MILLER, A.F. GASPERINO et 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 et K. PULMAN. (1976).

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, Proceedings.

HANNAN, H.H., W.C. YOUNG et J.J. MAYHEW. (1972).

Nitrogen and phosphorus dynamics in three central Texas impoundments. Hydrobiologie, 40(1): 121-129.

JONES, H.G., A. BACHAND, J.J. FOURNIER, J.L. FRECHETTE, F. RODRIGUEZ, L. TALBOT et P. COUTURE. (1977).

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. (Rapport rédigé pour le compte de la Société d'énergie de la baie James).

LEMIRE, R. et Y. VINET. (1978a).

Etude physico-chimique des eaux du bassin de la rivière Desaulniers, Mai à octobre 1976. Service Environnement, Société d'énergie de la baie James, Programme no 75, Montréal, 108 p.

LEMIRE, R. et Y. VINET. (1978b).

Réservoir Desaulniers 1977, Physico-chimie. Service Environnement, Société d'énergie de la baie James, Rapport préliminaire, Montréal, 24 p.

- LEMIRE, R. (1979).
Communication personnelle.
- LORENZEN, D. (1967).
Determination of chlorophyll and pheopigments: spectrophotometric equations. Limnol. Oceanogr., 12(2): 343-346, in: Rodriquez, 1977.
- MILLER, W.E., T.E. MALONEY et J.C. GREENE. (1974).
Algal productivity in 49 lakes waters as determined by algal assays. Water Res., 8: 667-679.
- MILLER, W.E., J.C. GREENE, T. SHIROYAMA et E. MERWIN. (1975).
The use of algal assays to determine effects of waste discharges in the Spokane River system. Biostimulation and Nutrient Assessment. Proceedings of a workshop held at Utah State University, Oct. 16-17, 1975, p. 113-130.
- NIE, N.H., C.H. HULL, J.G. JENKINS, K. STEINBRENNER et D.H. BENT. (1975).
Statistical package for the social sciences. 2nd Edition. McGraw-Hill Inc., New-York, 663 p.
- RODRIGUEZ, F. (1977).
Analyse des pigments phytoplanctoniques dans des stations du réservoir Desaulniers au cours de l'année 1977. Société d'énergie de la baie James, Programme no 84, Montréal, 13 p.
- SAWYER, C.N. (1966).
Basic concepts of eutrophication. J. Water Pollut. Control Fed., 38(5): 737-744.
- SERODES, J.B. (1979).
Demande en oxygène des sols noyés du réservoir Desaulniers. Société d'énergie de la baie James, Montréal, 37 p.
- SHIROYAMA, T., W.E. MILLER et J.C. GREENE. (1973).
Effect of nitrogen and phosphorus on the growth of "*Selenastrum capricornutum*" Pointz. Biostimulation Workshop, Corvallis, Ore, Proceedings, p. 132-142.
- SHIROYAMA, T., W.E. MILLER, J.C. GREENE et C. SHIGIHARA. (1976).
Growth response of "*Anabaena flos-aquae* (Lyngb.) De Btebisson in waters collected from Long Lake Reservoir, Washington". Symposium on Terrestrial and Aquatic Ecological Studies of the Northwest, March 26-27, Proceedings.
- SEBJ (Société d'énergie de la baie James). (1976).
Aménagement du bassin de la rivière et du lac Desaulniers, Validation et Alternatives. Service Environnement, Montréal, 51 p.
- SEBJ (Société d'énergie de la baie James). (1979a).
Sommaire de la banque écologique, physico-chimie, sommaire (échant.), qualité des eaux. SEBJ, Imprimé le 22-01-79.
- SEBJ (Société d'énergie de la baie James). (1979b).
Etude Res. Desaulniers-78, Productivité primaire. SEBJ, Imprimé le 24-01-79.

SCHEFFE, H.A. (1959).

The analysis of variance. John Wiley and Sons, New-York, in: Bobée *et al.*, 1977.

SCOR, UNESCO. (1966).

Determination of photosynthetic pigments in sea-water. Monogr. Oceanography Methodology, 1: 69, in: Rodriguez, 1977.

TOERIEN, D.F. et D.J. STEYN. (1973).

Application of algal bioassays in eutrophication analyses. South African J. Sci., 69: 79-82.

THERIAULT ET DUMONT. (1971).

Connaissance forestière de la baie James, Québec, 127 p., in: SEBJ, 1976.

WANG, W.C. et R.L. EVANS. (1970).

Dynamics of nutrient concentrations in the Illinois River. J. Water Pollut. Control Fed., 42: 2117-2123.

WETZEL, R.G. (1975).

Limnology. W.B. Saunders, Philadelphia, p. 592-602.

ZARNOVICAN, R., J.P. DUCRUC, V. GERARDIN, M. JURDANT et G. AUDET. (1976).

Utilisation de la végétation dans la classification et la cartographie écologique du territoire de la baie James. Symposium 1976 - Environnement baie James, Montréal, p. 81-94, in: Boucher *et al.*, 1978.

ANNEXE A

TESTS STATISTIQUES: METHODOLOGIE

ANNEXE A

A.1 Comparaison de moyennes (Tiré de Bobée *et al.*, 1977)

A.1.1 Hypothèses et notion d'erreur

Dans l'application de tous les tests, d'égalité, on envisage deux hypothèses exclusives: H_0 et H_1 . H_0 est l'hypothèse que l'on veut tester et H_1 est une hypothèse contraire. On peut commettre deux types d'erreurs:

- rejeter H_0 alors qu'elle est vraie (erreur de type 1);
- accepter H_0 alors qu'elle est fautive et que H_1 est vraie (erreur du type 11)

| | | Situation réelle | |
|------------|----------------------|---------------------|---------------------|
| | | H_0 vraie | H_1 vraie |
| Hypothèses | Acceptation de H_0 | Conclusion correcte | Erreur type 11 |
| | Rejet de H_0 | Erreur type 1 | Conclusion correcte |

La solution idéale consiste à minimiser ces deux types d'erreurs, mais si on diminue la taille d'une erreur on augmente celle de l'autre. En pratique, on se préoccupe de minimiser la taille de l'erreur de type 1.

A.1.2 Niveau de signification

Lorsque l'on teste l'hypothèse H_0 , la probabilité de commettre l'erreur du type 1, c'est-à-dire de rejeter H_0 alors qu'il est vraie, est α et on l'appelle niveau de signification.

Par exemple, si $\alpha = .05$, cela signifie que l'on a :

- 5 chances sur 100 de prendre une mauvaise décision en rejetant l'hypothèse H_0 , alors que cette hypothèse est vraie;
- 95 chances sur 100 de prendre la bonne décision en acceptant H_0 alors qu'elle est vraie.

En pratique on utilise couramment 2 seuils de probabilité soient $\alpha = .05$, $\alpha = .01$.

A.2 Analyse de variance à un critère (Tiré de Bobée *et al.*, 1977)

A.2.1 Hypothèses et calcul

Considérons k séries d'observations.

Les données se présentent sous la forme :

| | | | | |
|-----------|-----------|-------|-------------|--------------------------------|
| $x_{1,1}$ | $x_{1,2}$ | | x_{1,n_1} | (échantillon de taille n_1) |
| $x_{2,1}$ | $x_{2,2}$ | | x_{2,n_2} | (..... n_2) |
| | | | | (.....) |
| | | | | (.....) |

$$x_{k,1} \quad x_{k,2} \quad \dots \quad x_{k,n_k} \quad (\dots \dots \dots n_k)$$

x_{ij} étant relative à l'observation j de la série i (de taille n_j)

i varie de 1 à k et représente l'indice relatif au numéro de la série
 j varie de 1 à n_k et représente l'indice relatif à l'élément j de la
série i

n_i est la taille de l'échantillon d'ordre i .

On suppose que chaque série est tirée d'une distribution normale, dont les
variances sont égales à σ^2 (la variance est la même pour chaque population),
et les moyennes sont respectivement $\mu_1, \dots, \mu_i, \dots, \mu_k$.

Le modèle choisi pour représenter les données peut se mettre sous
cette forme:

$$x_{ij} = \mu_i + e_{ij} \quad (1)$$

e_{ij} est une variable aléatoire, normalement distribuée avec une moyenne nul-
le et une variance σ^2 ; tous les e_{ij} sont indépendants entre eux.

L'équation générale du modèle peut aussi se mettre sous cette for-
me:

$$x_{ij} = \mu + \alpha_i + e_{ij} \quad (2)$$

μ représente un effet global

α_i représente un effet spécifique relatif à la série i (ou au traitement i).

Ces deux formes (1) et (2) sont équivalentes. Le modèle choisi est additif car les différentes composantes s'ajoutent. Il est possible d'envisager d'autres modèles plus complexes, multiplicatifs par exemple, ou comprenant d'autres termes.

Les paramètres μ , α_i ou μ_i ne sont pas connus, mais peuvent être estimés à partir des données initiales. En effet, il est possible de calculer la moyenne de chaque série ainsi que la moyenne globale.

$$\bar{x}_i = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij} \quad (i=1, \dots, k) \quad (3)$$

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij} \quad (4)$$

$$N = \sum_{i=1}^k n_i$$

\bar{x}_i est une estimation de μ_i

\bar{x} est une estimation de μ

On veut tester l'hypothèse globale

$$H_0) \quad \mu_1 = \mu_2 \dots \dots \dots = \mu_k \quad (5)$$

ou encore

$$H_0) \quad \alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_k = 0 \quad (6)$$

La variation totale est donnée par:

$$SS = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x})^2 \quad (7)$$

La variation à l'intérieur des séries s'obtient par:

$$SS_1 = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_i)^2 \quad (8)$$

On peut également calculer la variation entre les moyennes des séries:

$$SS_2 = \sum_{i=1}^k n_i (\bar{x}_i - \bar{x})^2 \quad (9)$$

On peut montrer que:

$SS = SS_1 + SS_2$, la variation totale se décompose en une variation des moyennes des séries par rapport à la moyenne globale, et en une variation des valeurs des séries par rapport à leur moyenne.

On calcule ensuite:

$$\sigma_1^2 = \frac{SS_1}{N - k} \quad (10)$$

$$\sigma_2^2 = \frac{SS_2}{k - 1} \quad (11)$$

Si H_0 est vraie, on peut montrer en utilisant les propriétés de la distribution χ^2 que:

σ_1^2 et σ_2^2 sont des estimations de σ^2 ;

$$F_0 = \frac{\sigma_2^2}{\sigma_1^2} = \frac{SS_2}{SS_1} \cdot \frac{N - k}{k - 1} \quad (12)$$

suit une loi F avec

$$v_1 = k - 1 \quad \text{et} \quad v_2 = N - k \text{ degrés de liberté.}$$

Si H_0 est fausse, on peut montrer que $F_0 > 1$ (on ne peut avoir $F_0 < 1$).

Donc, si pour un niveau de signification fixé α , la valeur calculée F_o tombe dans la zone d'acceptation de la loi F_{v_1, v_2} , c'est-à-dire si

$F_o < F_{v_1, v_2}(\alpha)$ l'hypothèse H_o est acceptée.

(on effectue le test d'un seul côté puisque l'on a toujours $F_o > 1$ quand H_o est rejetée).

Pour pouvoir appliquer l'analyse de variance, il faut que les hypothèses suivantes soient respectées :

- a) les populations dont les séries sont tirées suivent une loi normale;
- b) les variances des populations sont égales;
- c) les termes e_{ij} sont indépendants;
- d) le modèle est additif.

En pratique, il est difficile de respecter toutes ces hypothèses. C'est pourquoi il est important de savoir dans quelle mesure ces hypothèses sont respectées et quelle est l'influence du non respect d'une ou plusieurs hypothèses, pour les conclusions de l'analyse.

L'hypothèse de normalité peut être vérifiée si on dispose de suffisamment de données. Si l'on montre, ou si l'on pense que les distributions ne sont pas normales, il est possible de transformer les variables originales (transformation logarithmique par exemple) pour se ramener à une distribution normale.

Il est possible de tester l'égalité de k variances en utilisant le test de Bartlett.

A.2.2 Test d'égalité de k variance (Bartlett)

Soient $\sigma_1^2, \sigma_2^2, \dots, \sigma_k^2$ les variances des k populations

on veut tester

$$H_0) \quad \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_k^2 = \sigma^2 \quad (13)$$

Pour l'échantillon i , de taille n_i (tiré de la population de variance σ_i^2) la variance non biaisée est:

$$s_i^2 = \frac{1}{n_i - 1} \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_i)^2 \quad (14)$$

Considérons la quantité u telle que:

$$u = - \frac{1}{C} \sum_{i=1}^k (n_i - 1) \ln \frac{s_i^2}{s^2} \quad (15)$$

avec:

$$C = 1 + \frac{1}{3(k-1)} \left[\sum_{i=1}^k \left(\frac{1}{(n_i - 1)} \right) - \frac{1}{N - k} \right]$$

$$N = \sum_{i=1}^k n_i$$

$$S^2 = \frac{\sum (n_i - 1) s_i^2}{n - k}$$

On montre que u est distribué suivant une loi χ^2 à $(k - 1)$ degrés de liberté.

On calcule pour un niveau de signification donné α la valeur du χ^2 correspondant. Si $u < \chi^2(\alpha)$, l'hypothèse H_0 est acceptée, autrement, elle est rejetée.

En ce qui concerne l'analyse de variance, si l'égalité des variances n'est pas respectée, on peut transformer les données originales, ou encore essayer de grouper les séries qui semblent avoir des variances identiques et effectuer l'analyse sur ces groupes.

A.2.3 Test de Scheffé

Lorsque dans l'analyse de variance l'hypothèse H_0 d'égalité simultanée de toutes les moyennes est rejetée, il est souvent utile de comparer les moyennes entre elles pour obtenir plus d'information sur les égalités possibles entre des sous groupes de moyennes. On dispose pour cela de différents tests, le plus utilisé étant celui développé par Scheffe (1959).

Considérons la combinaison linéaire $\sum_{i=1}^k C_i \alpha_i$

α_i est l'effet spécifique à la série i . Les C_i sont des coefficients tels que:

$$\sum_{i=1}^k C_i = 0 \quad (16)$$

On veut tester au niveau de signification α l'hypothèse:

$$H_0) \quad \sum_{i=1}^k C_i \alpha_i = 0 \quad (17)$$

En choisissant des valeurs appropriées de C_i , telles que la relation (16) soit vérifiée, on peut tester l'égalité simultanée de n'importe quelle combinaison de paires de moyennes. Par exemple, si on a rejeté l'hypothèse d'égalité simultanée de trois moyennes μ_1 , μ_2 et μ_3 , on peut tester l'hypothèse $\alpha_1 = \alpha_2$ (ou $\mu_1 = \mu_2$) en posant $C_1 = 1$, $C_2 = -1$ et $C_3 = 0$. (La relation (16) est alors vérifiée).

Une fois les valeurs de C_i fixées, on pose:

$$u_1 = \sqrt{(k-1) F_{k-1, N-k}(\alpha) \cdot \sum_{i=1}^k \frac{C_i^2}{n_i}} \quad (18)$$

$F_{k-1, N-k}(\alpha)$ est la variable F pour $k-1$ et $N-k$ degrés de liberté avec la probabilité au dépassement α .

On calcule ensuite:

$$A_1 = \sum_{i=1}^k C_i \bar{x}_i - \sigma_1 u_1 \quad (19)$$

$$A_2 = \sum_{i=1}^k C_i \bar{x}_i + \sigma_1 u_1 \quad (20)$$

- Si $A_1 < 0 < A_2$, l'hypothèse H_0 est acceptée. (Avec l'exemple précédent, on dirait que $\mu_1 = \mu_2$).
- Si $A_1 > 0$, l'hypothèse H_0 est refusée et l'on a:

$$\sum_i C_i \alpha_i > 0$$

- si $A_2 < 0$, l'hypothèse H_0 est refusée et l'on a:

$$\sum_i C_i \alpha_i < 0$$

L'application répétée du test de Scheffe permet d'identifier tous les sous-groupes pour lesquels on a égalité des moyennes.

A.3 Coefficient de corrélation (Tiré de Bobée, 1973)

A.3.1 Hypothèses et calcul

Si l'on dispose de 2 séries d'observations, il est toujours possible de calculer un coefficient de corrélation. Mais l'interprétation du

coefficient de corrélation conduit à des conclusions valables lorsque certaines hypothèses sont respectées et certaines vérifications sont effectuées.

Les séries d'observations considérées doivent être approximativement normales et les données doivent être homogènes.

Le coefficient de corrélation permet de mesurer une dépendance linéaire si elle existe, entre 2 variables x et y , mais il peut y avoir une dépendance non linéaire entre x et y que le calcul de coefficient de corrélation ne met pas en évidence.

Si il y a une dépendance linéaire complète le coefficient vaut ± 1 et si il n'y a aucune dépendance linéaire il égale 0.

Le calcul du coefficient de corrélation est effectué par la formule:

$$r = \frac{\text{Cov}(x,y)}{\sqrt{(\text{var } x)(\text{var } y)}} \quad -1 \leq r \leq +1 \quad (21)$$

avec

$$\text{Cov}(x,y) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \quad (\text{Covariance}) \quad (22)$$

$$s_x^2 = \text{var } x = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \quad (\text{Variance}) \quad (23)$$

$$s_y^2 = \text{var } y = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2 \quad (\text{Variance}) \quad (24)$$

En pratique il est important de tracer tous les couples de points (x_i, y_i) pour vérifier que la corrélation obtenue n'est pas fictive ce qui peut arriver par exemple si l'on a 2 nuages distincts de points. On doit de plus s'assurer que chacune des variables x et y sont indépendantes et ne comprennent pas de variables en commun, ce qui dans ce cas conduirait à des corrélations fictives.

A.3.2 Tests sur le coefficient de corrélation

Le coefficient de corrélation calculé (r) est une estimation de la vraie valeur ρ .

Il est intéressant de tester si ρ est significativement différent d'une valeur ρ_0 donnée, de même, il est important de connaître l'intervalle de confiance du coefficient de corrélation (c'est-à-dire dans quel domaine se trouve la vraie valeur du coefficient de corrélation pour un niveau de confiance donné).

Deux cas sont à distinguer :

- a) $\rho_0 = 0$
- b) ρ_0 quelconque

Ici nous nous intéressons seulement au cas $\rho_0 = 0$.

Dans ce cas on peut montrer que la quantité $t = \frac{r}{\sqrt{1 - r^2 / N - 2}}$ suit une loi de Student à $(N-2)$ degrés de liberté.

où:

r est la valeur du coefficient de corrélation

N est la taille des échantillons.

ANNEXE B

TABLEAUX ET GRAPHIQUES

POTENTIEL DE FERTILITE

BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE DESAULNIERS

1976 - 1977 - 1978

TABLEAU B.1: Potentiel de fertilité - 1976

| Dates de prélèvement | 62-106 | 62-107 | 62-108 | 62-117 | 62-123 | 62-129 |
|-------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 05-05-76 | | | 0.6 | | 0.5 | 1.1 |
| 11-05-76 | 1 | | 0.7 | 0.9 | 0.6 | 1.4 |
| 17-05-76 | - | 0.5 | 0.4 | 1.0 | 1.2 | 1.8 |
| 24-05-76 | 1 | 0.5 | 0.8 | 0.7 | 1.5 | 1.7 |
| 31-05-76 | <0.1 | 0.1 | <0.1 | <0.1 | 0.6 | 1.4 |
| 14-06-76 | <0.1 | 0.1 | <0.1 | <0.1 | <0.1 | <0.1 |
| 28-06-76 | <0.1 | <0.1 | <0.1 | <0.1 | <0.1 | <0.1 |
| 12-07-76 | <0.1 | - | <0.1 | <0.1 | <0.1 | 1.1 |
| 26-07-76 | 0.1 | <0.1 | <0.1 | <0.1 | 0.6 | 0.6 |
| 09-08-76 | 0.6 | 1.4 | <0.1 | 0.7 | 0.8 | 1.2 |
| 23-08-76 | 3.6 | 4.3 | 1.3 | 5 | 4.2 | 4.7 |
| 08-09-76 | 5.8 | 7.5 | 8 | 8.7 | 6.9 | 7.5 |
| 20-09-76 | 0.6 | 1.1 | 0.3 | 0.5 | 0.6 | 0.3 |
| 04-10-76 | 1 | 1.8 | <0.1 | 0.5 | 1.8 | 1.4 |
| 18-10-76 | 0.5 | 1.0 | 1.4 | 1.6 | 1.2 | 0.7 |
| 25-10-76 | 1.0 | 0.9 | 1.3 | 0.9 | 1.5 | 1.3 |
| 16-11-76 | 0.85 | 0.28 | 0.21 | 0.66 | 0.16 | 0.14 |
| 29-11-76 | 0.29 | - | 0.14 | 1.15 | 0.09 | 0.11 |
| 13-12-76 | - | 0.58 | 0.13 | 0.44 | 0.69 | 1.19 |

Potentiel de fertilité mesuré (mg d'algues/l)

- : valeurs rejetées CV > 15%

TABLEAU B2: Potentiel de fertilité - 1977

| Date de prélèvement | 62-106 | 62-107 | 62-108 | 62-117 | 62-123 | 62-129 |
|---------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 26-01-77 | | <0.02 | <0.02 | <0.02 | <0.02 | 0.14 |
| 22-02-77 | 0.11 | 0.15 | 0.17 | 0.18 | 0.22 | 0.17 |
| 14-03-77 | 1.59 | 3.62 | 1.69 | 0.92 | 3.00 | 1.44 |
| 12-04-77 | 0.70 | 3.00 | 2.60 | 0.78 | 1.21 | 0.69 |
| 09-05-77 | 0.34 | 0.85 | 0.64 | 1.61 | 0.61 | 1.20 |
| 13-05-77 | 0.49 | 0.59 | 0.43 | 0.63 | 0.67 | 0.43 |
| 16-05-77 | 1.36 | 0.75 | 0.77 | 1.81 | 0.26 | 0.17 |
| 19-05-77 | 0.36 | 0.22 | 0.10 | 0.54 | - | 0.10 |
| 23-05-77 | 0.28 | 0.41 | 0.28 | 0.28 | 0.23 | 0.28 |
| 26-05-77 | 0.05 | 0.15 | 0.09 | 0.08 | - | 0.11 |
| 30-05-77 | 0.09 | 0.19 | 0.20 | 0.10 | 0.24 | 0.39 |
| 06-06-77 | 0.27 | 0.51 | - | 0.37 | 0.31 | 0.47 |
| 13-06-77 | 0.25 | 0.24 | 0.18 | 0.17 | 0.20 | 0.33 |
| 27-06-77 | 0.16 | 0.25 | 0.17 | 0.62 | 0.28 | 0.65 |
| 11-07-77 | 0.29 | 0.35 | 0.35 | 0.23 | 0.32 | 0.69 |
| 25-07-77 | 0.29 | 0.37 | 0.24 | 0.35 | 0.26 | 0.59 |
| 15-08-77 | 0.24 | 0.55 | - | 0.27 | 0.30 | 0.18 |
| 22-08-77 | 0.18 | 0.26 | 0.21 | 4.96 | 1.85 | 2.89 |
| 05-09-77 | 0.20 | 0.30 | 0.33 | 0.42 | 0.33 | 0.41 |
| 19-09-77 | 0.03 | 0.23 | | 0.05 | 0.53 | 0.30 |
| 03-10-77 | 0.29 | 0.46 | 0.29 | 0.42 | 0.82 | 0.72 |
| 17-10-77 | 0.20 | 0.24 | 0.12 | 0.29 | 0.73 | 1.08 |
| 31-10-77 | 0.32 | 0.43 | 0.18 | 0.37 | 0.61 | 0.93 |
| 12-10-77 | 0.08 | 0.16 | | 0.11 | | 0.40 |

Potentiel de fertilité mesuré (mg d'algues/ml)

- : valeurs rejetées CV > 15%

TABLEAU B3: Potentiel de fertilité -- 1978

| Date de prélèvement | 62-106 | 62-107 | 62-108 | 62-117 | 62-123 | 62-129 |
|---------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 24-01-78 | 0.15 | 0.25 | 0.20 | - | 0.47 | 0.08 |
| 06-03-78 | 0.23 | 2.15 | 0.23 | - | 0.36 | - |
| 17-04-78 | 1.00 | 0.38 | 0.09 | 0.09 | 0.18 | 4.26 |
| 04-05-78 | 0.06 | 0.50 | 0.10 | | | |
| 08-05-78 | 0.13 | 0.28 | 0.13 | 0.28 | 0.25 | |
| 11-05-78 | 0.03 | 0.17 | 0.09 | | | |
| 15-05-78 | 0.13 | 0.02 | 0.08 | 0.12 | 0.02 | 0.07 |
| 18-05-78 | 0.07 | 0.14 | 0.04 | | | |
| 22-05-78 | 0.05 | 0.03 | 0.08 | | 0.07 | 0.10 |
| 26-05-78 | 0.18 | 0.14 | 0.18 | | 0.12 | 0.16 |
| 29-05-78 | 0.05 | 0.14 | 0.04 | 0.07 | 0.14 | 0.12 |
| 12-06-78 | 0.06 | 0.30 | 0.11 | 0.09 | 0.75 | 0.08 |
| 26-06-78 | 0.04 | 0.11 | 0.02 | 0.11 | 1.63 | |
| 11-07-78 | 0.13 | 0.11 | | 0.15 | 4.01 | 1.81 |
| 24-07-78 | 0.14 | 0.38 | 0.11 | 0.33 | 2.81 | 1.01 |
| 08-08-78 | 0.06 | 0.19 | 0.17 | 0.47 | 4.26 | 0.50 |
| 21-08-78 | 0.14 | 0.16 | 0.14 | 0.06 | 0.59 | 2.49 |
| 28-08-78 | 0.30 | 0.76 | 0.21 | 0.63 | 1.56 | 2.29 |
| 05-09-78 | 0.15 | 0.29 | 0.17 | 0.46 | <0.02 | 2.17 |
| 11-09-78 | 0.16 | 0.28 | 0.10 | 0.16 | 1.26 | 2.09 |
| 18-09-78 | 0.07 | 0.23 | 0.07 | 0.21 | 0.54 | 0.42 |
| 25-09-78 | 0.17 | 0.26 | 1.16 | 0.57 | 0.80 | 0.99 |
| 04-10-78 | 0.02 | | 0.14 | 0.02 | <0.02 | <0.02 |
| 18-10-78 | 0.10 | 0.06 | 0.06 | 0.02 | 0.06 | 0.06 |
| 31-10-78 | 0.06 | <0.02 | <0.02 | | | 1.98 |

Potentiel de fertilité mesuré (mg d'altues/ml)

- : valeurs rejetées CV > 15%

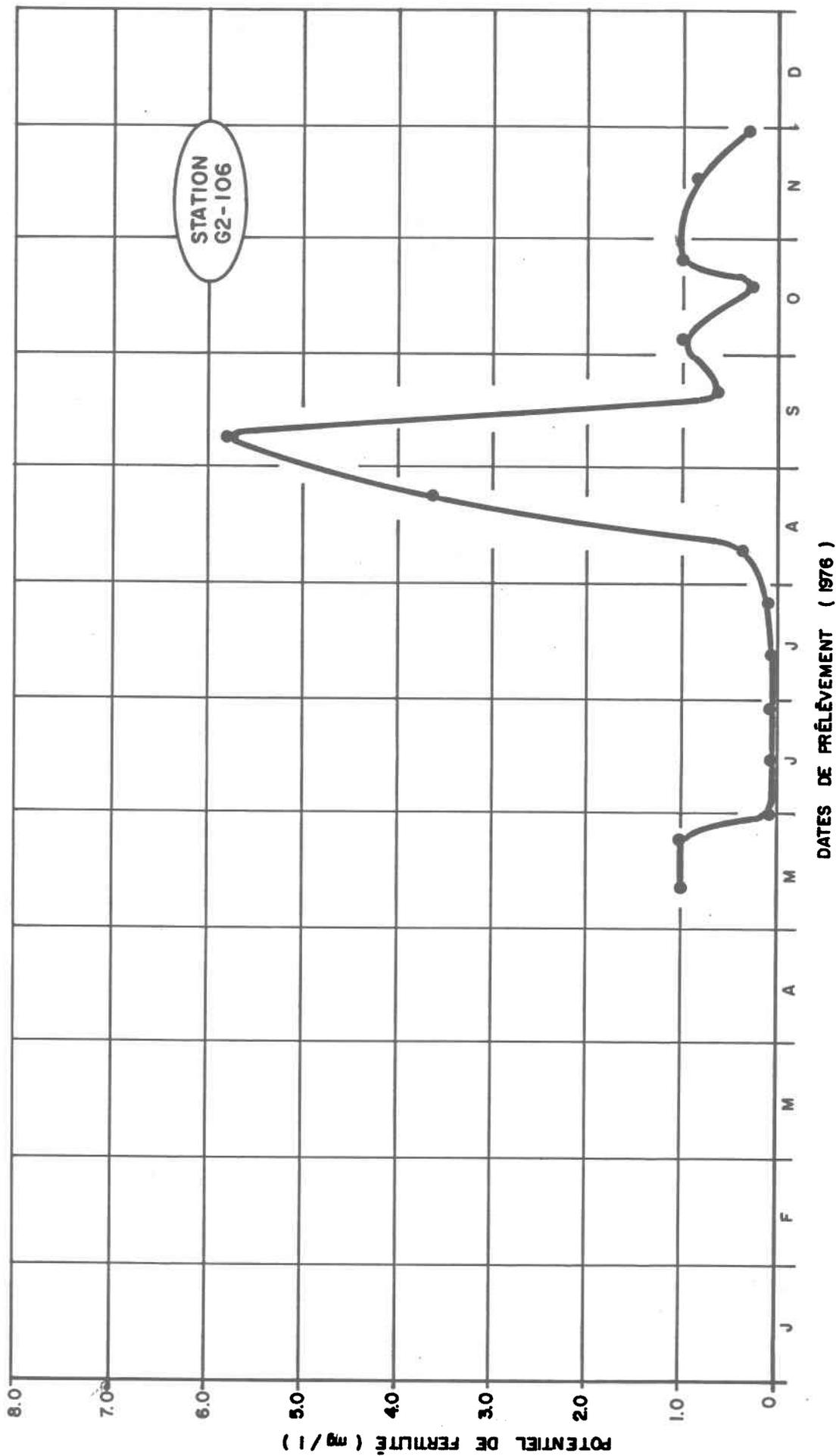


Figure B. 1 . Fluctuations saisonnières du potentiel de fertilité, en 1976 , à la station G2-106 .

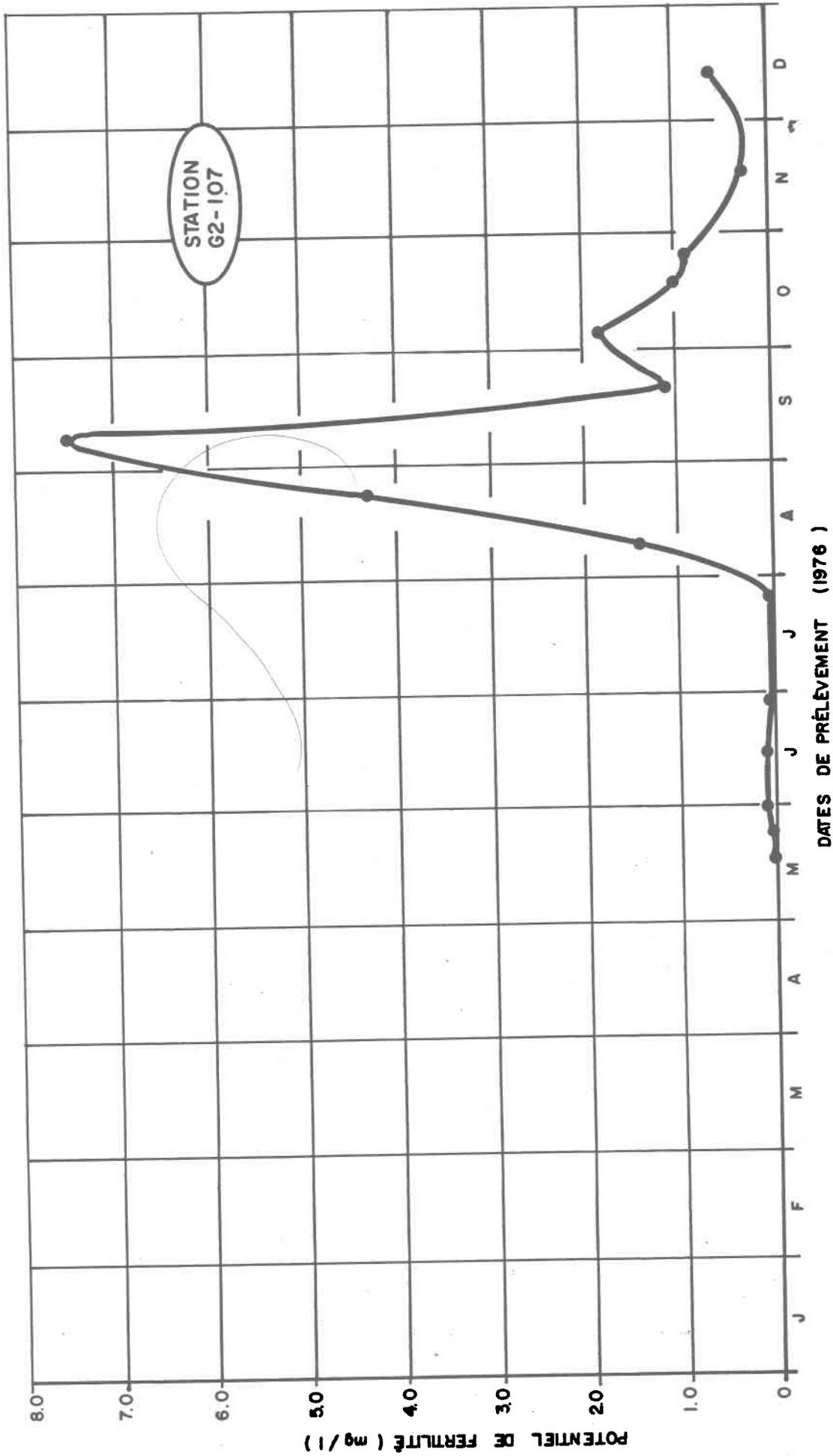


Figure B. 2 . Fluctuations saisonnières du potentiel de fertilité , en 1976 , à la station G2-107 .

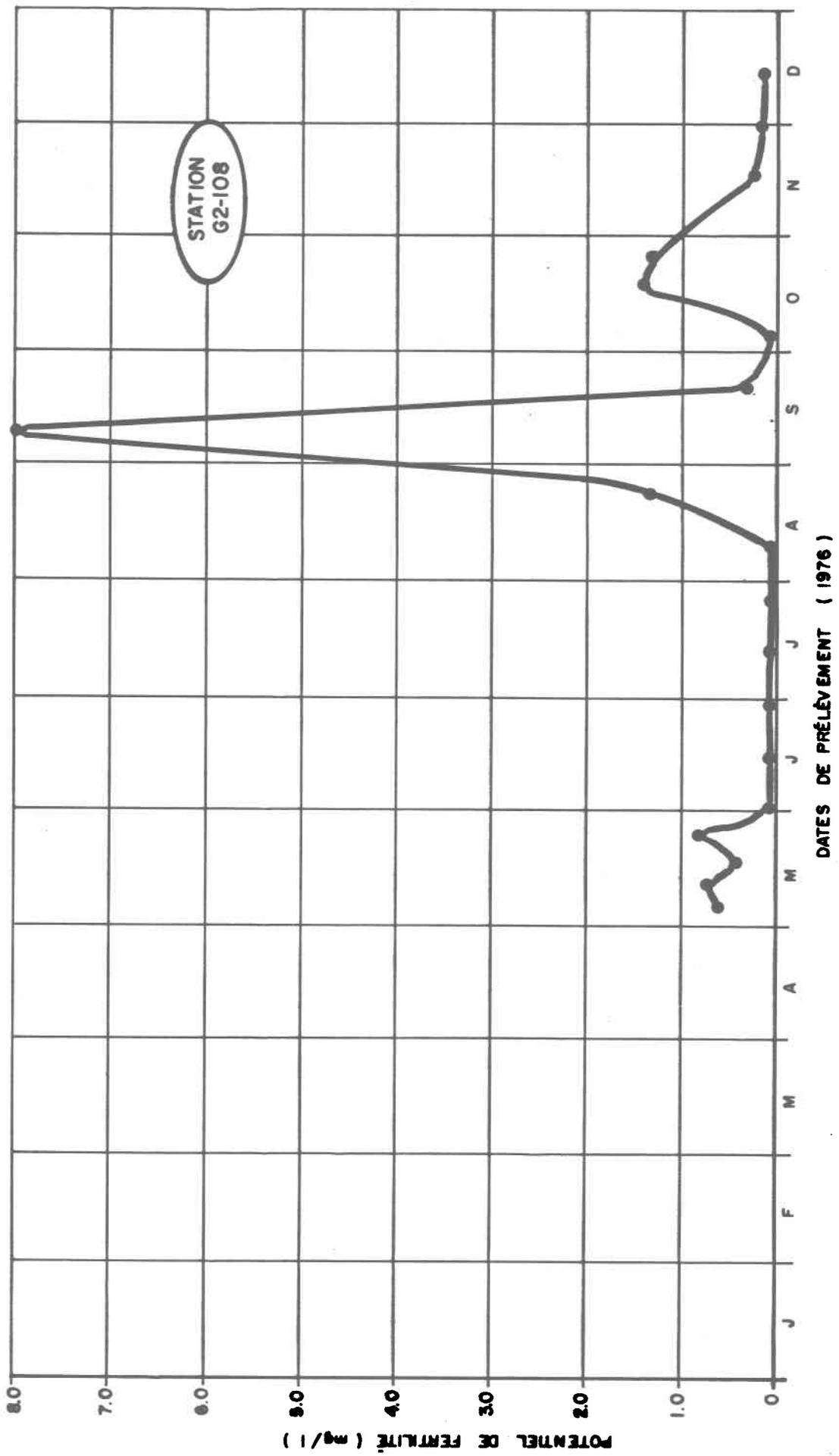


Figure B. 3 . Fluctuations saisonnières du potentiel de fertilité, en 1976, à la station G2-108 .

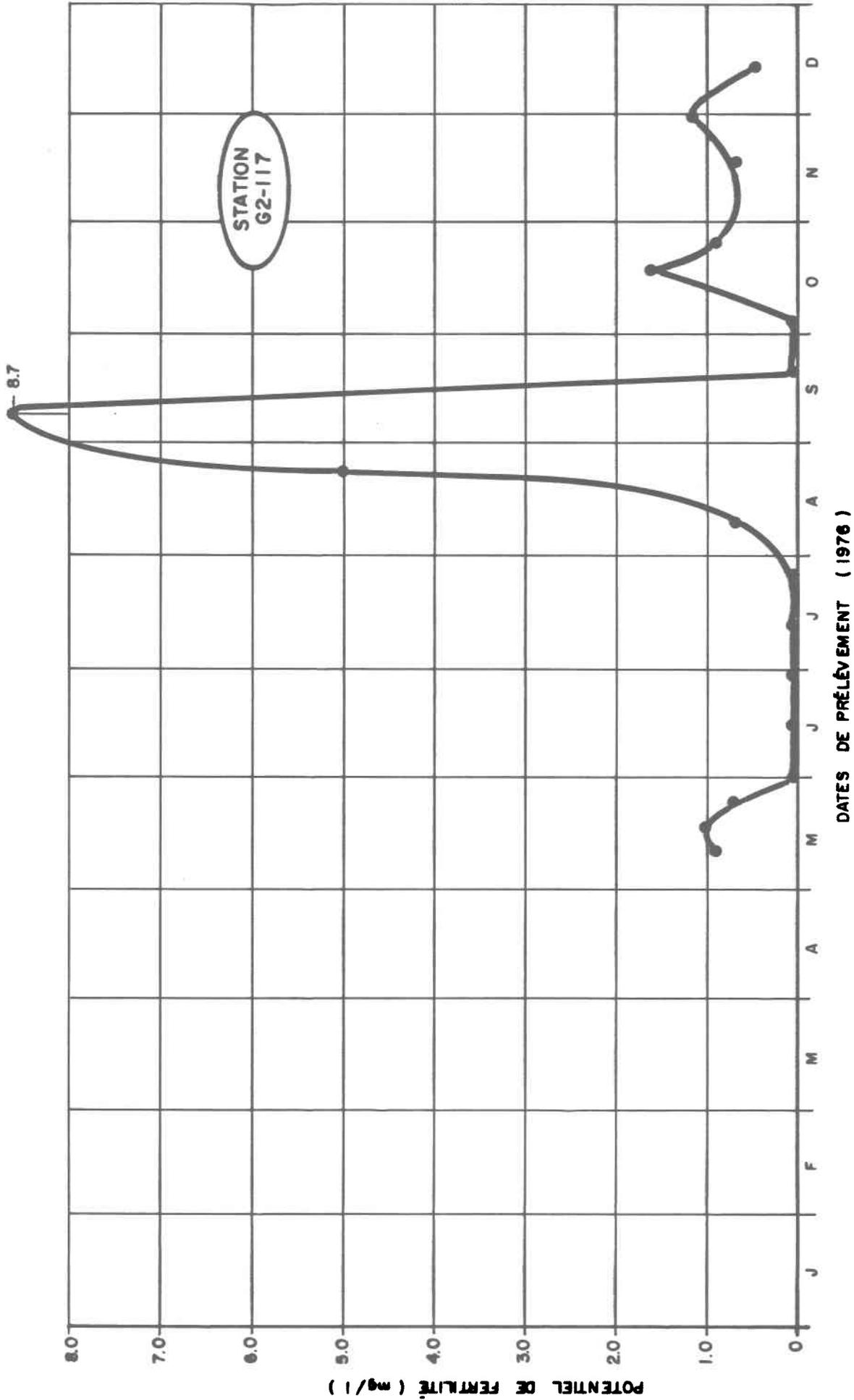


Figure B. 4 . Fluctuations saisonnières du potentiel de fertilité, en 1976, à la station G2-117 .

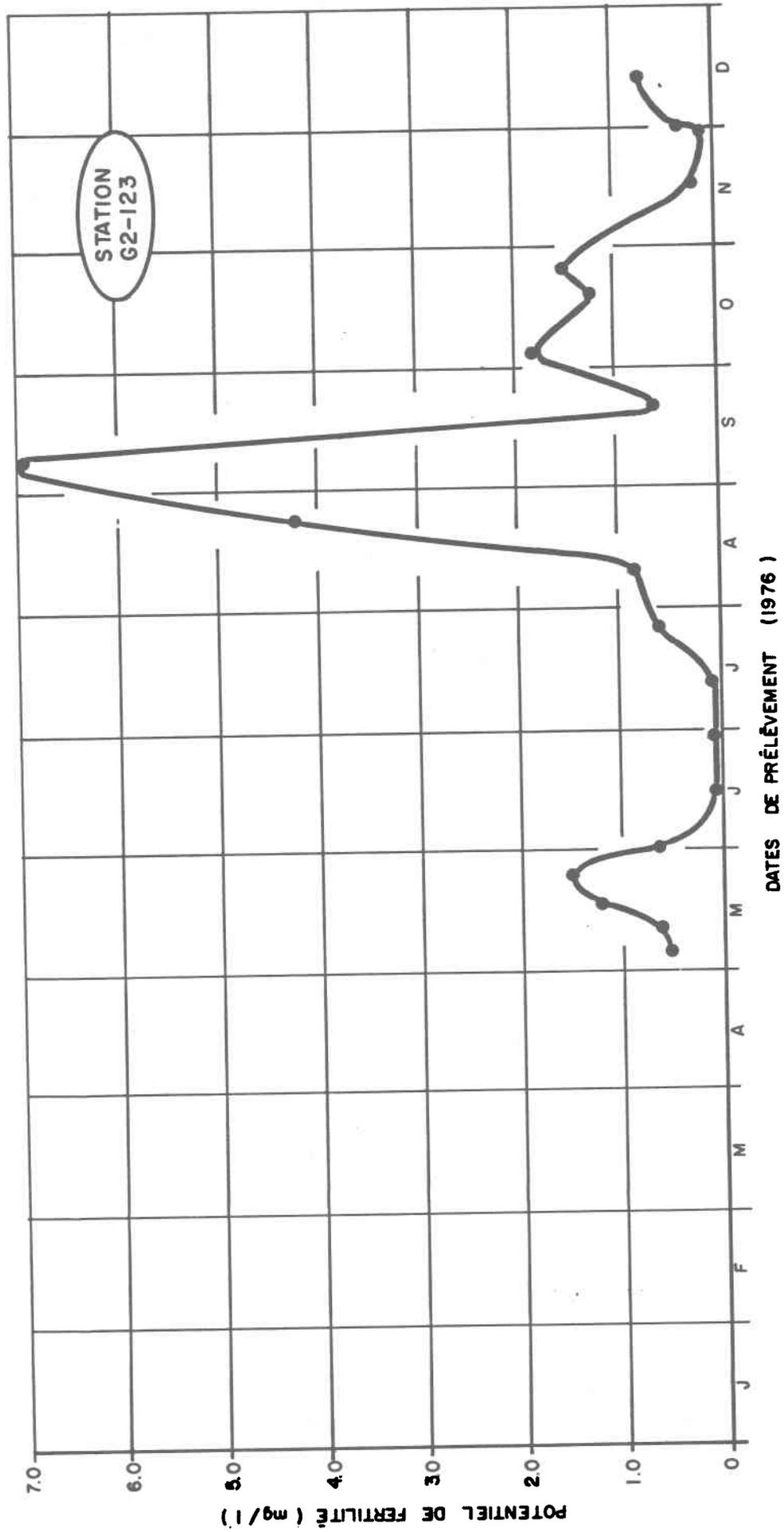


Figure B. 5 . Fluctuations saisonnières du potentiel de fertilité , en 1976 , à la station G2-123 .

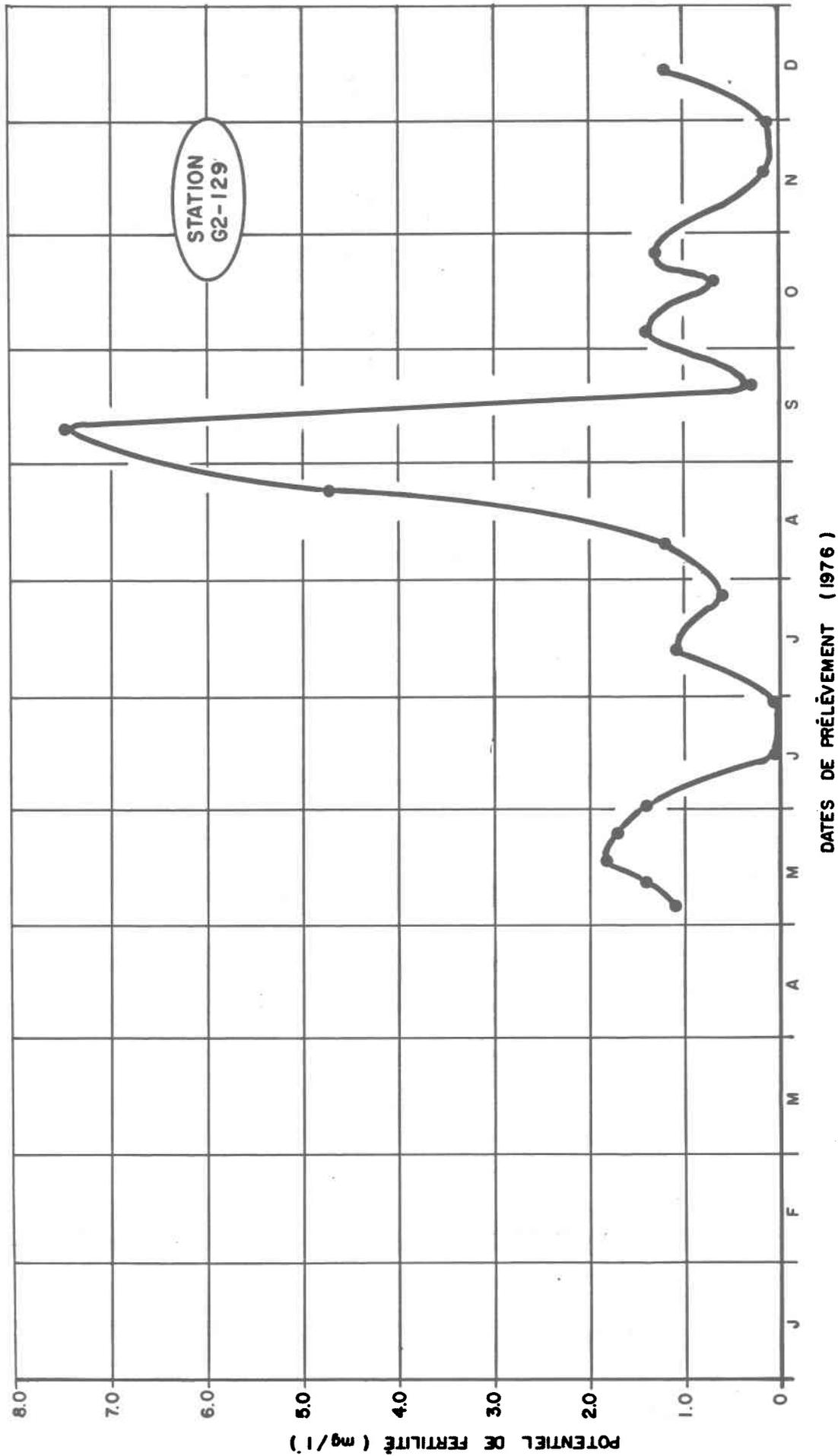


Figure B. 6 . Fluctuations saisonnières du potentiel de fertilité, en 1976 , à la station G2-129 .

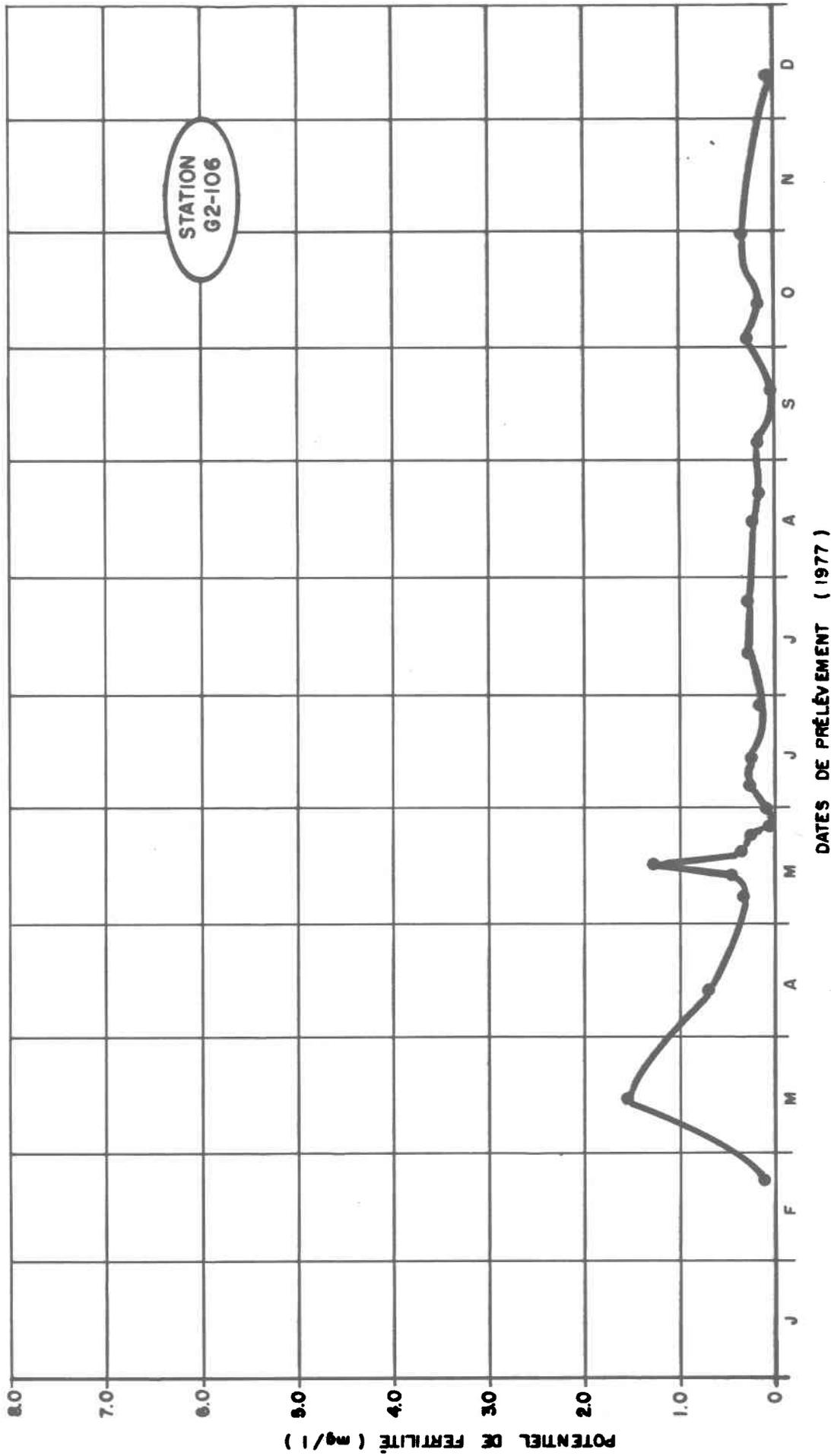


Figure B. 7 . Fluctuations saisonnières du potentiel de fertilité, en 1977, à la station G2-106 .

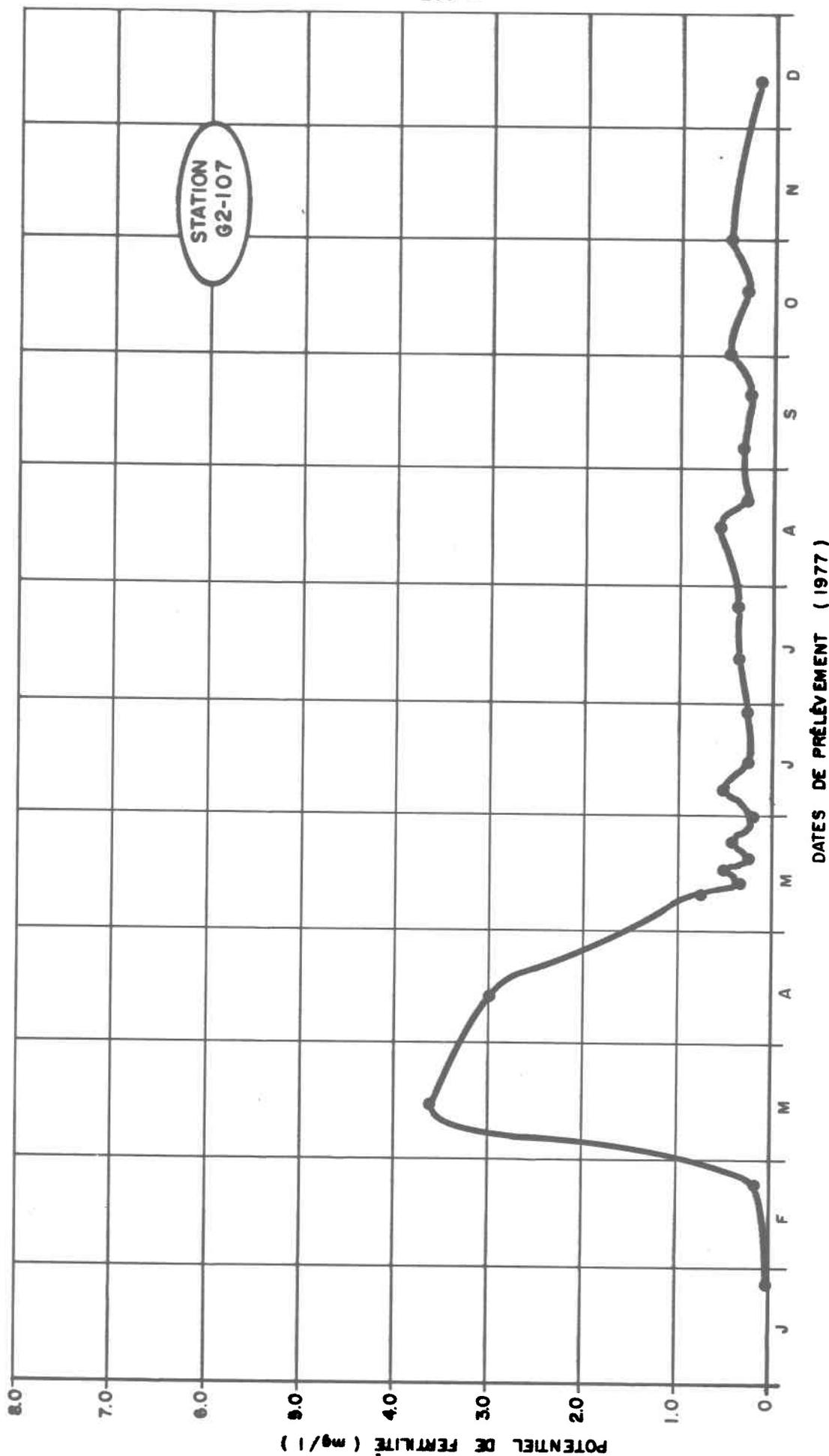


Figure B. 8 . Fluctuations saisonnières du potentiel de fertilité, en 1977, à la station G2-107 .

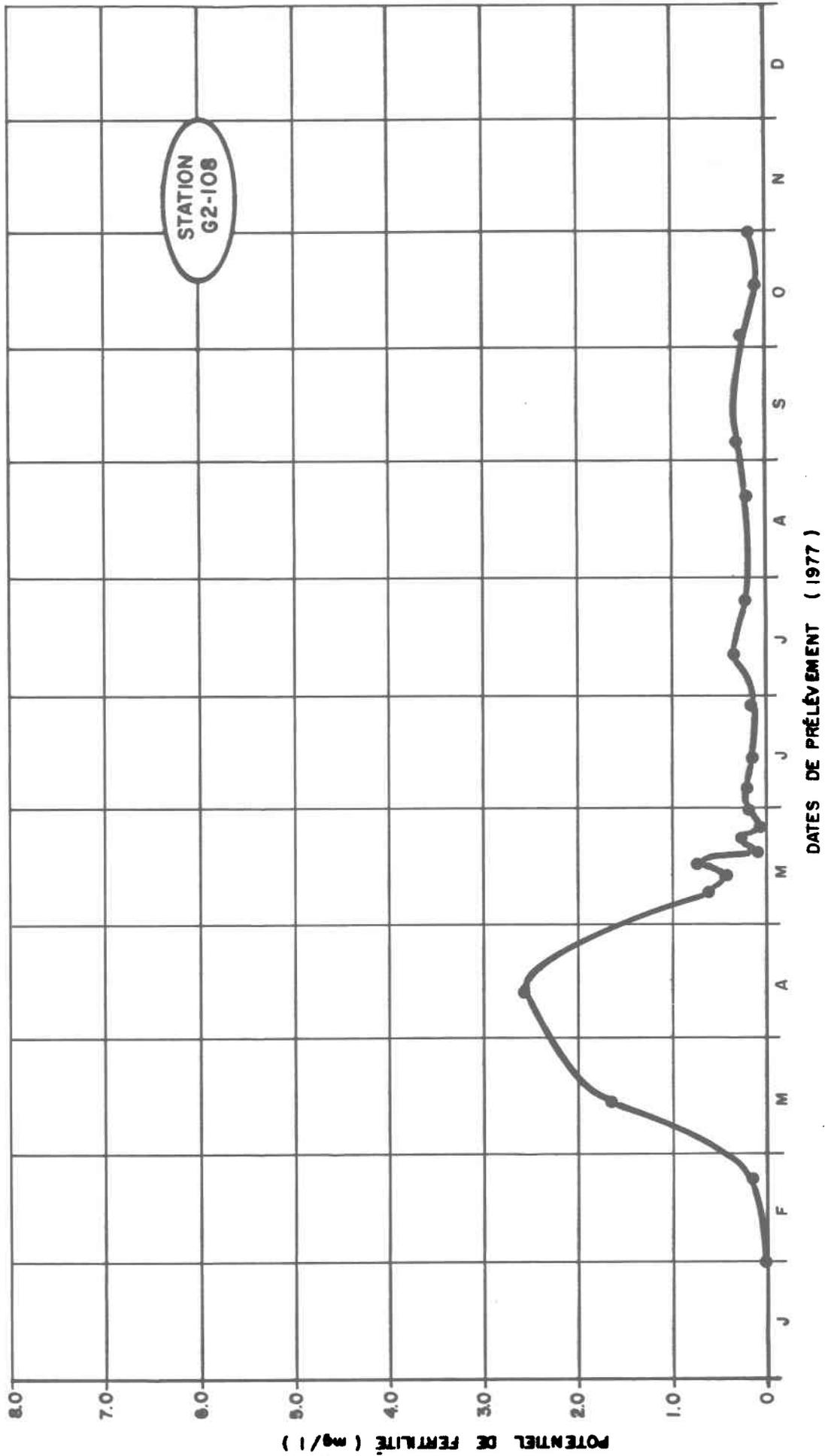


Figure B. 9 . Fluctuations saisonnières du potentiel de fertilité , en 1977 , à la station G2-108 .

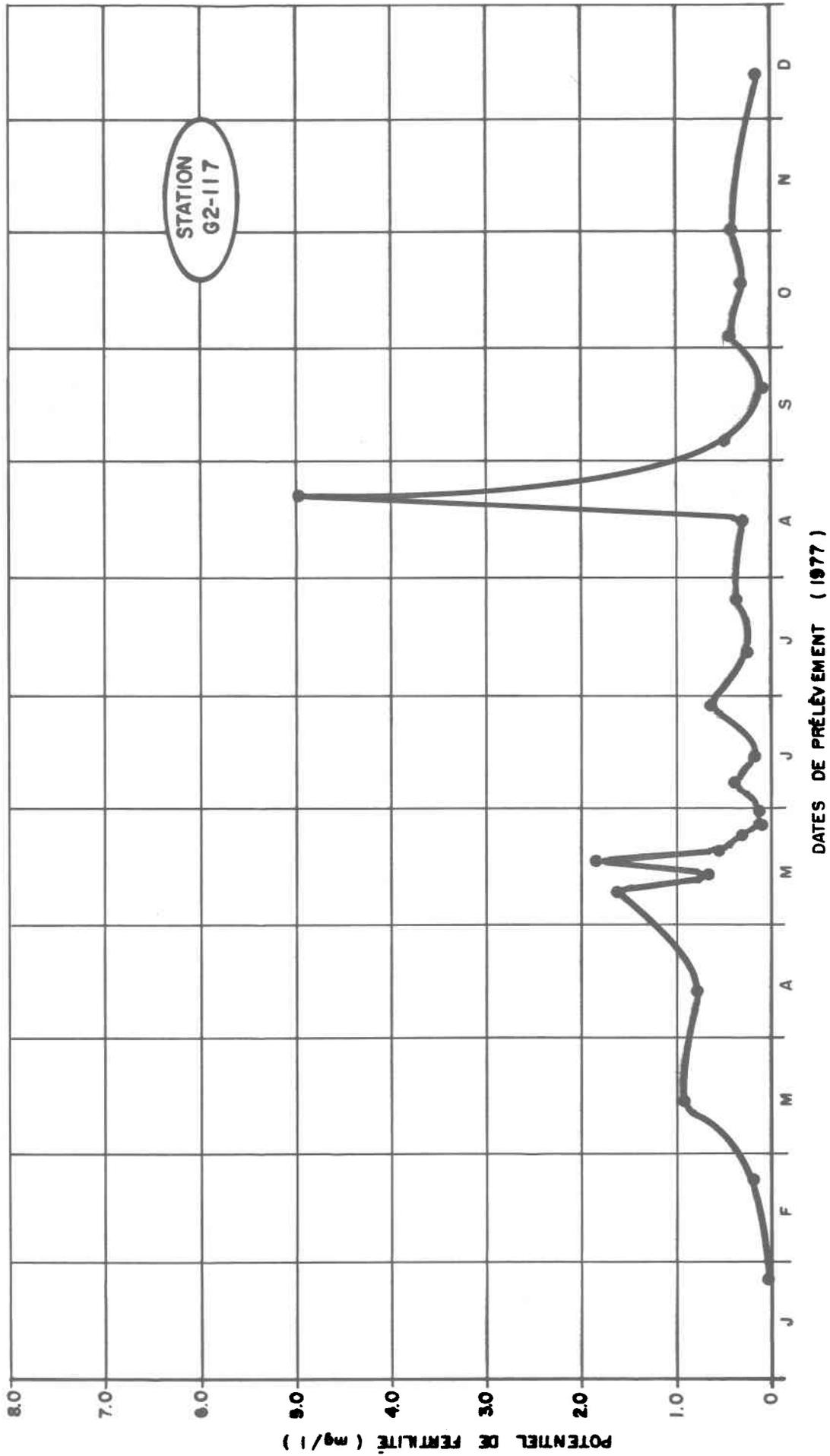


Figure B.10 . Fluctuations saisonnières du potentiel de fertilité , en 1977 , à la station G2 - 117 .

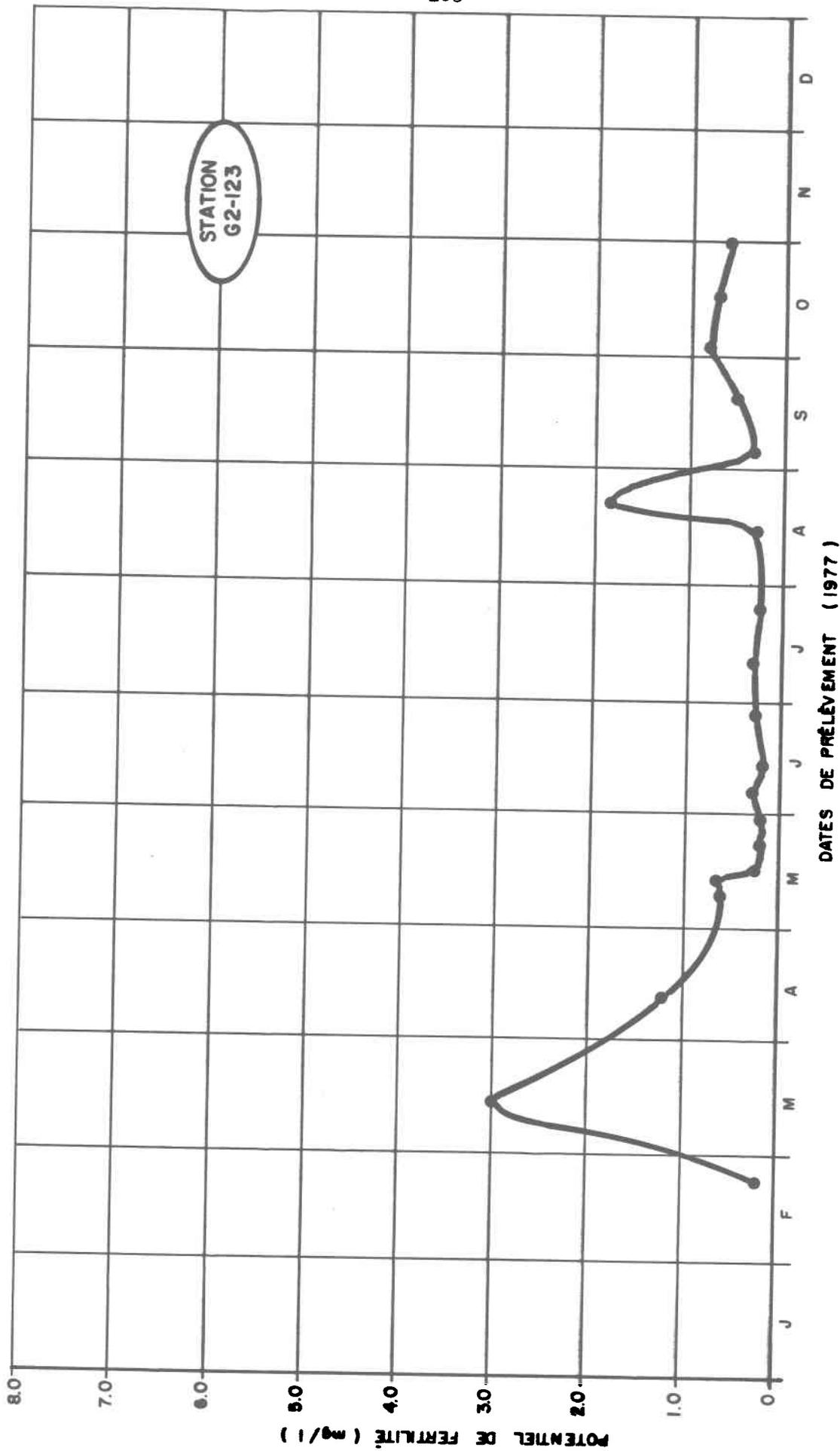


Figure B.11 . Fluctuations saisonnières du potentiel de fertilité, en 1977, à la station G2-123 .

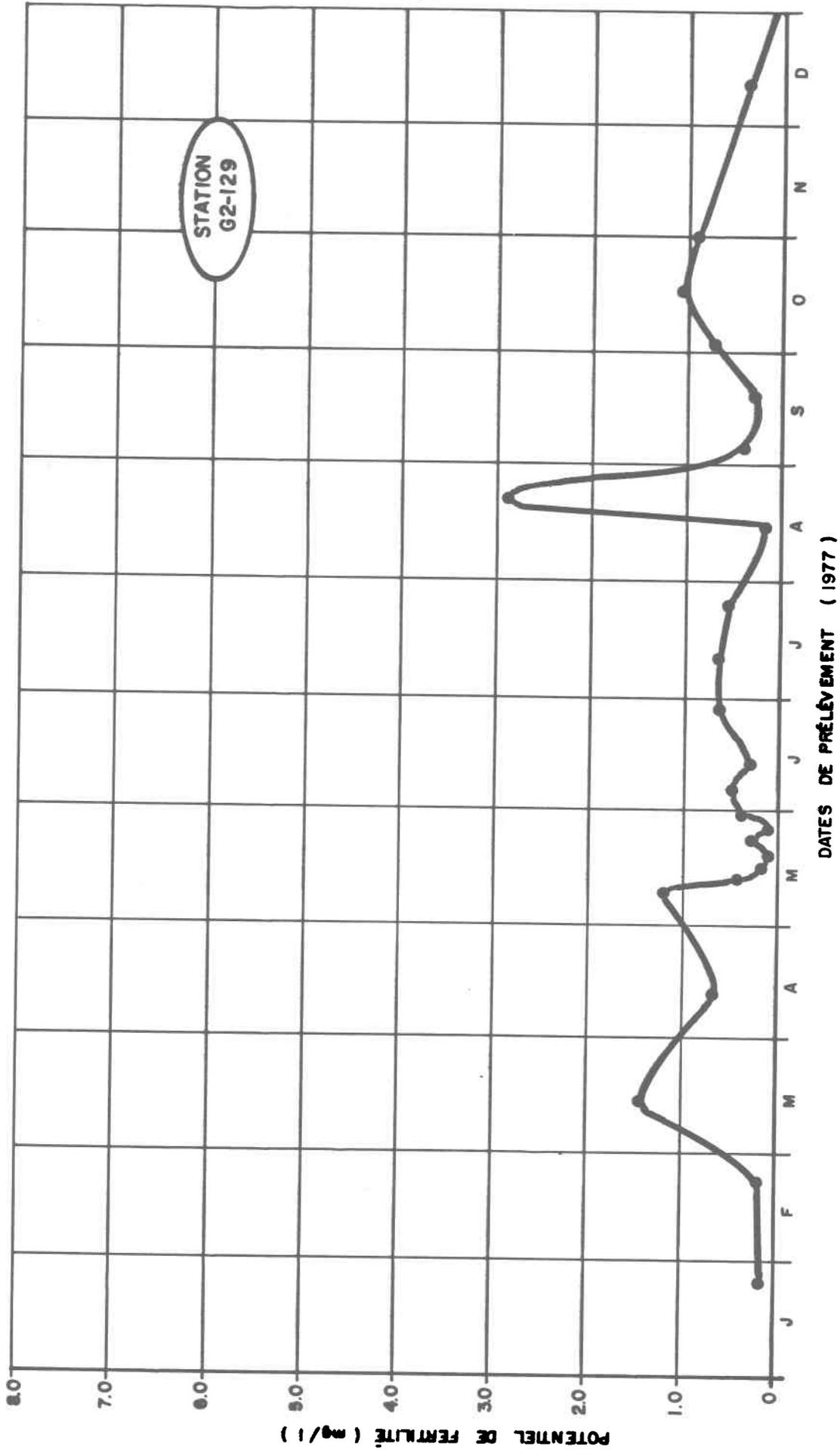


Figure B.12 . Fluctuations saisonnières du potentiel de fertilité, en 1977, à la station G2-129 .

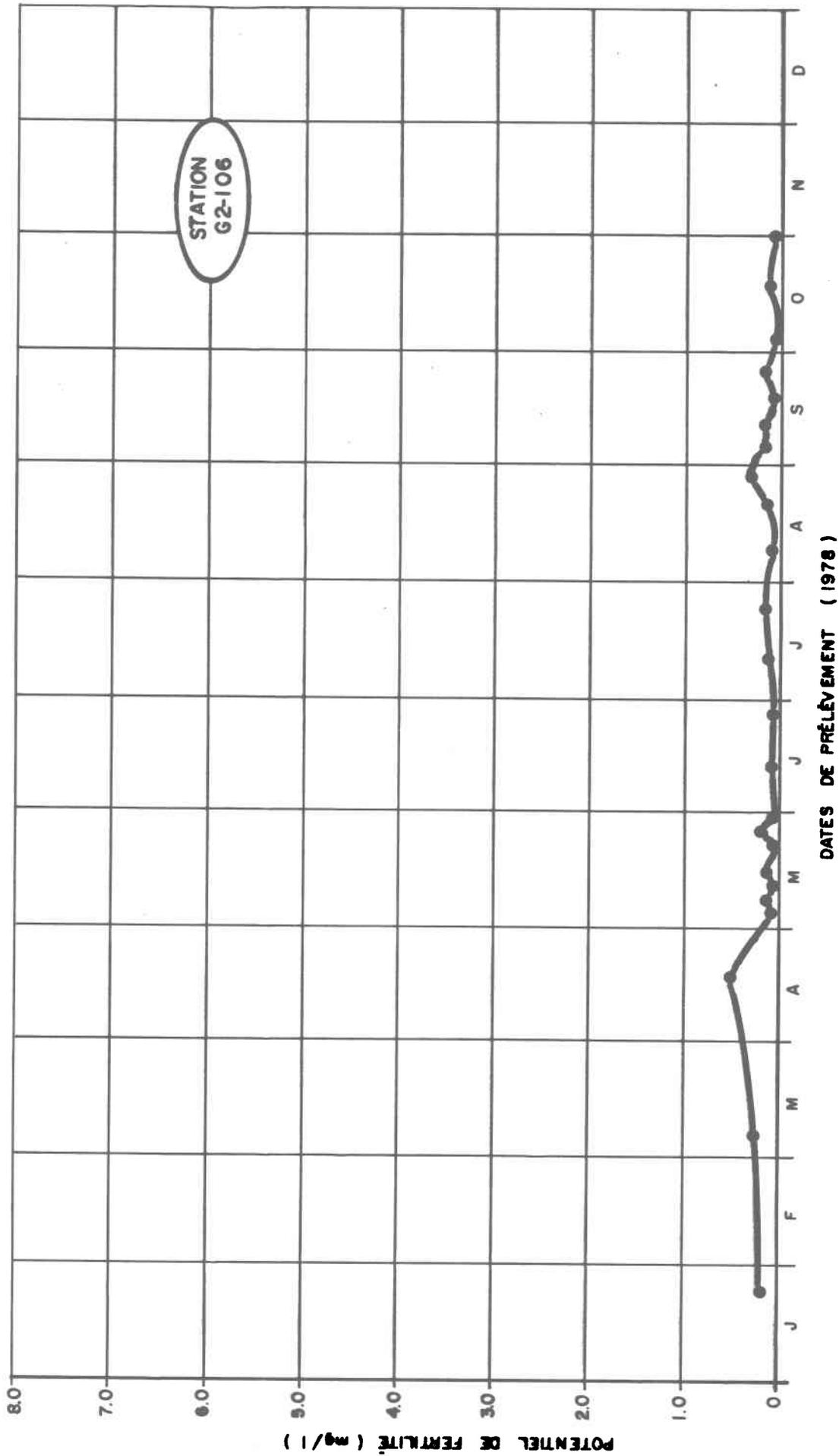


Figure B.13. Fluctuations saisonnières du potentiel de fertilité, en 1978, à la station G2-106.

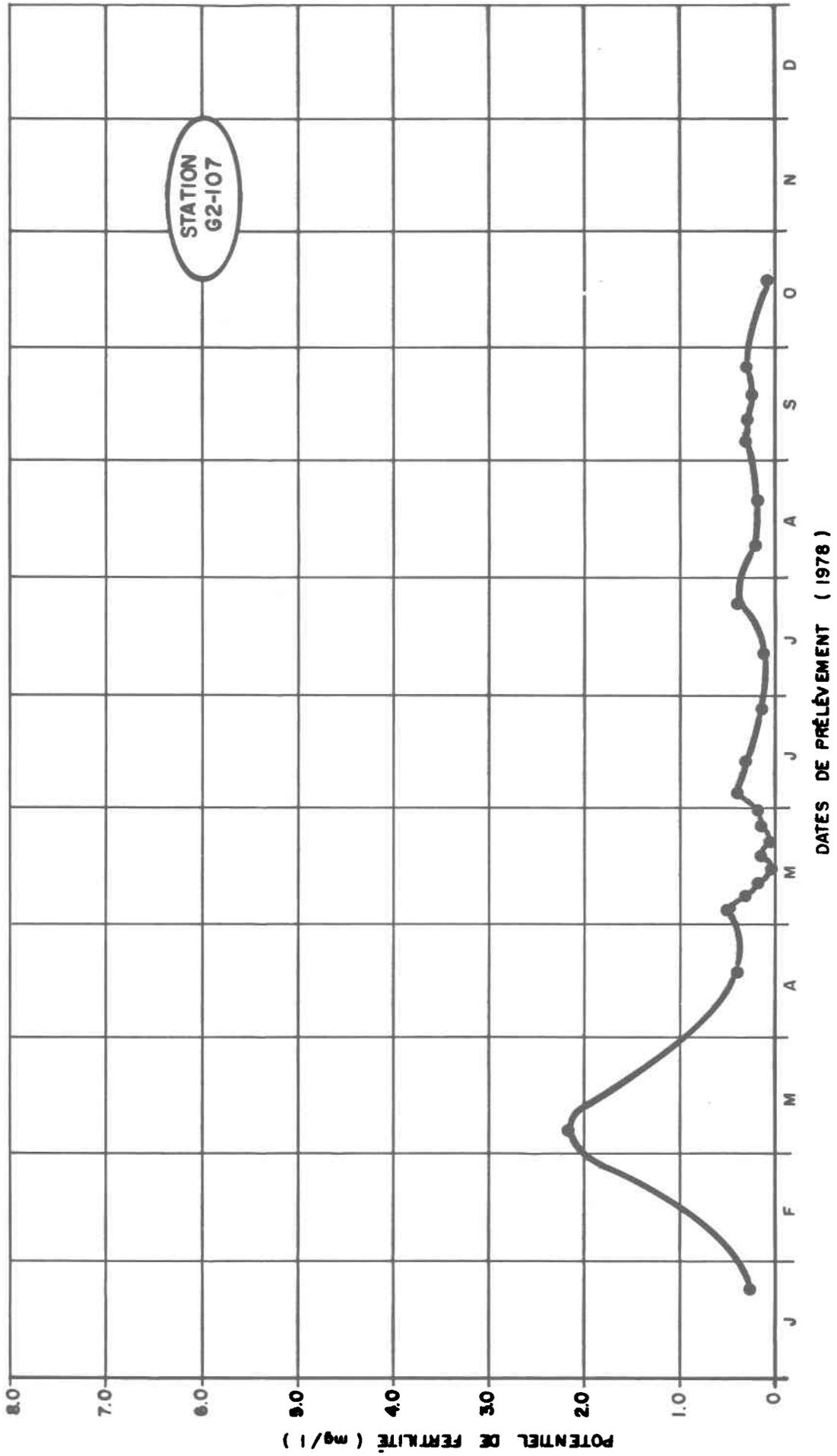


Figure B.14 . Fluctuations saisonnières du potentiel de fertilité, en 1978 , à la station G2-107 .

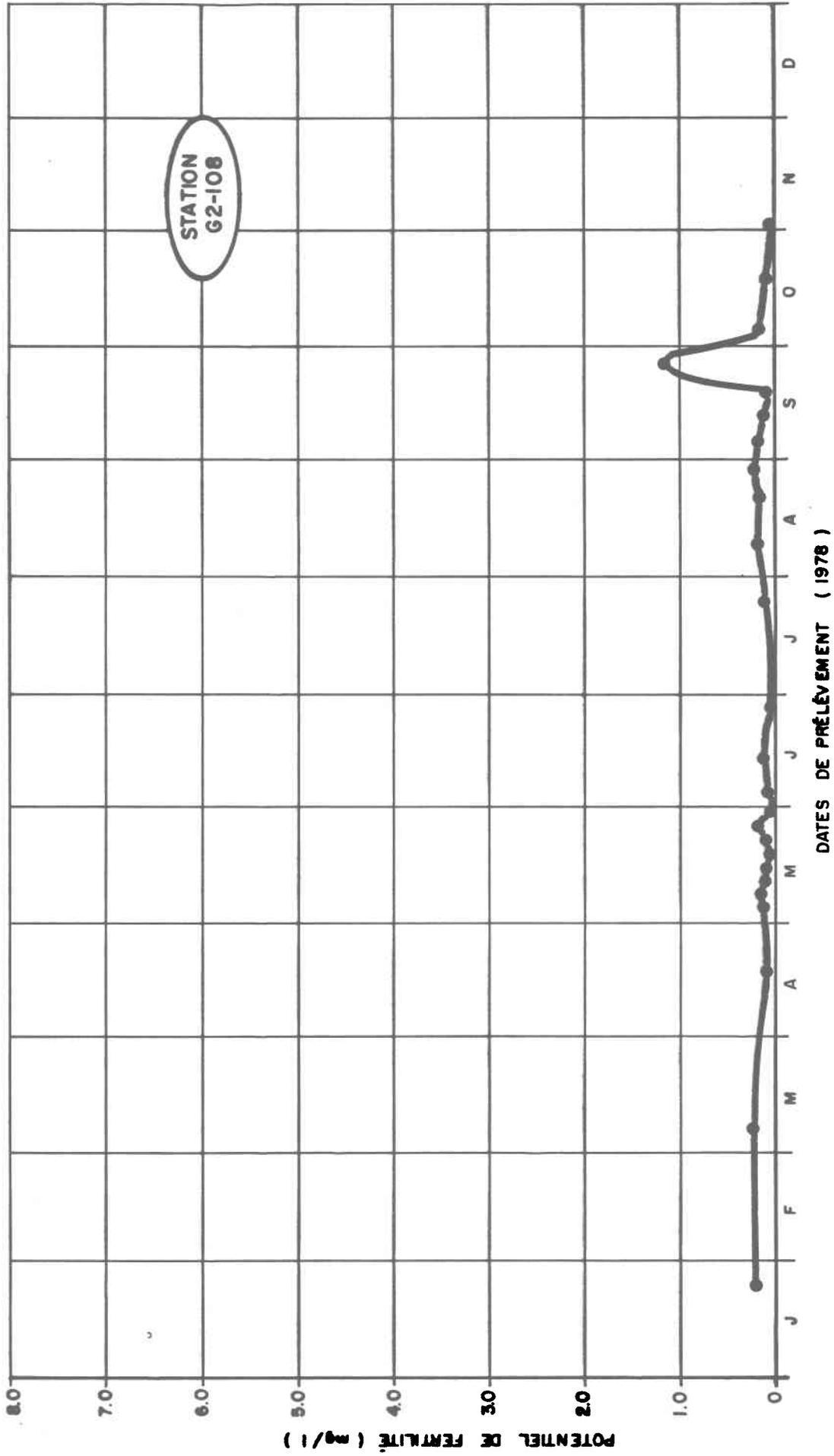


Figure B.15 . Fluctuations saisonnières du potentiel de fertilité, en 1978 , à la station G2-108 .

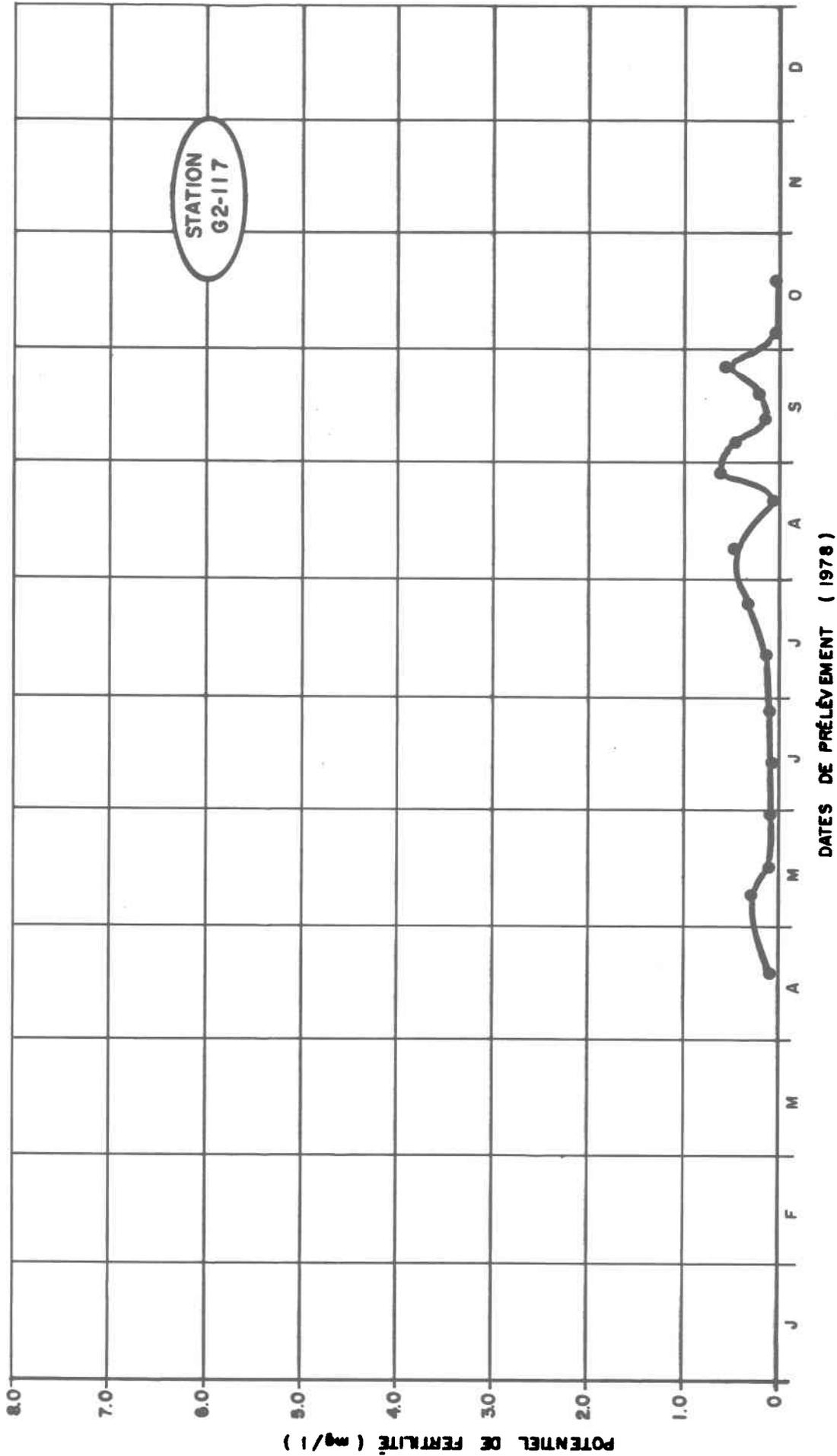


Figure B. 16 . Fluctuations saisonnières du potentiel de fertilité, en 1978 , à la station G2-117 .

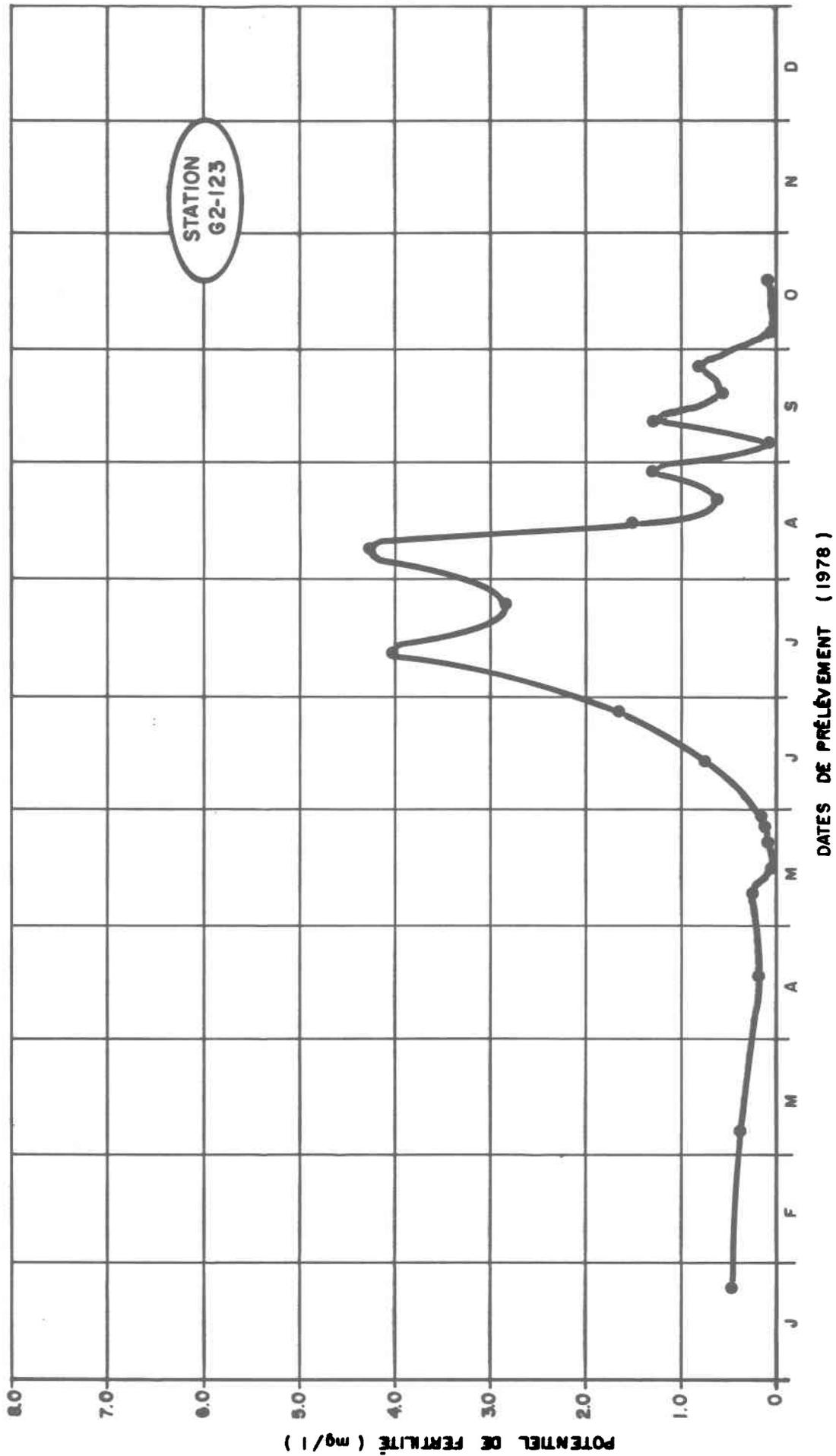


Figure B.17 . Fluctuations saisonnières du potentiel de fertilité, en 1978 , à la station G2-123 .

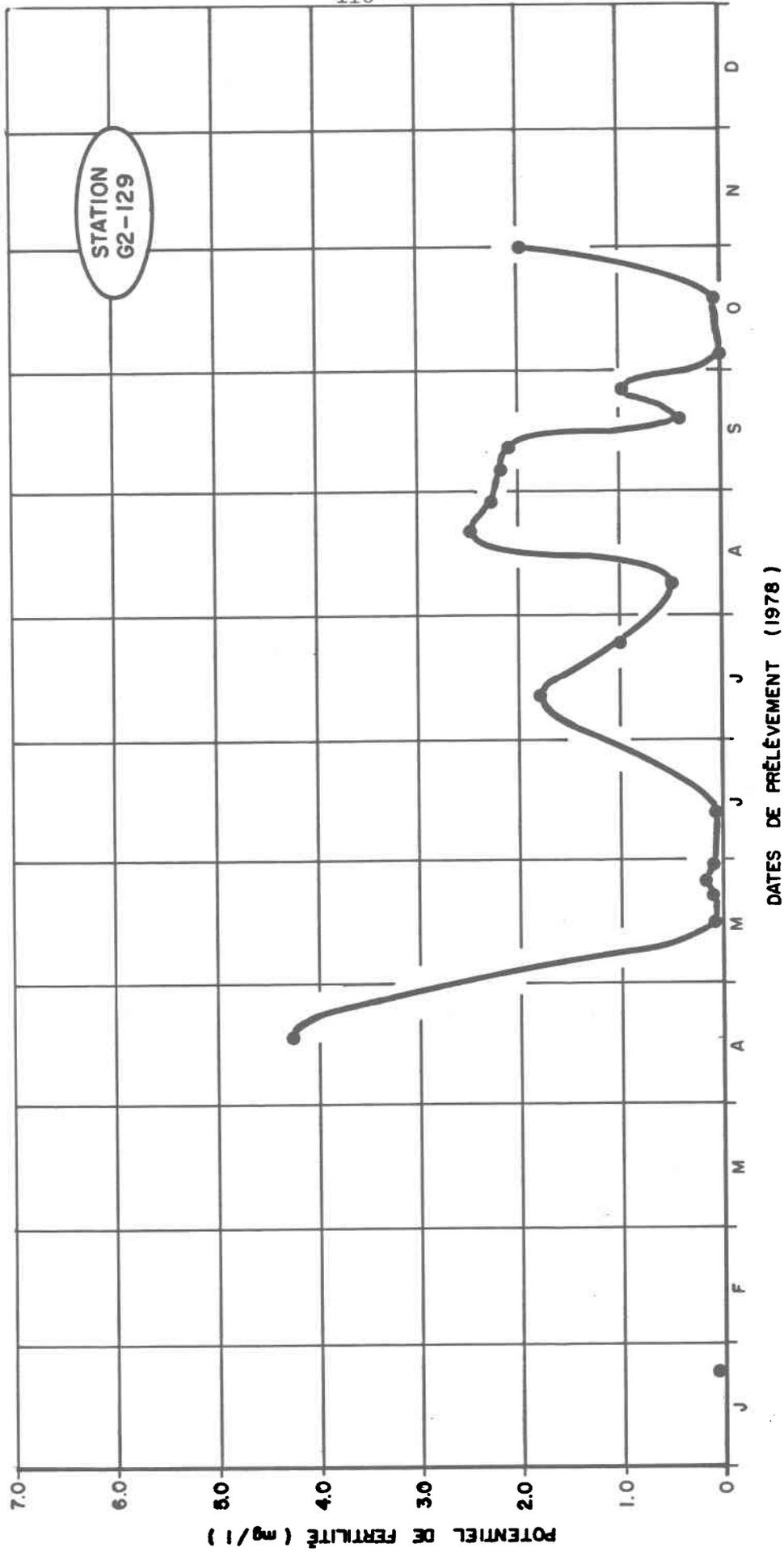


Figure B.18. Fluctuations saisonnières du potentiel de fertilité, en 1978, à la station G2-129.

ANNEXE C

GRAPHIQUES

PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES

ET BIOLOGIQUES

BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE DESAULNIERS

1977 - 1978

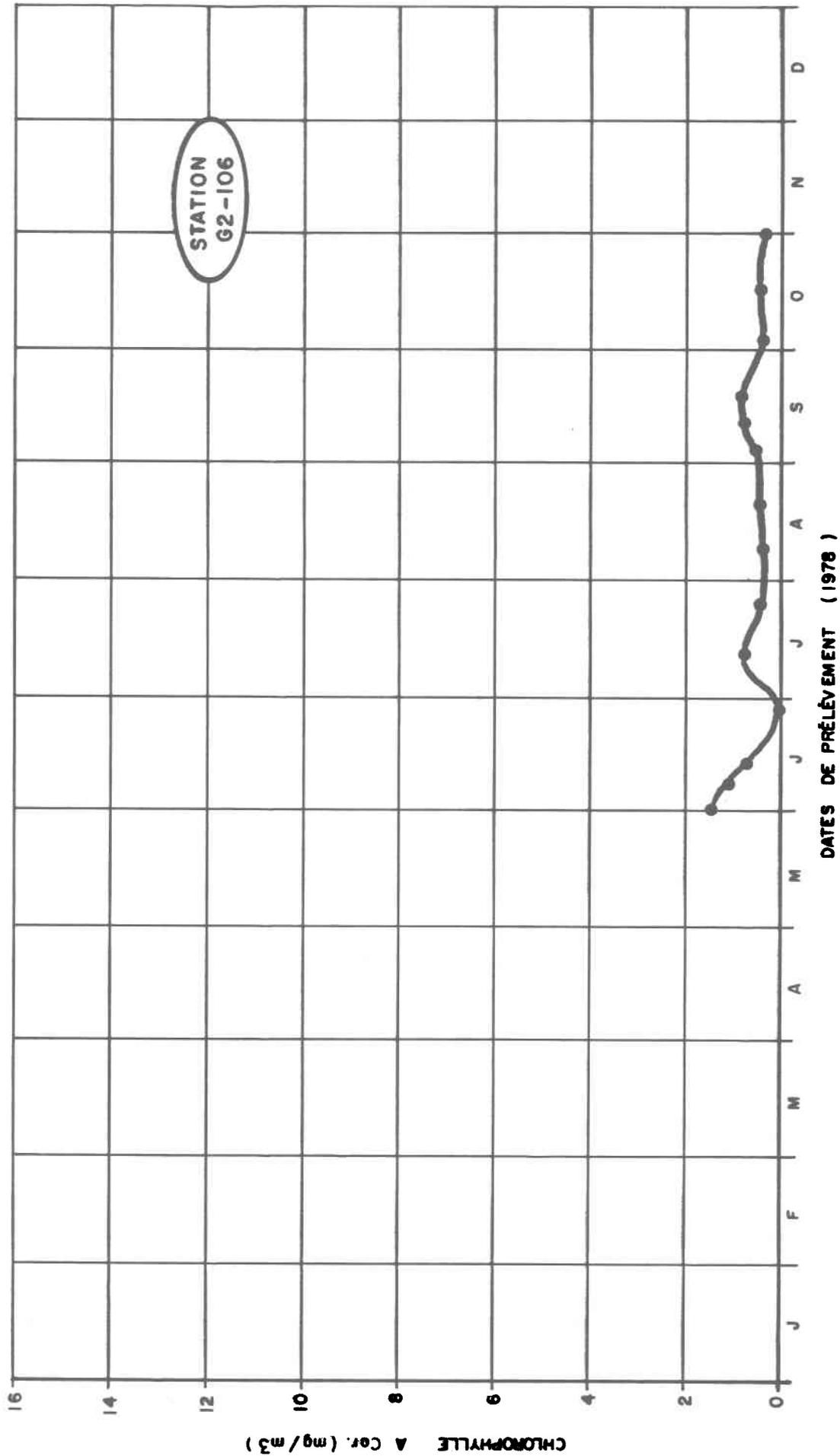


Figure C. 1 . Évolution de la chlorophylle *a* active , en 1978 , à la station G2-106 (SEBJ, 1979 b) .

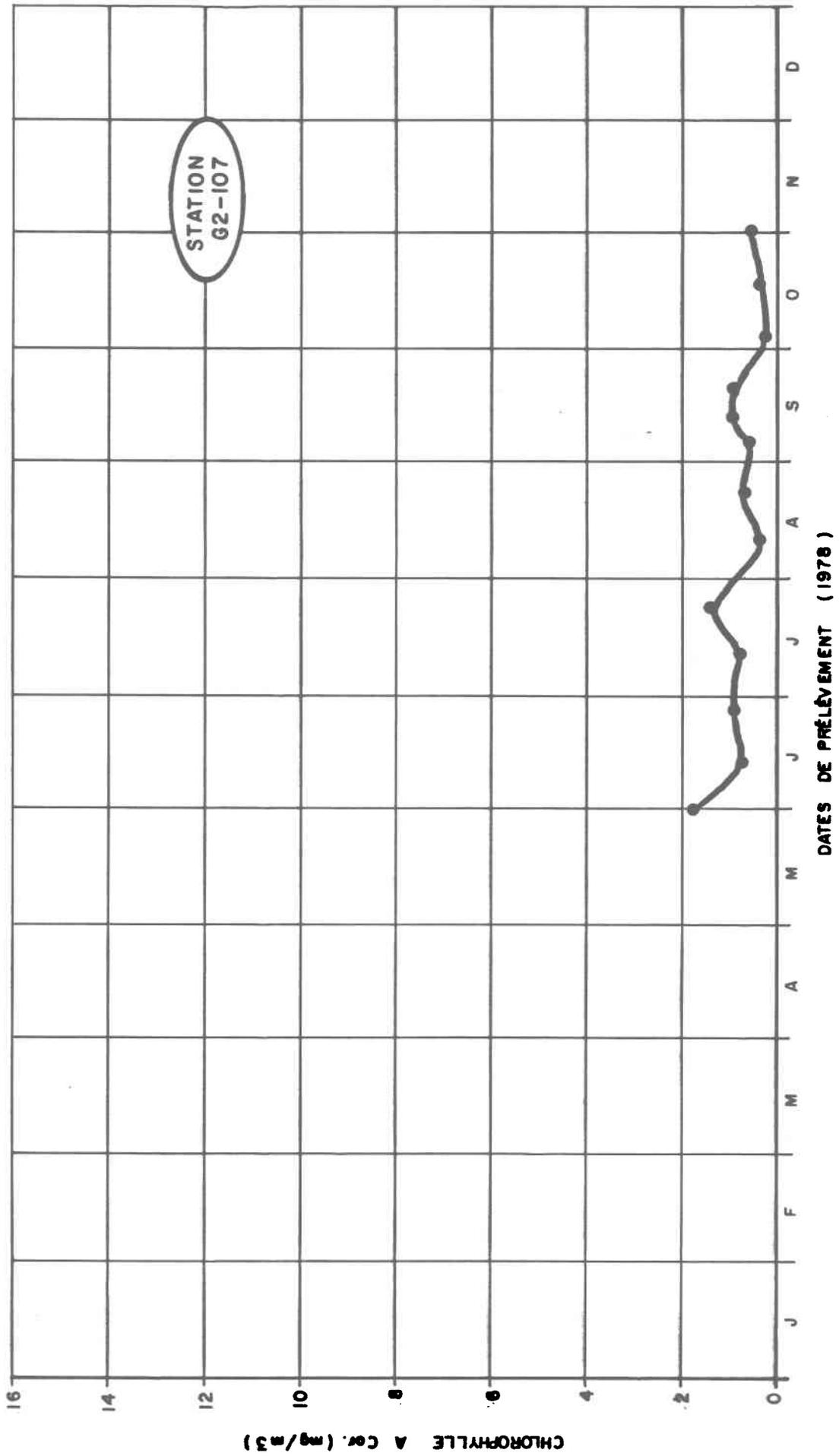


Figure C.2. Évolution de la chlorophylle a active, en 1978, à la station G2-107 (SEBJ, 1979 b).

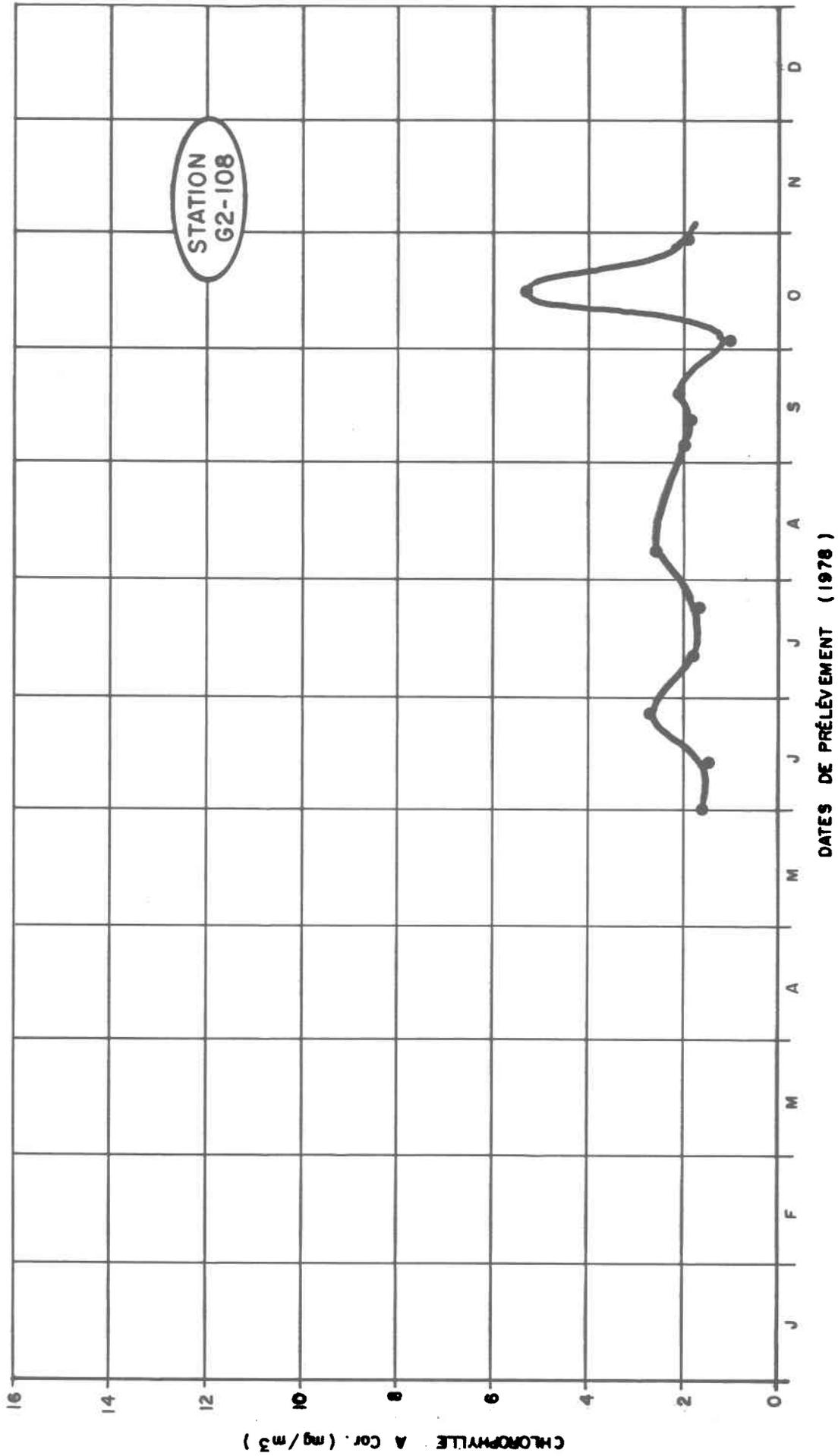


Figure C.3. Évolution de la chlorophylle *a* active, en 1978, à la station G2-108 (SEBJ, 1979 b).

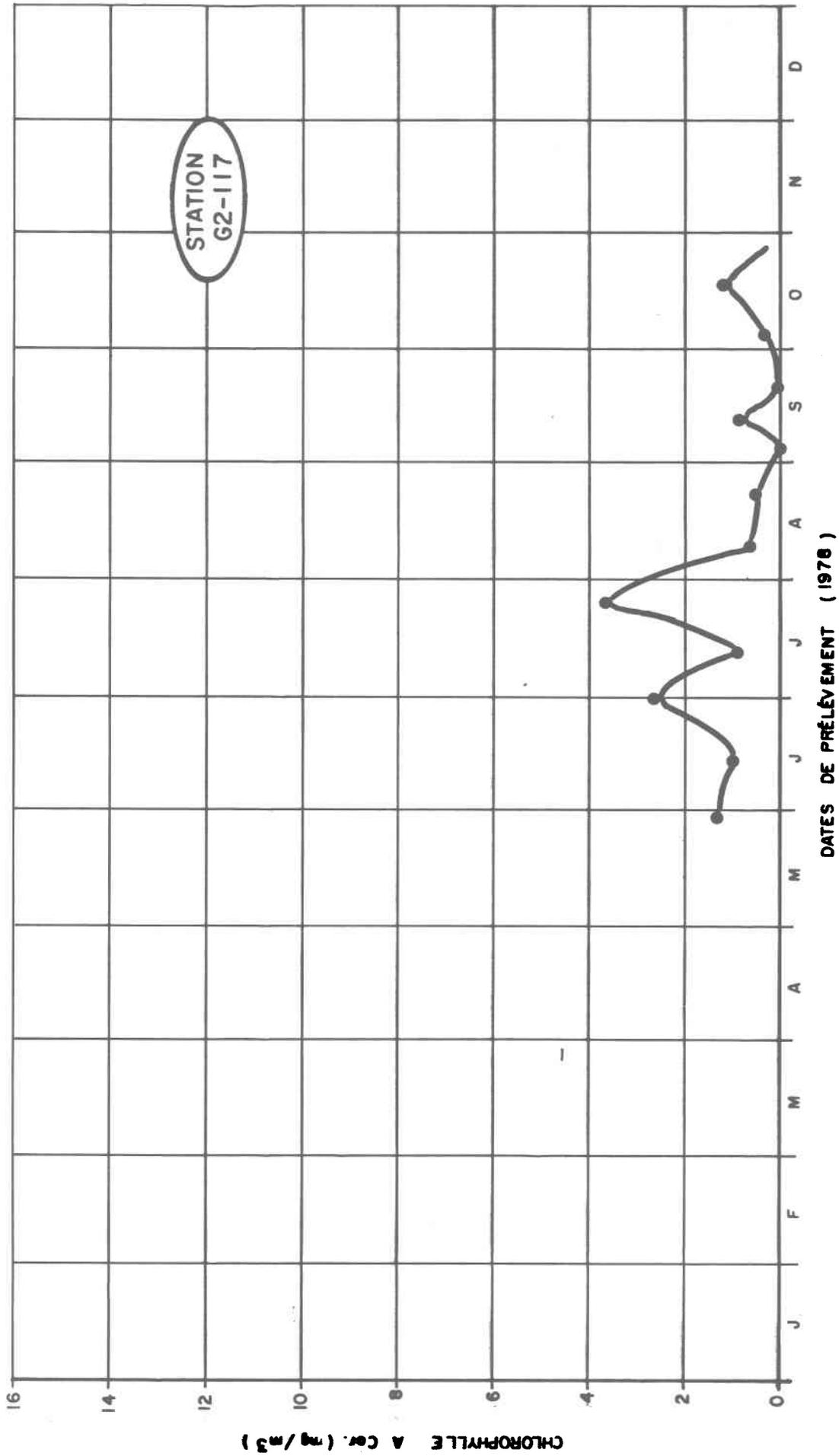


Figure C. 4 .Évolution de la chlorophylle a active , en 1978 , à la station G2-117 (SEBJ, 1979 b) .

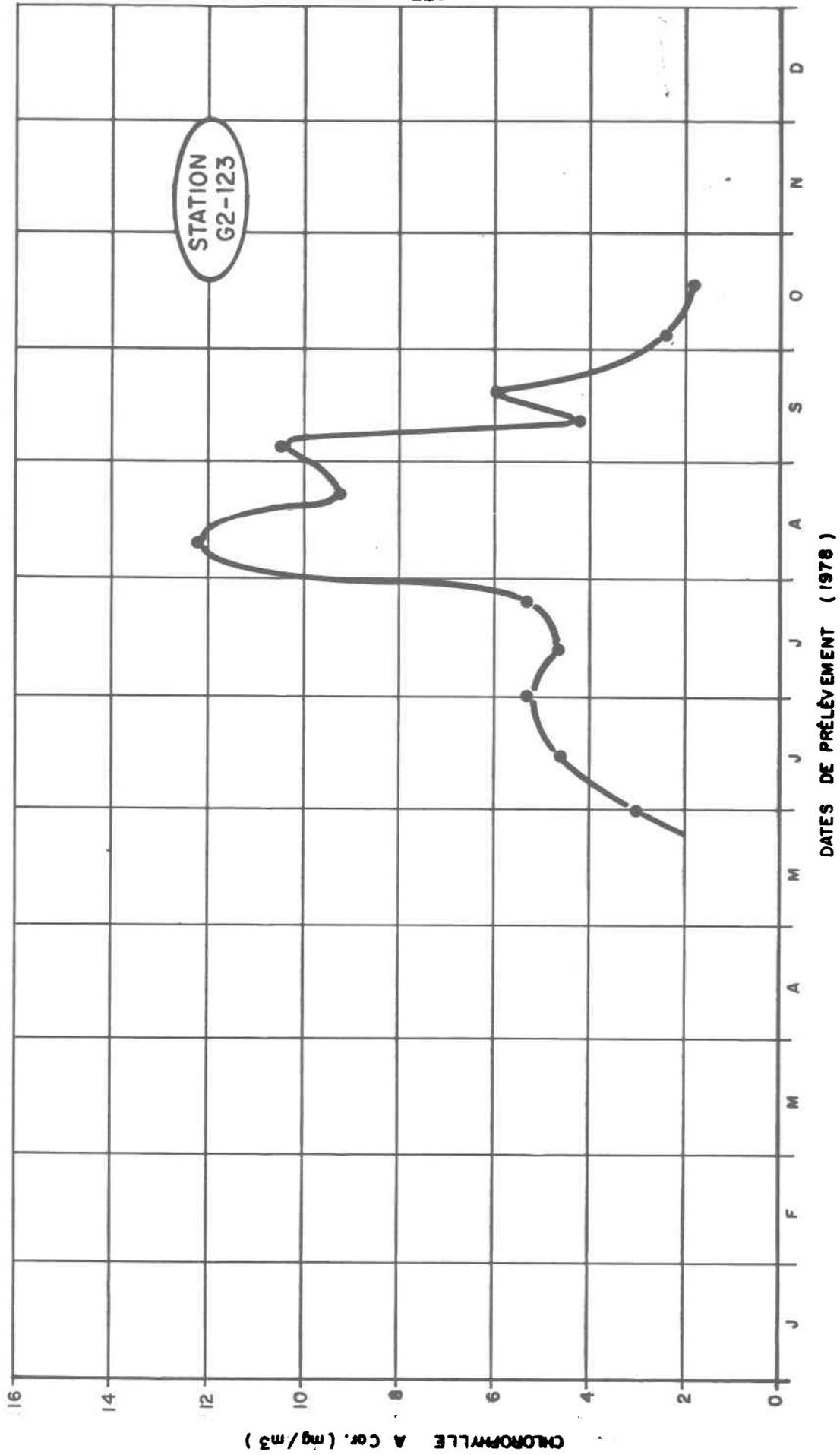


Figure C. 5 . Évolution de la chlorophylle a active , en 1978 , à la station G2-123 (SEBJ, 1979 b) .

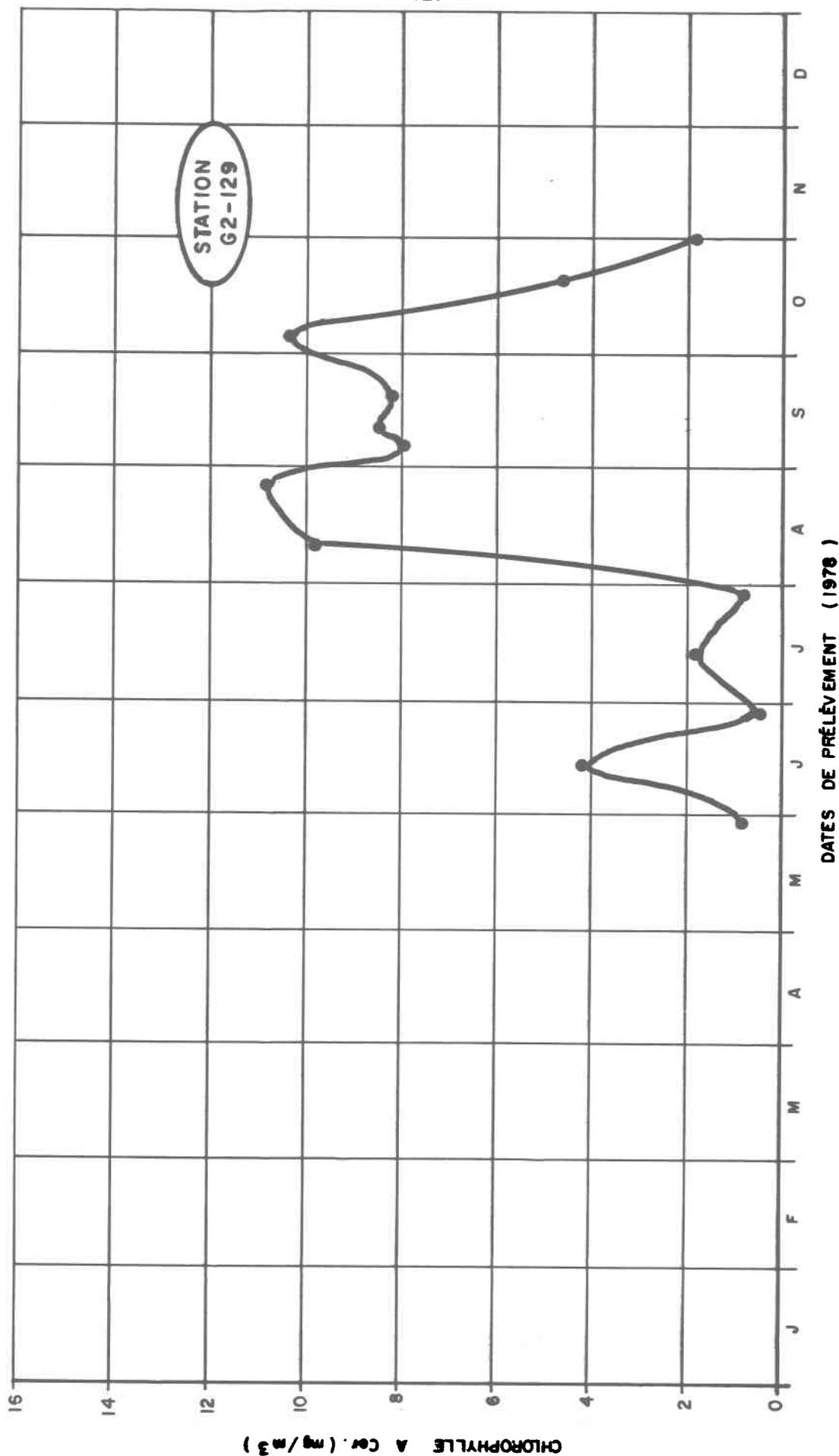


Figure C. 6 . Évolution de la chlorophylle a active , en 1978 , à la station G2-129 (SEBJ, 1979 b) .

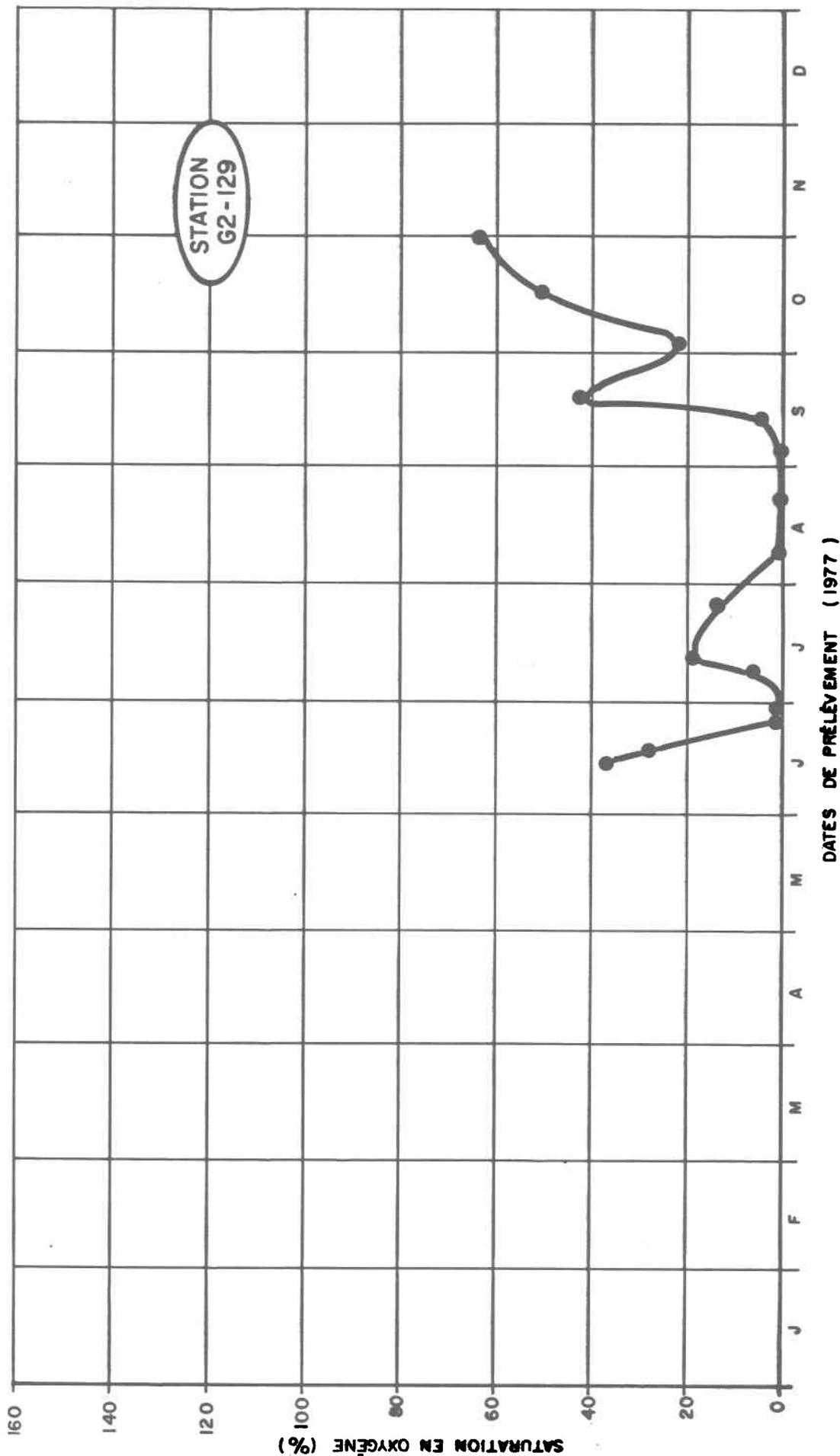


Figure C. 7 . Saturation en oxygène, en profondeur, à la station G2-129, en 1977 (Lemire et Vinet, 1978 b).

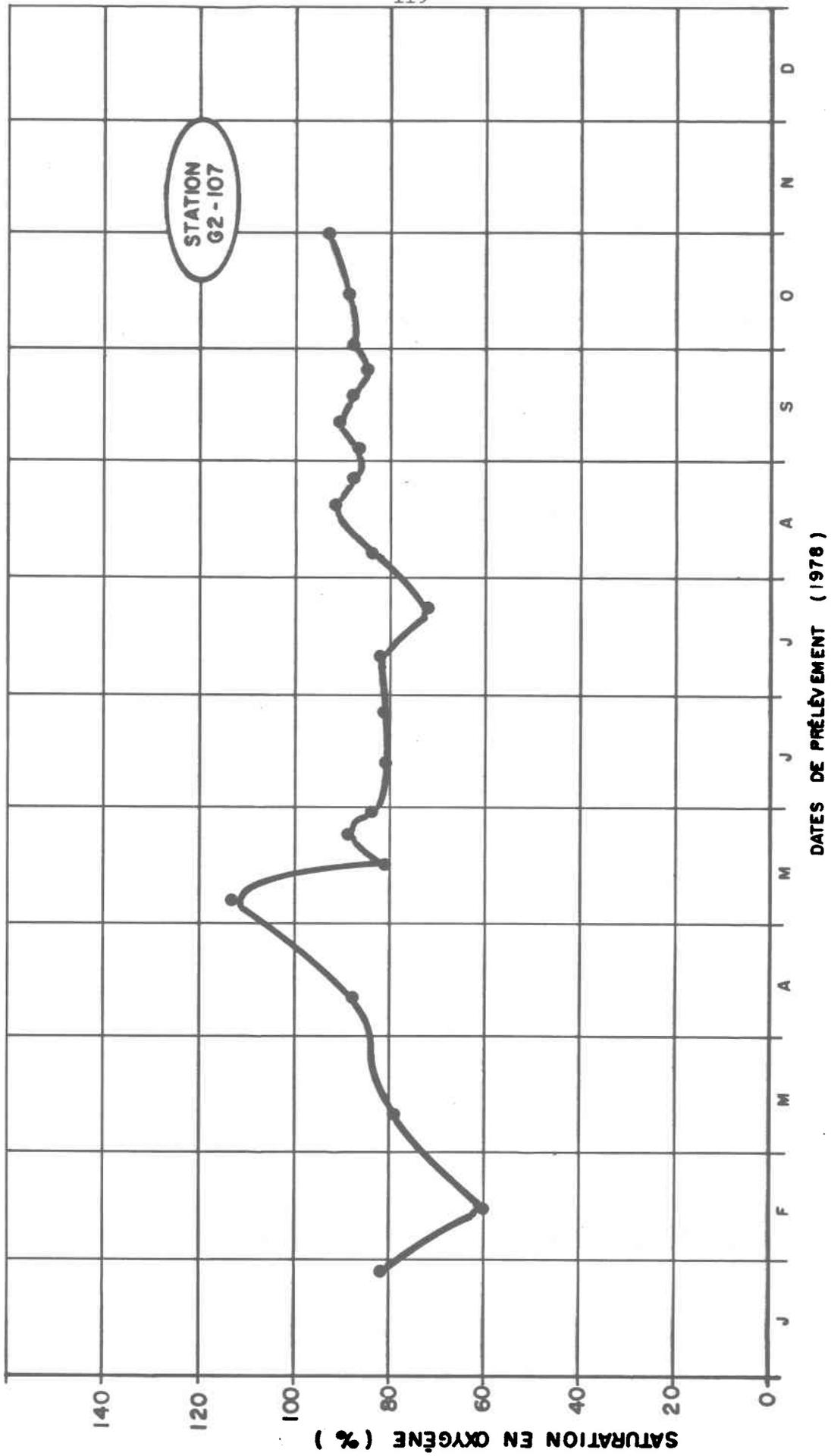


Figure C.8 . Saturation en oxygène, en profondeur, à la station G2-107, en 1978 (SEBJ, 1979 a) .

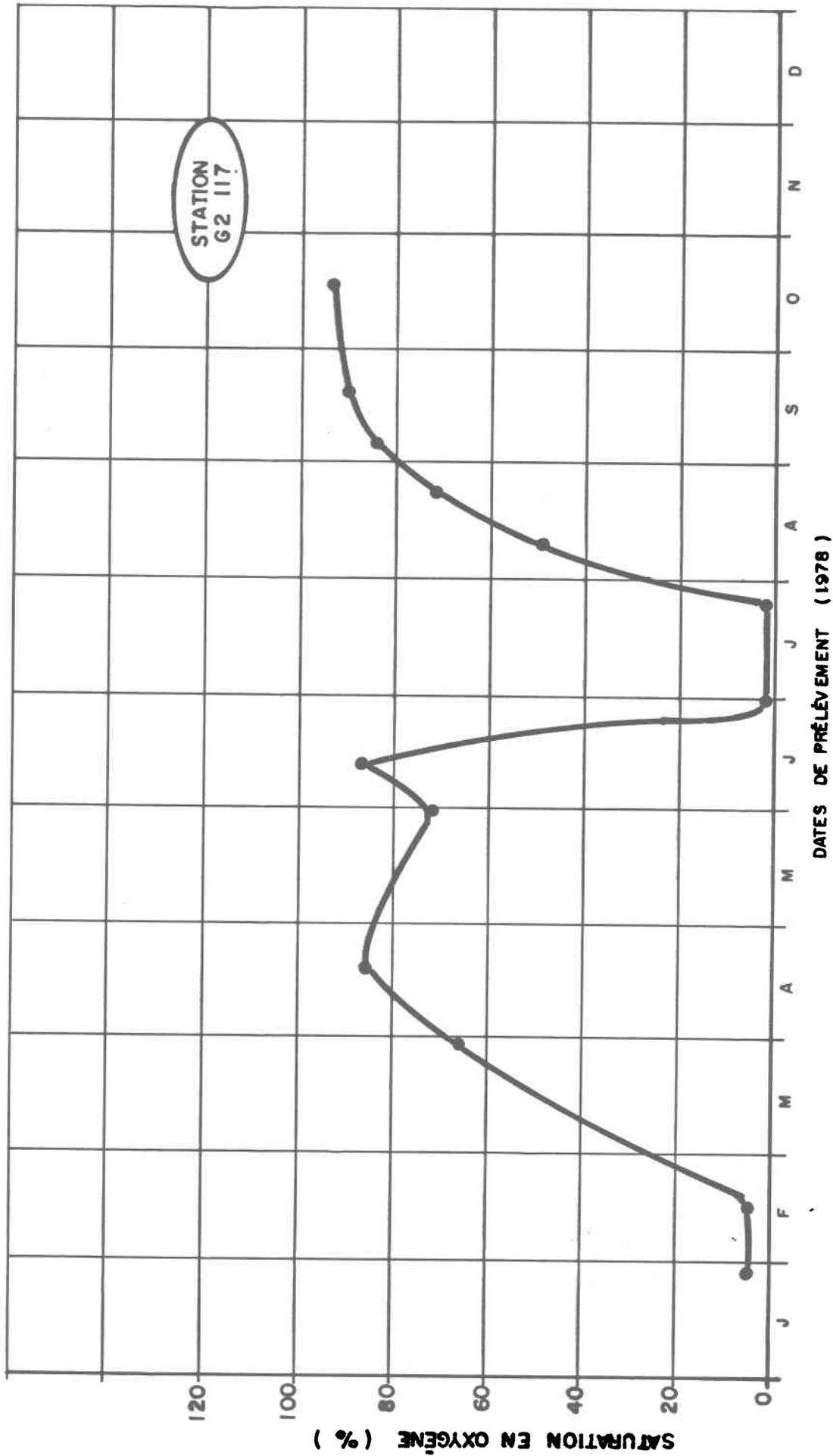


Figure C.9 . Saturation en oxygène, en profondeur, à la station G2-117, en 1978 (SEBJ, 1979 a).

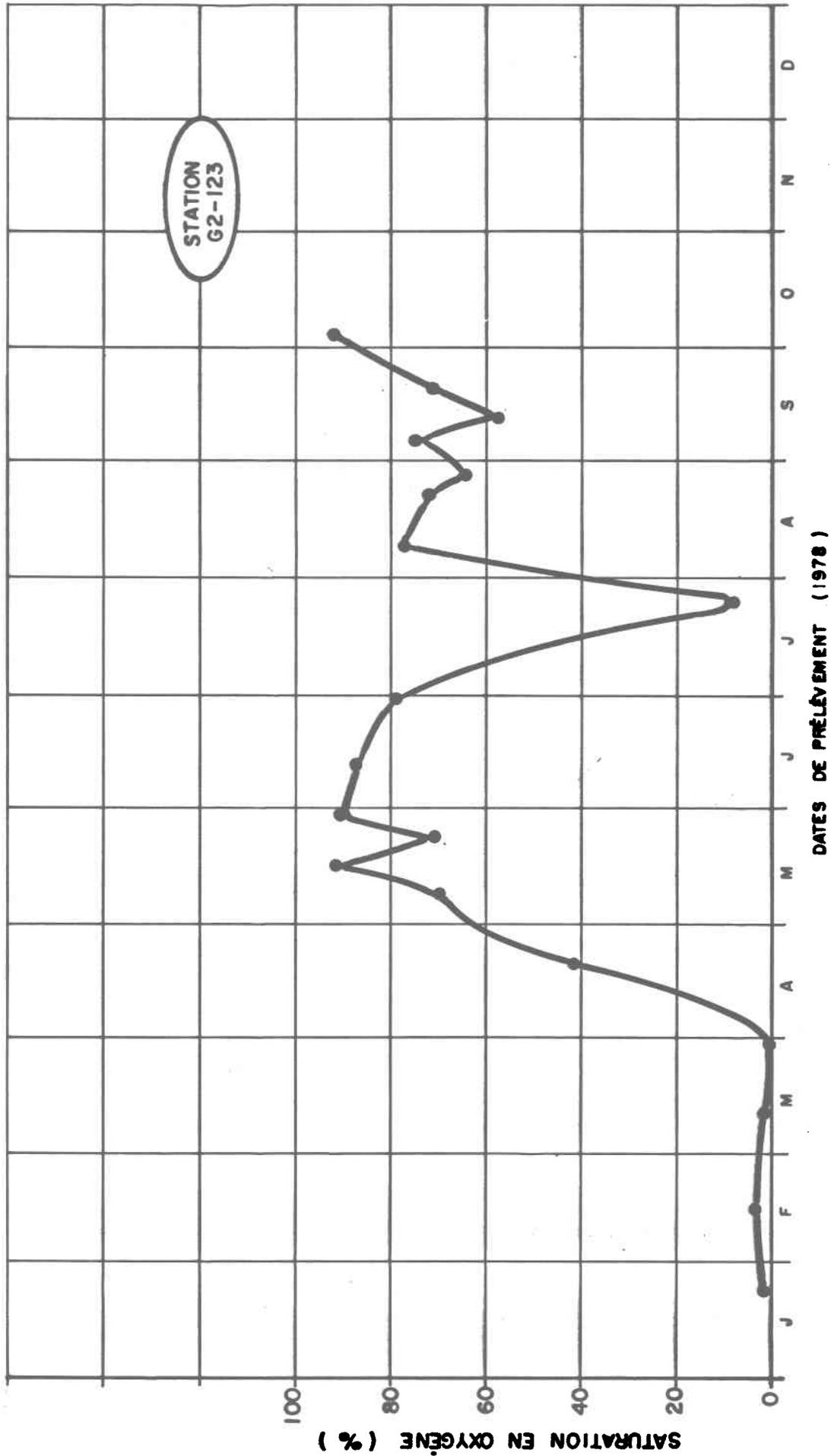


Figure C.10 . Saturation en oxygène, en profondeur, à la station G2-123, en 1978 (SEBJ, 1979 a) .

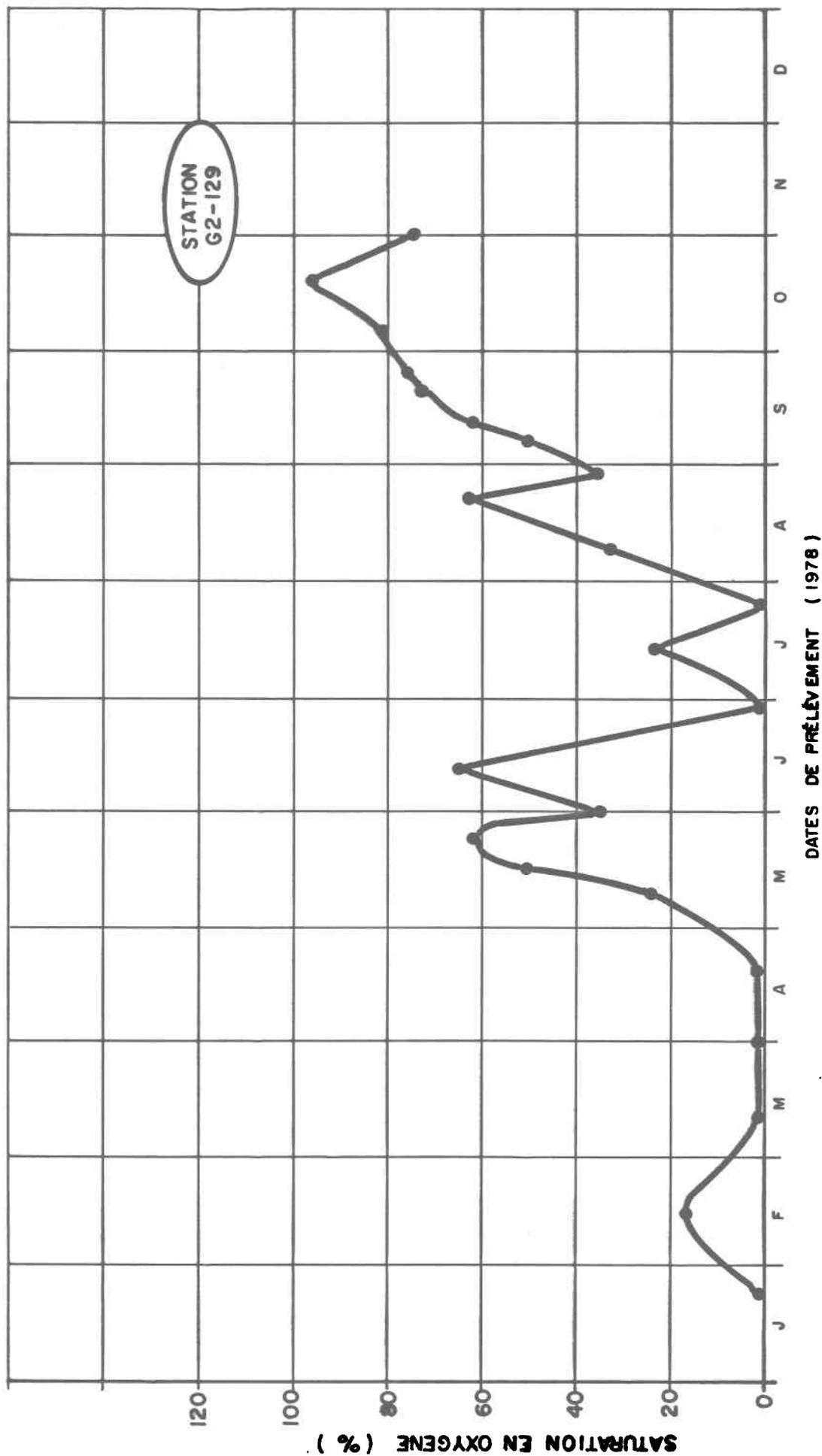


Figure C.11 . Saturation en oxygène, en profondeur, à la station G2-129, en 1978 (SEBJ, 1979 a) .

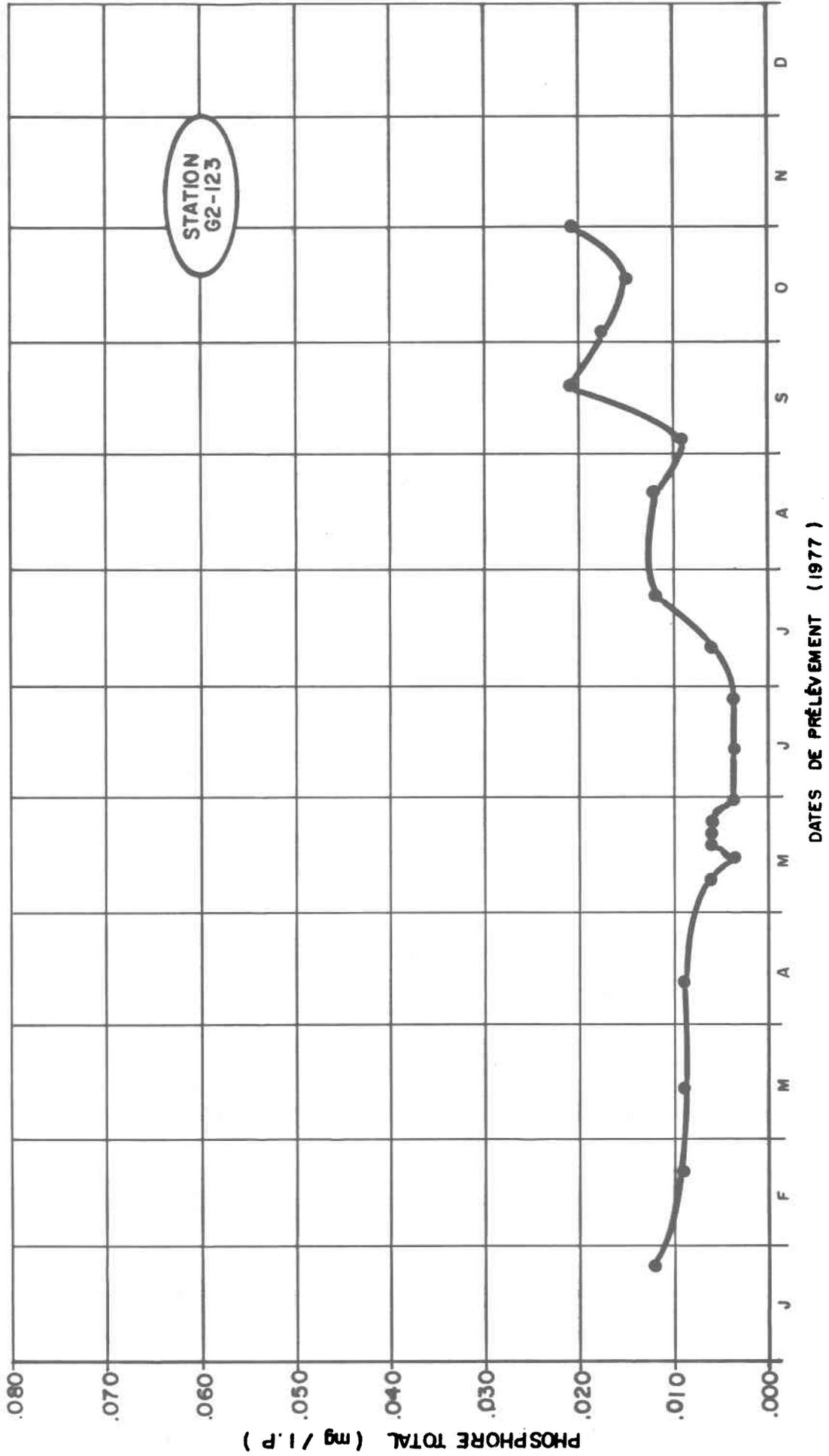


Figure C.13. Concentration en phosphore total à la station G2-123, en 1977 (Lemire et Vinet, 1978 b).

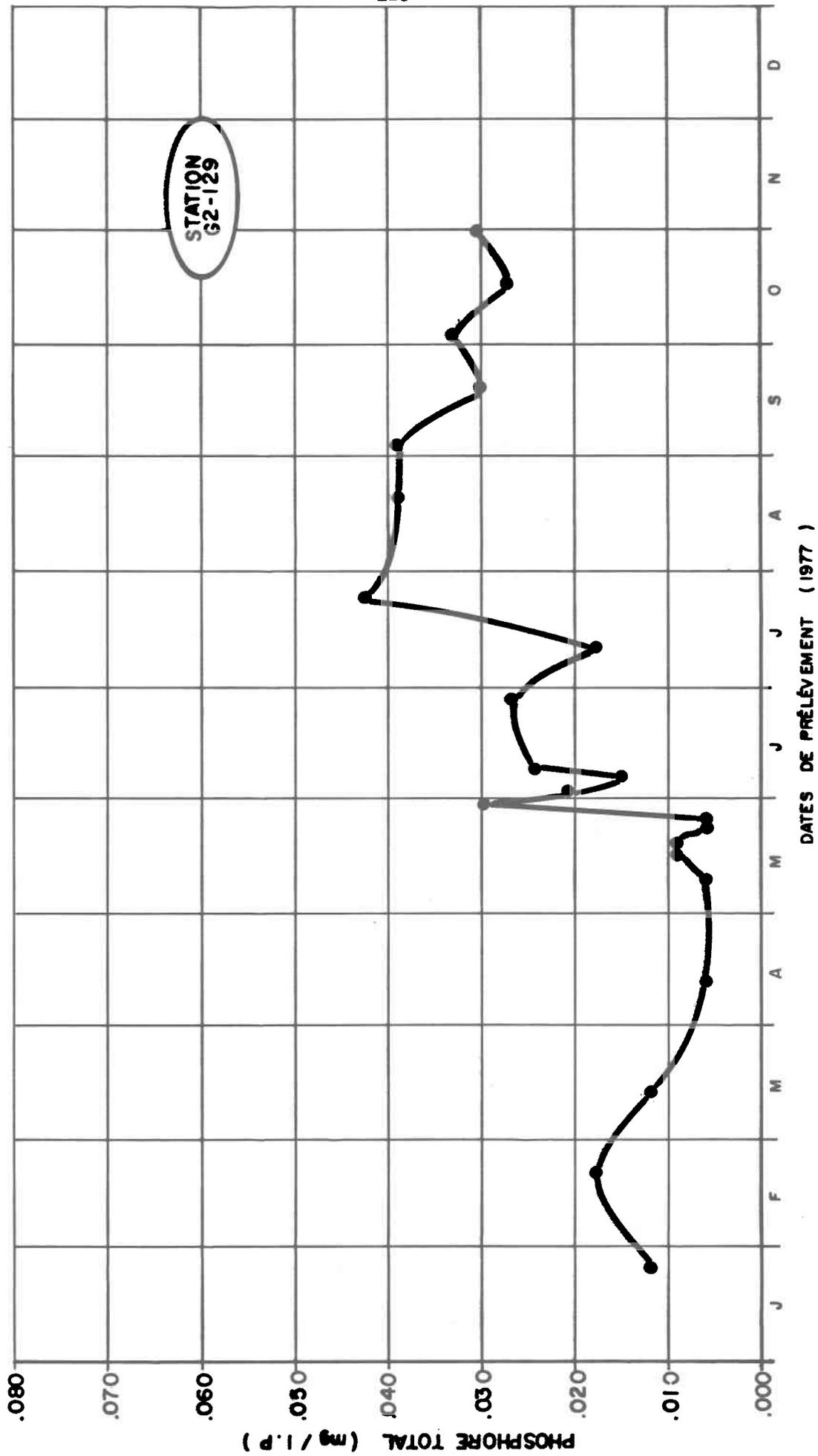


Figure C.14. Concentration en phosphore total à la station G2-129, en 1977 (Lemire et Vinet, 1978 b 1).

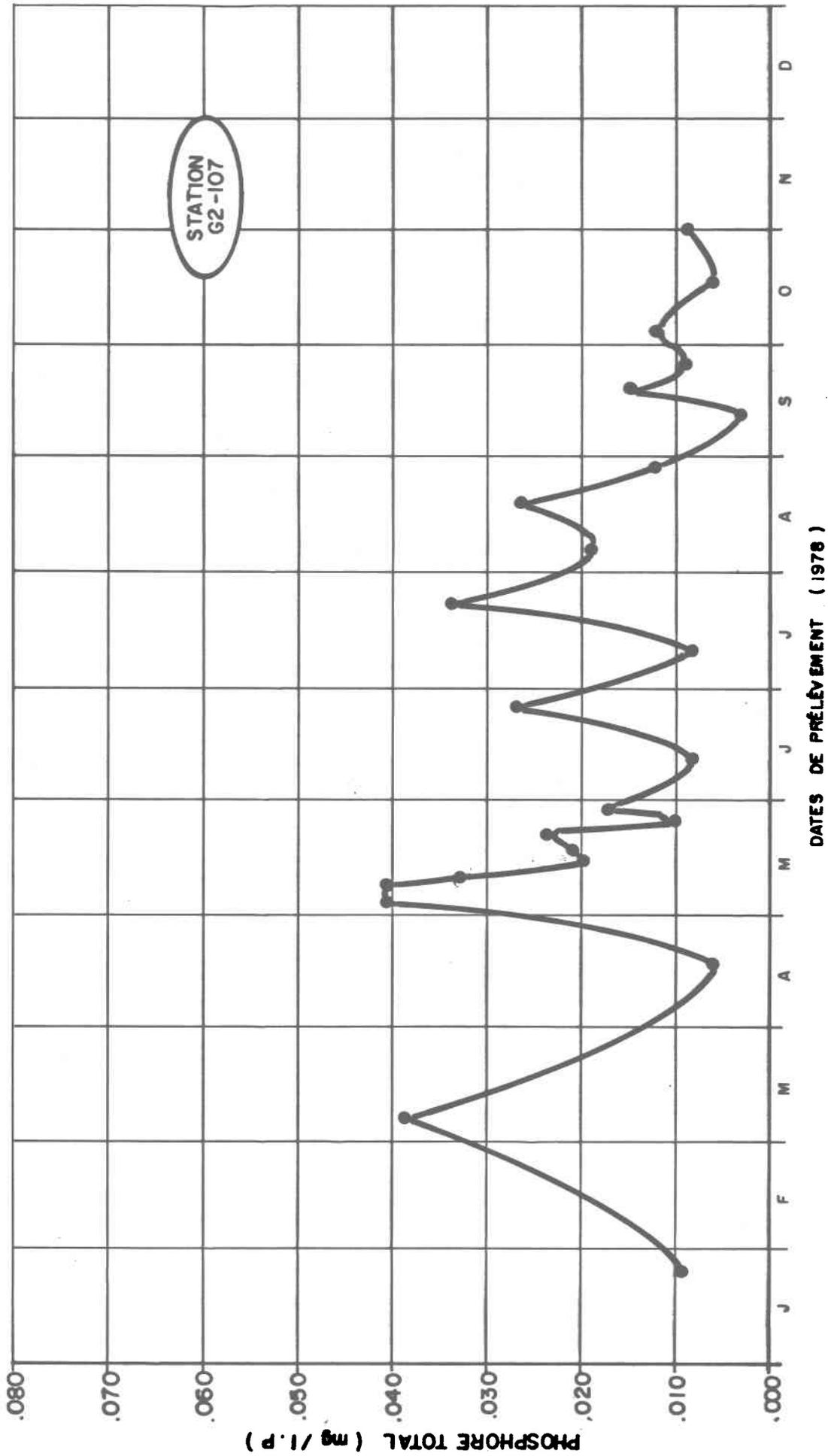


Figure C.15 . Concentration en phosphore total à la station G2-107, en 1978 (SEBU, 1979 a) .

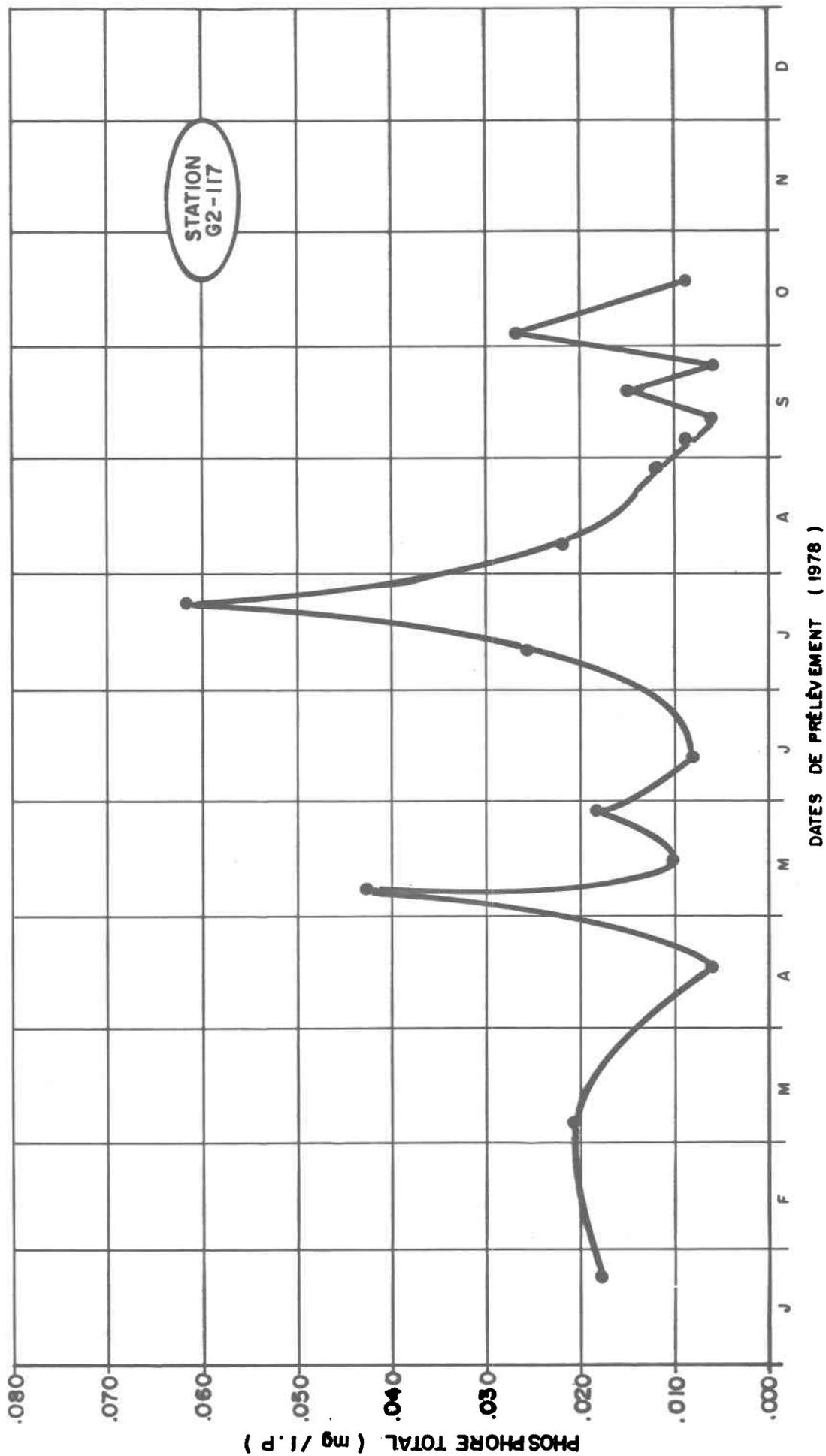


Figure C.16 . Concentration en phosphore total à la station G2-117, en 1978 (SEBJ, 1979 a).

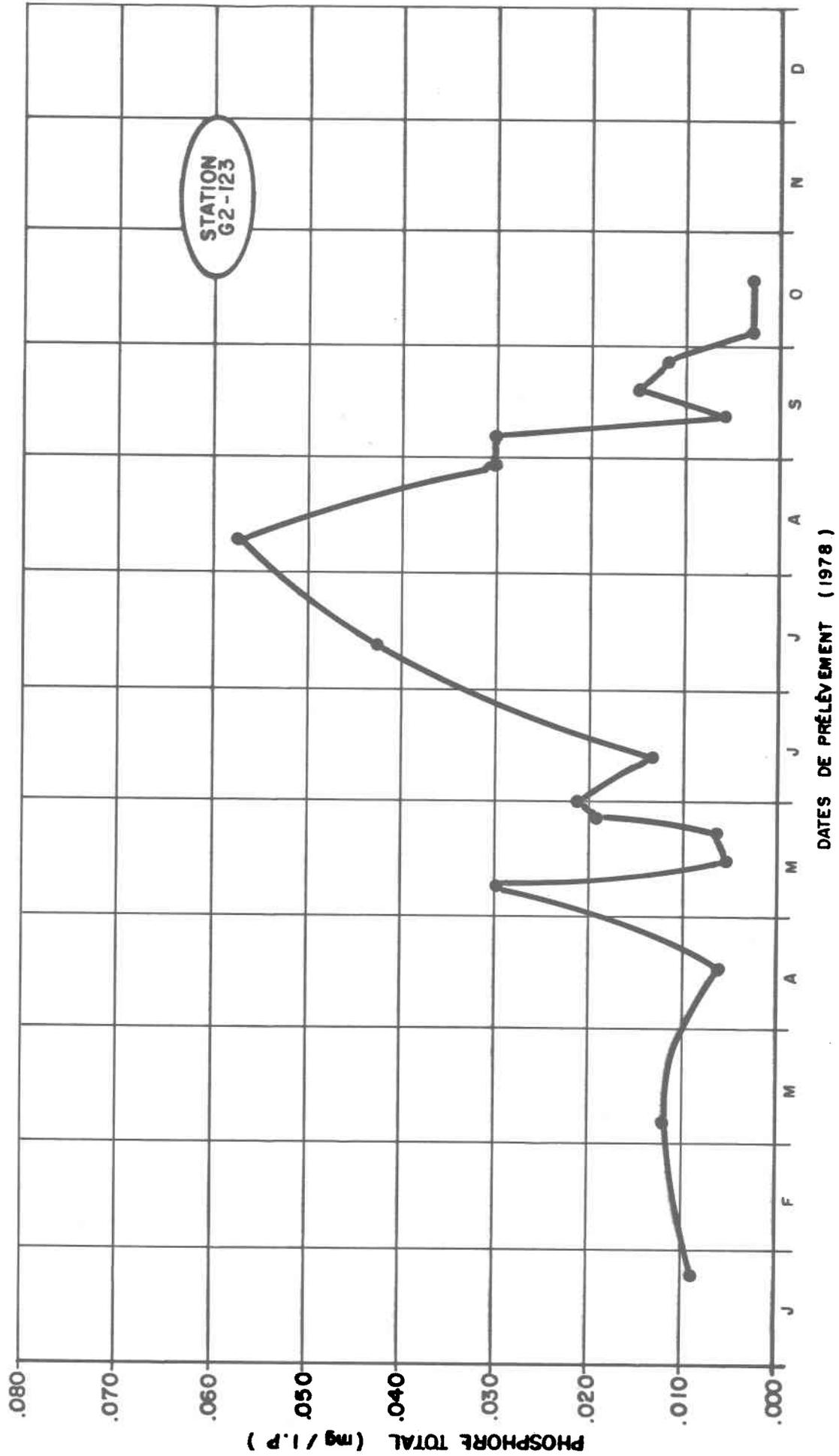


Figure C.17 . Concentration en phosphore total à la station G2-123, en 1978 (SEBJ, 1979a).

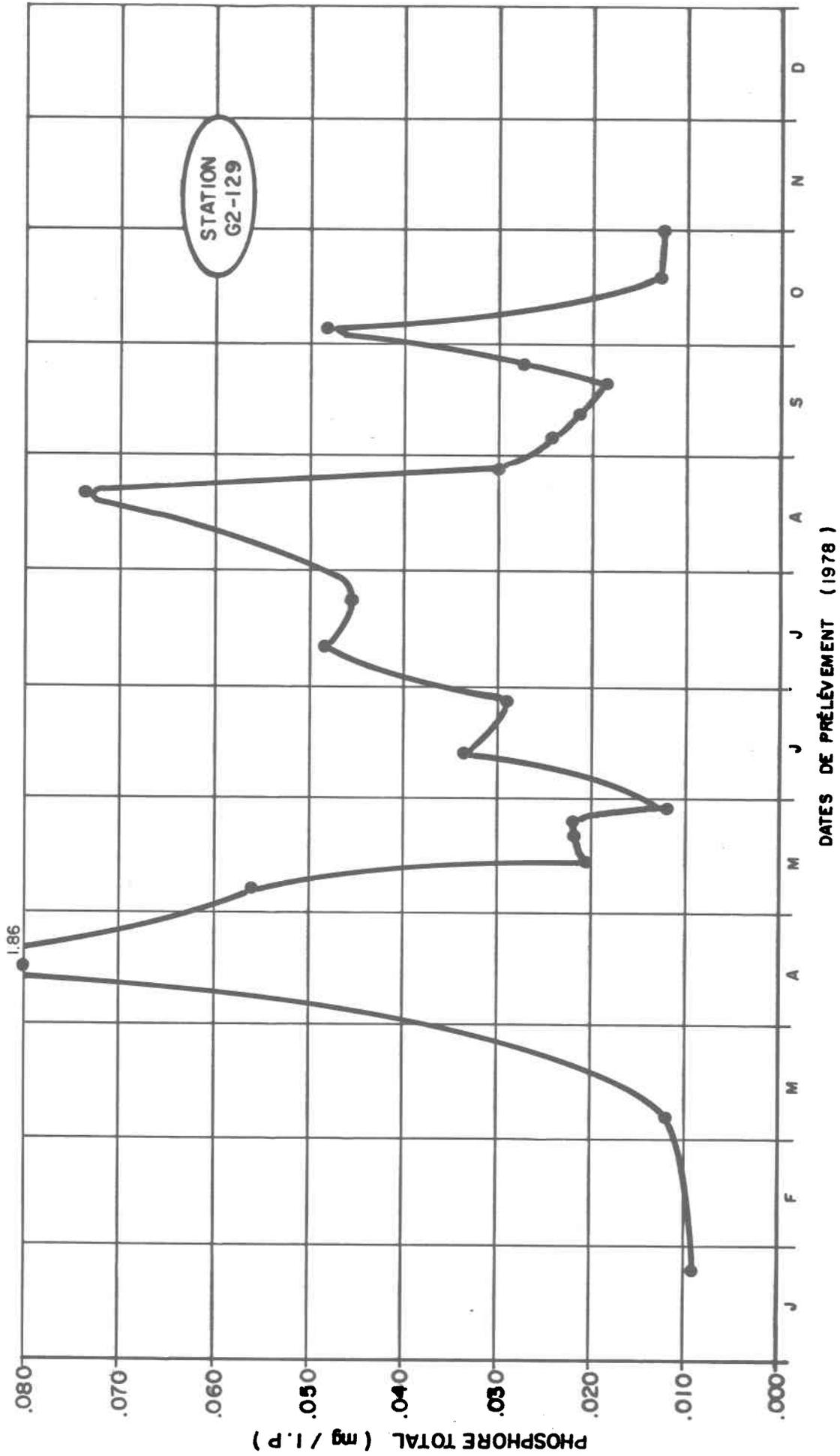


Figure C.18 . Concentration en phosphore total à la station G2-129, en 1978 (SEBU , 1979 a) .

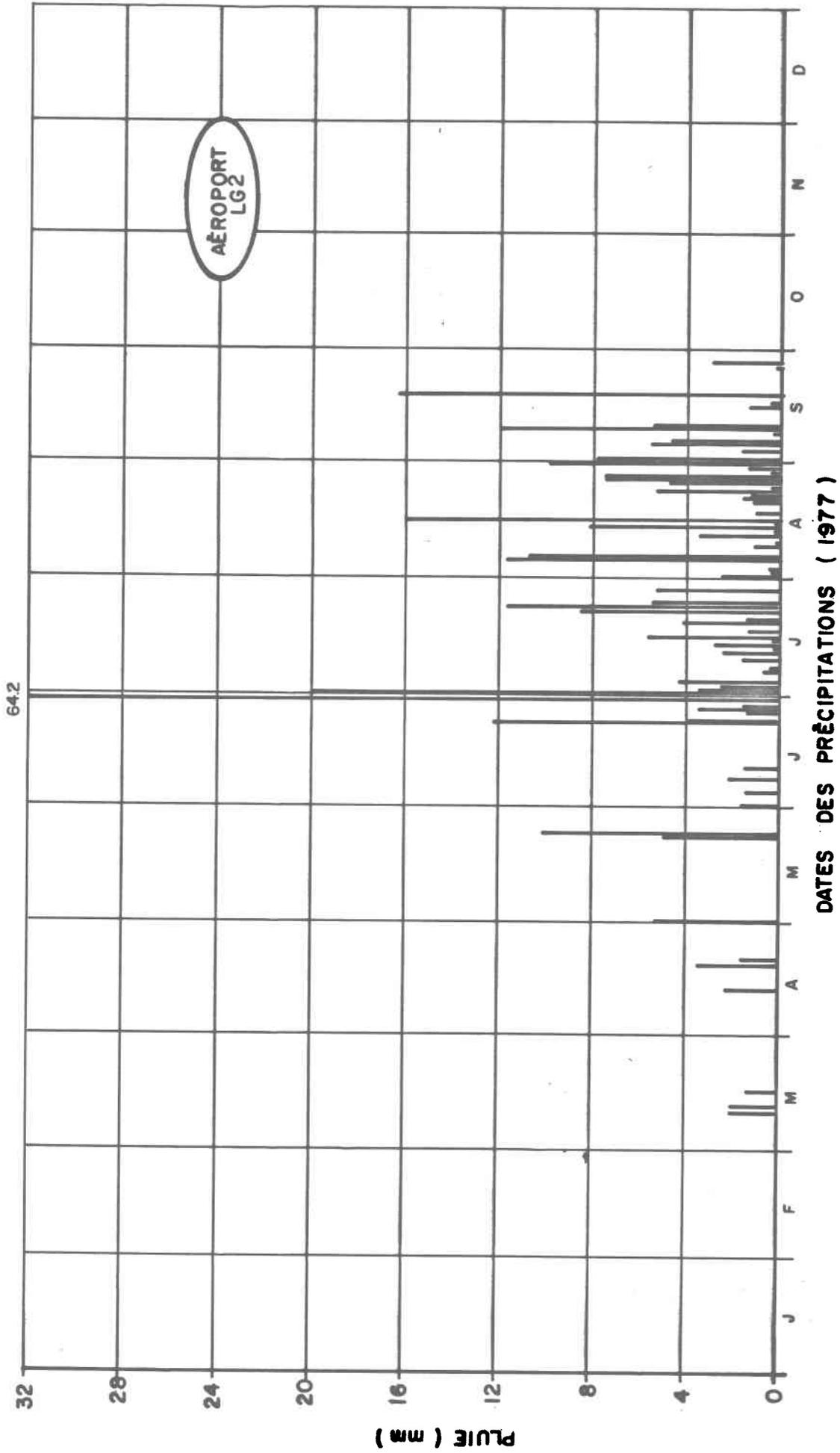


Figure C. 19 . Précipitation à l'aéroport LG2 en 1977 .

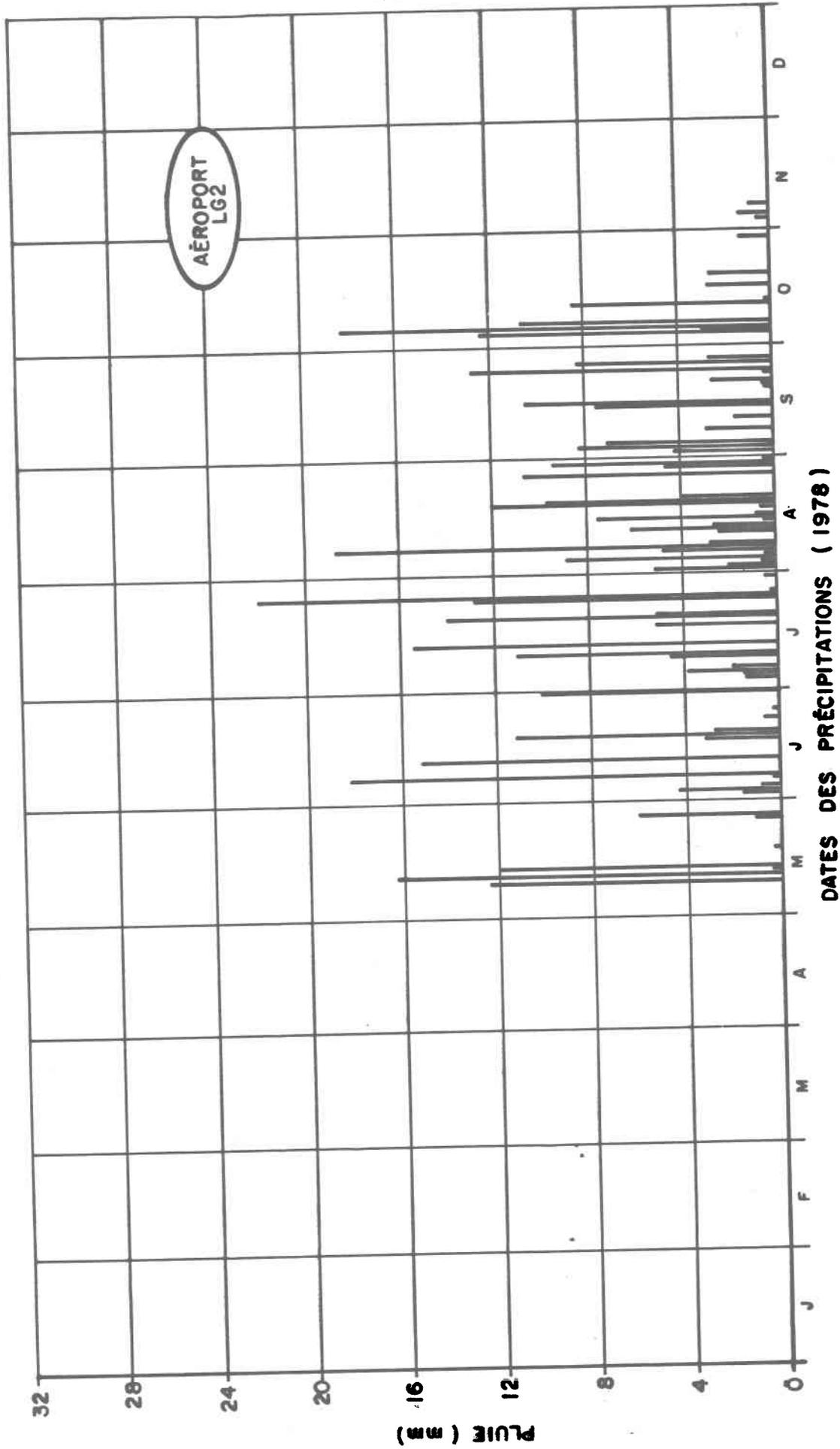


Figure C.20. Précipitation à l'aéroport LG2 en 1978.