

Sciences
TD
380
A1
C132
2,3

les cahiers de centreau



CENTREAU
Centre de recherches sur l'eau




UNIVERSITÉ LAVAL
Québec, Canada

**FACTEURS PHYSICO-CHIMIQUES
LES PLUS RESPONSABLES DE
L'ADSORPTION DU PHOSPHORE
PAR DES SÉDIMENTS DU
FLEUVE SAINT-LAURENT**

Michel CESCAS
André PIERRE

Vol. II, No 3, mai 1977

LES CAHIERS DE CENTREAU

LES CAHIERS DE CENTREAU constituent une collection d'études qui fait connaître les travaux des chercheurs de l'Université Laval dans le domaine de l'eau et qui s'adresse à la fois aux scientifiques et aux praticiens intéressés aux richesses naturelles et à leur conservation. Ils traitent chacun de sujets particuliers et apportent des conclusions ou des recommandations susceptibles non seulement d'augmenter les connaissances, mais de fournir aussi des solutions à de nombreux problèmes concernant la gestion et l'aménagement des ressources. Les études présentées ont été préalablement soumises à un comité d'appréciation, composé à la fois des analystes du comité de rédaction et de membres extérieurs au Centre de Recherches sur l'Eau.

Au moyen de cette revue scientifique bimestrielle, le CENTRE DE RECHERCHES SUR L'EAU de l'Université Laval désire mettre en évidence l'importance des sciences hydriques à cette institution et promouvoir des échanges à l'échelle nationale et internationale.

Ces cahiers sont adressés gratuitement sur demande. Les textes publiés sont sous la responsabilité de leurs auteurs et demeurent leur propriété. Leur reproduction est permise à condition d'en obtenir l'autorisation expresse du directeur de CENTREAU.

Dépôt légal — Bibliothèque nationale du Canada

Dépôt légal — Bibliothèque nationale du Québec

Pour tout renseignement, s'adresser à:
José Llamas, Ph.D., directeur

CENTREAU
Pavillon Pouliot
Université Laval,
Québec, P.Q.
Canada, G1K 7P4

COMITÉ DE RÉDACTION
Analyse: Guy Moreau, D. Sc.
Michel Cescas, Ph.D.
Documentation: Andrée Tardif, L.L.
Édition: G.-Oscar Villeneuve, Ph.D.

© 1977 CENTREAU, UNIVERSITÉ LAVAL

FACTEURS PHYSICO-CHIMIQUES LES PLUS RESPONSABLES DE L'ADSORPTION DU PHOSPHORE PAR DES SÉDIMENTS DU FLEUVE SAINT-LAURENT

Michel CESCAS
André PIERRE

La présente étude, inscrite au programme du Centre de Recherches sur l'Eau dans les cadres de la Mission Saint-Laurent, a été réalisée grâce à l'aide financière du ministère de l'Environnement du Canada et à celle du ministère de l'Education du Québec.

CESCAS, Michel: Professeur titulaire au département des sols de la faculté des Sciences de l'Agriculture et de l'Alimentation de l'Université Laval depuis 1968, Michel Cescas devient directeur de ce département en avril 1977. Bachelier en Sciences Agronomiques de l'Université Laval en 1960, il poursuit ses études à l'université de l'Illinois, U.S.A., où il obtient une maîtrise en chimie en 1965 et un doctorat (Ph.D.) en agronomie en 1968.

PIERRE, André: Diplômé de la faculté d'Agronomie d'Haïti en 1967, André Pierre est responsable des laboratoires de l'Institut de Recherches pédologiques du Québec et poursuit en même temps ses études à la faculté des Sciences de l'Agriculture et de l'Alimentation de l'Université Laval en vue de l'obtention d'une maîtrise en Sciences agronomiques.

RÉSUMÉ

Des études antérieures de la Mission Saint-Laurent de CENTREAU avaient permis d'observer dans les sédiments une quantité de phosphore habituellement plus élevée que celle que l'on trouve dans des sols développés sur le même type de matériel. La présente étude fut entreprise dans le but de déterminer quels étaient les facteurs physiques et chimiques les plus responsables de l'adsorption du phosphore par des sédiments neutres à modérément alcalins. La bibliographie, assez pauvre en la matière, ne donnait en effet que des réponses partielles à cette question, surtout en ce qui regarde des sédiments fluviatiles neutres à alcalins relativement pauvres en carbonates. Quatre-vingt-deux échantillons pris entre Québec et Trois-Pistoles furent soumis à des mesures d'adsorption du phosphore (forme ortho) et leur charge maximale (b) fut calculée à l'aide de l'isotherme de Langmuir. Une régression multiple étape par étape a permis de dégager dans leur ordre d'importance relative les facteurs les plus responsables de l'adsorption maximale du phosphore (b) par les sédiments étudiés, à savoir:

%sable > %argile > Fe-ox > %M.O. > Al-ox > %carbonates

81.49% de la variation est expliqué par ces six caractéristiques, l'équation de régression s'écrivant:

$$b = 380.93 - (5.9 \times \%sable) + (0.07 \times Al-ox) + (0.04 \times Fe-ox) + (10.31 \times \%argile) + (73.68 \times \%M.O.) + (56.81 \times \%Ca CO_3)$$

Cette étude a permis de confirmer le rôle de la granulométrie (surface de réaction) et des oxydes et/ou hydroxydes de fer et d'aluminium. L'apparition de la matière organique suggère une interaction entre cette dernière, l'argile, le fer et l'aluminium. Le rôle des carbonates, quoique significatif, est faible. Les résultats indiquent un besoin d'étudier les interactions mentionnées de même que les formes individuelles des composantes d'oxydes et d'hydroxydes de fer et d'aluminium.

ABSTRACT

Previous work done at CENTREAU had permitted to observe a relative phosphorus enrichment in sediments compared to soils developed on the same type of materials. This work was initiated to determine which of the physical and chemical characteristics of sediments were most responsible for phosphorus sorption. The literature, quite sparse, gave only partial answers to the question raised especially for neutral to alkaline river sediments containing some carbonates. Eighty-two bulk samples were taken between Quebec City and Trois-Pistoles and maximum sorption capacities (b) for phosphorus (ortho form) were obtained by means of Langmuir isotherms. A stepwise regression analysis has shown the characteristics of sediments which were most responsible for the maximum sorption of phosphorus (b). The relative importance and the different characteristics found were:

$$\%sand > \%clay > Fe-ox > \%O.M. > Al-ox > \%carbonates$$

These six characteristics explained 81.49% of the variability. The regression equation was found to be:

$$b = 380.93 - (5.9 \times \%sand) + (0.07 \times Al-ox) + (0.04 \times Fe-ox) + (10.31 \times \%clay) + (73.68 \times \%O.M.) + (56.81 \times \%Ca CO_3)$$

The importance of particle size (as it relates to available area for reaction), oxides and hydrated oxides of iron and aluminum were evident as in other published works. The inclusion of organic matter among the sediments characteristics suggests a possible interaction with clay, iron and aluminum. The contribution of the carbonates, although significant, is small. The results point to the need of elucidating the above mentioned interactions as well as the particular forms of the free iron and aluminum oxides in sediments.

TABLE DES MATIÈRES

	Page
I - <u>INTRODUCTION</u>	1
II - <u>RAPPEL BIBLIOGRAPHIQUE</u>	2
III - <u>ANALYSES</u>	3
A) <u>MATÉRIEL</u>	3
B) <u>MÉTHODES</u>	4
1. <u>Le pH</u>	4
2. <u>Détermination des oxydes et hydroxydes libres (Fe et Al)</u>	4
a) <u>Oxalate</u>	4
b) <u>Dithionite</u>	5
3. <u>Matière organique</u>	5
4. <u>Phosphore total</u>	5
5. <u>Les carbonates</u>	5
6. <u>Analyse granulométrique</u>	5
7. <u>Adsorption du phosphore</u>	6
8. <u>Résultats statistiques</u>	6
9. <u>Les graphiques</u>	7
10. <u>Calcul du maximum d'adsorption (b) à l'aide de l'isotherme d'adsorption de Langmuir</u>	7
IV - <u>RÉSULTATS ET DISCUSSION</u>	8
A) <u>EFFET MINÉRALOGIQUE SUR LES CONTENUS EN FER ET EN ALUMINIUM</u>	8
B) <u>RAPPORTS INDIVIDUELS ET SIMPLES ENTRE LES PROPRIÉTÉS DES SÉDIMENTS ET LA CHARGE MAXIMALE (b)</u>	10
1. <u>Texture</u>	10
2. <u>Les oxydes et hydroxydes du fer et d'aluminium</u>	11
3. <u>Les carbonates</u>	12
4. <u>Le pH</u>	13
5. <u>Le contenu en matière organique</u>	13
C) <u>RAPPORTS MULTIPLES ENTRE LES PROPRIÉTÉS DES SÉDIMENTS ET LA CHARGE MAXIMALE (b)</u>	15
V - <u>RÉFÉRENCES</u>	18
VI - <u>APPENDICE</u>	23

FACTEURS PHYSICO-CHIMIQUES LES PLUS
RESPONSABLES DE L'ADSORPTION DU PHOSPHORE
PAR DES SÉDIMENTS DU FLEUVE SAINT-LAURENT

1 - INTRODUCTION

Des travaux récents sur la qualité des sédiments et suspensoïdes du fleuve Saint-Laurent entre Québec et Trois-Pistoles ont été faits par le Centre de Recherches sur l'Eau de l'Université Laval (CENTREAU, 1975). Compte tenu de l'importance du fleuve, de ses potentialités non encore évaluées et des dangers constants auxquels il est exposé, CENTREAU, dans le cadre de la Mission Saint-Laurent, a entrepris un programme intensif de recherches.

L'étude des sédiments de fond a mis en cause plusieurs éléments organiques et inorganiques. Les principaux sont: l'azote, le phosphore, le mercure, le cuivre, le plomb, le zinc et d'autres tels que As, Cd, Li, Cs, Sr et Se.

Les auteurs se sont tout particulièrement intéressés au problème des phosphates inorganiques des sédiments de fond du fleuve Saint-Laurent. Ils ont essayé de déterminer quelle était la charge maximale (adsorption maximale du phosphore sous forme d'orthophosphate) et quelles étaient

les constituantes physiques ou chimiques les plus reliées à cette charge maximale.

Il est reconnu depuis longtemps que le sol joue un rôle important comme purificateur des eaux. Cette propriété provient des capacités d'adsorption de différents ions par le matériel sol. Les sédiments fluviatiles étant des "sols" quant à leur origine et à leur composition, on peut penser qu'ils jouissent des mêmes propriétés d'adsorption et peuvent contribuer, de par leur position en suspension ou déposés, à l'assainissement partiel ou total des eaux.

II - RAPPEL BIBLIOGRAPHIQUE

Des études confinées aux sédiments lacustres, calcaires et non-calcaires ont permis de faire ressortir plusieurs facteurs gouvernant l'adsorption du phosphore en solution. Parmi ces facteurs il faut noter la dimension des particules, le contenu en fer extrait à l'oxalate, présumément représentant des oxydes ou hydroxydes amorphes de fer, le contenu en matière organique, la concentration de la solution en contact avec la phase solide, le potentiel redox et la possibilité de l'existence de certains gels silico-alumino-ferro-humiques (Harter, 1968; Frink, 1969; Shukla et al., 1971; Li et al., 1972; Kuo and Lotse, 1974; Patrick and Khalid, 1974).

Shukla et al. (1971) ont montré que des sédiments lacustres non-calcaires adsorbaient plus de phosphore que des sédiments calcaires et que le facteur primordial responsable de l'adsorption était le fer extrait à l'oxalate, donc des formes d'oxydes amorphes.

A l'opposé des études mentionnées ci-dessus, les auteurs se sont efforcés d'attaquer le problème d'une façon multifactorielle plutôt qu'unifactorielle. D'autre part, au mieux de leur connaissance, aucune donnée pertinente n'a été obtenue pour des sédiments fluviatiles.

III - ANALYSES

A) MATÉRIEL

Le prélèvement des échantillons (sédiments de fond) a été fait par bateau et par hélicoptère à l'aide d'un capteur Shipek et d'une sonde cylindrique manuelle; les relevés par bateau ont eu lieu entre le 3 et le 16 septembre 1974 à des profondeurs d'eau supérieures à six mètres, sans tenir compte de l'état de la marée, tandis que ceux par hélicoptère ont eu lieu du 18 au 20 octobre 1974 à marée basse dans les zones intertidales. La localisation des sites d'échantillonnage est indiquée en figure 1 (en appendice). Une fois prélevés, les échantillons séchés à l'air ambiant (22°C) pendant 12 heures, ont été désagrégés dans un mor-

tier de verre et mis dans des sacs en polyéthylène hermétiquement clos.

B) MÉTHODES

Les analyses ont été faites en double sur les échantillons passés au tamis Tyler no 9 (2.00 mm) et les résultats présentés indiquent la moyenne de deux mesures. En tout, 82 échantillons ont été étudiés, soit 71 prélevés par hélicoptère et 11 par bateau.

1. Le pH

Le pH a été mesuré sur les échantillons passés au tamis Tyler no 9 par un pHmètre avec une électrode à membrane de verre selon la méthode décrite par Peech (1965) pour un rapport sédiment-eau de 1: 2 (poids: volume) après 30 minutes d'agitation intermittente.

2. Détermination des oxydes et hydroxydes libres (Fe et Al)

a) Oxalate

Les oxydes libres de fer et l'aluminium ont été extraits à l'oxalate acide d'ammonium (Tamm 1922), selon la méthode décrite par McKeague et Day (1966). Le fer et l'aluminium ont été dosés par spectrophotométrie d'adsorption dans la flamme.

b) Dithionite

Les oxydes libres de fer et d'aluminium ont été extraits suivant la méthode de Mehra et Jackson (1960), adaptée par Baril et Bitton (1969); ils ont été dosés par spectrophotométrie d'absorption dans la flamme.

3. Matière organique

Le pourcentage de matière organique a été déterminé par oxydation humide selon la méthode de Walkley et Black (1934) telle qu'adaptée par Atkinson et al. (1958).

4. Phosphore total

Le phosphore total a été déterminé après digestion à l'acide perchlorique, par colorimétrie au vanado-molybdate, suivant la méthode décrite par Tandon et al. (1968).

5. Les carbonates

Les carbonates, principalement calciques, ont été déterminés suivant la méthode du personnel du laboratoire américain des sols salins, (U.S. Salinity Laboratory Staff), telle que décrite par Allison et Moodie (1965).

6. Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique a été faite par la méthode à l'hydromètre de Bouyoucos (1951).

7. Adsorption du phosphore

Un gramme de sol (± 0.001 g) passant à travers le tamis Tyler no 9 a été déposé dans un tube de 100 ml de Nalgène; 50 ml d'une solution 0.01 M en CaCl_2 contenant différentes concentrations d'orthophosphate (KH_2PO_4) furent ajoutés, les concentrations en phosphore étant respectivement de 0, 5, 10, 15, 25, 50, 75 et 100 $\mu\text{g/ml}$ P. Deux gouttes de toluène furent ajoutées pour inhiber l'activité microbienne. Les tubes de centrifugation furent alors disposés horizontalement sur un agitateur horizontal et l'agitation eut lieu durant 24 heures à une fréquence de 180 oscillations par minute. Les échantillons furent laissés au repos, à la température ambiante pendant 24 heures et agités de nouveau pendant 24 heures. Les tubes furent alors centrifugés à 2 000 rpm pendant 10 minutes. Le phosphore fut ensuite dosé dans le surnageant par la méthode décrite par Watanabe et Olsen (1962). Cette mesure permettait d'obtenir la quantité de phosphore en équilibre (c). La quantité de phosphore adsorbée $\frac{x}{m}$ fut obtenue en calculant la différence entre la quantité de phosphore initialement présente dans la solution et la quantité de phosphore en équilibre (c), les résultats d'adsorption étant corrigés pour l'adsorption négative mesurée à l'aide de la concentration zéro en phosphore.

8. Résultats statistiques

Toutes les données statistiques ont été calculées

par les programmes BMD de l'université de Californie à Berkeley (Dixon, 1970) et les formules de Snedecor (1946), à l'aide de programmes APL bâtis spécialement pour certains calculs non fournis par les programmes BMD.

9. Les graphiques

Les graphiques ont été tracés d'après une version du programme Grafic (Lavoie, 1973), développée par le groupe des applications statistiques du Centre de Traitement de l'Information de l'Université Laval.

10. Calcul du maximum d'adsorption (b) à l'aide de l'isotherme d'adsorption de Langmuir

L'équation de Langmuir (1918) appliquée aux liquides et aux ions s'écrit:

$$\frac{x}{m} = \frac{Kbc}{1 + Kc}$$

où $\frac{x}{m}$ représente la quantité de phosphore adsorbée par unité de masse d'adsorbant, c la concentration de la solution d'équilibre de l'élément adsorbé, b l'adsorption maximale de l'élément d'intérêt et K une constante relative à l'énergie de liaison de l'adsorbant avec l'adsorbé. En réarrangeant les termes, cette équation devient:

$$\frac{c}{\frac{x}{m}} = \frac{1}{Kb} + \frac{c}{b}, \text{ équation de type linéaire}$$

où $\frac{1}{b}$ représente la pente de $\frac{1}{Kb}$ l'intercept avec l'ordonnée. Les unités utilisées pour l'adsorption peuvent être des $\mu\text{g/g}$, $\text{m}\acute{\text{e}}\text{q}/100\text{g}$, mg/kg ou des ppm.

IV - RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les résultats individuels et moyens de l'ensemble des analyses physiques et chimiques des échantillons sont présentés en tableaux I (a), I (b), I (c), I (d) et II. Les valeurs individuelles de b sont données dans les mêmes tableaux.

Les sédiments étudiés présentent une très grande variation relative à leur pouvoir d'adsorption du phosphore inorganique ajouté (Tableau I). Les coefficients de corrélation simple révèlent que la capacité d'adsorption maximale ou la charge maximale (b), calculée à partir de l'équation de Langmuir, varie proportionnellement avec le contenu argileux, le fer et l'aluminium extraits à l'oxalate et au dithionite, avec les carbonates, le phosphore total, la matière organique et est inversement proportionnelle au pH et au contenu sableux (Tableau III).

A) EFFET MINÉRALOGIQUE SUR LES CONTENUS EN FER ET EN ALUMINIUM

L'analyse des échantillons montrée en tableaux I (a),

I (b) et I (c) indique des teneurs élevées en aluminium et particulièrement en fer. Les valeurs moyennes des oxydes amorphes et libres (amorphes et cristallins) de fer et d'aluminium (Tableau II) dépassent celles couramment obtenues dans le cas des sols.

Les taux de fer et d'aluminium extraits à l'oxalate excèdent ceux au dithionite. Ces valeurs sont également à l'inverse de celles généralement trouvées dans les sols (McKeague and Day, 1966; Udo and Uzy, 1972). Shukla et al. (1971) ont observé le même phénomène pour des échantillons de sédiments lacustres. Ces chercheurs ont noté que deux extractions au dithionite donnaient les mêmes quantités de fer qu'une extraction à l'oxalate acide d'ammonium. Selon Baril et Bitton (1969), dans une étude d'un sol de la Malbaie, ce même phénomène serait une conséquence du taux élevé de fer et principalement de la présence de la magnétite et de la non-spécificité extractive de l'oxalate qui dissoudrait la forme cristalline (magnétite) en plus des formes amorphes.

Il est intéressant de noter que l'analyse minéralogique effectuée sur les diverses fractions granulométriques des échantillons étudiés (Ledoux, 1975) révèle la présence de certains minéraux riches en fer et même une certaine quantité de magnétite, d'où l'on peut conclure selon Baril

et Bitton (1967), à une dissolution possible de la magnétite par l'oxalate.

Les valeurs élevées en fer extrait à l'oxalate peuvent en même temps indiquer des quantités de fer amorphes plus grandes. Les résultats obtenus indiquent donc la possibilité d'une présence de magnétite et d'oxydes de fer amorphes en plus grandes quantités.

B) RAPPORTS INDIVIDUELS ET SIMPLES ENTRE LES PROPRIÉTÉS DES SÉDIMENTS ET LA CHARGE MAXIMALE (b)

Les équations de régression linéaire entre l'adsorption maximale du phosphore (b) et les diverses propriétés physiques et chimiques des sédiments étudiés sont présentées en tableau V et illustrées en figures 2 à 12.

1. Texture

La granulométrie est un facteur très important dans la fixation du phosphore. Depuis longtemps on a observé l'augmentation de la capacité de rétention avec une décroissance des particules des sols (Hibbard, 1934; Perkins et al., 1942). Les coefficients de corrélation obtenus, ($r = -0.903$) négativement significatif entre l'adsorption maximale (b) et le contenu sableux, et ($r = 0.806$) positivement significatif entre b et le contenu argileux, indiquent clairement que c'est particulièrement dans la fraction fine

des sédiments étudiés que s'effectue l'adsorption. Cette grande capacité d'adsorption de l'argile serait une conséquence des nombreux sites d'adsorption offerts par la grande surface.

Il faut aussi noter qu'il y a des corrélations positives très significatives entre le contenu en argile et les oxydes de fer et d'aluminium extraits au dithionite et à l'oxalate et les contenus en carbonates et en matière organique tels que montrés en tableau V.

2. Les oxydes et hydroxydes de fer et d'aluminium

L'importance relative de ces sesquioxydes pour les sédiments étudiés peut être déduite en partie à partir des diverses corrélations obtenues avec l'adsorption maximale (Tableau V).

Dans le cas du fer, un coefficient de corrélation $r = 0.858$ est obtenu entre b et le fer extrait à l'oxalate et au dithionite. Une comparaison de ces données indique que les composés "amorphes" et "amorphes plus cristallins" sont également corrélés à la charge maximale. Ces résultats sont différents de ceux généralement obtenus dans les sols. Ramulu et al. (1967) ont obtenu un taux de corrélation $r = 0.95$ pour le fer extrait à l'oxalate et $r = 0.77$ pour le fer au dithionite. Ils considèrent que tout

le fer extrait au dithionite n'est pas actif pour la fixation du phosphore dans le cas des sols. Dans le cas de l'aluminium, les coefficients de corrélation obtenus sont: $r = 0.853$ pour b vs Al extrait à l'oxalate et $r = 0.825$ pour b vs Al extrait au dithionite; tout comme pour le fer, les différentes formes de Al se révèlent également corrélées.

Pour les sédiments étudiés, la rétention du phosphore par les différentes formes de fer et d'aluminium indique donc un comportement relativement différent par rapport aux sols où la forme amorphe est généralement considérée plus active. De plus, les corrélations incluant les oxydes de fer sont plus ou moins égales à celle relative aux oxydes d'aluminium avec la charge maximale (b).

La conclusion possible à partir de ces observations est que les composés de fer sont aussi significatifs que ceux d'aluminium dans le cas présent de fixation de phosphore. Ce fait est en désaccord avec Shukla et al. (1971) qui, dans le cas de sédiments lacustres, considèrent que l'action du fer est plus significative dans la rétention du phosphore.

3. Les carbonates

Outre l'apport des sesquioxydes et hydroxydes de

fer et d'aluminium, on peut mentionner la contribution des carbonates, principalement ceux de chaux, dans la fixation du phosphore. Une corrélation très significative, soit $r = 0.701$, est obtenue entre b et les carbonates. Les coefficients de corrélation obtenus entre b et les carbonates, et b et les oxydes de fer semblent révéler comme l'ont observé Shukla et al. (1971) que le fer extrait à l'oxalate paraît plus important que les carbonates, même dans les sédiments calcaires, à déterminer la quantité de phosphore adsorbé.

4. Le pH

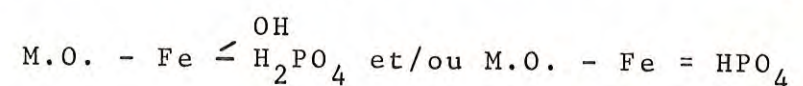
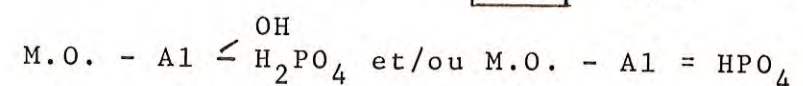
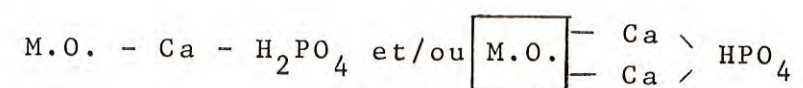
De tous les paramètres étudiés en rapport avec la charge maximale, le coefficient de corrélation significatif le plus bas est obtenu avec le pH ($r = 0.274$). Cette valeur observée du coefficient de corrélation de b avec le pH est sans doute la conséquence de l'éventail étroit des valeurs de pH des sédiments étudiés, qui varient de 7 à 8 seulement.

5. Le contenu en matière organique

Une corrélation très significative est obtenue avec la matière organique ($r = 0.806$). Les opinions sont partagées sur son rôle dans la fixation du phosphore. Certains chercheurs ne voient pas la corrélation directe, tandis que Harter (1969), dans le cas des sédiments, considère que

la matière organique est pourvue de sites optionnels à cause du grand pouvoir adsorbant des colloïdes organiques.

Toutefois, si la matière organique possède une très grande capacité d'échange cationique, par contre, elle adsorbe les anions de façon moins considérable. Donc, il est improbable qu'elle retienne fortement le phosphore si ce n'est par l'intermédiaire de ponts métalliques (fer et aluminium) ou basiques (Ca et Mg) conformément aux modèles suivants:



De plus, l'idée de la participation d'un gel complexe formé par la précipitation des formes ioniques de fer et d'aluminium, de matière organique, de phosphore, de silice, qui selon Shukla et al. (1971) est un des composants très actifs dans la fixation du phosphore dans les sédiments, paraît également fort probable à cause des nombreuses corrélations observées entre la matière organique et les oxydes de fer et d'aluminium.

Enfin, il est surprenant d'observer une corrélation

identique entre b vs matière organique et b vs argile, soit $r = 0.806$ dans les deux cas. Il faut rappeler que Rennie et McKercher (1959) dans une étude faite sur les sols de la Saskatchewan, émettent l'idée d'une participation à parts égales, de l'argile et de la matière organique dans la fixation du phosphore. D'ailleurs, une étude faite au pyrophosphate, mettant en évidence spécifiquement les formes de fer et d'aluminium liées à la matière organique, jetterait peut-être un peu de lumière sur le rôle exact de la matière organique dans la fixation du phosphore.

C) RAPPORTS MULTIPLES ENTRE LES PROPRIÉTÉS DES SÉDIMENTS ET LA CHARGE MAXIMALE (b)

Jusqu'à ce jour, les relations simples entre l'adsorption maximale (b) et les divers paramètres physico-chimiques ont été considérées. Dans un milieu aussi complexe que celui des sols ou des sédiments, il y a avantage à considérer l'effet composé de tous les paramètres contribuant significativement à la régression. Cet effet est obtenu par une analyse de régression multiple, qui a été faite étape par étape dans le cas présent. Les résultats en sont donnés en tableau VI. L'analyse des données permet de dégager les variables contribuant significativement à la régression. Il est intéressant de noter qu'une très grande proportion de la variabilité de b , 81.49 pour cent, telle que trouvée par le coefficient de détermination, provient de la variable

"sable". L'addition des cinq autres variables n'augmente le coefficient de détermination que de 8.14 pour cent, ne laissant alors qu'une partie de 10.37 pour cent de la variable de *b* inexpliquée, indiquant par le fait même que les caractéristiques des sédiments ont été choisies à bon es- cient. Pour compléter l'examen des résultats et pour avoir une idée de la contribution relative des différents paramètres corrélés avec l'adsorption maximale de phosphore, on peut comparer les coefficients de corrélation partiels standardisés pour chacune des étapes de la régression (Snedecor, 1946). Les résultats sont présentés en tableau VI. On note que le paramètre "sable" reste prépondérant pour toutes les étapes.

A la troisième étape, on note que l'aluminium et le fer extraits à l'oxalate acide d'ammomium contribuent pratiquement de la même façon. Pour les étapes 4 à 6, on note que l'addition de nouveaux paramètres perturbent ce classement au point que l'argile devient importante à l'étape 6, diminuant ainsi l'importance du sable et de l'aluminium extraits à l'oxalate. Ceci s'explique par la corrélation élevée entre le sable et l'argile ($r = -0.793$) et, l'aluminium extrait à l'oxalate avec le sable ($r = -0.795$) et l'argile ($r = 0.795$). On note aussi que l'addition de la matière organique a pour effet de faire diminuer l'effet de l'aluminium (oxalate), démontrant ainsi des liens étroits entre l'aluminium (oxalate), l'argile et la matière organique. Des études

approfondies seront nécessaires pour élucider les formes du fer et de l'aluminium dans les sédiments. Il faut aussi noter que finalement l'addition de l'argile, des carbonates et de la matière organique n'augmentent que peu (1 pour cent respectivement) la contribution à l'explication totale de la régression, même si l'accroissement des coefficients de détermination (ΔR^2) est très significatif. L'ordre d'importances relatives observé est donc:

%sable > %argile > Fe-ox > %M.O. > Al-ox > %carbonates

La plupart de ces facteurs ne participent pas directement à l'adsorption (le sable, par exemple), mais sont reliés entre eux par le biais de leurs associations ou relations indépendantes de causes (argile vs sable par exemple). Comme dans l'étude de Shukla et al. (1971), le contenu en phosphore total du sédiment n'a pas contribué significativement à la régression multiple ainsi que le pH, le fer et l'aluminium extraits au dithionite. Ces faits confirment le rôle important des oxydes et hydroxydes amorphes (extraits à l'oxalate) de fer et d'aluminium dans le phénomène de la fixation du phosphore par les sédiments. On note aussi le rôle minime, au moins dans une période de temps limitée (72 heures) des carbonates (de chaux et magnésiens combinés). Par suite, des résultats obtenus par Soucy et al. (1974) pour le fractionnement des formes du phosphore dans les sédiments du fleuve Saint-Laurent, il semble que la réaction du phosphore

avec la surface des carbonates soit une réaction suivant une cinétique lente, beaucoup plus lente qu'avec les oxydes et hydroxydes de fer et d'aluminium, les processus de diffusion étant sans doute très importants dans le cas des carbonates (Kuo and Lotse, 1972). Le rôle de la matière organique est évident, mais il est difficile d'apprécier son association avec l'argile, le fer et l'aluminium. De nouvelles techniques devront éventuellement être développées pour l'étude de ces interactions, toutes possibles, mais inconnues en milieu submergé.

V - RÉFÉRENCES

- ALLISON, L.E. and C.D. MOODIE, 1965. *Carbonate in "Methods of Soils Analysis"*, ASA Agronomy 9: 1379-1400, C.A. Black, Publisher.
- ATKINSON, H.J., G.R. GILES, A.J. MacLEAN and J.R. WRIGHT, 1958. *Chemical Methods of Soil Analysis*. Canada Dept. of Agriculture. Paper No 169.
- BARIL, R. and B. BITTON, 1967. *Anomalous Values of Free Iron in Some Quebec Soils Containing Magnetite*. Can. J. Soil Sci., Vol. 47: 261-265.
- BARIL, R. et B. BITTON, 1969. *Teneurs élevées de fer libre et identification taxonomique de certains sols du Québec contenant de la magnétite*. Can. J. Soil Sci., Vol. 49: 1-9.
- BOUYOUCOS, C.J., 1951. *A Recalibration of the Hydrometer Method for Making Mechanical Analysis of Soils*. Agron. J., Vol. 43: 434-438.
- CENTREAU, 1975. *Étude de la qualité des sédiments et suspensions du fleuve Saint-Laurent entre Québec et Trois-Pistoles*. Rapport No CRE-75/14, Centre de Recherches sur l'Eau, Université Laval, Québec.

- DIXON, W.J., 1970. *BMD Diomedical Computer Programs*. University of California Press, Berkeley.
- FRINK, C.R., 1969. *Chemical and Mineralogical Characteristics of Eutrophic Lake Sediments*. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Vol. 33: 369-372.
- HARTER, R.D., 1968. *Adsorption of Phosphorus by Lake Sediments*. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Vol. 32: 514-518.
- HARTER, R.D., 1969. *Phosphorus Adsorption Sites in Soils*. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Vol. 33: 630-631.
- HIBBARD, P.L., 1934. *Factors Influencing Phosphate Fixation in Soils*. Soil Sci., Vol. 39: 337-358.
- KUO, S. and E.G. LOTSE, 1972. *Kinetics of Phosphate Adsorption by Calcium Carbonate and Ca-Kaolinite*. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Vol. 36: 725-729.
- KUO, S. and E.G. LOTSE, 1974. *Kinetics of Phosphate Adsorption and Desorption by Lake Sediments*. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Vol. 38: 50-54.
- LANGMUIR, I., 1968. *The Adsorption of Gases on Plant Surfaces of Glass, Mica and Platinum*. J. Amer. Chem. Soc., Vol. 40: 1361-1403.
- LAVOIE, J.M., 1973. *GRAPHIC: un programme général de graphiques*. Les Presses de l'Université Laval. Québec.
- LEDOUX, R., 1975. *Études minéralogiques des sédiments du fleuve Saint-Laurent, Bras-Nord et Québec-Trois-Pistoles*. Centre de Recherches sur l'Eau, Université Laval. Rapport CRE-75/15, mars 1975.
- LI, W.C., D.E. AMSTRONG, J.D. WILLIAMS, R.F. HARRIS and J.K. SYERS, 1972. *Rate and Extent of Inorganic Phosphate Exchange in Lake Sediments*. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Vol. 36: 279-285.
- McKEAGUE, J.A. and J.H. DAY, 1966. *Dithionite and Oxalate Extractable Fe and Al as Aids in Differentiating Various Classes of Soils*. Can. J. of Soil Sci., Vol. 46: 13-22.
- MEHRA, O.P. and M.L. JACKSON, 1960. *Iron Oxide Removal from Soils and Clays by a Dithionite-Citrate System Buffered with Sodium Bicarbonate*. 7th Natl Conf. on Clays and Clay Minerals. pp. 317-327.



- PATRICK, W.H. and R.A. KHALID, 1974. *Phosphate Release and Sorption by Soils and Sediments: Effect of Aerobic and Anaerobic Conditions*. Science, Vol. 186: 53-55.
- PEECH, M., 1965. *Hydrogen-Ion Activity in "Methods of Soil Analysis"*. ASA Agronomy. Vol. 9: 922-923.
- PERKINS, A.T., C.E. WAGONER and H.H. KING, 1942. *Phosphorus Fixation by Soil Separates and Fractions*. Soil Sci., Vol. 53: 37-41.
- RAMULU, U.S., P.F. PRATT and A.L. PAGE, 1967. *Phosphorus Fixation by Soils in Relation to Extractable Iron Oxides and Mineralogical Composition*. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Vol. 31: 193-196.
- RENNIE, D.A. and R.B. MCKERCHER, 1958. *Adsorption of Phosphorus by Four Saskatchewan Soils*. Can. J. of Soil Sci., Vol. 39: 65-73.
- SHUKLA, S.S., J.K. SYERS, J.D.H. WILLIAMS, D.E. AMSTRONG and R.F. HARRIS, 1971. *Sorption of Inorganic Phosphate by Lake Sediments*. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Vol. 35: 244-248.
- SNEDECOR, W., 1946. *Statistical Methods*. The Iowa State College Press. The Collegiate Press, DIC. Ames, Iowa.
- SOUCY, A., M. FRENETTE, J.B. SÉRODES, J.L. VERRETTE, R. LEDOUX, C. BARBEAU, M. CESCAS, O. GÜBELI, J.C. ROY et R.E. SIMARD, 1974. *Étude du fleuve Saint-Laurent, Tronçon Varennes-Montmagny. Aspects physiques et sédimentologiques*. Rapport soumis à Entente Québec-Canada, mars 1974, 266 p. et ann.
- TAMM, C.O., 1922. *Eine Methode Zur Bestimmung Der Anorganischen Komponenten Der Gelkomplexes im Boden*. Medd. fr. Statens Skogsforsokanstalt. Vol. 19: 307-404.
- TANDON, H.L.S., M. CESCAS and E.H. TYNER, 1968. *An Acid Free Vanadate-Molybdate Reagent for the Determination of Total Phosphorus in Soils*. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Vol. 32: 48-51.
- UDO, W.J. and F.O. UZU, 1972. *Characteristics of Phosphorus Adsorption by Some Nigerian Soils*. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Vol. 36: 379-383.
- WALKLEY, A. and A. BLACK, 1934. *An Examination of the Degtjareff Method for Determining Soil Organic Matter and Proposed Modification of the Chromic Acid Titration Method*. Soil Sci., Vol. 37: 29-38.

- WATANABE, F.S. and S.R. OLSEN, 1962. *Colorimetric Determination of Phosphorus in Water Extracts of Soil*. Soil Sci., Vol. 93: 183-188.

VI - A P P E N D I C E

TABLEAU I(a) - PROPRIÉTÉS PHYSICO-CHIMIQUES DESCRIPTIVES ET CAPACITÉS MAXIMALES D'ADSORPTION (b)
DU PHOSPHORE D'ÉCHANTILLONS DE SÉDIMENTS DU SAINT-LAURENT

No	b ($\mu\text{g/g}$)	Sable %	Limon %	Argile %	Al-ox ($\mu\text{g/g}$)	Al-di ($\mu\text{g/g}$)	Fe-di ($\mu\text{g/g}$)	Fe-ox ($\mu\text{g/g}$)	CaCO ₃ %	P. total ($\mu\text{g/g}$)	M.O. %	pH
3	455.70	63	7	30	1380	323	2185	4800	2.12	767	1.38	8.15
4	356.50	84	16	0	814	186	1450	5850	3.60	1084	1.50	7.90
5	365.80	80	8	12	1130	240	1450	4700	1.37	577	0.88	7.85
7	452.60	93	6	1	780	233	1350	3725	1.50	463	0.96	7.80
8	99.20	99	1	0	553	163	900	3305	1.25	368	0.70	7.85
9	213.90	100	0	0	660	230	1750	2650	1.37	494	9.76	7.15
11	313.10	97	3	0	1070	330	2800	3800	1.45	625	0.84	7.70
12	158.10	98	1	1	630	245	1900	3600	1.15	651	0.88	7.55
13	176.70	92	4	4	645	215	1300	1850	1.80	360	0.70	7.45
14	434.00	87	7	6	880	315	2450	3925	1.62	877	1.02	7.65
16	254.20	80	20	0	545	170	1475	3180	1.40	928	0.96	7.65
17	161.20	86	14	0	550	215	2050	3025	1.35	1016	1.16	7.45
18	86.80	99	1	0	570	213	1350	1340	1.00	304	0.62	7.35
20	1745.30	17	48	35	2480	565	5900	8425	4.30	1116	2.70	7.65
21	837.00	41	46	13	1440	373	4175	6300	2.00	1229	4.24	7.40
22	545.60	79	15	6	2470	1051	8125	10175	1.90	1199	4.72	6.98
23	505.30	83	16	1	935	360	3100	5700	1.75	917	2.12	7.65
24	1249.30	42	38	20	1800	573	5000	8350	4.25	1058	4.18	7.55
26	663.40	72	19	9	1020	410	3300	5625	2.25	1223	2.60	7.35

TABLEAU I(b) - PROPRIÉTÉS PHYSICO-CHIMIQUES DESCRIPTIVES ET CAPACITÉS MAXIMALES D'ADSORPTION (b)
DU PHOSPHORE D'ÉCHANTILLONS DE SÉDIMENTS DU SAINT-LAURENT

No	b (µg/g)	Sable %	Limon %	Argile %	Al-ox (µg/g)	Al-di (µg/g)	Fe-di (µg/g)	Fe-ox (µg/g)	CaCO ₃ %	P. total (µg/g)	M.O. %	pH
27	232.50	90	5	5	630	340	1875	2325	1.62	402	1.42	7.90
28	539.40	82	15	3	560	250	1725	2175	1.70	628	2.12	8.05
30	567.30	84	10	6	720	373	2800	4000	1.80	543	2.18	7.85
31	238.70	87	11	2	895	230	1850	4100	1.90	418	1.42	7.95
33	1782.50	22	56	22	3234	1360	6900	10375	4.75	1080	4.18	7.15
34	1742.20	16	50	34	2960	950	7540	10950	2.75	1141	5.42	7.05
37	2383.90	1	51	48	3700	1250	10050	13900	3.20	1218	4.94	7.70
39	2439.70	1	49	50	3370	1250	10050	1400	3.30	1228	4.94	7.50
40	2582.30	1	57	42	2540	1180	9850	13600	3.00	1211	4.94	7.70
42	2067.70	12	55	33	2920	1170	9450	12825	4.40	1226	4.72	7.50
43	837.00	60	27	13	1022	530	4700	6850	2.65	1132	2.26	7.75
44	1023.00	58	30	12	1320	561	4550	7800	2.85	1159	2.32	7.30
46	161.20	96	4	0	596	320	2100	3060	1.50	795	0.46	7.90
47	1069.50	78	12	10	1706	563	4850	8050	2.75	1138	1.02	6.95
48	186.00	98	1	1	960	410	3570	5775	1.40	656	1.98	7.55
49	1032.30	47	40	13	1423	535	4500	6075	2.70	1195	1.98	7.30
51	644.80	64	25	11	1190	485	4775	8300	3.00	1351	0.40	7.50
52	86.80	96	4	0	1145	553	3150	6000	1.50	1285	0.40	7.70
53	911.40	70	22	8	960	380	4125	6110	4.00	1148	1.84	7.20
54	970.30	49	40	11	1136	395	4900	7025	3.00	1186	2.26	7.20
56	1147.00	49	38	13	1210	433	4700	6300	2.90	1335	2.18	7.30

TABLEAU I(c) - PROPRIÉTÉS PHYSICO-CHIMIQUES DESCRIPTIVES ET CAPACITÉS MAXIMALES D'ADSORPTION (b)
DU PHOSPHORE D'ÉCHANTILLONS DE SÉDIMENTS DU SAINT-LAURENT

No	b (µg/g)	Sable %	Limon %	Argile %	Al-ox (µg/g)	Al-di (µg/g)	Fe-di (µg/g)	Fe-ox (µg/g)	CaCO ₃ %	P. total (µg/g)	M.O. %	pH
57	483.60	68	26	6	660	278	2800	4950	2.00	1360	1.08	7.40
58	861.80	65	23	12	974	485	3750	5400	2.50	999	1.90	7.60
59	775.00	77	14	9	1378	690	4700	7675	1.75	1515	1.14	7.40
61	437.10	51	39	10	730	290	2675	6150	2.00	921	0.46	7.70
62	492.90	68	24	8	836	345	2625	6400	2.00	1295	0.66	7.50
63	1240.00	45	25	30	2044	712	5400	10100	2.75	1200	2.66	7.40
64	837.00	69	18	13	1720	693	4975	9575	1.75	1366	2.40	7.30
66	232.50	97	2	1	590	300	2050	3700	1.22	613	0.18	7.65
67	939.30	72	28	20	1630	718	4850	8875	2.00	1214	2.32	7.30
68	837.00	58	21	21	1220	523	3225	5750	4.25	674	1.36	7.40
69	1447.00	58	24	18	1600	845	5950	8425	3.75	1094	2.40	7.30
71	1348.50	49	34	17	1840	830	6100	9825	3.75	1268	3.16	7.40
72	1193.50	54	30	16	2231	815	5750	9925	2.25	1303	2.66	7.20
73	1937.50	17	56	27	2512	1030	7900	11075	2.92	1228	3.68	7.10
74	970.30	49	40	11	1620	645	5600	11025	2.00	1762	1.70	7.30
76	1410.50	34	42	24	3080	1210	6525	10350	2.00	1072	3.08	6.90
77	229.40	72	20	8	1280	630	4300	7150	1.90	824	0.74	7.10
78	554.90	79	4	17	1870	807	5100	8000	1.35	641	1.14	7.50
79	1193.50	21	64	15	1250	730	5950	7825	3.40	1160	2.46	7.50
81	1410.50	25	49	26	2376	880	7350	11250	3.50	1205	3.96	7.30
82	837.00	66	25	9	1200	395	4100	8425	2.75	1499	1.42	7.20

TABLEAU I(d) - PROPRIÉTÉS PHYSICO-CHIMIQUES DESCRIPTIVES ET CAPACITÉS MAXIMALES D'ADSORPTION (b)
DU PHOSPHORE D'ÉCHANTILLONS DE SÉDIMENTS DU SAINT-LAURENT

No	b (µg/g)	Sable %	Limon %	Argile %	Al-ox (µg/g)	Al-di (µg/g)	Fe-di (µg/g)	Fe-ox (µg/g)	CaCO ₃ %	P. total (µg/g)	M.O. %	pH
83	930.00	59	38	13	1552	550	5225	8250	3.25	1211	2.60	7.30
84	1103.60	30	58	12	1650	615	5750	8600	3.15	1268	2.94	7.20
86	737.80	34	55	11	1235	410	4450	7475	2.87	1155	1.50	7.35
87	1047.80	26	61	13	1410	605	4900	7425	3.80	1328	2.26	7.25
88	449.50	72	21	7	1187	503	3700	6300	2.45	1167	1.98	7.30
89	970.30	23	62	15	1728	650	5375	8300	3.37	1192	3.08	7.10
91	1178.00	37	44	19	1600	595	4750	6900	3.50	1075	2.46	7.50
92	365.80	72	16	12	830	350	3075	607	3.80	1170	0.94	7.50
Q3P-S4B	282.10	93	2	5	870	436	7000	5410	1.37	395	0.40	8.05
Q3P-19-B	229.40	98	1	1	600	405	2450	2500	1.50	323	0.48	8.15
Q3P-14-A-1	635.50	72	10	18	970	668	5250	4175	2.25	668	0.88	8.15
Q3P-17-B-1	492.90	61	8	31	1132	590	5250	4700	1.82	644	0.74	8.00
Q3P-19-C	415.40	70	29	1	740	482	3650	3925	1.70	870	0.70	7.90
Q3P-10-E	1602.70	25	46	29	3330	1280	9000	10325	3.25	1099	4.32	7.45
Q3P-16-E	892.80	39	7	54	1386	660	5410	5375	2.75	684	1.44	7.55
Q3P-16-D	632.40	67	15	18	1380	570	5300	6700	2.00	443	0.40	7.85
Q3P-16-A	647.90	67	15	18	1422	478	5200	5275	2.12	704	0.70	7.95
Q3P-16-B	1112.90	69	3	28	1500	553	5760	7125	2.12	657	1.02	8.00
Q3P-17-B	1748.40	18	46	36	4400	935	7275	8825	3.75	1026	2.64	7.70
Q3P-13-D	1388.80	15	60	25	3348	1075	9500	11500	4.25	1199	4.46	7.55
Q3P-17-C	2055.30	27	36	37	2538	765	6850	9150	3.50	1175	2.54	7.90

TABLEAU II - VALEUR MOYENNE
DES DIVERS PARAMÈTRES

PARAMÈTRES ÉTUDIÉS	MOYENNES
ADSORPTION MAXIMALE (b)	853.7421 (µg/g)
SABLE	60.01%
LIMON	25.81%
ARGILE	14.50%
ALUMINIUM À L'OXALATE	1487.78 (µg/g)
ALUMINIUM AU DITHIONITE	572.12 (µg/g)
FER À L'OXALATE	6896.03 (µg/g)
FER AU DITHIONITE	4595.30 (µg/g)
CARBONATES	2.49%
PHOSPHORE TOTAL	980.54 (µg/g)
MATIÈRE ORGANIQUE	2.01%
pH	7.52

TABLEAU III - COEFFICIENTS DE CORRÉLATION SIMPLE
ENTRE L'ADSORPTION MAXIMALE DU PHOSPHORE (b) ET
DIVERSES PROPRIÉTÉS PHYSIQUES ET CHIMIQUES DE
SÉDIMENTS DU SAINT-LAURENT

PROPRIÉTÉS DES SÉDIMENTS	ADSORPTION MAXIMALE (b)
SABLE	-0.903***
LIMON	0.780**
ARGILE	0.806**
ALUMINIUM À L'OXALATE	0.853**
ALUMINIUM AU DITHIONITE	0.825**
FER À L'OXALATE	0.858**
FER AU DITHIONITE	0.858**
CARBONATE DE CALCIUM	0.702**
PHOSPHORE TOTAL	0.525**
MATIÈRE ORGANIQUE	0.806**
pH	-0.274*

* significatif à un degré de confiance de 0.05

** significatif à un degré de confiance de 0.01

*** significatif à un degré de confiance de 0.001

TABLEAU IV - RELATIONS SIMPLES ET LINÉAIRES ENTRE
L'ADSORPTION MAXIMALE DU PHOSPHORE (b) ET DIVERSES
PROPRIÉTÉS PHYSIQUES ET CHIMIQUES DE SÉDIMENTS
DU SAINT-LAURENT

PROPRIÉTÉS DES SÉDIMENTS	ÉQUATIONS DE RÉGRESSION	COEFFICIENTS DE CORRÉLATION SIMPLE
% SABLE	b=2007.11- 19.21 X	-0.903***
% LIMON	b= 231.58+ 24.21 X	0.780**
% ARGILE	b= 313.75+ 37.24 X	0.806**
ALUMINIUM À L'OXALATE	b= -24.77+ 0.59 X	0.853**
ALUMINIUM AU DITHIONITE	b= -79.38+ 1.631 X	0.825**
FER À L'OXALATE	b=-286.99+ 0.167 X	0.858**
FER AU DITHIONITE	b=-172.21+ 0.22 X	0.858**
% CARBONATES	b=-239.76+438.77 X	0.702**
PHOSPHORE TOTAL	b= -72.26+ 0.94 X	0.525**
MATIÈRE ORGANIQUE	b= 138.70+354.62 X	0.806**
pH	b=4881.04-535.03 X	-0.274*

X dénote la propriété particulière choisie

* significatif à un niveau de confiance de 0.01

** significatif à un niveau de confiance de 0.01

*** significatif à un niveau de confiance de 0.001

TABLEAU V - COEFFICIENTS DE CORRÉLATION ENTRE DIVERSES PROPRIÉTÉS PHYSIQUES ET CHIMIQUES DE SÉDIMENTS DU SAINT-LAURENT ET L'ADSORPTION MAXIMALE (b) DU PHOSPHORE (ORTHOPHOSPHATE)

b	%sable	%limon	%argile	Al-ox	Al-di	Fe-di	Fe-ox	Carbonates	P. total	% M.O.	pH
b	1,000	-.903***	.780**	.806**	.825**	.858**	.858**	.702**	.525**	.806**	-.274**
% sable	1,000		-.918***	-.793**	-.755**	-.810**	-.810**	-.747**	-.569**	-.770**	.307**
% limon		1,000	.507**	.628**	.678**	.738**	.738**	.726**	.655**	.737**	-.432**
% argile			1,000	.715**	.768**	.675**	.675**	.521**	.251**	.574**	-.012ns
Al-ox				1,000	.901***	.865**	.849**	.579**	.429**	.779**	-.305**
Al-di					1,000	.919***	.868**	.533**	.436**	.765**	-.341**
Fe-di						1,000	.894***	.578**	.486**	.761**	-.277*
Fe-ox							1,000	.617**	.685**	.782**	-.443**
Carbonates								1,000	.513**	.589**	-.295**
P. total									1,000	.493**	-.565**
M.O.										1,000	-.391**
pH											1,000

32

- * significatif à un degré de confiance de 0.05
- ** significatif à un degré de confiance de 0.01
- *** significatif à un degré de confiance de 0.01

TABLEAU VI - ÉQUATIONS DE RÉGRESSION MULTIPLE OBTENUES ÉTAPE PAR ÉTAPE ENTRE LA VALEUR b DE L'ADSORPTION MAXIMALE DU PHOSPHORE ET DIVERSES PROPRIÉTÉS PHYSIQUES ET CHIMIQUES DE SÉDIMENTS DU SAINT-LAURENT

Étape	Équations de chacune des étapes de la régression multiple	Coefficient de détermination (R ²)	ΔR ²	F
1	$Y_1 = 2007.1 - (19.21 \times \% \text{ sable})$	0.8149	0.8149	352.23**
2	$Y_2 = 1253.78 - (12.98 \times \% \text{ sable}) + (0.254 \times \text{Al-ox})$	0.8647	0.0498	29.10**
3	$Y_3 = 967.61 - (11.24 \times \% \text{ sable}) + (0.168 \times \text{Al-ox}) + (0.054 \times \text{Fe-ox})$	0.8763	0.0115	7.26**
4	$Y_4 = 777.13 - (9.26 \times \% \text{ sable}) + (0.11 \times \text{Al-ox}) + (0.05 \times \text{Fe-ox}) + (7.46 \times \% \text{ argile})$	0.8846	0.0084	5.38**
5	$Y_5 = 628.22 - (7.63 \times \% \text{ sable}) + (0.07 \times \text{Al-ox}) + (0.04 \times \text{Fe-ox}) + (9.48 \times \% \text{ argile}) + (73.45 \times \% \text{ M.O.})$	0.8928	0.0081	5.74**
6	$Y_6 = 380.93 - (5.9 \times \% \text{ sable}) + (0.07 \times \text{Al-ox}) + (0.04 \times \text{Fe-ox}) + (10.31 \times \% \text{ argile}) + (73.68 \times \% \text{ M.O.}) + (56.81 \times \% \text{ CaCO}_3)$	0.8963	0.0035	2.55*
7	Variables précédentes + pH (non significatif)	0.8977	0.0014	0.9969
8	Variables précédentes + Al-di (non significatif)	0.8979	0.0003	0.1883
9	Variables précédentes + P. total (non significatif)	0.8980	0.0000	0.0262

- * significatif à un niveau de confiance de 0.05
- ** significatif à un niveau de confiance de 0.01

Al-ox = Aluminium extrait à l'oxalate (µg/g)
 Fe-ox = Fer extrait à l'oxalate (µg/g)
 % M.O. = % Matière organique

33

TABLEAU VII - COEFFICIENTS DE CORRÉLATION PARTIELS STANDARDISÉS POUR CHACUNE DES ÉTAPES DE CALCUL DE RÉGRESSION MULTIPLE

VARIABLES						
	% SABLE	% ARGILE	Al - ox	Fe - ox	% CARBONATES	% M.O.
ÉTAPE 1	-0.611	-	0.367	-	-	-
ÉTAPE 2	-0.529	-	0.242	0.223	-	-
ÉTAPE 3	-0.436	0.1608	0.171	0.350	-	-
ÉTAPE 4	-0.569	-0.041	0.276	0.231	-	-0.052
ÉTAPE 5	-0.284	0.220	0.103	0.205	0.088	0.166

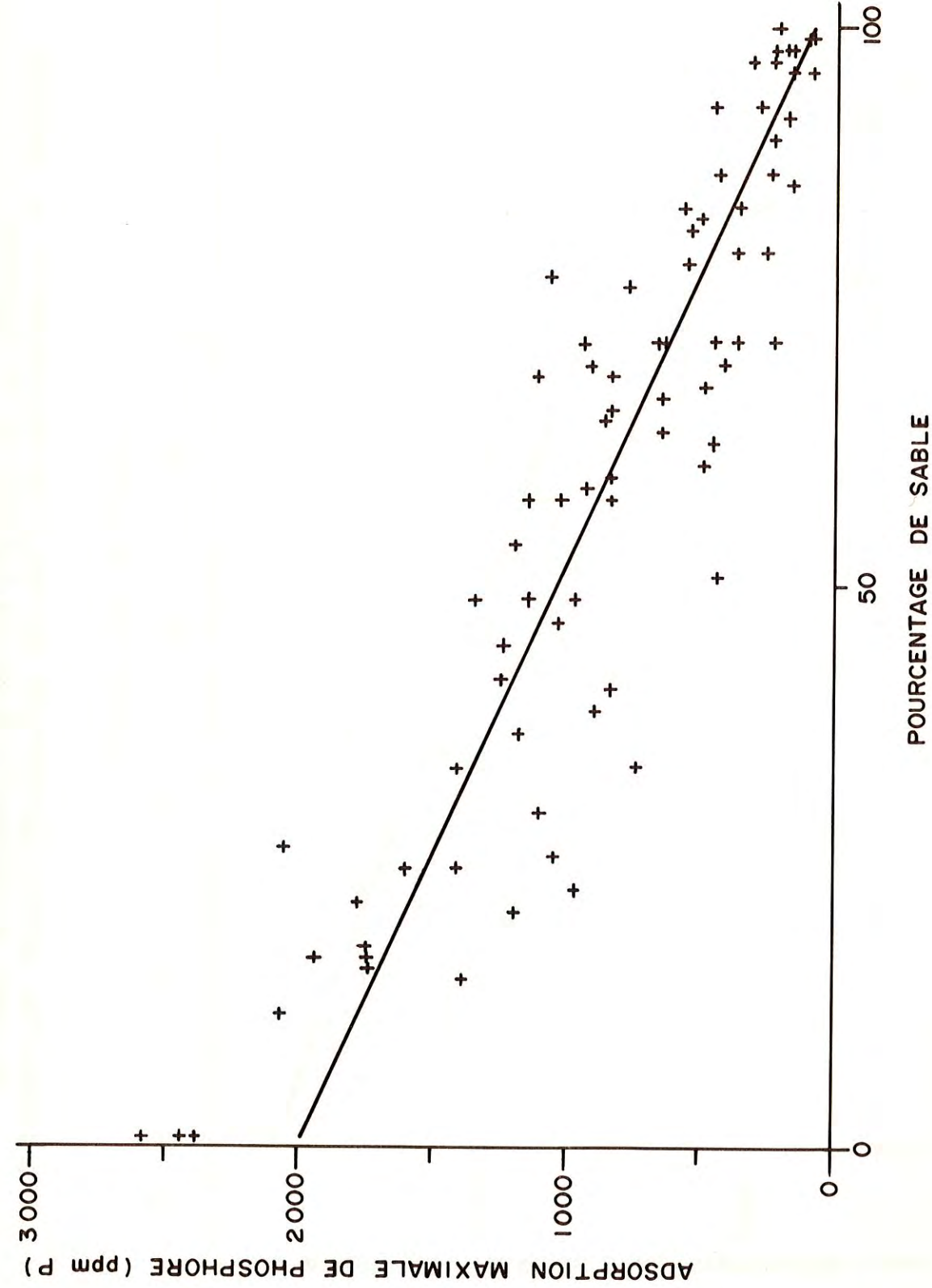


Fig. 2 - RELATION ENTRE L'ADSORPTION MAXIMALE DE PHOSPHORE ET LE CONTENU EN SABLE DE SÉDIMENTS DU MOYEN ESTUAIRE DU ST-LAURENT.

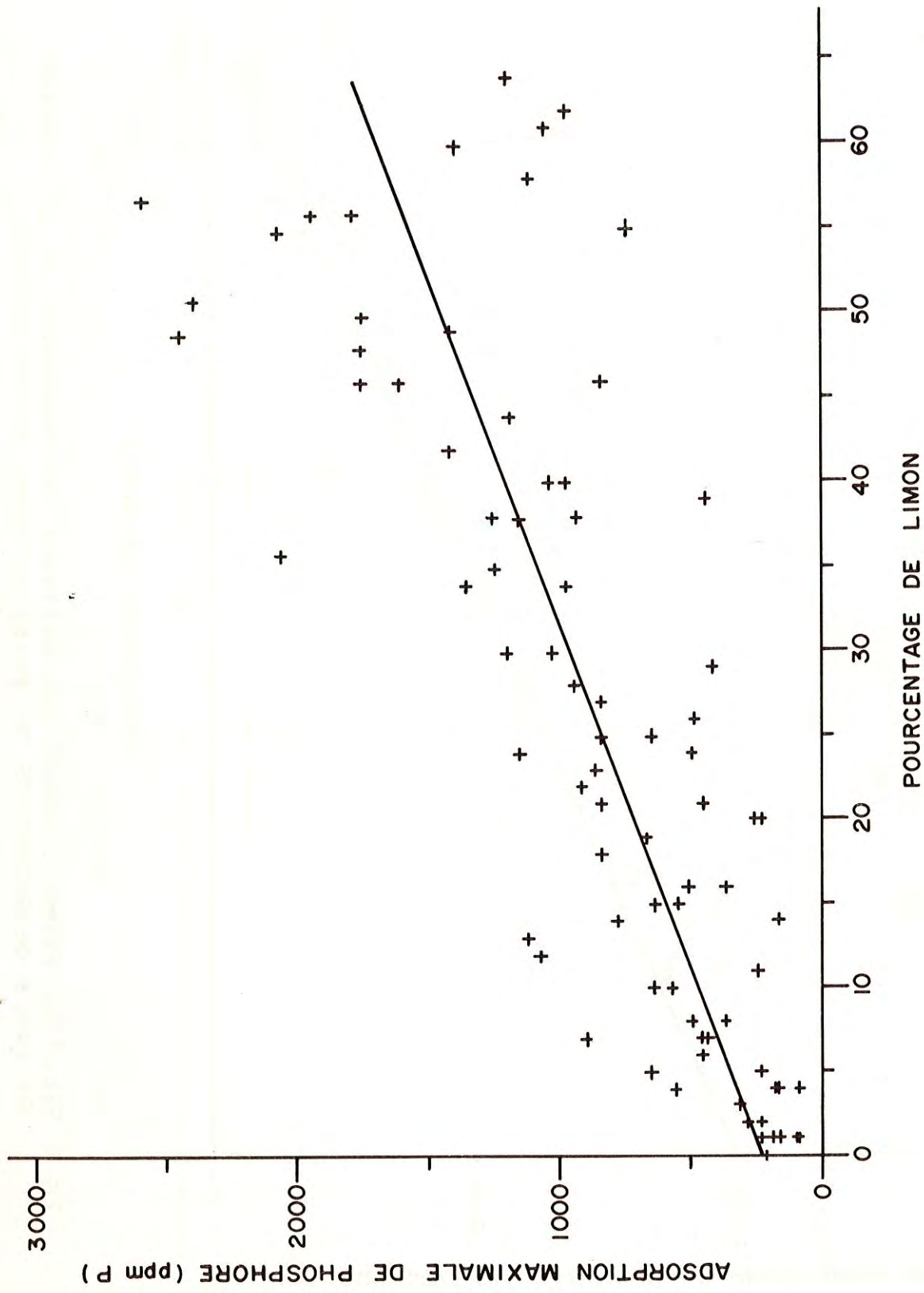
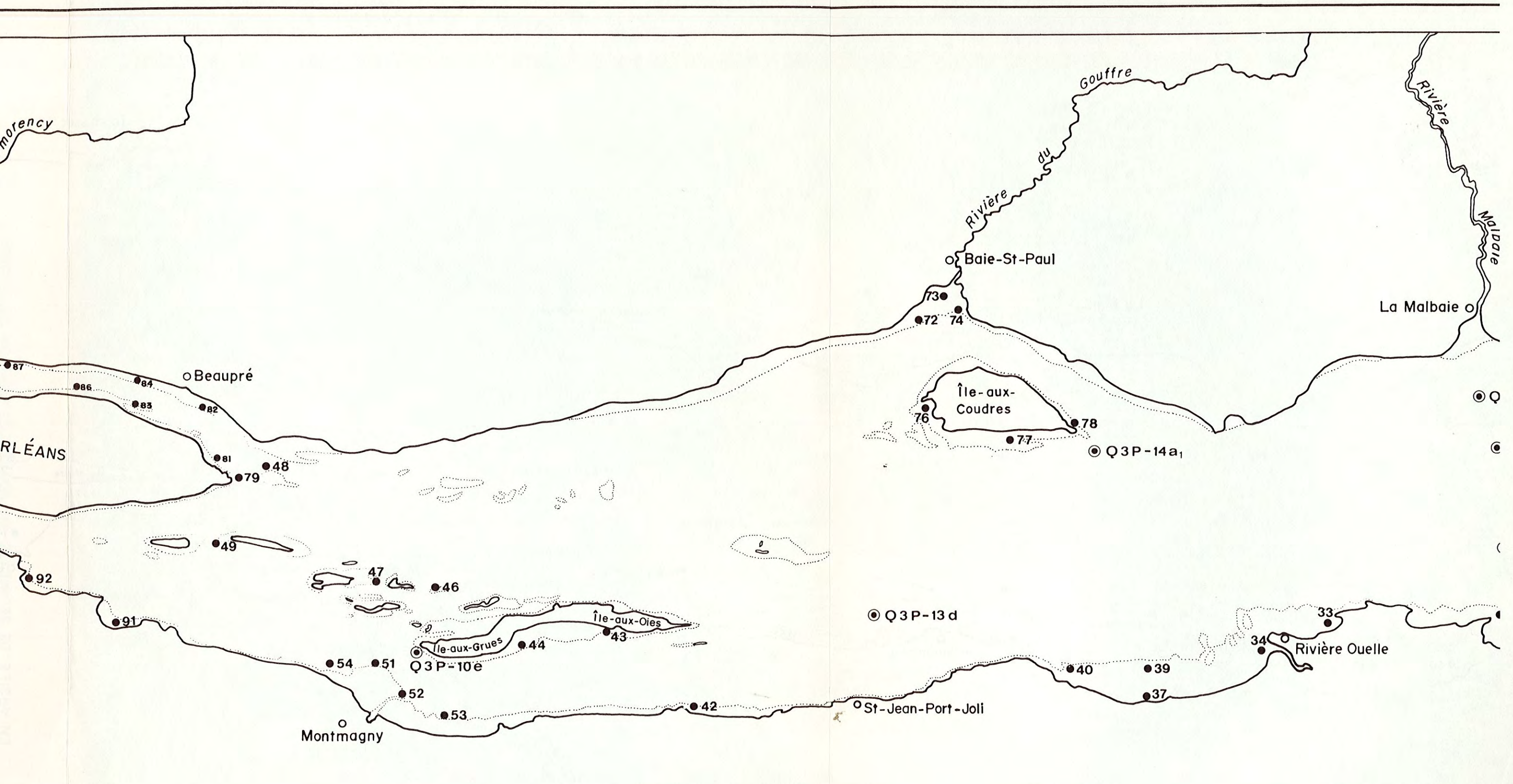


Fig. 3-- RELATION ENTRE L'ADSORPTION MAXIMALE DE PHOSPHORE ET LE CONTENU EN LIMON DE SÉDIMENTS DU MOYEN ESTUAIRE DU ST-LAURENT.

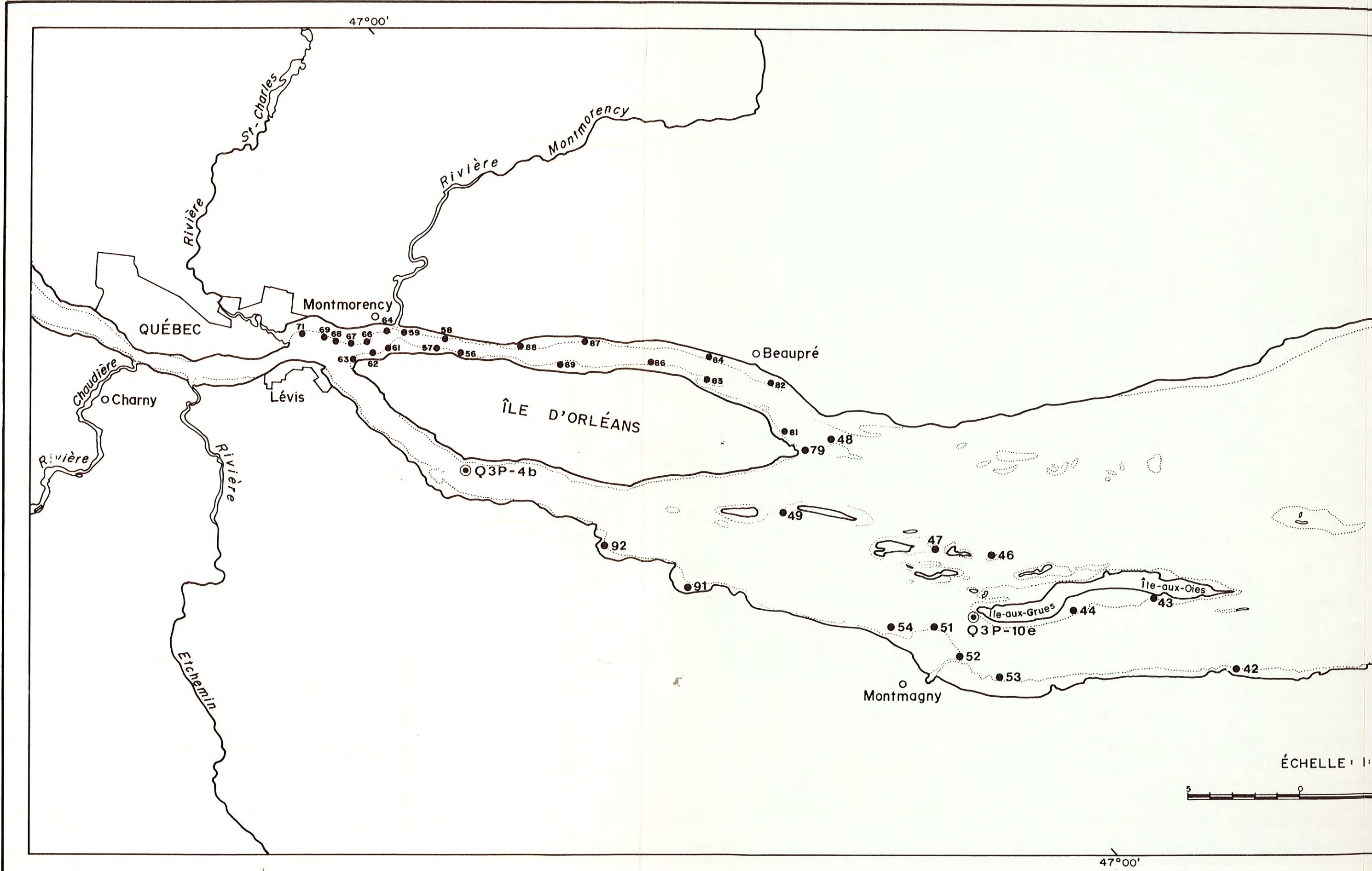


ÉCHELLE : 1:250,000



47°00'

70°00'

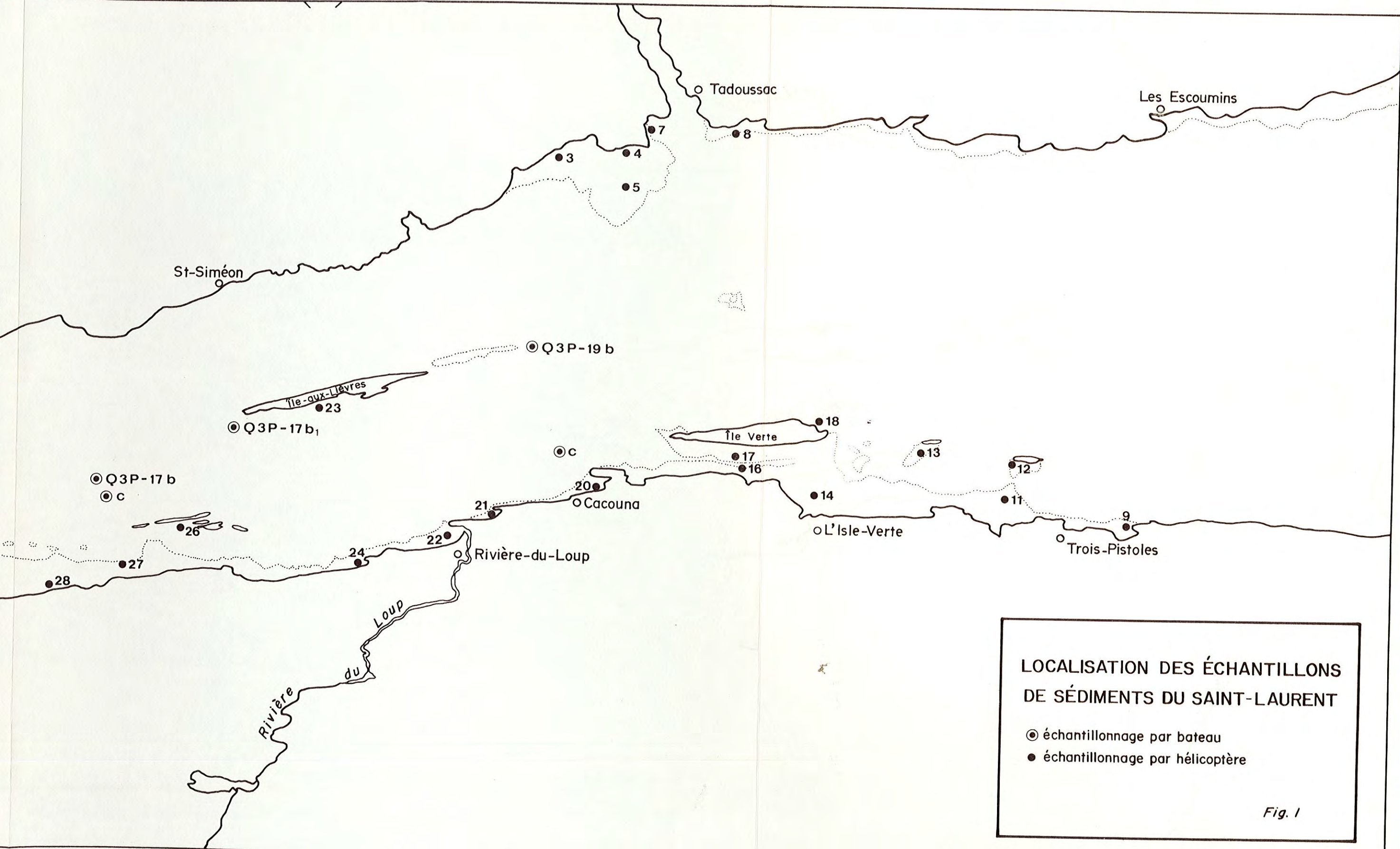


ÉCHELLE: 1:2



47°00'

48°00' 70°00'

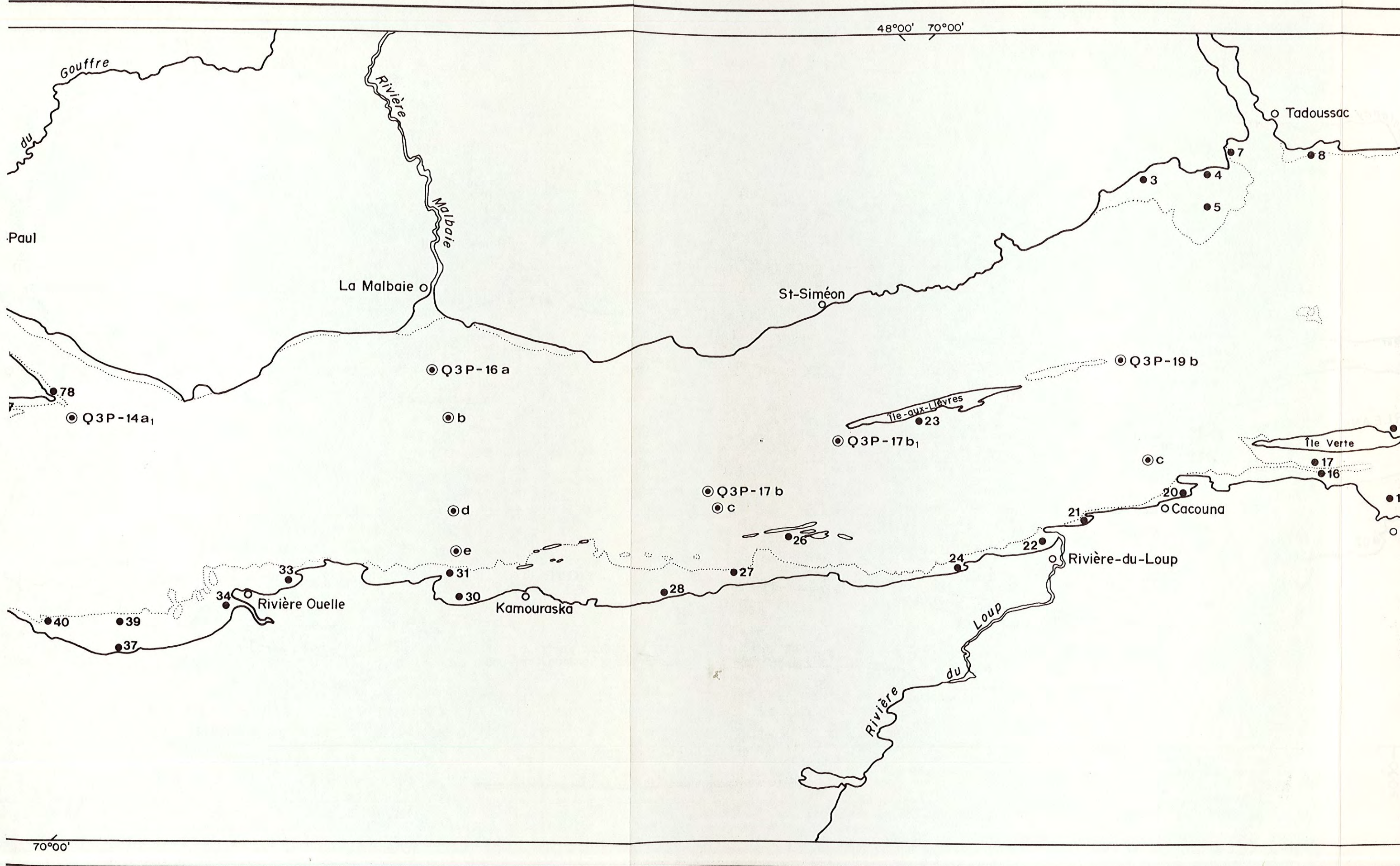


LOCALISATION DES ÉCHANTILLONS DE SÉDIMENTS DU SAINT-LAURENT

- ⊙ échantillonnage par bateau
- échantillonnage par hélicoptère

Fig. 1

48°00'



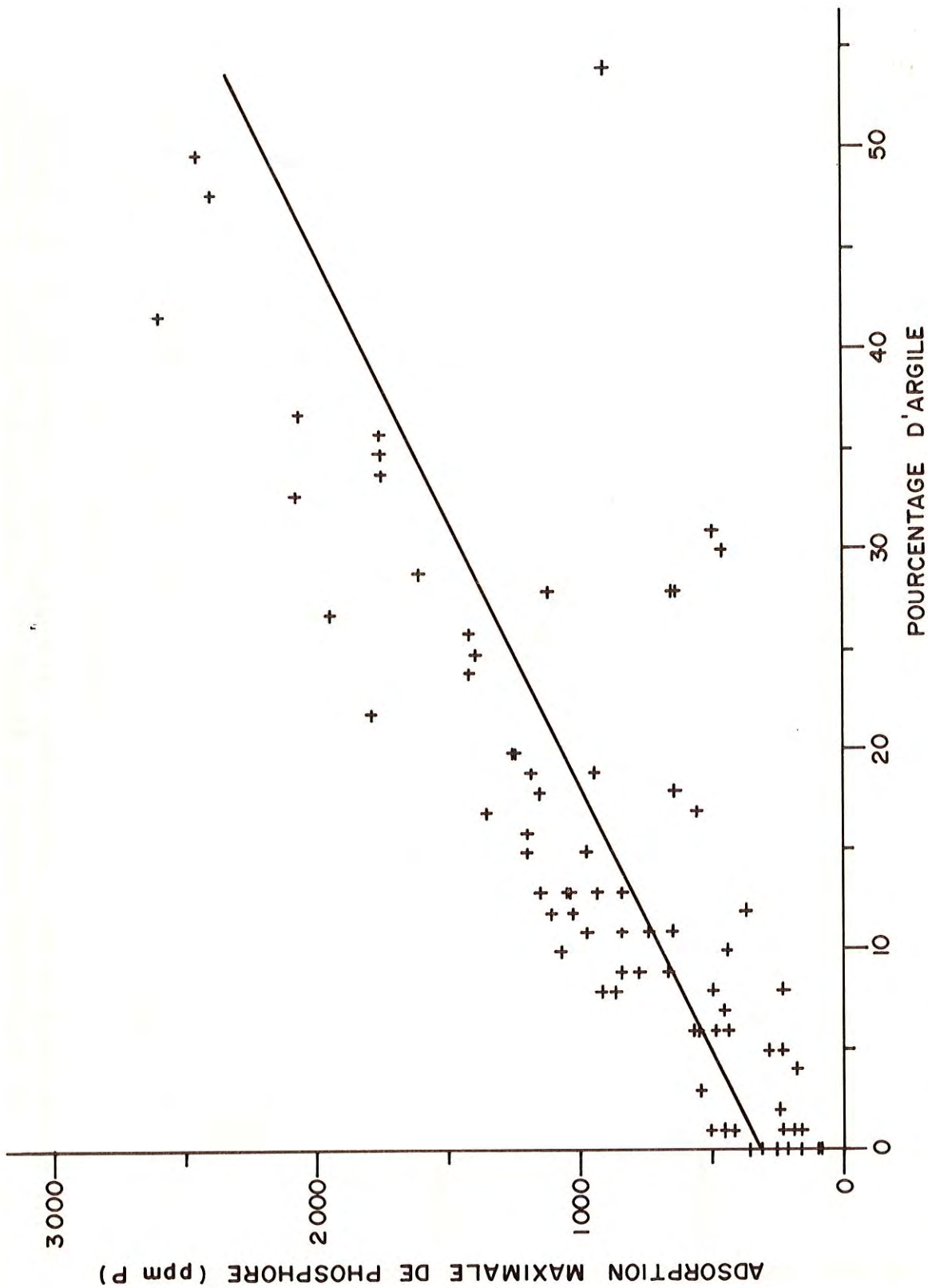


Fig. 4- RELATION ENTRE L'ADSORPTION MAXIMALE DE PHOSPHORE ET LE CONTENU EN ARGILE DE SÉDIMENTS DU MOYEN ESTUAIRE DU ST-LAURENT.

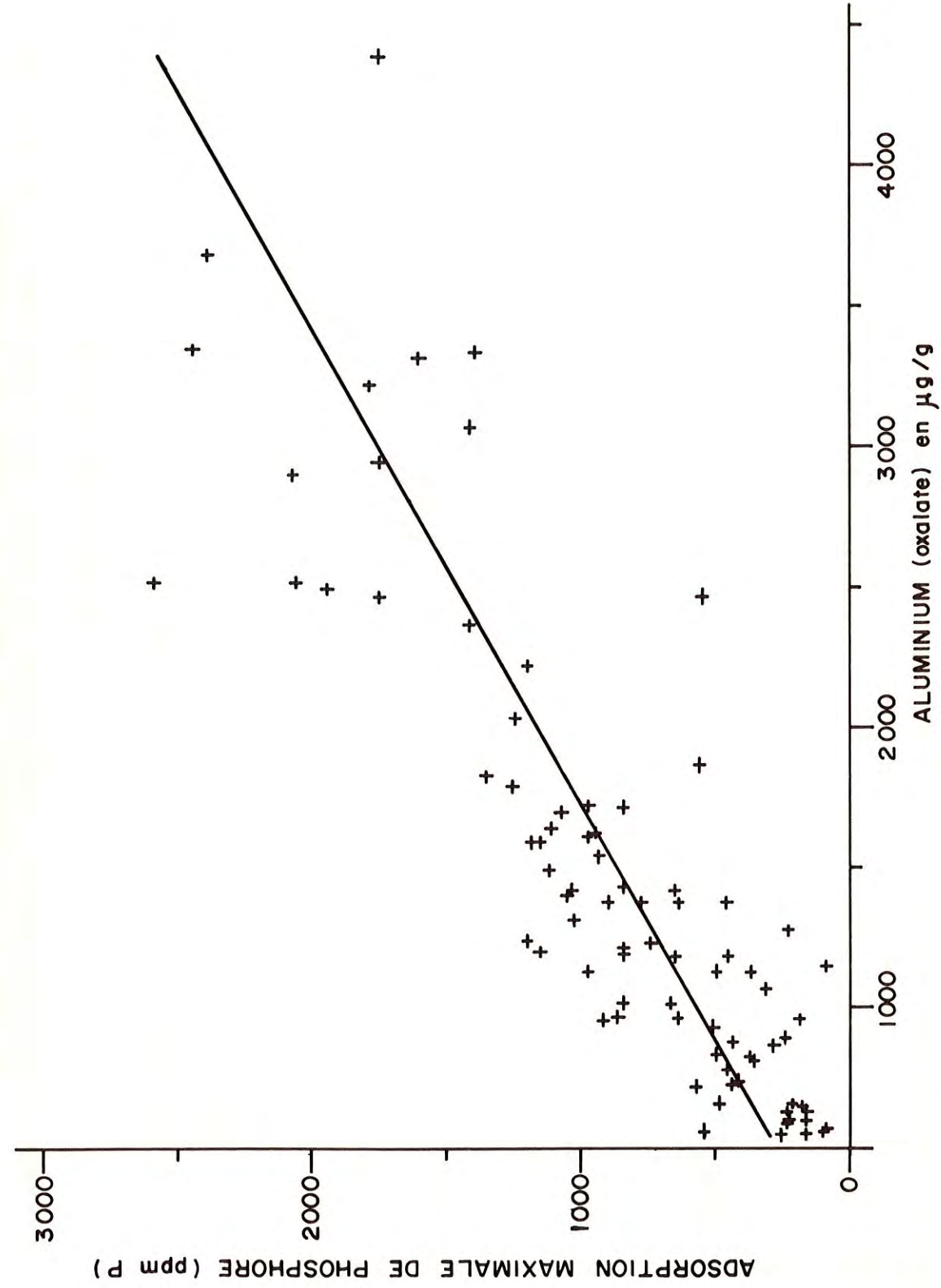


Fig. 5 - RELATION ENTRE L'ADSORPTION MAXIMALE DE PHOSPHORE ET LE CONTENU EN ALUMINIUM (oxalate) DE SÉDIMENTS DU MOYEN ESTUAIRE DU ST-LAURENT

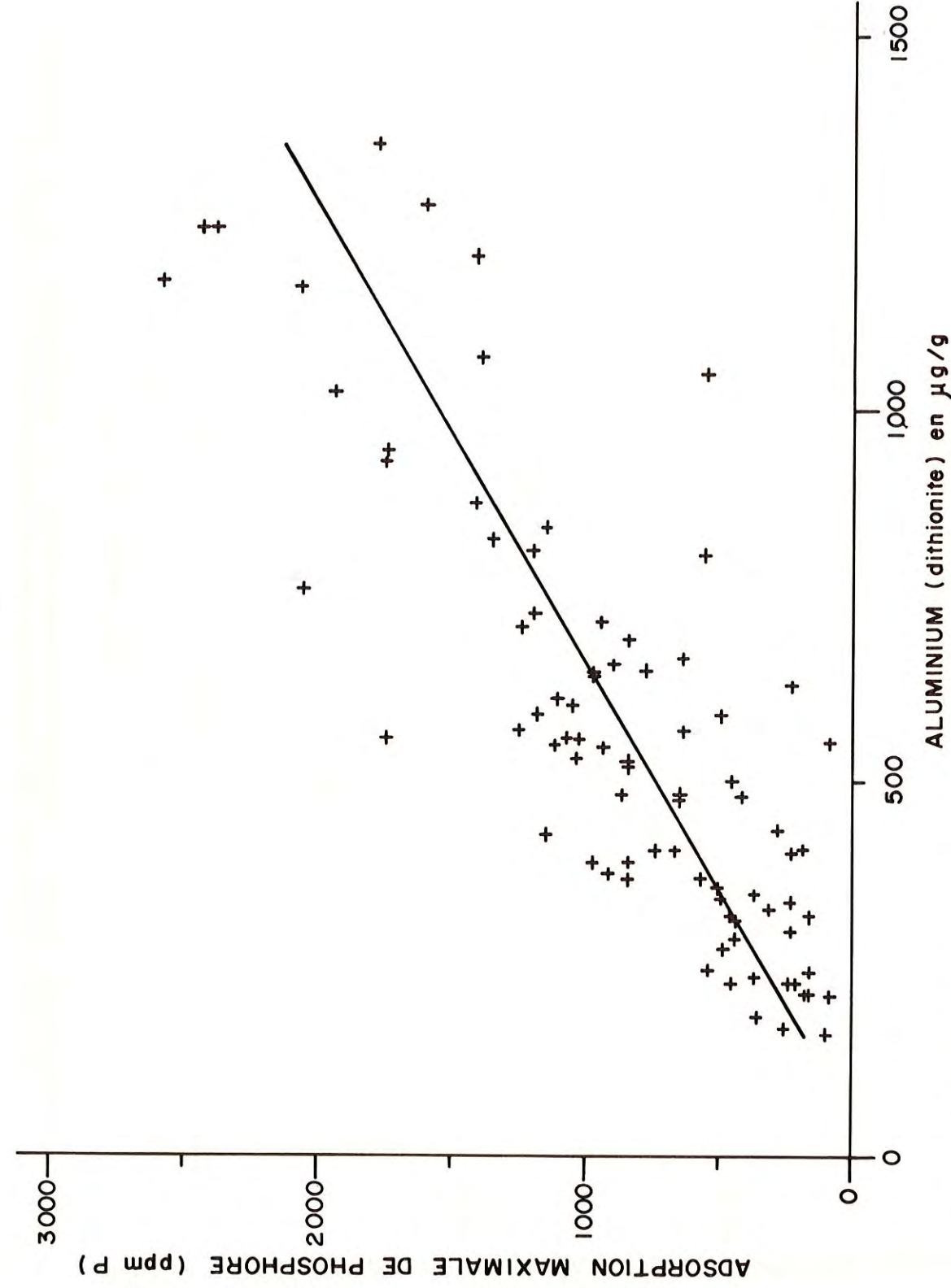


Fig. 6 - RELATION ENTRE L'ADSORPTION MAXIMALE DE PHOSPHORE ET LE CONTENU EN ALUMINIUM (dithionite) DE SÉDIMENTS DU MOYEN ESTUAIRE DU ST-LAURENT.

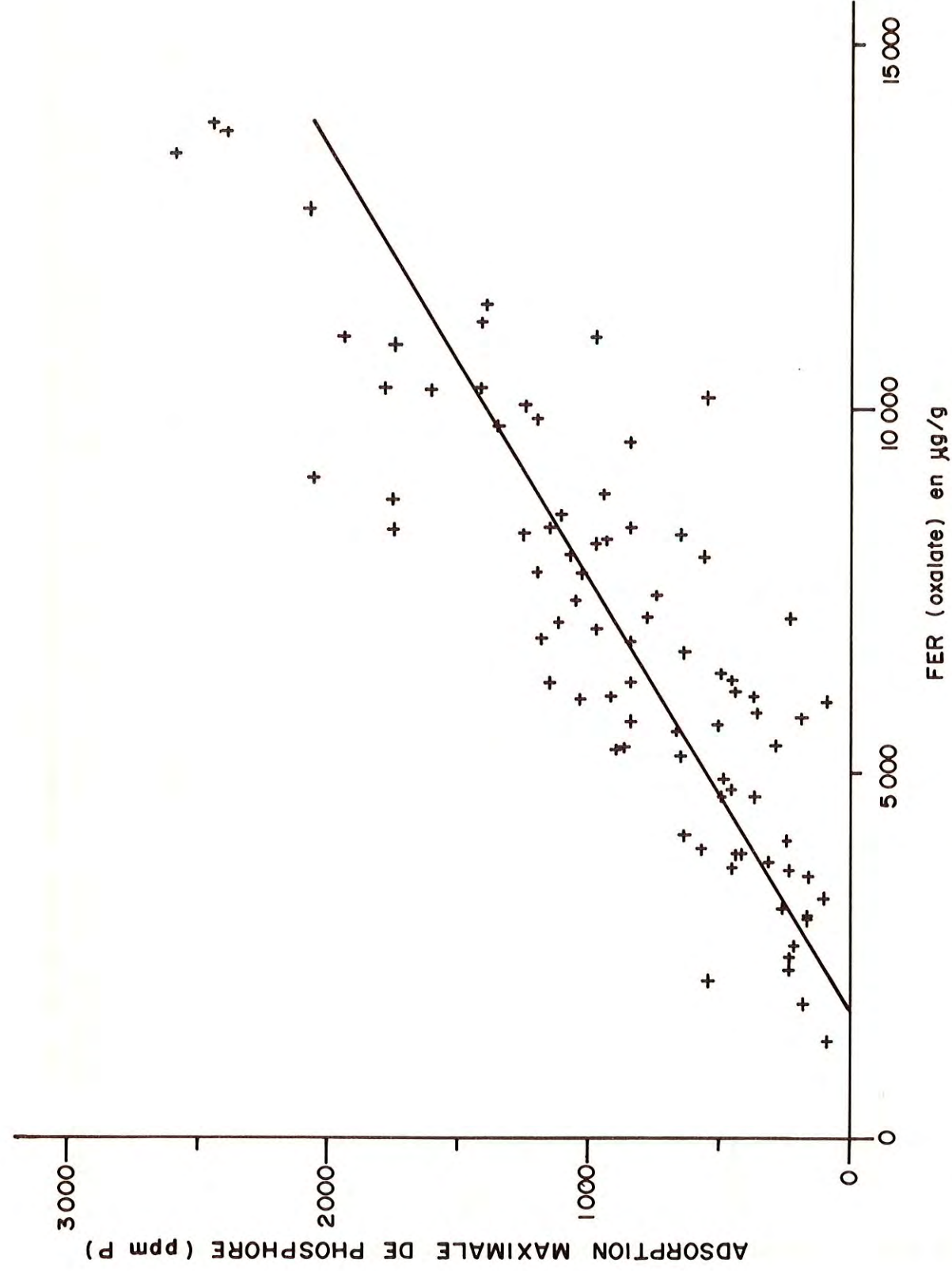


Fig. 7 -- RELATION ENTRE L'ADSORPTION MAXIMALE DE PHOSPHORE ET LE CONTENU EN FER (oxalate) DE SÉDIMENTS DU MOYEN ESTUAIRE DU ST-LAURENT.

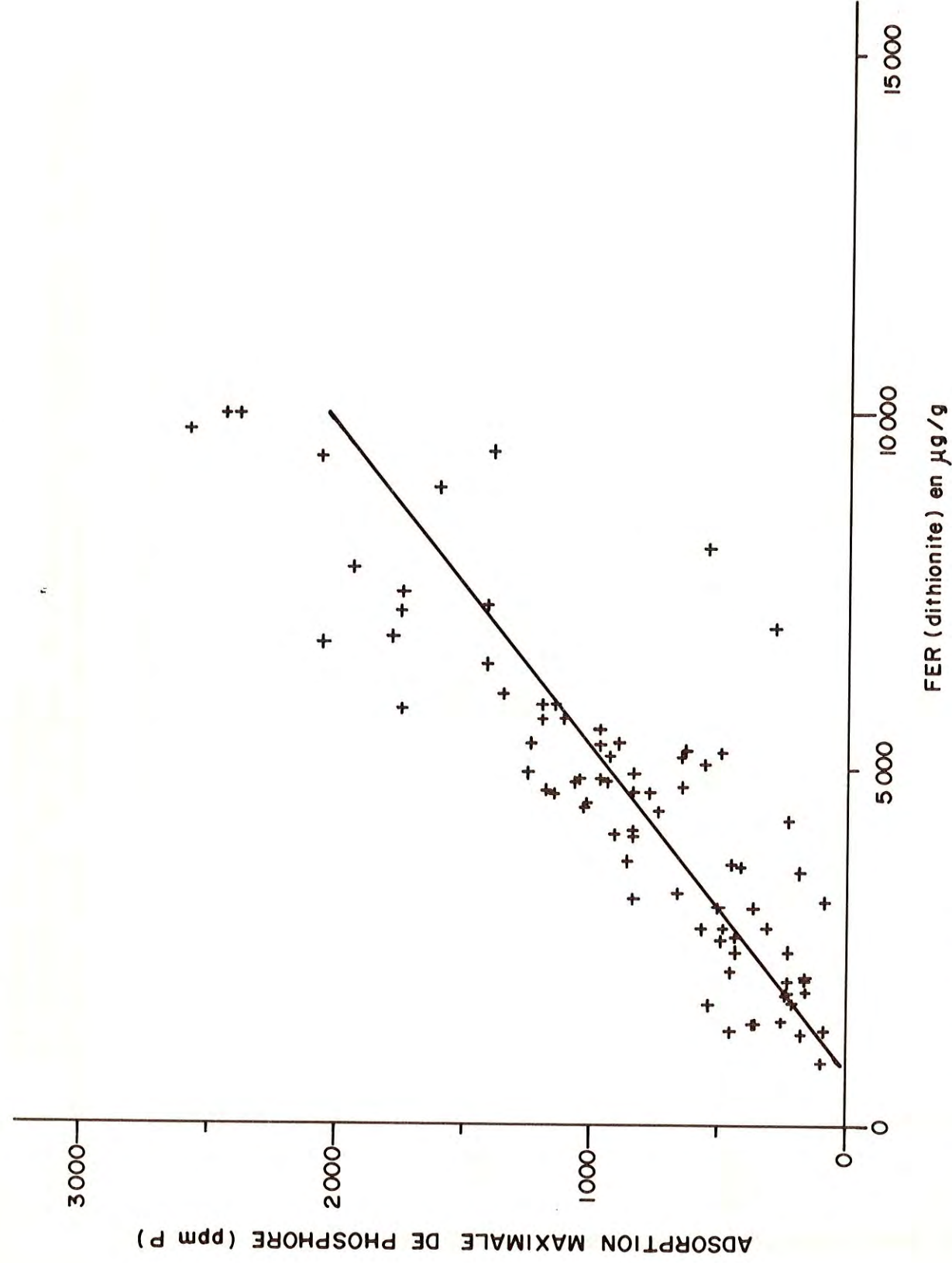


Fig. 8 RELATION ENTRE L'ADSORPTION MAXIMALE DE PHOSPHORE ET LE CONTENU EN FER (dithionite) DE SÉDIMENTS DU MOYEN ESTUAIRE DU ST-LAURENT.

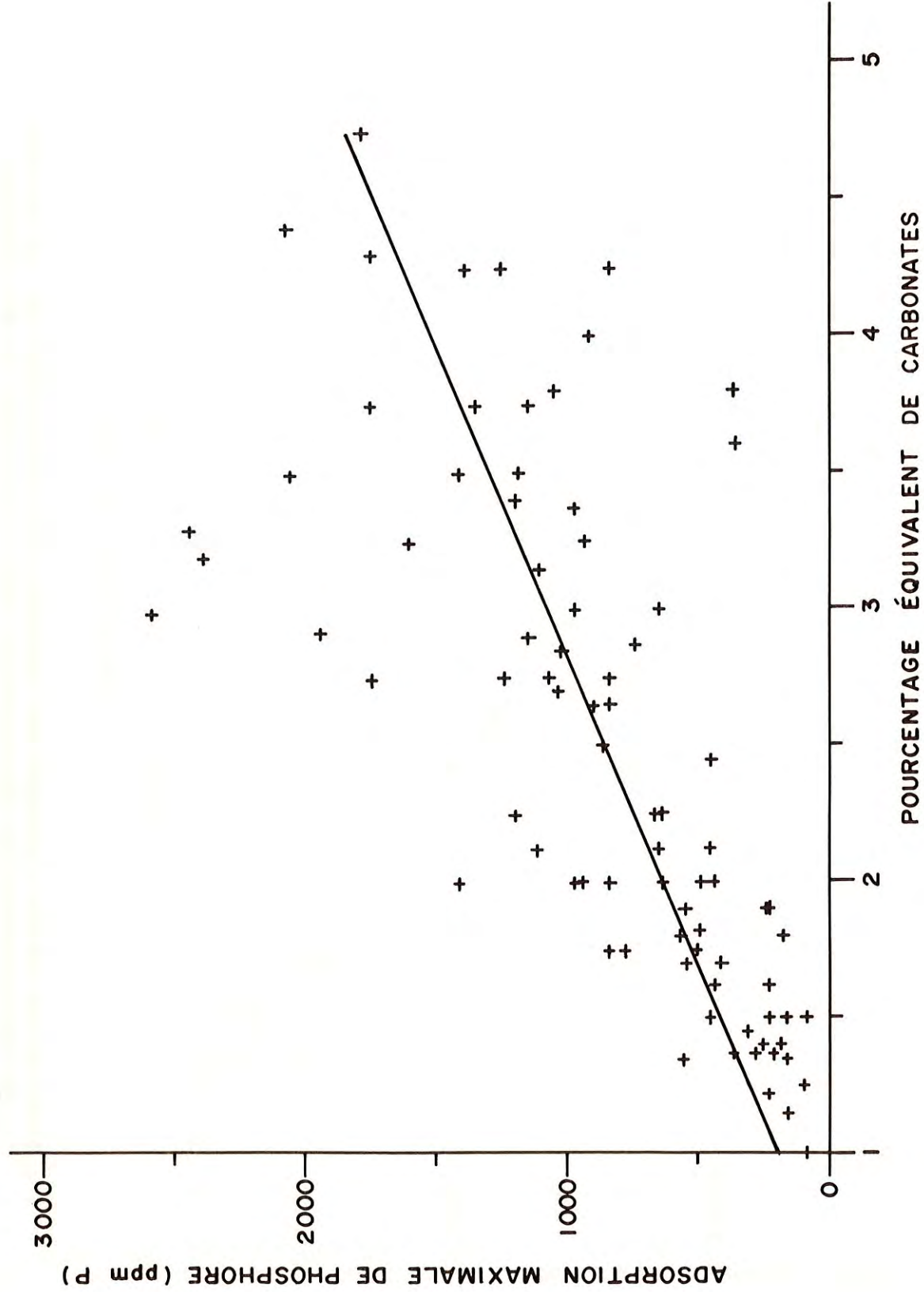


Fig. 9--RELATION ENTRE L'ADSORPTION MAXIMALE DE PHOSPHORE ET LE CONTENU EN POURCENTAGE ÉQUIVALENT DE CARBONATES DE SÉDIMENTS DU MOYEN ESTUAIRE DU ST-LAURENT.

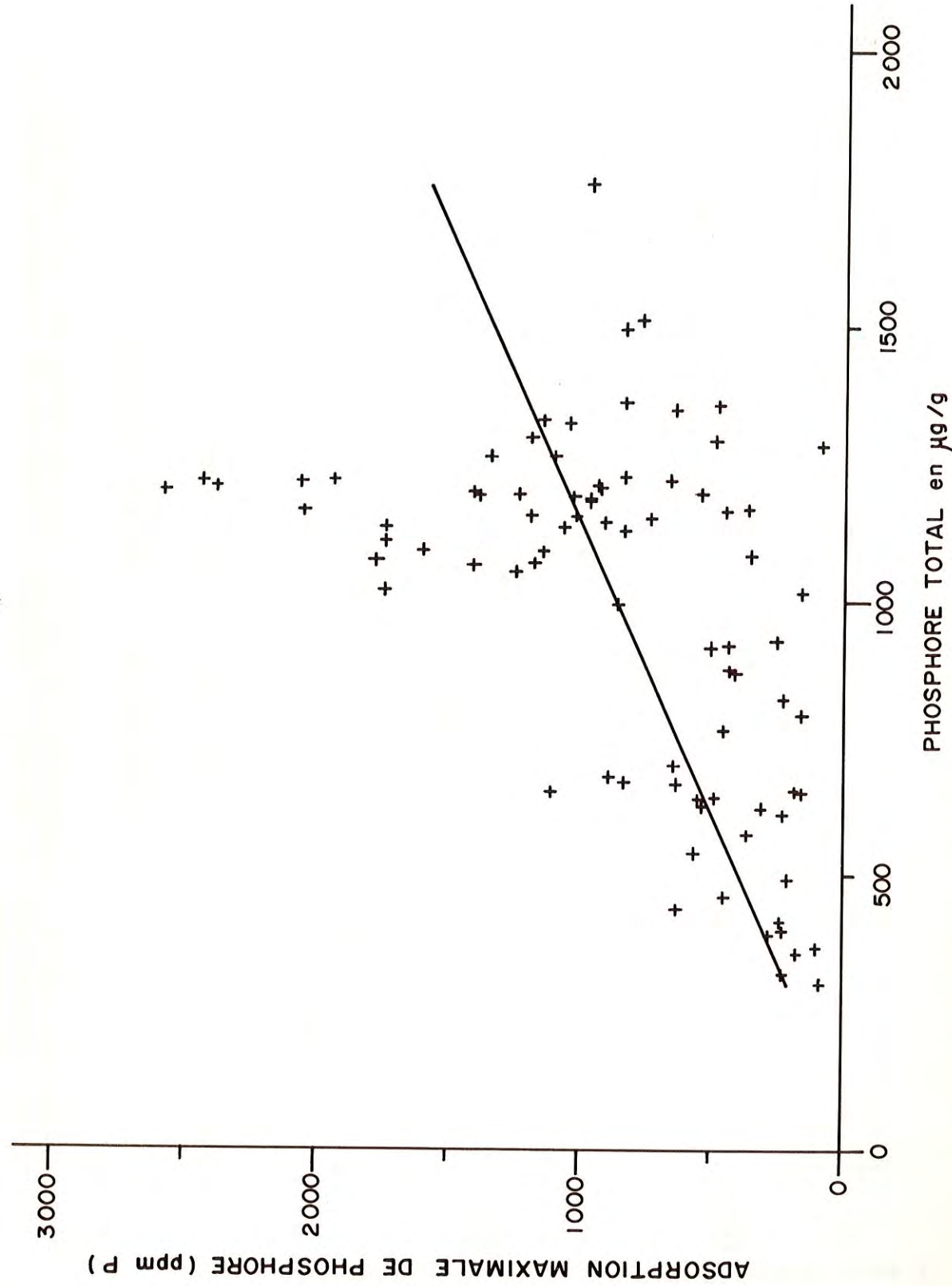


Fig. 10--RELATION ENTRE L'ADSORPTION MAXIMALE DE PHOSPHORE ET LE CONTENU EN PHOSPHORE TOTAL DE SÉDIMENTS DU MOYEN ESTUAIRE DU ST-LAURENT.

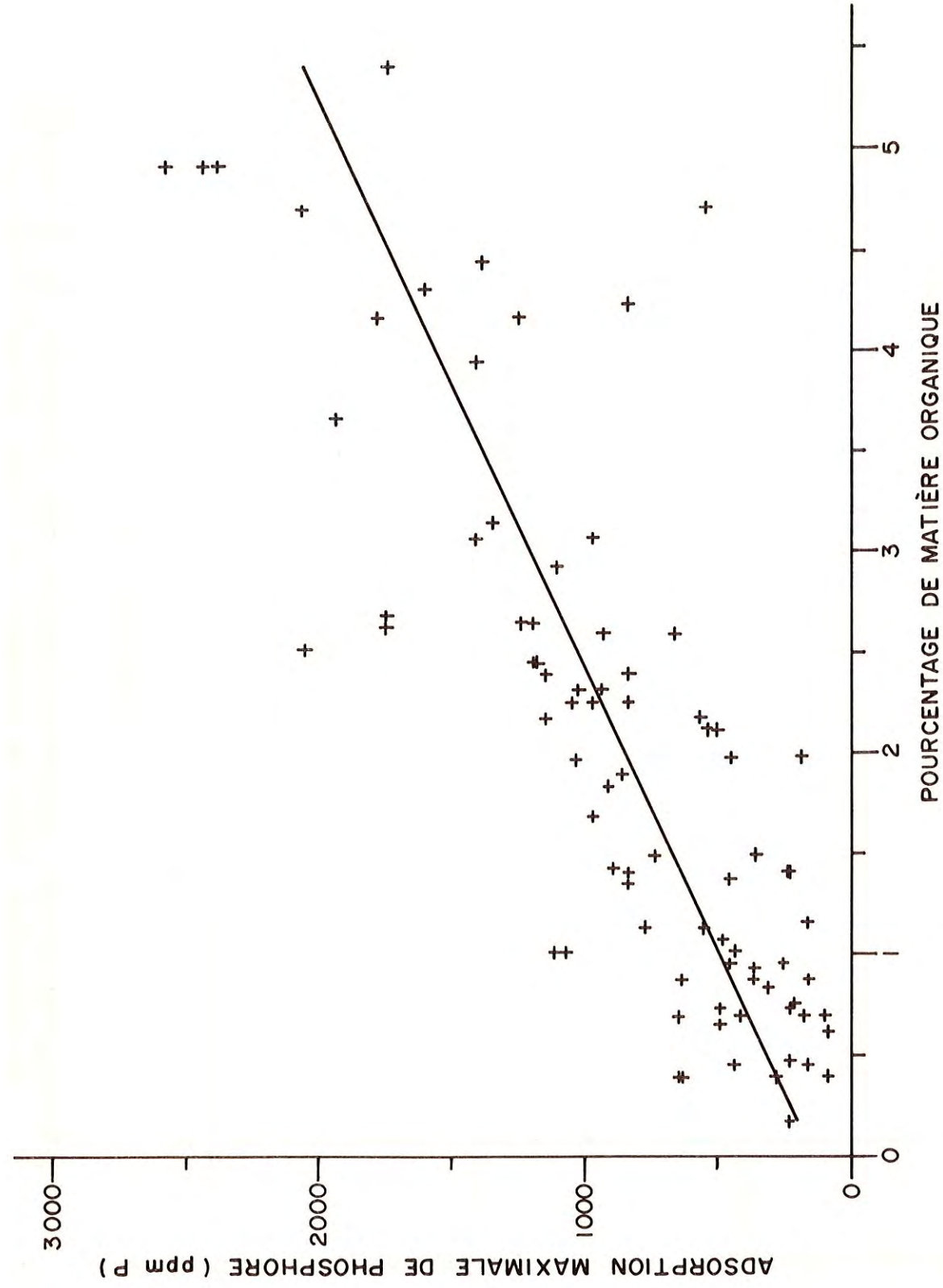


Fig. 11 - RELATION ENTRE L'ADSORPTION MAXIMALE DE PHOSPHORE ET LE CONTENU EN POURCENTAGE DE MATIÈRE ORGANIQUE DE SÉDIMENTS DU MOYEN ESTUAIRE DU ST-LAURENT.

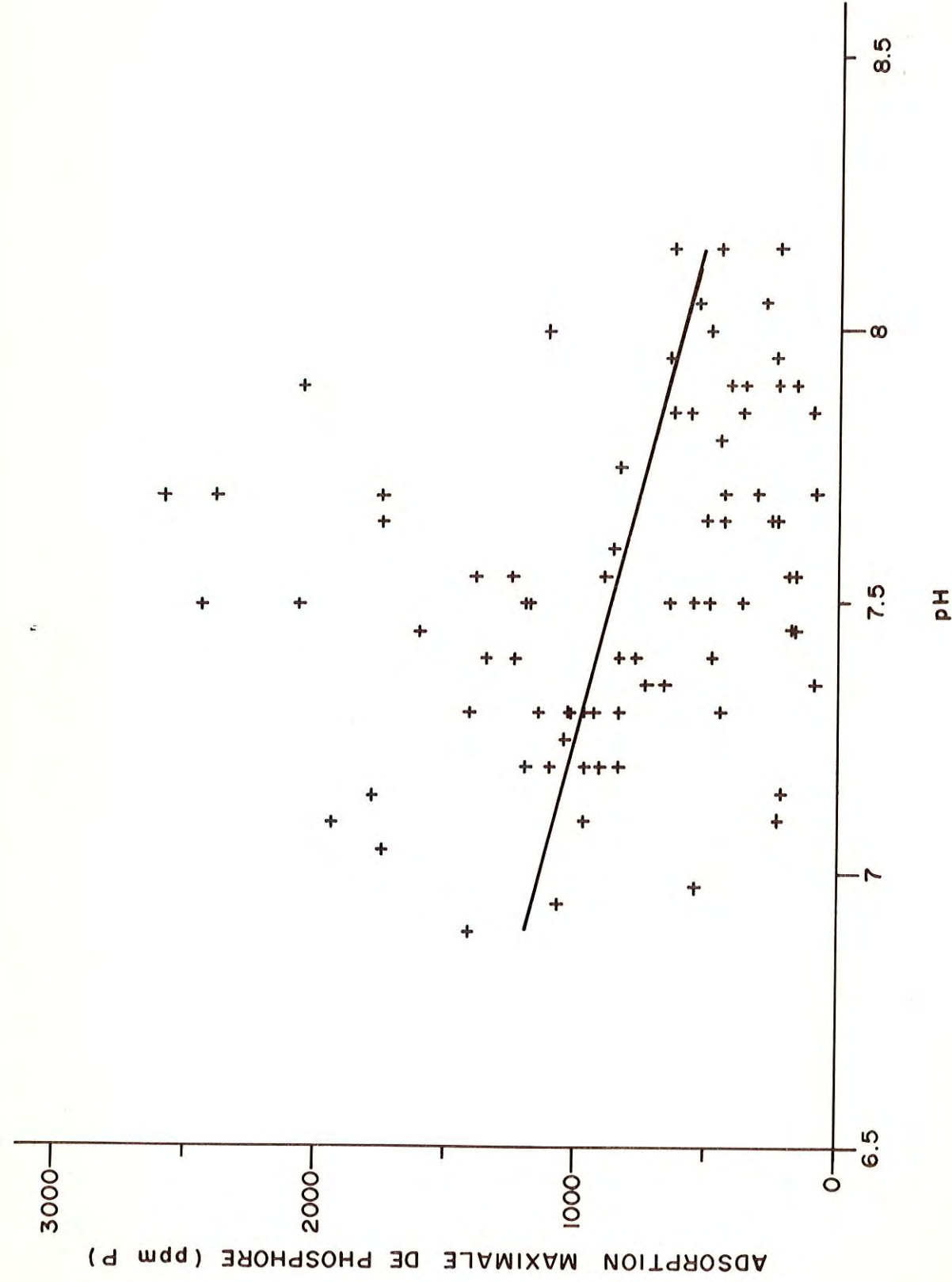


Fig. 12 - RELATION ENTRE L'ADSORPTION MAXIMALE DE PHOSPHORE ET LE CONTENU EN PH DE SÉDIMENTS DU MOYEN ESTUAIRE DU ST-LAURENT.