

DIRECTION DE L'ENVIRONNEMENT
ET DES RECHERCHES OCEANIQUES

ESSAI DE DETERMINATION
D UNE TYPOLOGIE
DES SEDIMENTS COTIERS
EN FONCTION DE
L APPARITION D EAUX COLOREES

G.ARZUL, A.YOUENOU, A.DERRIEN,
P.GENTIEN, M.P.CRASSOUS, M.LUNVEN



IFREMER - Centre de BREST
BP. 70 - 29263 PLOUZANE
Tél 98.22.40.40 - Télex 940627 F

IFREMER Bibliothèque de la Tremblade



OLR 04503

DERO - 88.10 - EL

IFREMER
Centre de BREST
S.D.P.
B.P. 70
29263 PLOUZANE
Tél. : 98.22.40.40
Télex 940 627

DIRECTION ENVIRONNEMENT
ET RECHERCHES OCEANIQUES

DEPARTEMENT ENVIRONNEMENT LITTORAL

<u>AUTEUR(S) :</u> ARZUL G., YOUENOU A., DERRIEN A., GENTIEN P., CRASSOUS M.P., LUNVEN M.		<u>CODE :</u> N° <u>DERO/88.10/EL</u>
<u>TITRE</u> ESSAI DE DETERMINATION D'UNE TYPOLOGIE DES SEDIMENTS COTIERS EN FONCTION DE L'APPARITION D'EAUX COLOREES		Date : Mai 1988 Tirage nb : 24 Nb pages : 42 Nb figures : 16 Nb photos : 0
<u>CONTRAT</u> (intitulé) N° _____		<u>DIFFUSION</u> Libre <input checked="" type="checkbox"/> Restreinte <input type="checkbox"/> Confidentielle <input type="checkbox"/>
<u>RESUME</u> L'étude de différents paramètres caractérisant la composition chimique du sédiment côtier, a montré l'existence d'une relation possible entre les teneurs élevées en matière organique totale et en cuivre total, avec le phénomène "eaux colorées".		
<u>ABSTRACT</u> The study of different chemical parameters characterizing the coastal sediment, showed a possible relation between, respectively, high levels in organic matter and total copper, and the "red tide" phenomenon.		
Mots-clés : Sédiment côtier - Eaux colorées - Matière organique - Cuivre.		
Key words : Coastal sediment - Red tide - Organic matter - Copper.		



Ifremer Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer

INTRODUCTION

Au cours de ces dernières années le phénomène "Eaux colorées" provoqué par la présence de phytoplancton paraît devenir plus fréquent sur les côtes de France. Les observations rapportées par le CSRU * mentionnent des eaux, colorées ou non, pouvant être toxiques pour les organismes marins ou les consommateurs de ceux-ci. La caractéristique de ces situations est due à la monospécificité des populations phytoplanctoniques qui se développent, et de nombreux travaux ont tenté d'en déterminer les causes.

La complexité et la diversité des environnements observés conduisent les auteurs à des explications différentes et prennent en compte, en général, un paramètre particulier dans une région donnée. Ainsi la matière organique possède un caractère réducteur et son excès peut entraîner, à la suite de l'oxydation physicochimique ou enzymatique, une anoxie du milieu. Celle-ci jouerait un rôle dans l'initiation des blooms de dinoflagellés (FUKAZAWA, 1980), de même que dans le relargage du sédiment vers le milieu aquatique d'éléments tels que fer et phosphates (GAVIS et al., 1986). Leur présence constituerait un indice prévisionnel d'apparition d'eaux colorées (INGLE et al., 1971 ; KIM, 1974). D'autres observations ont mis en évidence le rôle favorable aux dinoflagellés des substances humiques apportées par les déversements telluriques (DQIGT et al., 1974 ; PRAKASH, 1968 ; GRANELI, 1985 ; HOLDSWORTH, 1985). La sensibilité particulièrement élevée des dinoflagellés à l'effet du cuivre ionique paraît également intéressante (ANDERSON et al., 1978 ; ALDO VIARENGO, 1985 ; FISHER, 1986 ; METAYER et al., 1986).

Afin d'utiliser une partie de ces connaissances au cours de cette étude, nous avons considéré un ensemble de zones côtières dans une comparaison entre les fréquences d'apparition d'eaux colorées et certaines caractéristiques chimiques de ces zones. La masse d'eau côtière étant sans cesse renouvelée sous l'effet des courants, le sédiment a semblé le milieu le plus approprié pour déterminer l'originalité d'un site. En effet, peu

* Contrôle et Suivi des Ressources et de leur Utilisation.

soumis aux déplacements, il reçoit en permanence l'empreinte des apports océaniques et telluriques. Les paramètres considérés ont été : la matière organique totale, les métaux : fer et cuivre totaux, les sels nutritifs relargables par le sédiment sous forme de phosphates et de nitrites plus nitrates.

Les sites de prélèvement ont été choisis d'après les observations d'eaux colorées en 1985, portées sur la figure 1. Des zones où aucune observation particulière n'a été faite ont été ajoutées afin d'établir une comparaison avec une situation de référence. L'ensemble des régions côtières ayant donné lieu à un échantillonnage est présenté sur la figure 2. Chaque région est observée en 2 ou 4 endroits selon les possibilités d'accès. La variété des faciès sédimentaires rencontrés nous a conduit à échantillonner les vases, plus riches en sédiments détritiques.

L'évolution saisonnière des populations planctoniques, par leur importance et les espèces qui se succèdent, amène à rechercher une répercussion éventuelle des blooms printaniers de phytoplancton sur les développements ultérieurs. Aussi avons nous considéré le milieu vaseux avant la sédimentation détritique des blooms printaniers, c'est-à-dire en avril, et avant l'apparition des dinoflagellés : début juillet.

MATERIEL ET METHODES

1. Prélèvements.

Les prélèvements de sédiment ont été réalisés par carottage manuel à l'aide de tubes de plexiglass de 5 cm de diamètre sur 20 cm de long, fermés par des bouchons en teflon. L'échantillonnage était réalisé à marée basse. Les bassins du Havre et Antifer (6 et 10 m de fond) ont nécessité l'intervention d'un plongeur. Chaque endroit observé a comporté 4 carottages afin de prendre en compte l'hétérogénéité des sites.

2. Stockage.

Les échantillons ont été stockés immédiatement au congélateur portatif, puis au laboratoire à $- 20^{\circ}$ jusqu'au traitement.

3. Fractionnement.

Pour l'analyse certaines carottes de sédiment ont été fractionnées par centimètres. Les autres échantillons ont été traités de la façon suivante :

- zone superficielle oxydée claire (zone A tableaux 1 et 2)
- zone intermédiaire plus réduite (zone B)
- zone inférieure très noire, réductrice (zone C).

4. Substances échangeables solubles.

a) Extraction.

Les substances échangeables sont extraites à partir du sédiment humide maintenu dans une solution de KCl à 40 g/l isotonique à l'eau de mer, dans la proportion de 5 g dans 50 ml, pendant 2 heures sous agitation magnétique (GENTIEN, 1983). La solution de KCl, enrichie des substances relargables du sédiment et de l'eau interstitielle, est recueillie par filtration sur filtres GFC grillés 2 H à 450°C . Le sédiment est rincé par 50 ml de solution KCl, ajoutés au filtrat précédent. L'extraction se fait en milieu aérobie à un pH non contrôlé compris entre 8 et 9, qui correspond

au pH d'équilibre de l'eau avec le sédiment. Ces conditions sont celles des couches superficielles oxydées, mais ne correspondent pas aux situations sous-jacentes naturelles où l'oxygène fait défaut. Devant la difficulté des mesures de pH et d'oxygène in situ dans les couches profondes, nous n'avons pas entrepris d'adapter l'extraction aux conditions naturelles pour cette étude.

b) Analyse.

Sur le filtrat sont dosés à l'auto-analyseur les phosphates et nitrites plus nitrates d'après la technique de STRICKLAND et PARSONS (1972) adaptée par TREGUER et LE CORRE (1975). Une difficulté méthodologique étant apparue dans l'analyse de l'ammonium (volume d'échantillon trop faible), ces résultats ne seront pas exploités.

5. Teneur en eau.

Une partie aliquote de la fraction sédimentaire considérée est séchée à 60°C pendant 48 heures afin d'en connaître la teneur en eau.

6. Matière organique : carbone et azote organiques.

Après broyage, carbone et azote totaux sont analysés par minéralisation complète suivie d'une chromatographie en phase gazeuse à l'auto-analyseur CARLO-ERBA modèle 1106.

Le carbone minéral est déterminé par attaque des carbonates à l'acide chlorhydrique à 30 %, et mesure du gaz carbonique dégagé au calcimètre BERNARD. La dégradation partielle de certaines substances organiques entraîne une limitation de la méthode, surtout dans les sédiments sableux pauvres en matière organique.

Par différence entre carbone total et carbone minéral, on obtient le carbone organique. L'azote total est assimilable à l'azote organique.

7. Métaux.

Fer et cuivre totaux sont mesurés par absorption atomique après digestion à l'acide chlorhydrique et à l'acide nitrique, d'après la méthode décrite par CHARLOU et al. (1983).

8. Expression des résultats.

Les résultats sont exprimés en microatome gramme de l'élément considéré, par gramme de sédiment sec. Connaissant les teneurs en eau et les volumes d'extraction, nous pouvons calculer les résultats en fonction d'un volume donné d'eau interstitielle, afin de les comparer avec ceux des autres auteurs.

RESULTATS

Les teneurs en sels nutritifs sont plus élevées, et présentent des variations plus grandes dans les couches superficielles 0-2 cm à 0-5 cm. Aussi considérons-nous essentiellement ces niveaux.

1. Azote et phosphore minéraux dissous. (figures 3 à 12)

1.1. En avril.

1.1.a. Sédiments sableux.

Nitrites plus nitrates des sédiments sableux du Mont-St-Michel et de la Baie des Veys atteignent au maximum 0.1 $\mu\text{atg N/g}$, et les phosphates 0.05 $\mu\text{atg P/g}$.

1.1.b. Sédiments vaseux.

L'azote minéral dissous ($\text{NO}_2 + \text{NO}_3$) s'élève à 2.26 $\mu\text{atg N/g}$ dans le Port de Lanildut, 1.65 $\mu\text{atg N/g}$ à Antifer et 0.85 $\mu\text{atg N/g}$ au Porz Tinduff en rade de Brest. Ailleurs les teneurs sont comprises entre 0.6 $\mu\text{atg N/g}$ (haut d'estran de la cale de l'Aber Ildut) et 0.15 $\mu\text{atg N/g}$ (Baie de Vilaine : plage du Logo).

Le phosphore minéral dissous (PO_4) est de 0.95 $\mu\text{atg P/g}$ à Antifer et 0.8 $\mu\text{atg P/g}$ au Porz Tinduff en rade de Brest. Ailleurs les valeurs les plus élevées, de 0.35 à 0.55 $\mu\text{atg P/g}$ touchent les ports du Havre et de Lanildut, le haut d'estran de la cale de l'Aber Ildut, ainsi que Pouppeville et la plage du Logo en Baie de Vilaine. Les teneurs plus faibles varient autour de 0.1 $\mu\text{atg P/g}$.

1.2. En juillet.

1.2.a. Sédiments sableux.

Les teneurs en sels nutritifs des sédiments sableux tendent à diminuer en juillet, à l'exception de ceux de la Passe de Carentan en Baie des Veys, où l'azote atteint 0.2 $\mu\text{atg N/g}$ et le phosphore 0.1 $\mu\text{atg P/g}$.

1.2.b. Sédiment vaseux.

Deux tendances s'observent quant à l'évolution de l'azote minéral dissous en juillet :

- Les sédiments où les concentrations d'azote diminuent, c'est le cas des points cités pour leurs teneurs précédentes très élevées : Antifer 0.15 $\mu\text{atg N/g}$, Lanildut et Porz Tinduff 0.2 $\mu\text{atg N/g}$. De même les sédiments à teneurs moyennes ou faibles voient cette tendance s'accroître : Port de Kerascoët en rade de Brest (0.1 $\mu\text{atg N/g}$), Pouppeville (0.05 $\mu\text{atg N/g}$), et un point de l'Aber Ildut (0.2 $\mu\text{atg N/g}$).
- Les sédiments où les concentrations augmentent fortement : dans le Bassin du Havre (1.2 $\mu\text{atg N/g}$), le haut de l'estran de la cale de l'Aber Ildut (3.85 $\mu\text{atg N/g}$) et Lestraouen en rade de Brest (0.95 $\mu\text{atg N/g}$). Dans le port de Pouldavid la teneur en azote de juillet est environ 5 fois plus élevée qu'en avril (0.5 $\mu\text{atg N/g}$).

Les autres sites restent inchangés.

La tendance prédominante du phosphore minéral dissous est une diminution qui ramène les teneurs élevées des premières observations à des valeurs très inférieures, voisines de 0.2 $\mu\text{atg P/g}$.

Certains sites se distinguent cependant par l'augmentation des concentrations : le haut de l'estran de la cale de l'Aber Ildut (1.6 $\mu\text{atg P/g}$), le port de Pouldavid (0.3 $\mu\text{atg P/g}$), et en Baie de Bourgneuf à la Coupelasse (0.2 $\mu\text{atg P/g}$) et au passage du Gois (1.75 $\mu\text{atg P/g}$).

Quelques points restent inchangés : le port de Lanildut et Pouppeville déjà signalés pour leurs teneurs élevées en avril, Fouras et la Baie d'Yves en Charente.

2. Matière organique. (figures 3 à 11 et 13)

La matière organique totale du sédiment estimée d'après les teneurs en carbone et azote organiques totaux, est constituée par la matière organique particulaire (MOP) et la matière organique dissoute (MOD).

2.1. En avril.

2.1.a. Sédiments sableux.

Dans les prélèvements sableux du Mont-St-Michel et de la Baie des Veys les teneurs en carbone organique n'ont pas été mentionnés à cause des problèmes rencontrés pour l'estimation du carbone minéral, comme nous l'avons signalé plus haut. L'azote organique n'est présent qu'à l'état de traces en Baie des Veys, et oscille autour de 0.05 % sur l'épaisseur 0-15 cm en Baie du Mont-St-Michel.

2.1.b. Sédiments vaseux.

Dans les sédiments vaseux les teneurs en azote organique sont beaucoup plus élevées, pratiquement toujours supérieures à 0.1 % dans les couches 0-5 cm. Elles peuvent atteindre 0.5 % dans le sédiment superficiel du bassin de la Barre et 0.8 % dans le port de Lanildut, 0.6 % à Kerascoët en rade de Brest. Les valeurs sont beaucoup plus faibles dans les couches inférieures.

Le carbone organique total des sédiments vaseux se trouve à des concentrations approximativement 10 fois plus élevées que celles de l'azote organique, comprises entre 0.8 % à Morgat en baie de Douarnenez, et 15 % dans le port de Lanildut.

2.2. En juillet.

C et N organiques n'évoluent pas dans le même sens dans tous les sites.

2.2.a. Sédiments sableux.

Dans les sédiments sableux de Baie des Veys, l'azote organique est plus abondant en juillet qu'en avril oscillant autour de 0.05 %. Au Mont-St-Michel les teneurs de surface (0-1 cm) sont également plus élevées mais l'ensemble de l'azote organique total varie autour de 0.05 %.

2.2.b. Sédiments vaseux.

Dans les sédiments vaseux l'azote organique est approximativement diminué de moitié par rapport aux teneurs d'avril, à l'exception de la Baie de Bourgneuf où les valeurs obtenues sont presque identiques, voisines de 0.1 %, de même qu'au Havre et à Antifer.

Le carbone organique total présente également une diminution par rapport aux teneurs du mois d'avril, à l'exception d'Antifer où le COT atteint 4 %, de l'Aber Ildut : 3 %, et du Havre où les teneurs sont à peu près constantes.

Conclusion.

Les teneurs en C et N organiques sont, d'une façon générale, plus élevées en avril qu'en juillet, et dans les couches 0-5 cm par rapport aux couches profondes.

3. Fer et cuivre totaux. (figures 3 à 11 et 14)

3.1. En avril.

3.1.a. Fer.

Les teneurs en fer sont faibles dans les sédiments sableux : 0.12 matg/g au Mont-St-Michel, 0.08 matg/g en Baie des Veys.

Dans les sédiments vaseux le fer est plus abondant notamment dans les secteurs comme Le Havre, en rade de Brest, ainsi que les zones portuaires de la presqu'île de Fouras, où il dépasse 0.6 matg/g. Le sédiment de la Baie de Vilaine à la page du Logo se remarque également par une concentration élevée : 0.58 matg/g. Les autres valeurs sont comprises entre 0.22 matg/g en Baie de Bourgneuf, et 0.57 matg/g en Baie d'Yves en Charente.

3.1.b. Cuivre.

Le cuivre est environ 1000 fois moins concentré que le fer, et se trouve à l'état de traces dans les sédiments sableux. Les sédiments des zones portuaires mentionnées ci-dessus pour leur richesse en fer présentent également des teneurs en cuivre supérieures à 0.5 μ atg/g. Remarquons le bassin de la Barre au Havre où la concentration atteint 3.81 μ atg/g. L'ensemble des autres concentrations obtenues varient entre 0.09 μ atg/g en baie de Bourgneuf, et 0.32 μ atg/g en haut de l'estran de la cale de l'Aber Ildut.

3.2. En juillet.

3.2.a. Fer.

En juillet les teneurs en fer tendent à diminuer. L'abaissement, variable, peut atteindre 72 % dans le port de Lanildut. Les valeurs dépassant 0.60 matg/g se rencontrent encore au Havre : 0.84 matg/g et en quelques points de rade de Brest où elles augmentent : 0.75 et 0.95 matg/g.

3.2.b. Cuivre.

Le cuivre présente des teneurs légèrement plus élevées en juillet qu'en avril. Les régions les plus pauvres : sédiments sableux du Mont-St-Michel et baie des Veys, baie de Bourgneuf, ont au maximum 0.18 μ atg/g, tandis que les sédiments les plus riches en cuivre au mois d'avril présentent des teneurs encore plus élevées en juillet : Le Havre 7.3 μ atg/g, rade de Brest (Kerascoët aval) 0.64 μ atg/g, port de Pouldavid 0.73 μ atg/g.

DISCUSSION

1. Sels nutritifs.

Les analyses des sels nutritifs relargables montrent la variété des situations rencontrées.

Les échantillons vaseux présentent une couche superficielle plus riche en sels nutritifs que les parties sous-jacentes. Ceci correspond aux observations de KLUMP et al. (1981) dans Cape Lockout Bight, et traduit l'importance de l'activité bactérienne.

Les teneurs élevées en sels nutritifs au mois d'avril correspondent au stock hivernal produit dès l'automne par les bactéries et pas encore consommé (CAMMEN, 1984). Cette situation s'observe dans le bassin de service à Antifer (bassin ouvert), en rade de Brest au Tinduff et à Kerascoët et dans le port de Lanildut. L'abondance des phosphates relargables révèle soit des conditions réductrices signalées comme favorables au développement des eaux colorées (FUKAZAWA, 1980) ; où l'arrivée d'eaux usées chargées en détergents accompagnés de phosphates.

Des conditions très réductrices se retrouvent également au mois d'avril dans le bassin de la Barre au Havre (bassin fermé). Les concentrations en phosphates y sont élevées, tandis que les nitrates, utilisables comme source d'oxygène par les bactéries dénitrifiantes dans les milieux anoxiques sont relativement faibles (DEBYSER, 1959 dans SEITSINGER, 1980 ; BAGLINIERE, 1978).

Le port de Lanildut présente une situation particulière par les teneurs très élevées en azote rencontrées en avril (2.26 $\mu\text{atg N/g}$). Ces dernières ne s'expliquent que par un apport exogène d'azote, prédominant sur les relargages naturels (WALSH et al., 1981).

Les teneurs en sels nutritifs les plus faibles sont mesurées dans le port de Fouras en Charente, en un point de l'Aber Ildut (Milin an aod), à Morgat, dans les zones conchylicoles : baie d'Yves en Charente, baie de

Bourgneuf, et dans les sédiments sableux de baie des Veys et du Mont-St-Michel. La plage du Logo en baie de Vilaine, influencée par la proximité des activités urbaines, présente des concentrations élevées en phosphates.

Les concentrations très diminuées en juillet coïncident avec une matière organique abondante. Il est permis de supposer que l'épuisement de l'eau en sels nutritifs par les prélèvements du phytoplancton, entraîne un déséquilibre par rapport à l'eau interstitielle du sédiment. Celle-ci relargue alors les sels solubles. Les organismes phytobenthiques puisent également leurs substances nutritives dans le milieu interstitiel. Ces deux phénomènes : diffusion dans l'eau et consommation benthique concourent à diminuer les teneurs en sels nutritifs.

Cependant quelques cas particuliers sont à signaler :

- les sédiments prélevés à Pouldavid en baie de Douarnenez sont plus riches en sels nutritifs au mois de juillet, tant en phosphates qu'en nitrates, résultat probable d'une forte activité bactérienne stimulée par l'élévation des températures.
- de même, les sédiments échantillonnés à proximité de quelques régions agricoles : Lestraouen en rade de Brest à $0.95 \mu\text{atg N/g}$, et le haut de l'estran de la cale (Aber Ildut) avec $3.85 \mu\text{atg N/g}$ et $1.5 \mu\text{atg P/g}$ sont plus riches en juillet. Il est vraisemblable que dans ce dernier cas nitrates et phosphates soient d'origine exogène.

Le rapport N/P (tableaux 1 et 2) est difficile à exploiter car les sites étudiés sont susceptibles d'être soumis à de nombreuses perturbations extérieures. Un apport excédentaire en substances azotées dans les zones voisines de régions agricoles, ou des arrivées d'eaux usées d'origine urbaine, riches en phosphates ne permettent pas d'en déterminer les valeurs dans les conditions naturelles.

Les teneurs en sels nutritifs relargables dans les sédiments côtiers intertidaux ne constituent pas à eux seuls un facteur caractéristique des sites touchés par le phénomène "eaux colorées". On notera toutefois

les concentrations particulièrement élevées dans les zones portuaires (Le Havre, Kerascoët et Tinduff en rade de Brest, Lanildut) et les régions à fortes activités agricoles (Aber Ildut, presqu'île de Plougastel en rade de Brest).

2. La matière organique.

La matière organique totale estimée d'après les teneurs des sédiments en carbone organique total (COT) et azote organique total (NOT) est constituée par la matière organique dissoute et la matière organique particulaire. Dans les sédiments côtiers celle-ci n'est composée pratiquement que de végétaux détritiques ou vivants (CAUWET, 1981 ; PROUSE, 1984).

La richesse en matière organique s'accompagne de teneurs en eau plus élevées allant jusqu'à 80 %, tandis que les sédiments sableux, pauvres en substances détritiques, n'excèdent pas 30 % d'eau (fig. 15).

La matière organique est répartie d'une manière à peu près homogène dans l'épaisseur du sédiment observé, bien que l'ensemble des analyses présente les premiers centimètres comme une zone riche en matière organique totale. Cette couche superficielle se caractérise par une teinte plus claire due à l'état oxydé qui se traduit par un potentiel d'oxydoréduction positif.

La matière organique des couches inférieures enfouie sous des sédiments plus frais, se trouve privée de ses transformateurs aérobie. Les bactéries dénitrifiantes et sulfato-réductrices assurent alors l'oxydation de la matière organique par action enzymatique. Il se produit un dégagement gazeux d'hydrogène sulfureux et d'azote. SEITSINGER (1985) estime qu'ainsi jusqu'à 33 % de la production azotée totale dans le milieu marin peuvent être relargués sous forme gazeuse.

Ce phénomène se traduit par l'évolution de la composition sédimentaire en carbone et azote organiques. Ainsi C/N est souvent plus élevé dans la couche réduite (zone C des tableaux 1 et 2) : 22.6 en avril

au Havre (au lieu de 13.7 et 19.1 dans les couches sus-jacentes), 40.1 au passage du Gois en baie de Bourgneuf en avril (12.1 et 14.4 dans les couches supérieures). En surface également les rapports C/N peuvent présenter des valeurs légèrement supérieures à celles de la couche inférieure, car l'azote est consommable sous forme d'acides aminés libres par certains organismes planctoniques (RICHARDSON, 1982).

En avril la matière organique analysée serait de nature essentiellement détritique et d'origine hivernale d'après RUDNICK. La sédimentation serait abondante dans les eaux productives selon KEISER et al. (1984), mais PARKER (1982) rapporte dans une étude sur la baie de Belfast, que les taux de matière organique élevés reflètent les risques de contaminations industrielle et domestique. C'est le cas de quelques échantillons : ceux du Havre, du port de Kerascoët en rade de Brest, des stations portuaires de la presqu'île de Fouras, où le carbone organique total dépasse 4 %. Ces situations riches en substances organiques créent des conditions anoxiques déjà mentionnées dans d'autres travaux pour leur rôle possible dans l'initiation de certains blooms d'eaux colorées (UYENO, 1973 dans FUKAZAWA, 1980). Les autres valeurs avoisinant 2 à 3 % sont comparables à celles présentées par KEIZER dans la baie de Fundy au Canada et ROSENTAL dans la False Bay en Afrique du Sud.

En juillet la couche claire superficielle est plus fine et n'atteint parfois que quelques millimètres. L'activité bactérienne stimulée par des températures élevées (RUDNICK et al., 1986) transforme la matière organique détritique en substances minéralisées ou semi-dégradées. Ce phénomène touche également les particules détritiques en suspension et leur déposition. Ainsi, quand la minéralisation est prédominante, on observe une diminution de la matière organique sédimentée par rapport à celle du mois d'avril (Kerascoët en rade de Brest, Pouldavid en baie de Douarnenez). En revanche si l'activité phytobenthique est importante, carbone et azote organiques restent inchangés en juillet. Cette observation concerne les couches superficielles des zones conchylicoles : plage du Logo en baie de Vilaine, baie d'Yves en Charente, Bourgneuf ; et les sédiments riches en organismes fouisseurs (lanices, bivalves) comme en baie des Veys. En haut de l'estran de la cale (Aber Ildut) les teneurs en matière organique sont encore plus élevées qu'en avril ; associées à des concentrations élevées en sels nutritifs, elles révèlent un milieu particulièrement riche.

La richesse en matière organique est un critère difficile à associer directement au phénomène "eaux colorées", bien que parmi les régions épargnées la baie de Bourgneuf et le Mont-St-Michel présentent des teneurs moins élevées qu'en d'autres sites. Cependant elle constitue l'un des facteurs indicateurs de pollution par les rejets industriels, agricoles et urbains (JONES et JORDAN, 1979 dans PARKER, 1982), et on remarque alors les zones touchées : le port du Havre, Kerascoët en rade de Brest et certains points de l'Aber Ildut (cale de l'aber).

3. Les métaux.

Si le fer a souvent été cité pour son action stimulatrice sur la croissance des organismes et son intervention dans l'apparition des eaux colorées (LANGSTON, 1986 ; FISHER, 1986), le cuivre ionique est reconnu comme inhibiteur de la phosphatase alcaline et donc toxique pour de nombreux organismes (BEN MOUSSA et al., 1986 ; RUETER et al., 1979, 1981, 1983 ; ERICKSON, 1978 ; RIISGARD H.U., 1979).

Fer.

Les sédiments les plus riches en fer ont été signalés précédemment pour leurs teneurs élevées en sels nutritifs ou en matières organiques, dans les zones portuaires ou proches de régions agricoles. Cependant, contrairement aux résultats de INGLE et al. (1971) et KIM (1974) relatifs à l'élévation des concentrations en fer dans l'eau avant l'apparition des blooms de dinoflagellés (eaux colorées), les teneurs en fer total du sédiment ne permettent pas de différencier les sites touchés par les eaux colorées de ceux qui sont épargnés. Le fer étant le métal prédominant dans la composition sédimentaire, les fluctuations reliables au phénomène "eaux colorées" interviendraient pour une part négligeable.

Comme l'a mentionné AMIARD et al. (1982) dans les études sur les sédiments de la baie de Bourgneuf, les teneurs en fer diminuent en juillet dans la plupart des sites étudiés. Nos résultats montrent que lorsque la matière organique est plus abondante en surface à la même période (en particulier l'azote organique), le fer diminue moins et peut même augmenter

(Le Havre, Aber Ildut, Lestraouen, Bourgneuf). Cette élévation peut être attribuée à la complexation du métal par la matière organique détritique, ou à sa fixation par les organismes vivants.

Cuivre.

Les teneurs en cuivre sont nettement plus élevées dans les sédiments portuaires (7.23 $\mu\text{atg Cu/g}$ à Antifer ; 0.7 à 0.4 $\mu\text{atg Cu/g}$ dans les autres ports), probablement en raison des relargages par les peintures de substances biocides à base de cuivre, utilisées pour freiner la corrosion. Les zones situées à proximité des régions agricoles montrent des teneurs en cuivre comprises entre 0.12 et 0.39 $\mu\text{atg Cu/g}$. Le relargage du cuivre par les eaux continentales étant vraisemblablement peu important en dehors des périodes de fortes précipitations, la concentration du cuivre dans ces zones serait la conséquence de son piégeage à partir de l'eau côtière par la matière organique sédimentée (haut d'estran, cale de l'Aber Ildut : 0.39 $\mu\text{atg Cu/g}$). Les résultats les plus élevés obtenus dans certaines zones conchylicoles (plage du Logo en baie de Vilaine, baie d'Yves en Charente) auraient probablement la même origine. Il est cependant remarquable que les teneurs en cuivre de la baie de Bourgneuf soient au-dessous des concentrations trouvées dans les autres sites du même type, et se rapprochent de celles des sédiments sableux (Mont-St-Michel, baie des Veys).

Les sédiments sont plus riches en cuivre au mois de juillet qu'en avril, conformément aux observations d'autres auteurs dans des milieux semblables (METAYER et al., 1985).

La chélation de ces métaux par les substances organiques serait quasi-permanente, tout en leur permettant une grande mobilité vis-à-vis des complexants (ACKROYD et al., 1986). De nombreuses études réalisées sur la répartition des métaux dans différents substrats montrent leur affinité avec les sédiments fins et riches en matière organique (ROSENTAL et al., 1986 ; WARD et al., 1981 ; DEFOREST et al., 1978). Nous avons obtenu cette relation en avril entre le cuivre et l'azote organique total principalement (tableaux 1 et 2, fig. 16). La corrélation semble moins bonne avec le fer. La position des points correspondant aux sites où aucun cas d'eaux colorées

n'a été mentionné jusqu'à la date des prélèvements, met en évidence la pauvreté en substances organiques et en métaux de ces lieux (baie de Bourgneuf, Mont-St-Michel). Les points représentant l'Aber-Ildut le placent parmi les régions touchées, étant donné la composition des sédiments. Or, l'année suivant celle de cette étude un bloom de Prorocentrum micans a été signalé.

Les teneurs du sédiment superficiel oxydé en cuivre total et en azote organique total constituent dans cette étude un indice utilisable pour différencier les sites touchés par les apparitions d'eaux colorées de ceux qui ne le sont pas. Cependant, aucune relation quantitative n'apparaît entre la fréquence des apparitions et la richesse en substances organiques et en métaux.

CONCLUSION

Les paramètres chimiques mesurés dans le sédiment au cours de cette étude : sels nutritifs relargables, matière organique et métaux, ne permettent pas à eux seuls d'établir une relation quantitative entre leurs teneurs et les apparitions d'eaux colorées dans les zones côtières correspondantes.

Néanmoins nous avons montré la pauvreté en matière organique et en cuivre de deux sites non touchés par le phénomène : la baie de Bourgneuf et la baie du Mont-St-Michel. Les valeurs-limites maximales démarquant les zones épargnées des zones sensibles seraient d'après ces analyses : 2.2 % de carbone organique, 0.2 % d'azote organique et 0.18 μatg cuivre/g sédiment sec.

La globalité des observations conduit également à retrouver dans les concentrations en matière organique et en métaux, des teneurs-limites caractéristiques des activités économiques des régions avoisinant les sites étudiés. Ainsi, les zones portuaires se démarquent par leur composition toujours supérieure à 1.2 % d'azote organique et 0.2 μatg Cu/g sédiment sec. Les sites côtiers proches des zones agricoles comprenant également des zones conchylicoles à eaux colorées (baie de Vilaine, Charente), présentent des teneurs en azote organique comprises entre 0.05 % et 0.65 %, et en cuivre allant de 0.12 à 0.40 μatg Cu/g sédiment sec.

A la suite de ces observations il semble que les paramètres chimiques étudiés ne constituent pas à eux seuls des critères de différenciation des sites, face au phénomène "eaux colorées". Deux raisons peuvent être dégagées : d'une part les facteurs étudiés ne sont pas suffisamment impliqués dans la cause du phénomène ; d'autre part, une analyse plus fine des substances - organiques ou organo-métalliques par exemple - conduirait à mieux estimer la relation : qualité du sédiment - fréquence d'apparition d'eaux colorées.

Par le biais d'autres analyses enfin, du type bio-essais, l'effet régulateur du sédiment sur le développement de quelques organismes phytoplanctoniques pourrait être mis en évidence.

BIBLIOGRAPHIE

- ACKROYD D.R., BALE A.J., HOWLAND R.J.M., KNOX S., MILLWARD G.E., MORRIS A.W., 1986.
Distribution and behaviour of dissolved Cu, Zn and Mn in the Tamar Estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 23, p. 621-640.
- ALDO VIARENGO, 1985.
Biochemical effects of trace metals. *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 16, n° 4, p. 153-158.
- AMIARD J.C., AMIARD-TRIQUET C., METAYER C., 1982.
Distribution de quelques métaux (Cd, Pb, Cu, Zn) chez les organismes vivants de l'estuaire de la Loire et des zones côtières adjacentes. *Bull. Soc. Sc. nat. Ouest de la France*, nouvelle série, Tome 4 (4), p. 153-168.
- ANDERSON D.M., MOREL F.M.M., 1978.
Copper Sensivity of Gonyaulax tamarensis. *Limnology and Oceanography*, 23 (2), p. 283-295.
- BAGLINIERE C., 1978.
Répartition et évolution des substances nutritives dans l'eau interstitielle des sédiments de la marge continentale le long de la Côte d'Azur. Thèse 3e cycle, Université P. et M. Curie, Paris VI.
- BEN MOUSSA H., MARTIN G., RICHARD Y., LE PRINCE A., 1986.
Etude de l'inhibition de la nitrification par les cations des métaux lourds. *Water Research*, Vol. 20, n° 11, p. 1333-1339.
- CAMMEN L.M., 1984.
Microbial ecology of the Bay of Fundy. *Canadian Technical Report of Fisheries and aquatic Sciences*, n° 1256, p. 115-134.
- CAUWET G., 1981.
Non living particulate matter. *Marine organic chemistry*. Elsevier *Oceanography Series* 31, Edit. DUURSMA et DAWSON, ch. 4, p. 71-89.
- CHARLOU J.L., JOANNY M., 1983.
Dosage du mercure et d'autres métaux dans les sédiments marins par absorption atomique. *Manuel des analyses chimiques en milieu marin*, CNEXO-Documentation, Brest, p. 285-295.
- DEFOREST A., MURPHY S.P., PETTIS R.W., 1978.
Heavy metals in sediments from the Central New South Wales Coastal Region. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*, 29, p. 777-785.
- DOIG M.T., III, MARTIN D.F., 1974.
The effect of naturally occurring organic substances on the growth of a red tide organism. *Water Research*, Vol. 8, p. 601-606.

- ERICKSON S.J., LACKIE N., MALONEY T.E., 1970.
A screening technique for estimating copper toxicity to estuarine phytoplankton. *Journal of the water pollutions control federation*, V. 42, n° 8 (2), p. R.270-R.278.
- FISHER N., 1986.
On the reactivity of metals for marine phytoplankton. *Limnology and Oceanography*, 31 (2), p. 443-449.
- FUKAZAWA N., ISHIMARU T., TAKAHASHI M., FUJITA Y., 1980.
A mechanism of "red tide" formation. I. Growth rate estimate by DCMU induced fluorescence increase. *Marine ecology, Progress series*, Vol. 3, p. 217-222.
- GAVIS J., GRANT V., 1986.
Sulfide, iron, manganese and phosphate in the deep water of the Chesapeake Bay during Anoxia. *Estuarine, coastal and Shelf Science*, 23, p. 451-463.
- GENTIEN P., 1983.
Etude écologique du site Cotentin-Centre. 1er volume, rapport CNEOX-ELGMM, p. 22-24.
- GRANELI E., PERSSON H., EDLER L., 1986.
Connection between trace metals, chelators and Red Tide blooms in the Laholm Bay, SE Kattegat. An experimental approach. *Marine Environmental Research*, 18, p. 61-78.
- HOLDSWORTH E.S., 1985.
Effects of growth factors and light quality on the growth, pigmentation and photosynthesis of two diatoms, Thalassiosira gravida and Phaeodactylum tricornutum. *Marine Biology*, 86, p. 253-262.
- INGLE R.M., MARTIN D.F., 1971.
Prediction of the Florida Red Tide by means of the iron index. Red Tide, iron and humic acid levels in streams. *Environmental Letters*, 1, p. 69-74.
- JONES G.B., JORDAN M.B., 1979.
The distribution of organic material and trace metals in sediments from the River Liffey estuary, Dublin. *Estuarine and Coastal Marine Science*, 8, p. 37-47.
- KEIZER P.D., GORDON D.C., HAYES E.R., 1984.
A brief overview of recent chemical research in the Bay of Fundy. Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences, n° 1256, p. 45-64.
- KIM Y.S., MARTIN D.F., 1974.
Inter-relation - ship of Peace River parameters as a basis of the iron index : A predictive guide to the Florida Red Tide. *Water Research*, 8, p. 607-616.

- KLUMP J.V., MARTENS C.S., 1981.
Biogeochemical cycling in an organic rich coastal marine basin.
II. Nutrient sediment - water exchange processes. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 45, p. 101-121.
- LANGSTON W.J., 1986.
Metals in sediments and benthic organisms in the Mersey Estuary.
Estuarine, coastal and Shelf Science, 23, p. 239-261.
- METAYER C., AMIARD J.C., AMIARD-TRIQUET C., BERTHET B., 1985.
Facteurs biologiques et écologiques contrôlant le niveau
d'éléments-traces (Cd, Pb, Cu, Zn) chez les moules et les huîtres
de la Baie de Bourgneuf. *Bull. Soc. Sc. nat. Ouest de la France*,
nouvelle série, tome 7 (2), p. 53-69.
- PARKER J.G., 1982.
Structure and chemistry of sediments in Belfast Lough, a
semi-enclosed marine bay. *Estuarine, coastal and Shelf Science*,
15, p. 373-384.
- PRAKASH A., RASHID M.A., 1968.
Influence of humic substances on the growth of marine
phytoplankton : Dinoflagellates. *Limnology and Oceanography*, 13,
p. 598-606.
- PROUSE N.J., GORDON Jr D.C., HARGRAVE B.T., BIRD C.J., Mc LACHLAN J.,
LAKSHMINARAYANA J.S.S., SITA DEVI J., THOMAS M.L.H., 1984.
Primary production : organic matter supply to ecosystems in the
Bay of Fundy. Canadian Technical report of Fisheries and Aquatic
Sciences, n° 1256, p. 65-96.
- RICHARDSON K., FOGG G.E., 1982.
The role of dissolved organic material in the nutrition and
survival of marine dinoflagellates. *Phycologia*, Vol. 21 (1),
p. 17-26.
- RIISGARD H.U., 1979.
Effect of copper on volume regulation in the marine flagellate
Dunabiella marina. *Marine Biology*, 50, p. 189-193.
- ROSENTAL R., EAGLE G.A., ORREN M.J., 1986.
Trace metal distribution in different chemical fractions of
nearshore marine sediments. *Estuarine, coastal and Shelf Science*,
22, p. 303-324.
- RUDNICK D.T., OVIATT C.A., 1986.
Seasonal lags between organic carbon deposition and
mineralization in marine sediments. *Journal of Marine Research*,
Vol. 44, n° 4, p. 815-837.
- RUETER Jr J.G., Mc CARTHY J.J., CARPENTER E.J., 1979.
The toxic effect of copper on Oscillatoria trichodesmium.
Limnology and Oceanography, Vol. 24, n° 3, p. 558-562.
- RUETER Jr J.G., CHISHOLM S.W., MOREL F.M.M., 1981.
Effects of copper toxicity on silicic acid uptake and growth in
Thalassiosira pseudonema. *Journal of Phycology*, 17, p. 270-278.

RUETER Jr J.G., 1983.

Alkaline phosphatase inhibition by copper : implication to phosphorus nutrition and use as a biochemical marker of toxicity. *Limnology and Oceanography*, vol. 28, n° 4, p. 743-748.

SEITZINGER S., NIXON S., PILSON M.E.Q., BURKE S., 1980.

Denitrification and N_2O production in nearshore marine sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 44, p. 1853-1860.

SEITZINGER S., NIXON S., 1985.

Eutrophication and the rate of denitrification and N_2O production in coastal marine sediments. *Limnology and Oceanography*, Vol. 30, n° 6, p. 1332-1339.

STRICKLAND J.D.H., PARSONS T.R., 1972.

A practical handbook of sea water analysis. Fisheries Research Board of Canada, Bulletin 167.

TREGUER P., LE CORRE P., 1975.

Manuel d'analyse des sels nutritifs dans l'eau de mer. Utilisation de l'Auto-analyser II Technicon. Laboratoire d'Océanologie Chimique, Université de Bretagne Occidentale, Brest.

WALSH J.J., ROWE G.T., IVERSON R.L., Mc ROY C.P., 1981.

Biological export of shelf carbon is a sink of the global CO_2 cycle. *Nature* 291, p. 196-201.

WARD T.J., YOUNG P.C., 1981.

Trace metal contamination of shallow marine sediments near a lead smelter, Spencer Gulf, South Australia. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*, 32, p. 45-56.

Fig.1

présence d'eau colorée ou toxique :

en 1985 d'Antifer à la Gironde

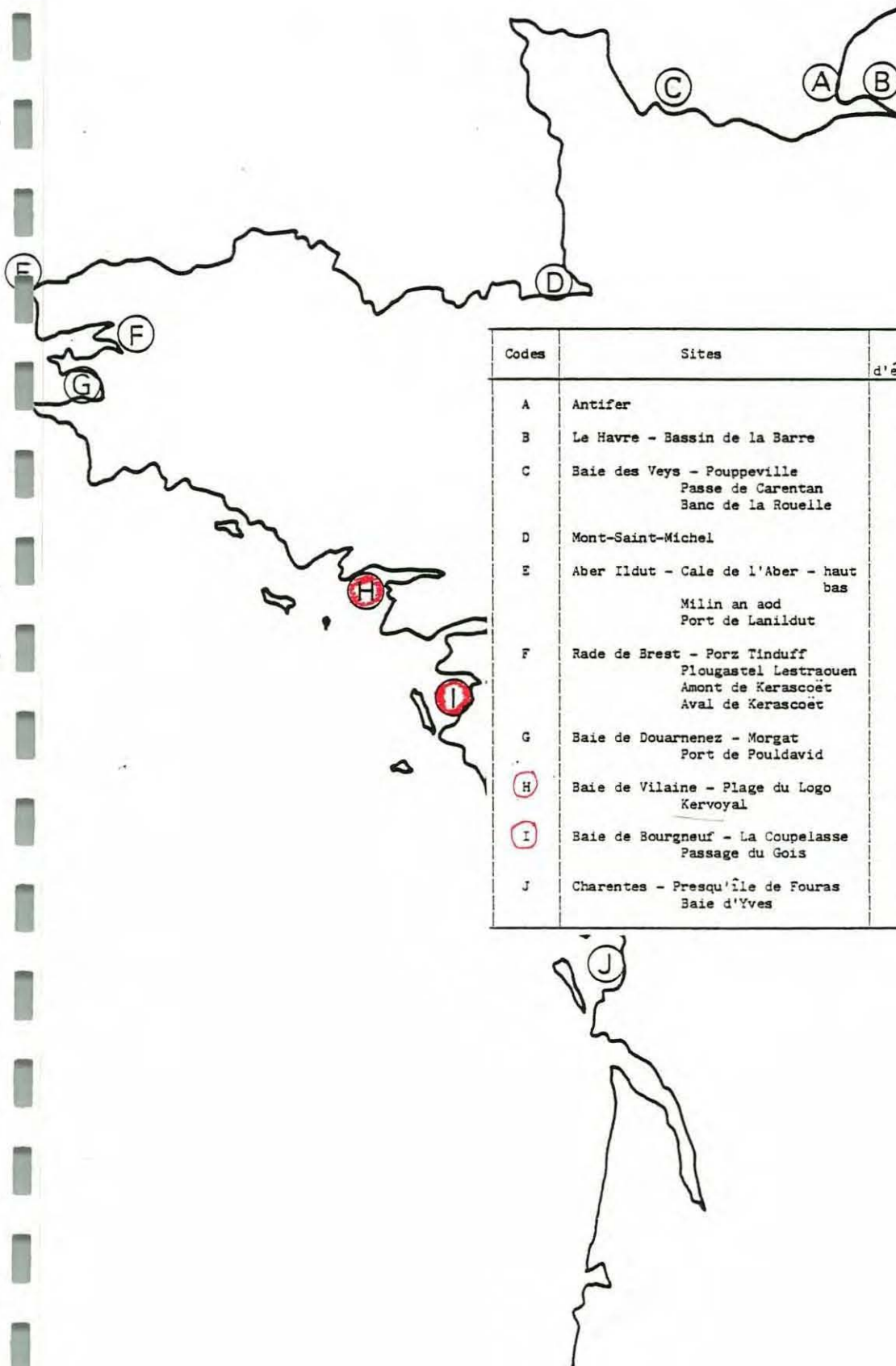
[d'après J.P.Berthome et M.Ryckaert]



Codes	Sites	Nombre de jours de présence d'eaux colorées ou toxiques	Nombre de jours d'interdiction de vente de coquillages
1	ANTIFER	4	
2	LE HAVRE - BASSIN DE LA BARRE	90	
3	BAIE DE SEINE	1	
4	CÔTES DU CALVADOS		23
5	ABER-GENOÛT	2	
6	RADE DE BREST - TINDUFF	2	
7	BAIE DE DOUARNEZ		185
8	PERMARCH A LORIENT	2	
9	LA FORÊT-FOUESNANT		28
10	LE POULDU	1	
11	ILE DE GROIX		20
12	BAIE DE VILAINE	1	
13	PLAGE DE DAMGAN	1	
14	HERBIGNAC	62	
15	ILE DE HOUAT	1	
16	QUEST DE NOIRMONTIER	1	
17	D'YEU A OLERON	1	
18	LES SABLES D'OLONNE	1	
19	PERTUIS BRETON	8	
20	PERTUIS BRETON ET D'ANTIOCHE	14	
21	CHARENTE	1	
22	LES DOUX	1	
23	GIRONDE	1	

Fig.2

Sites étudiés



Codes	Sites	Mode d'échantillonnage	Nature du sédiment	Activités
A	Antifer	immergé	vase	portuaire
B	Le Havre - Bassin de la Barre	immergé	vase	portuaire
C	Baie des Veys - Pouppeville Passe de Carentan Banc de la Rouelle	exondé	vase	agricole
		exondé	sable	
		exondé	sable	conchylicole
D	Mont-Saint-Michel	exondé	sable	
E	Aber Ildut - Cale de l'Aber - haut bas Milin an aod Port de Lanildut	exondé	vase	agricole
		immergé	vase	agricole
		exondé	vase	portuaire
F	Rade de Brest - Porz Tinduff Plougastel Lestraouen Amont de Kerascoët Aval de Kerascoët	exondé	vase	portuaire
		exondé	vase	agricole
		exondé	vase	agricole
		exondé	vase	portuaire
G	Baie de Douarnenez - Morgat Port de Pouldavid	exondé	vase-terre	agricole
		exondé	vase	portuaire
H	Baie de Vilaine - Plage du Logo Kervoyal	exondé	vase	conchylicole
		exondé	vase	conchylicole
I	Baie de Bourgneuf - La Coupelasse Passage du Gois	exondé	vase	conchylicole
		exondé	vase	conchylicole
J	Charentes - Presqu'île de Fouras Baie d'Yves	exondé	vase	portuaire
		exondé		conchylicole

Legende des figures 3 a 11

Teneurs en azote organique total (NOT)

carbone organique total (COT)

azote minéral soluble (NMS)

phosphore minéral soluble (PMS)

fer total (FE)

cuivre total (CU)

en fonction de la profondeur des prélèvements en centimètres.

Résultats obtenus en avril : ————

en juillet : - - - - -

Quelques mesures de potentiel d'oxydoréduction à l'électrode combinée (Pt/calomel) ont été relevées.

Figure 3

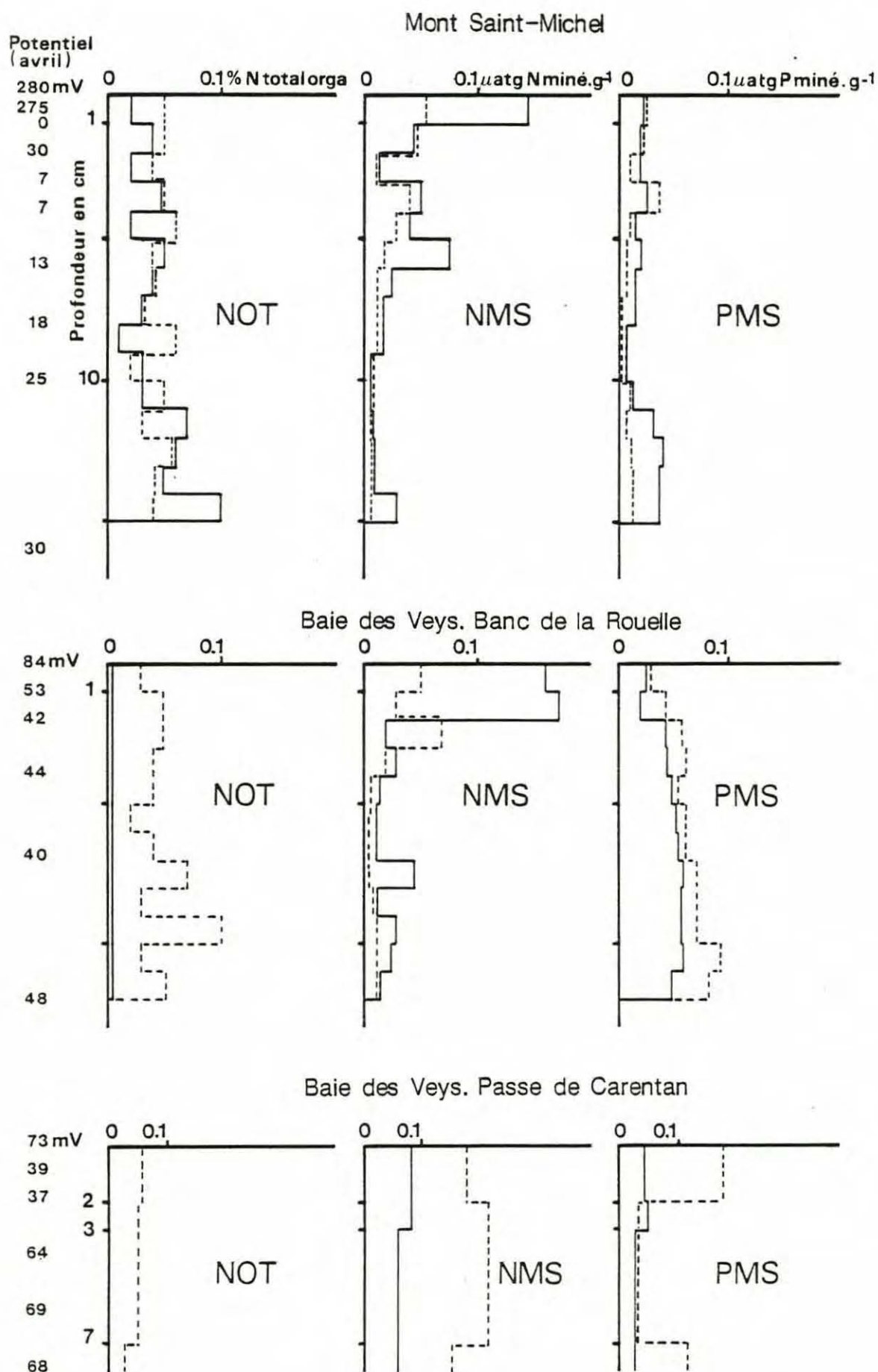


Figure 4

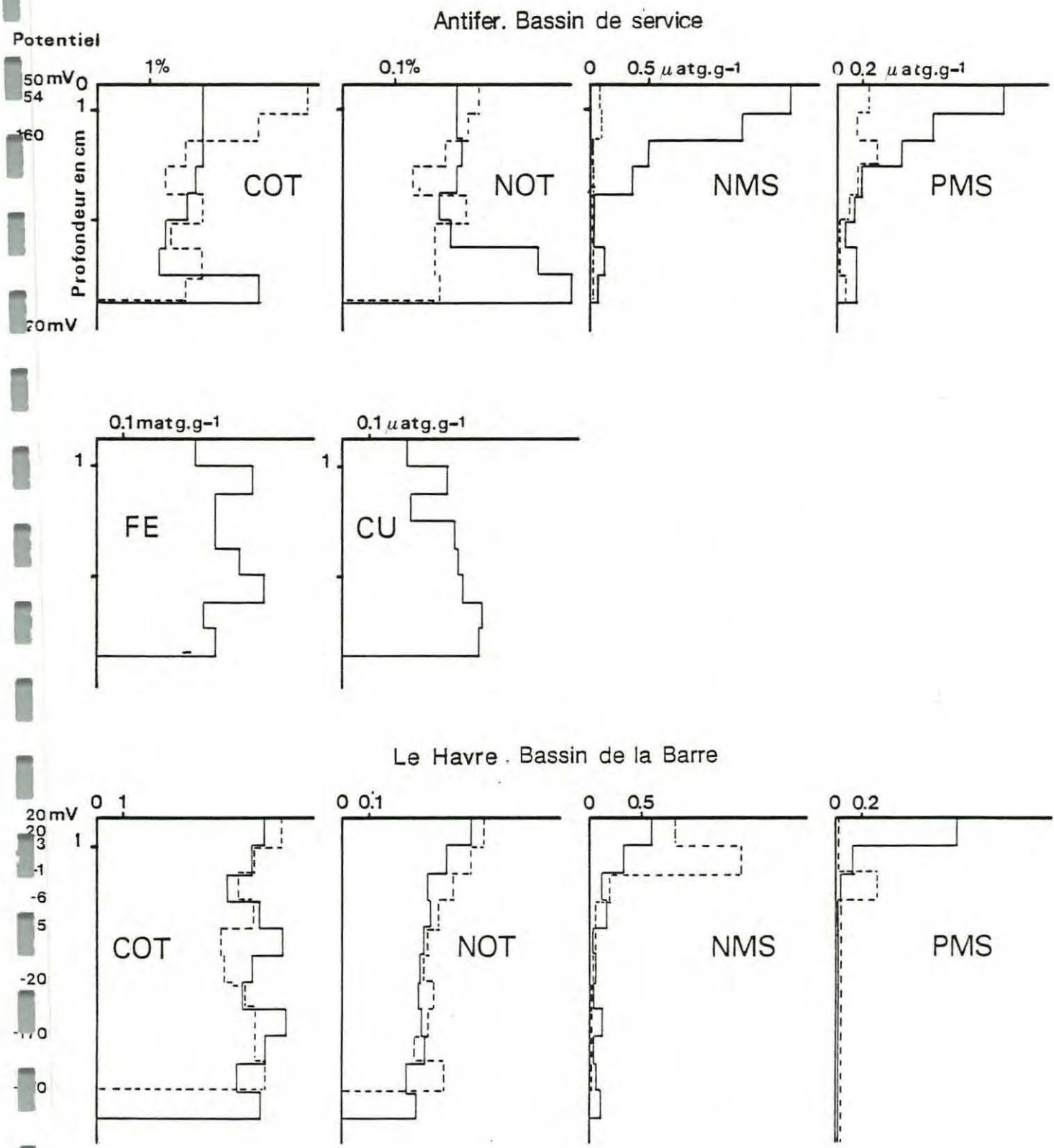
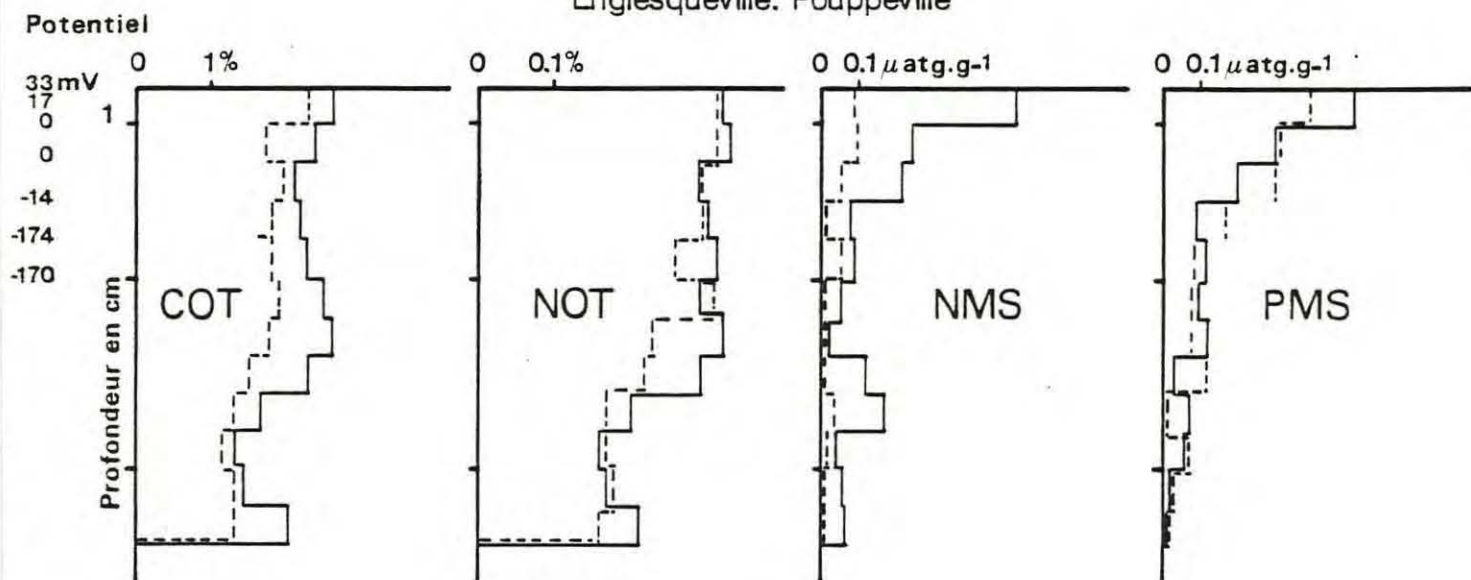


Figure 5

Englesqueville. Pouppeville



Aber lldut. Bas de la cale de l'Aber

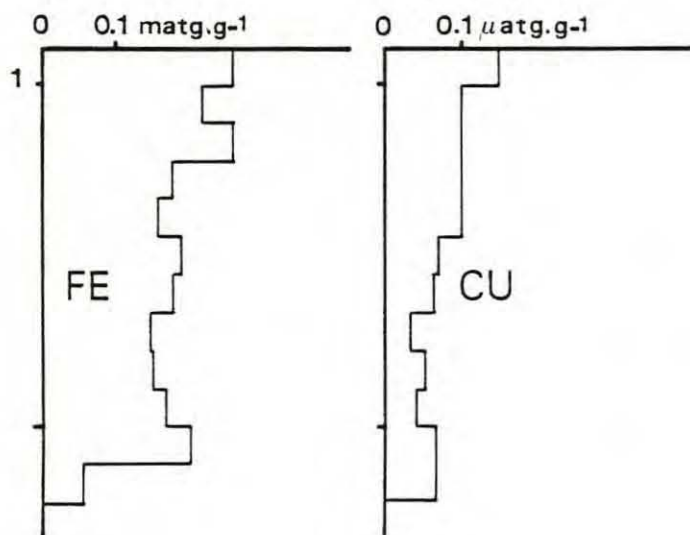
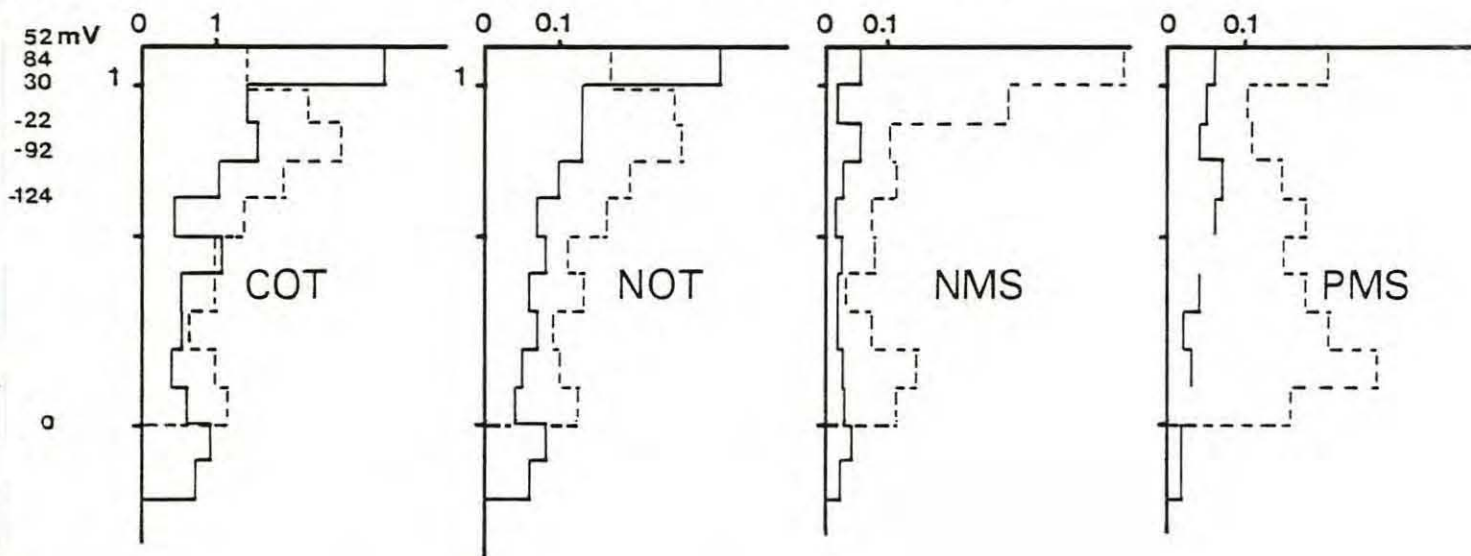


Figure 6

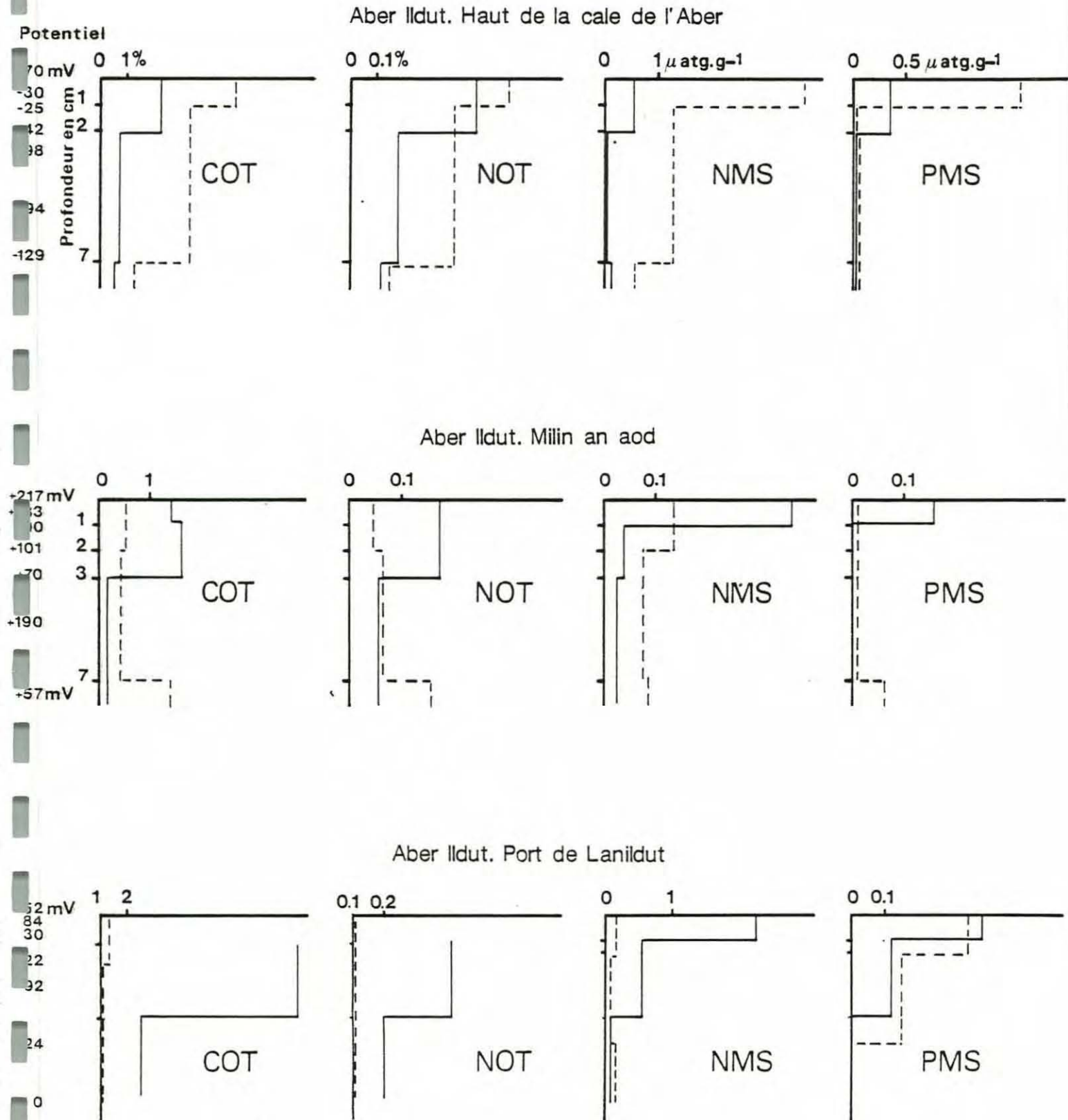
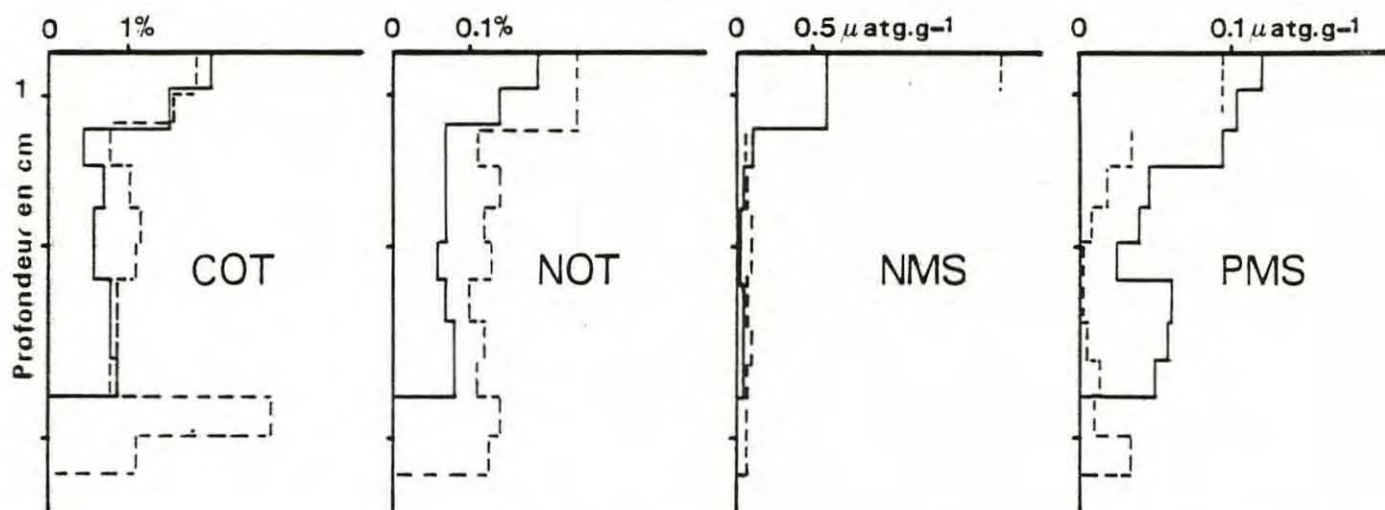
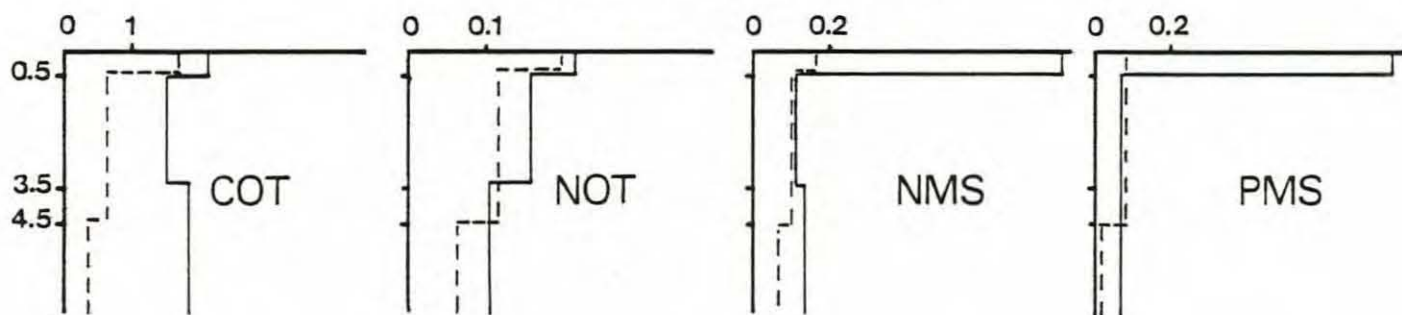


Figure 7

Rade de Brest. Plougestel. Lestraouen

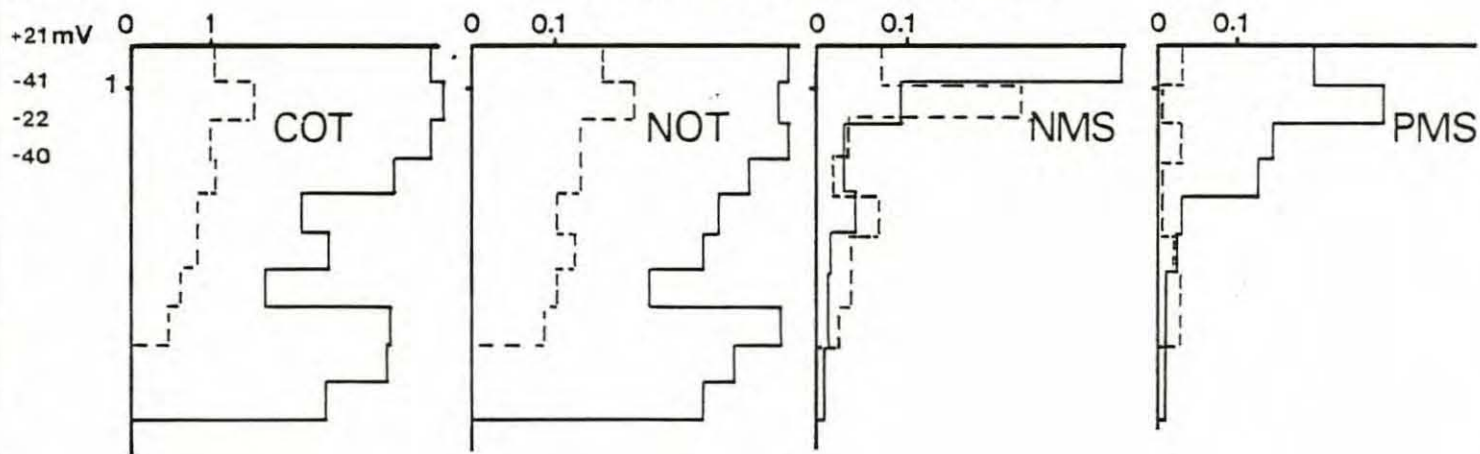


Rade de Brest. Porz Tinduff



Potentiel

Rade de Brest. Aval de Kerascoet



Rade de Brest. Amont de Kerascoet

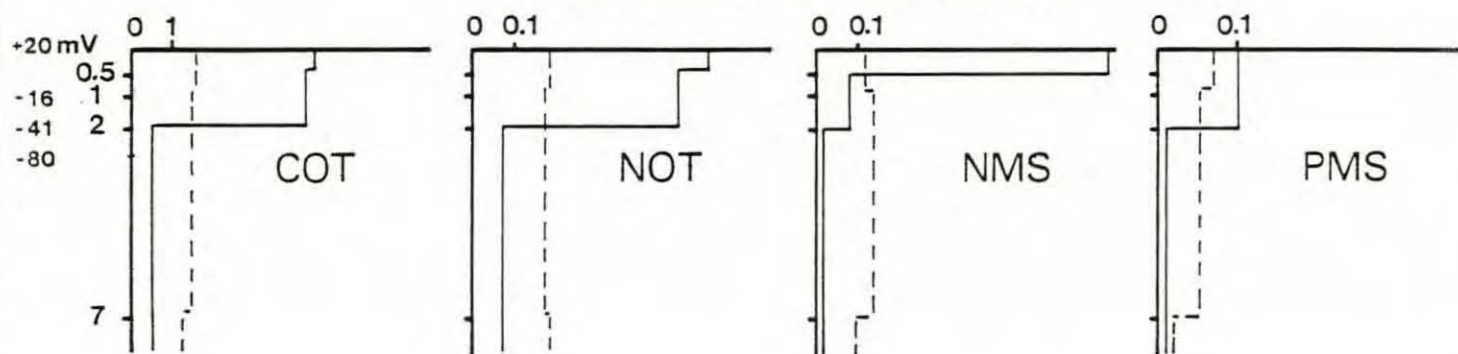


Figure 8

Baie de Douamenez. Morgat

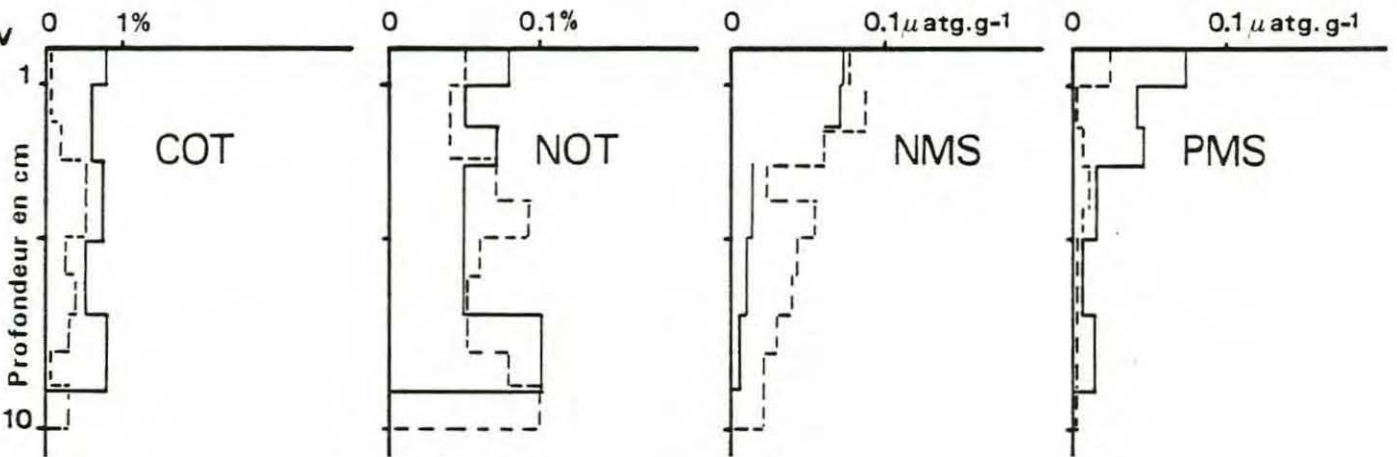
Potentiel
avril

+35 mV

+31

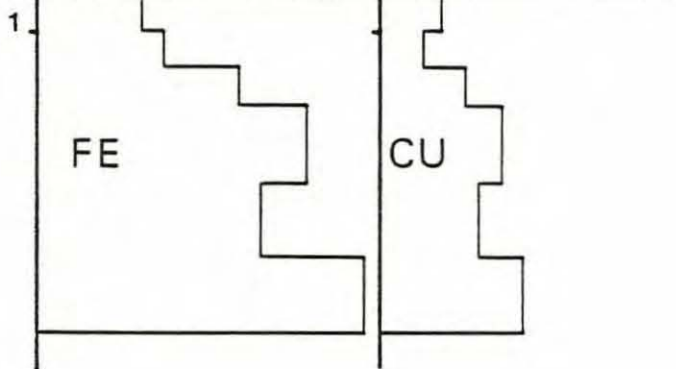
+44

+54



0 0.1 matg.g⁻¹

0 0.1 μ atg.g⁻¹



Baie de Douamenez. Port de Pouldavid

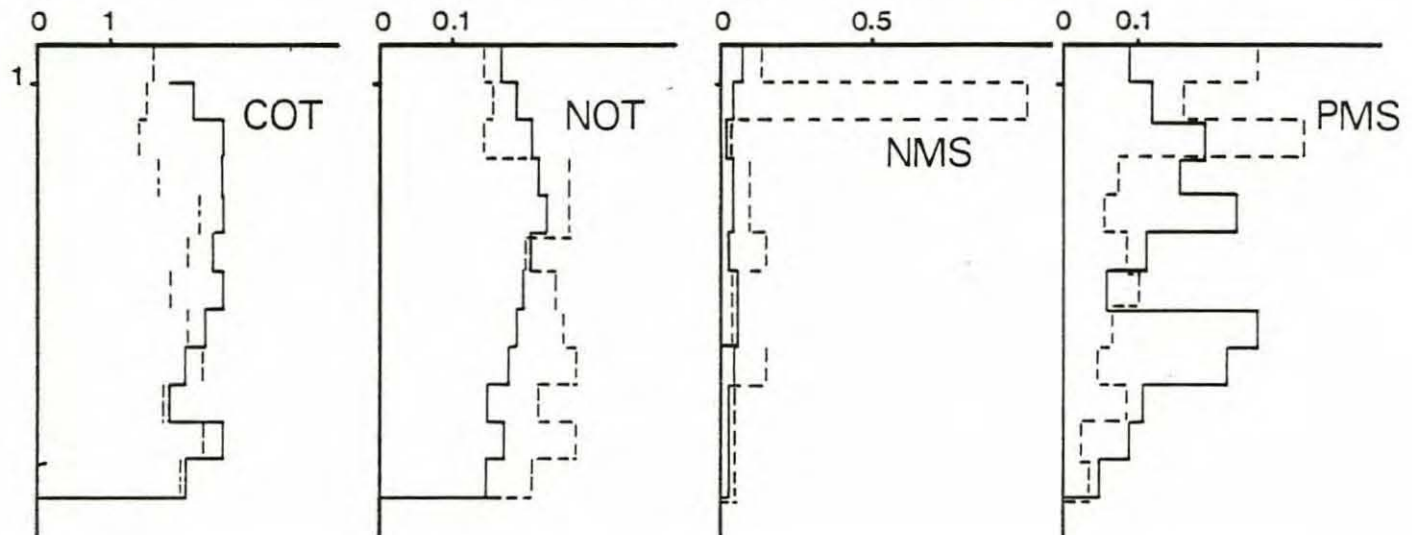
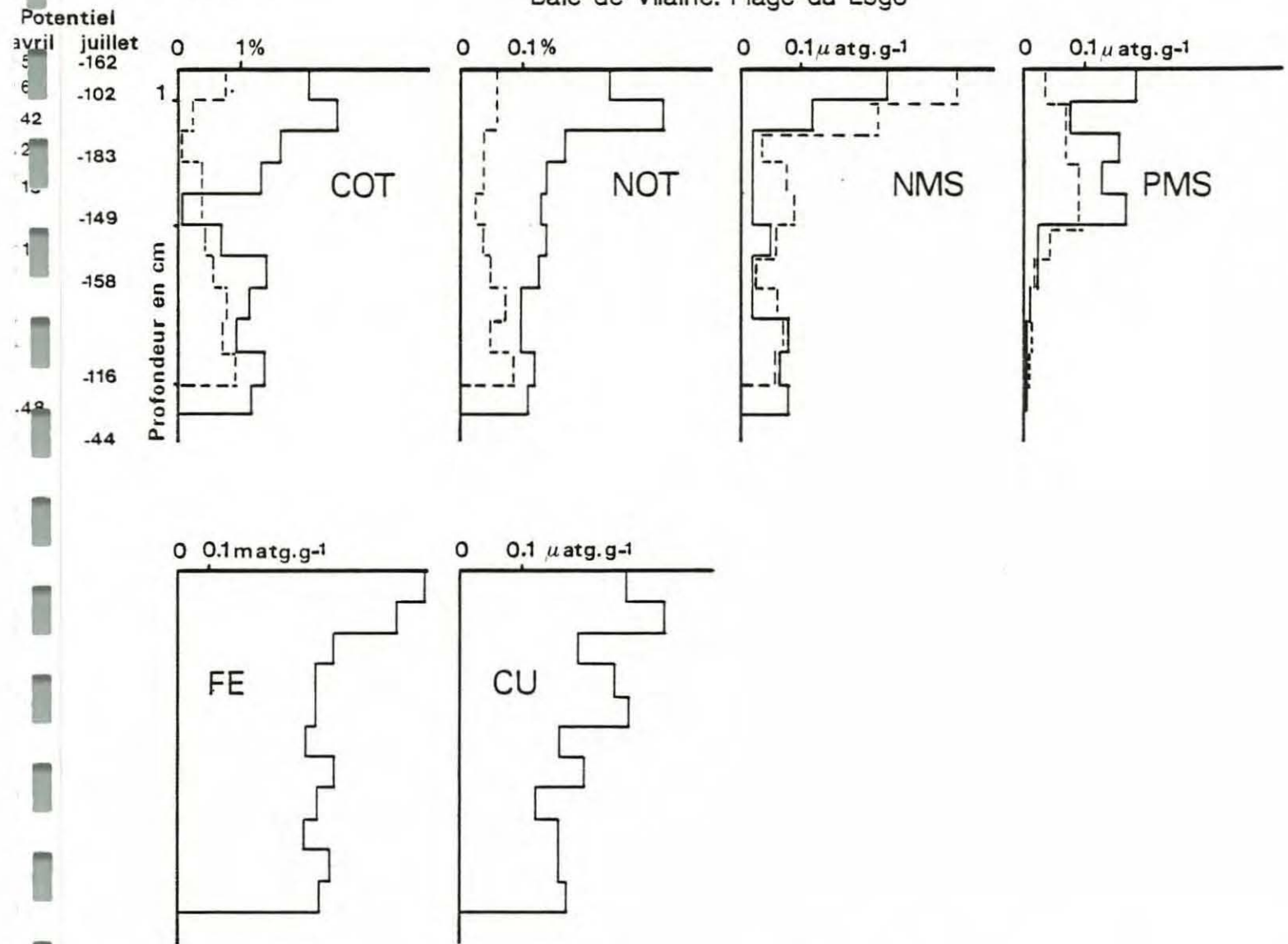
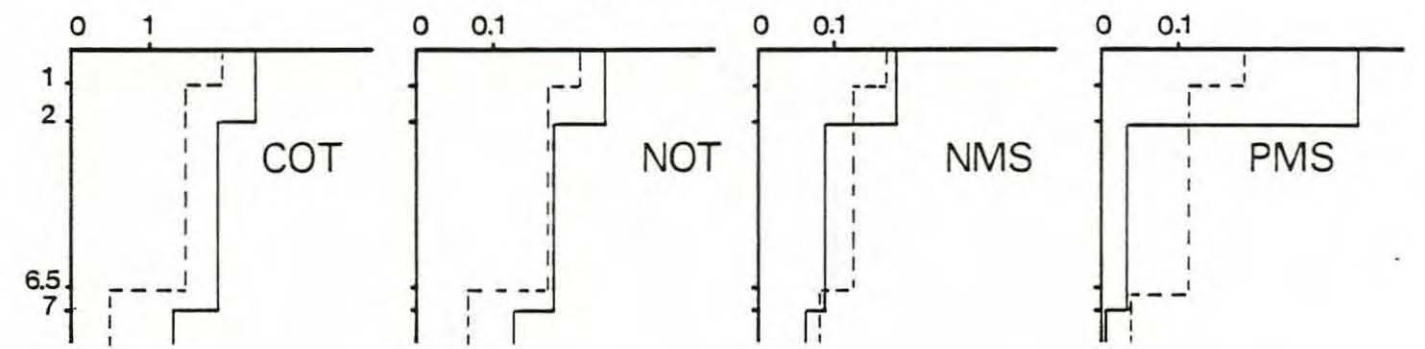


Figure 9

Baie de Vilaine. Plage du Logo



Baie de Vilaine. Plage du Logo



Baie de Vilaine. Kervoyal

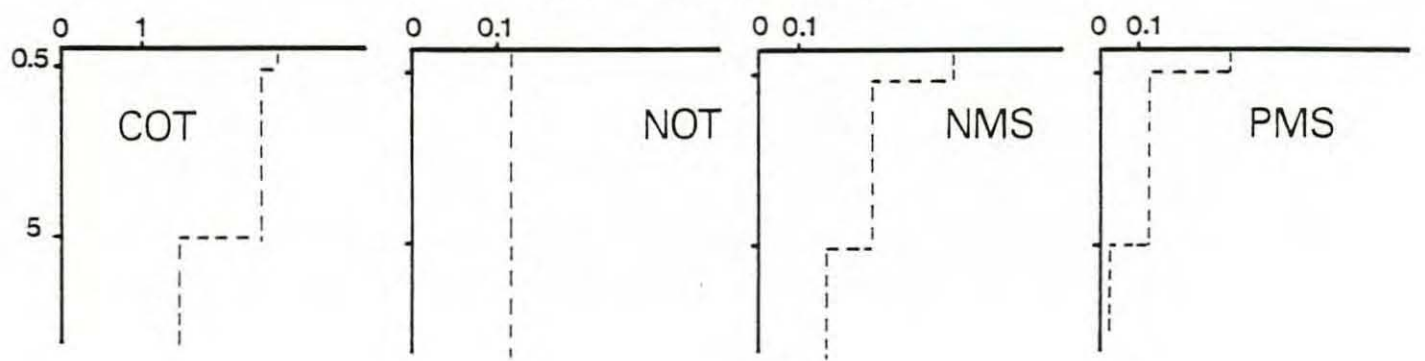


Figure 10

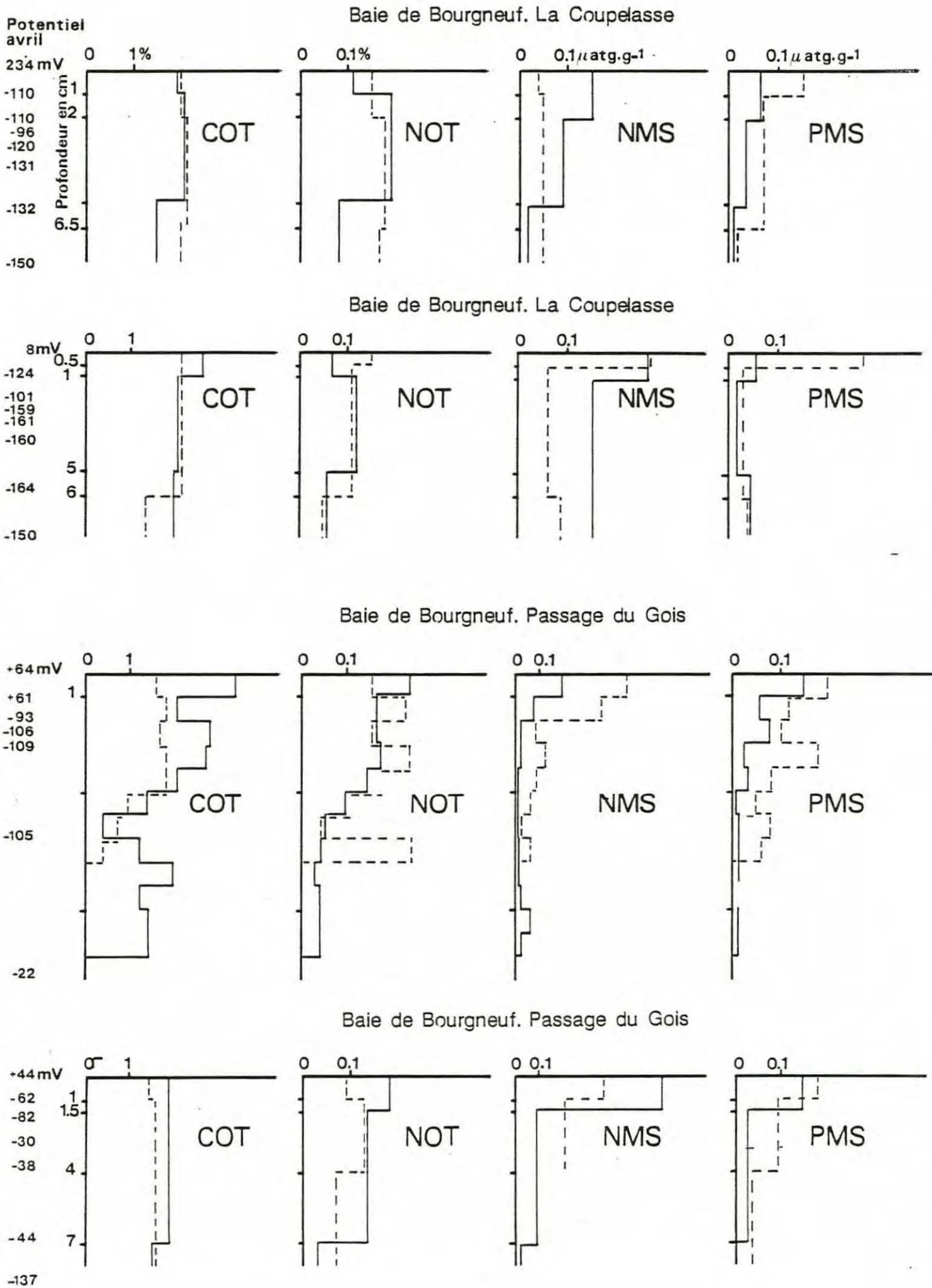


Figure 11

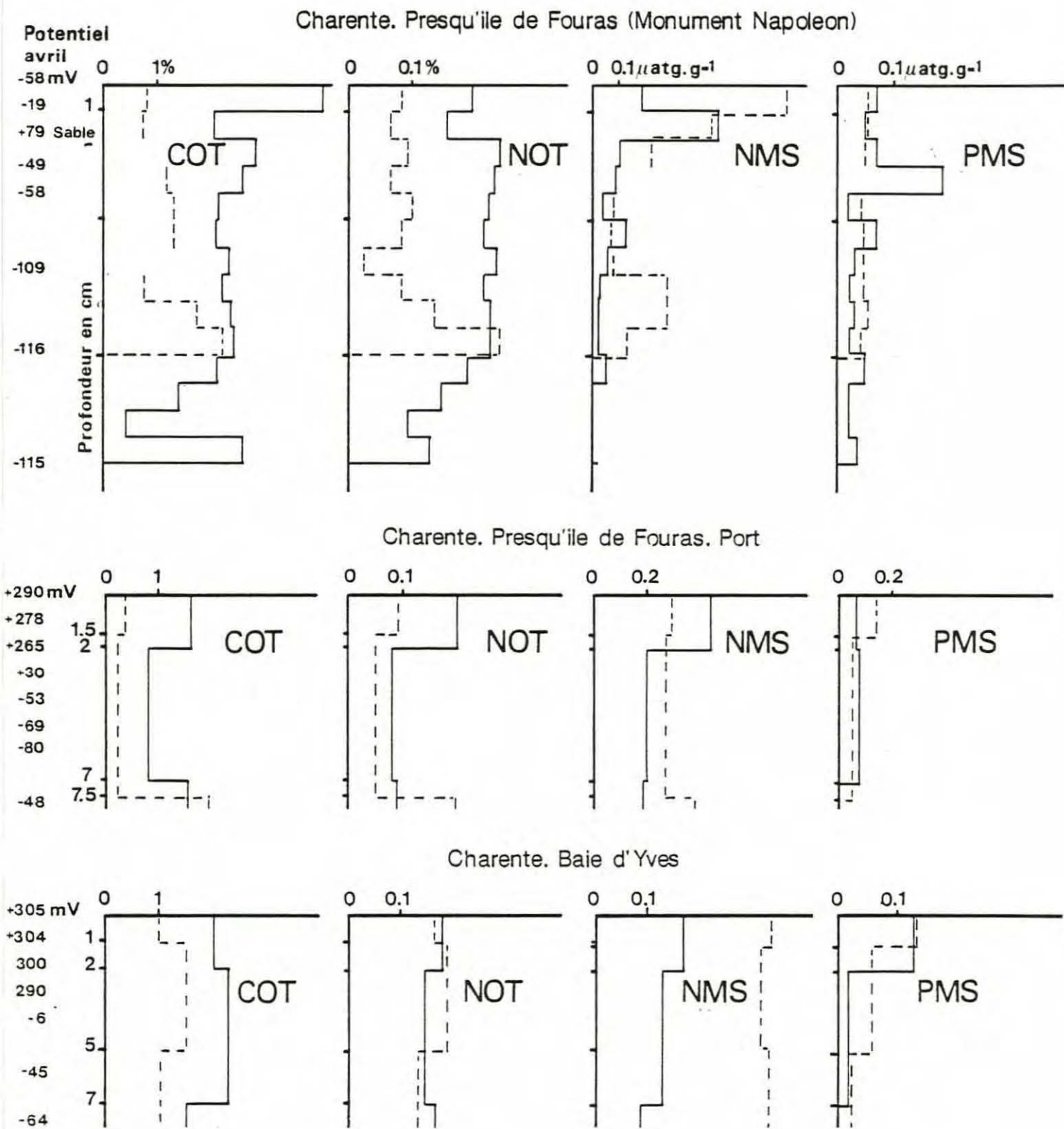


Figure 12

Sédiment superficiel oxydé : teneurs en N ($\text{NO}_2 + \text{NO}_3$) et P (PO_4) relargables en avril (—) et en juillet (---). Classement par activités économiques.

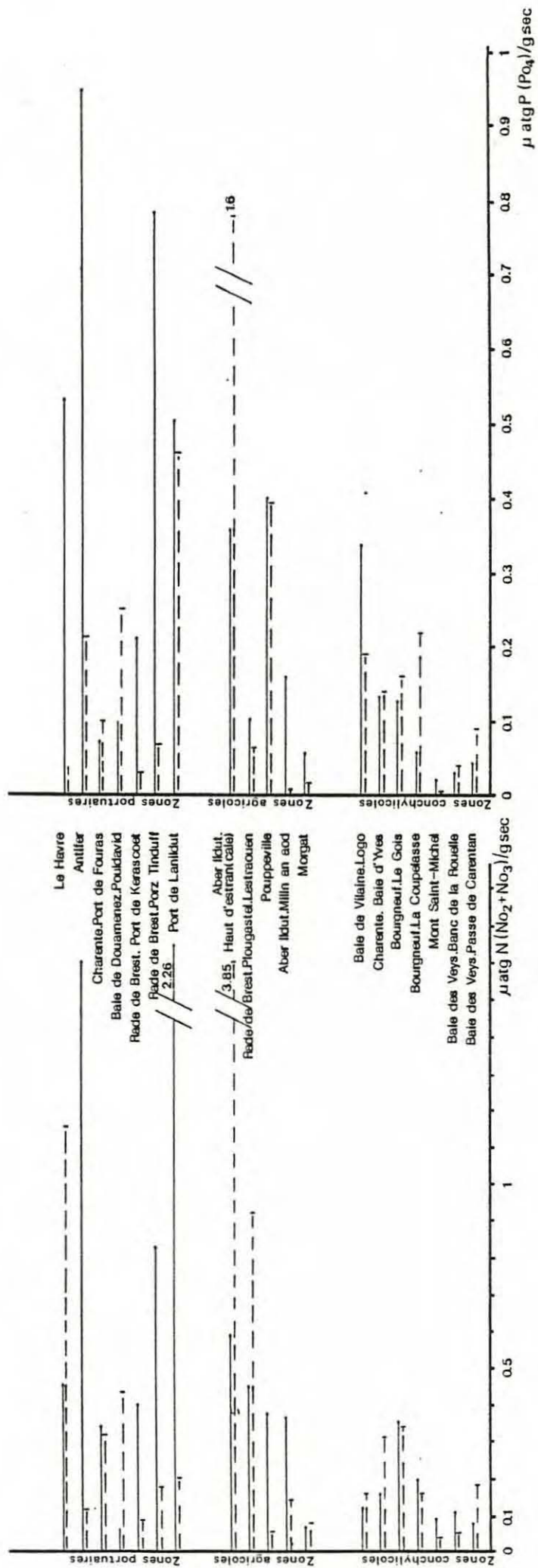


Figure 13

Sédiment superficiel oxydé : teneurs en C et N organiques totaux en avril (—) et en juillet (---). Classement par activités économiques.

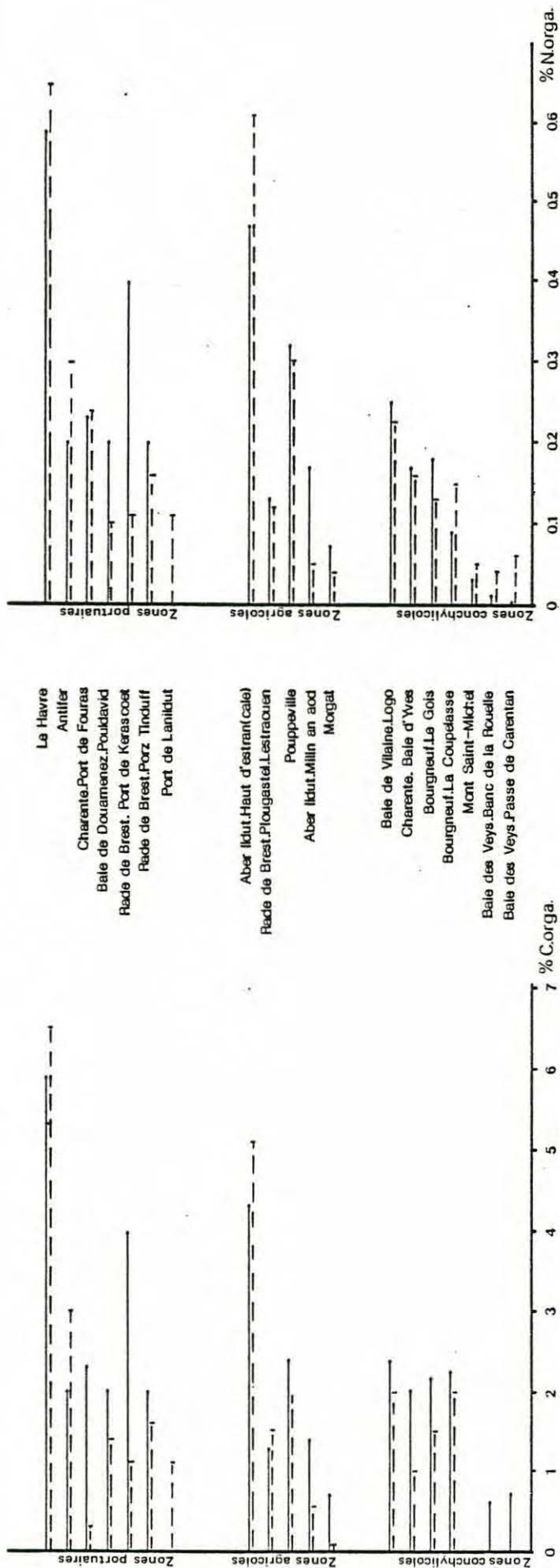


Figure 14

Sédiment superficiel oxydé : teneurs en fer et cuivre totaux en avril (—) et juillet (---). Classement par activités économiques.

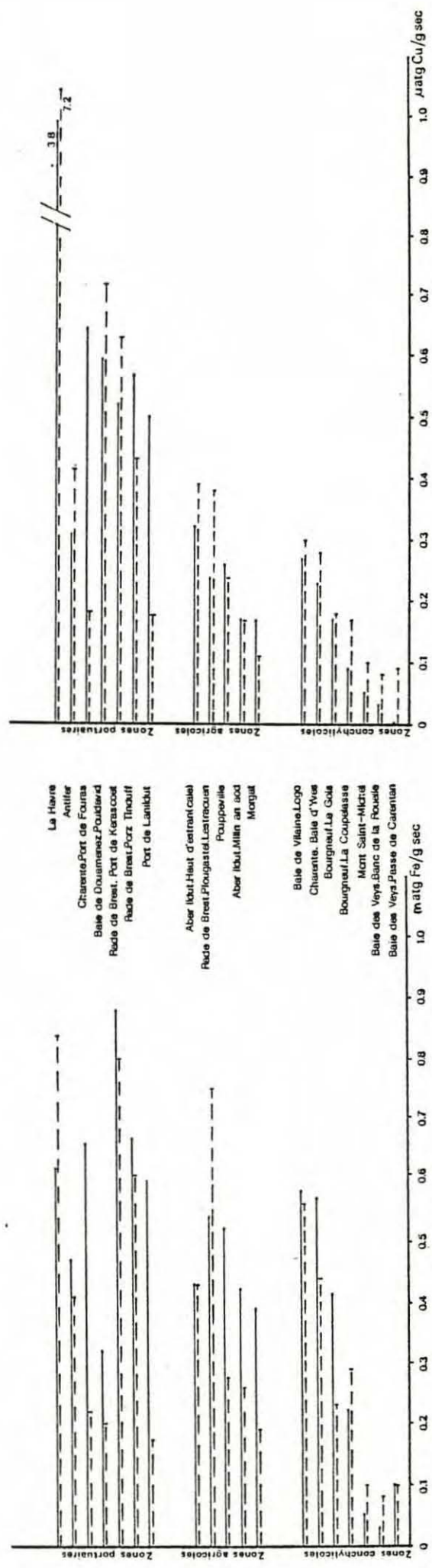
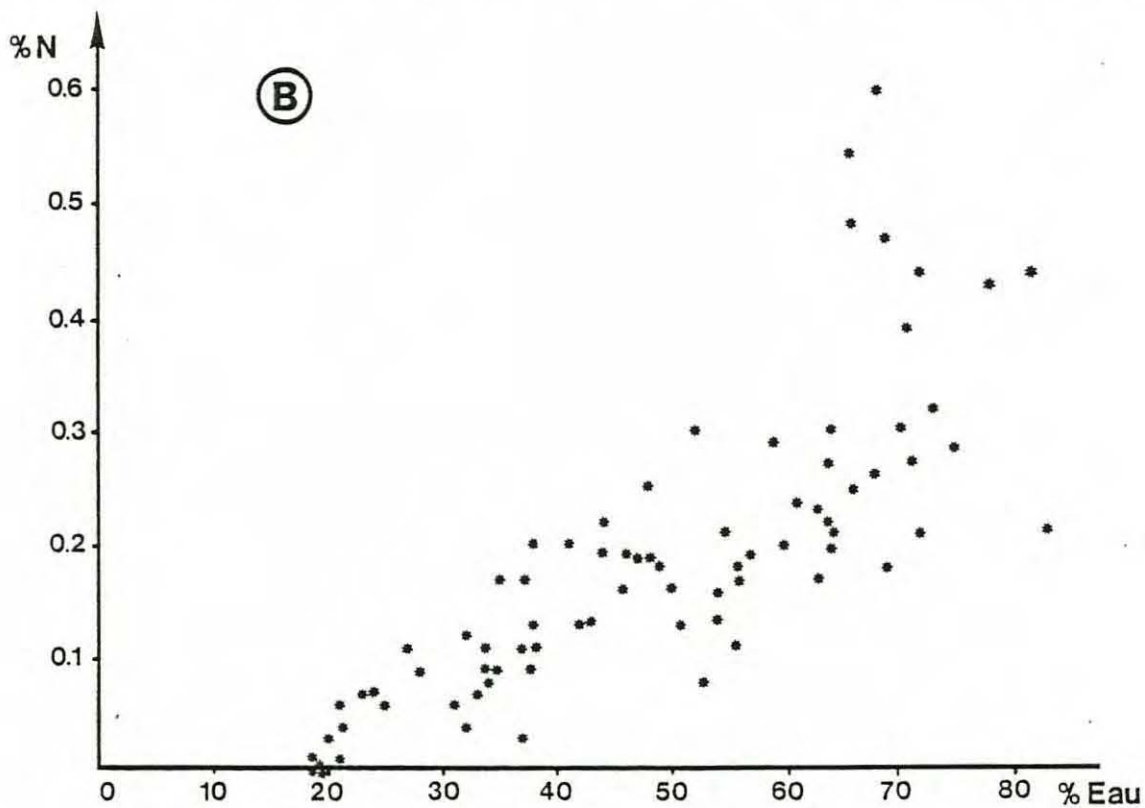
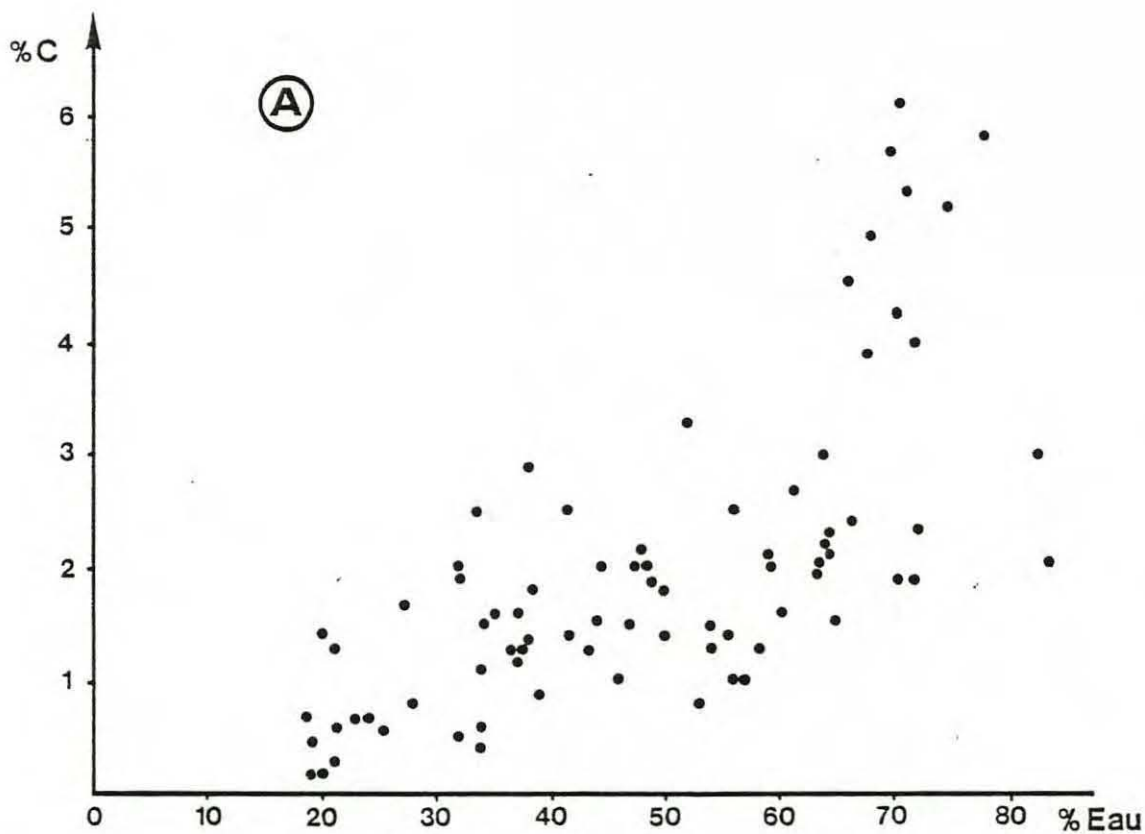


Figure 15



Sédiment superficiel oxydé. Teneurs en carbone(•)
et azote(*) organiques en fonction des teneurs en eau,
en avril et en juillet.

Figure 16

Sédiment superficiel oxydé
teneurs en cuivre en fonction des teneurs en azote total
en avril (*) et en juillet (●).

Les points entourés correspondent à des sites où aucun cas d'eaux colorées n'a été signalé.

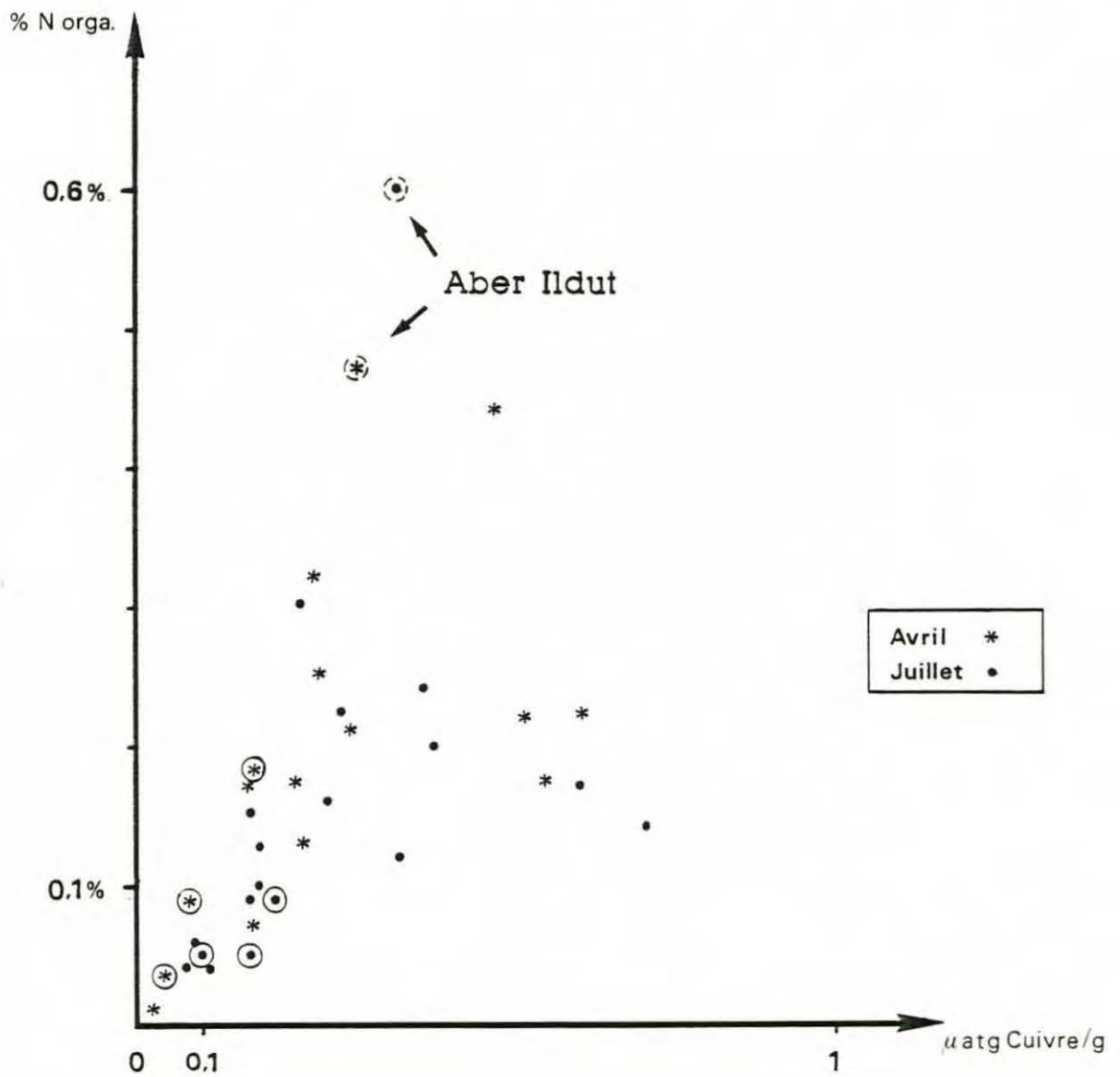


Tableau 1 : Table comparative des paramètres étudiés en avril et juillet 1985 selon leur origine :
 A. Couche superficielle oxydée caractérisée par sa couleur plus claire et son potentiel d'oxydo-réduction positif.
 B. Couche intermédiaire plus sombre.
 C. Couche très réduite, noire.

Sites		N/P minéralisés relargables		C/N organiques totaux		Fer total matg Fe/g sec		Cuivre total µatg Cu/g sec	
		avril	juillet	avril	juillet	avril	juillet	avril	juillet
<u>Sédiment sableux</u>									
Mont-Saint-Michel	A	5.23	2.00			0.12	0.11	0.05	0.10
	B	1.18	1.18						
	C		0.42						
Baie des Veys (Banc de la Rouelle) zone conchylicole	A	4.22	1.22			0.08	0.09	0.03	0.08
	B	0.46	0.09						
	C		0.14						
Baie des Veys (Passe de Carentan)	A	2.02	0.98			0.10	0.10	0	0.09
	B	2.31	6.18						
	C	5.09	1.34						
<u>Sédiment sablo-terreux</u>									
Morgat - Plage de l'Aber	A	4.32	5.15	9.71	1.25	0.39	0.19	0.17	0.11
	B	0.84	1.07	9.28	4.00	0.72		0.32	
	C		11.35		1.87				
<u>Sédiment vaseux immergé</u>									
Antifer	A	1.70	0.54	9.48	12.46	0.47	0.41	0.31	0.42
	B	1.44	0.18	9.05	9.44	0.44		0.38	
	C	0.69	0.34	7.21	9.68	0.49		0.48	
Le Havre (bassin fermé)	A	0.85	38.07	13.67	13.00	0.62	0.84	3.81	7.23
	B	3.04	1.05	19.13	15.29				
	C	7.67	30.00	22.63	17.56				

Tableau 2 : Table comparative des paramètres étudiés en avril et juillet 1985 selon leur origine :
 A. Couche superficielle oxydée caractérisée par sa couleur plus claire et son potentiel d'oxydo-réduction positif.
 B. Couche intermédiaire plus sombre.
 C. Couche très réduite, noire.

Sites		N/P minéralisés relargables		C/N organiques totaux		Fer total matg Fe/g sec		Cuivre total matg Cu/g sec	
		avril	juillet	avril	juillet	avril	juillet	avril	juillet
Sédiment vaseux intertidal									
Baie des Veys - Pouppeville (proximité de zone agricole)	A	0.93	0.14	7.66	6.40	0.52	0.28	0.26	0.24
	C	1.11	0.34	7.31	6.96				
	B	1.06	0.59	7.88	7.47				
Aber Ildut - "Milin an aod" (proximité de zone agricole)	A	2.24	-	8.12	11.00	0.42	0.26	0.17	0.17
	B	-	193.02	9.70	6.67				
	C	-	1.53	4.33	8.62				
Aber Ildut "Cale de l'Aber" haut d'estran (proximité de zone agricole)	A	1.60	2.42	9.11	8.46	0.43	0.43	0.32	0.39
	B	21.95	0.05	7.95	9.08				
	C	-	43.43	13.00	8.50				
Aber Ildut "Cale de l'Aber" bas d'estran (proximité de zone agricole)	A	0.90	2.51	10.63	8.62	0.24	0.18	0.12	0.19
	B	0.12	0.51	9.55	9.23	0.17		0.09	
	C	0.64	0.51	10.67	9.10	0.14		0.05	
Aber Ildut - Port de Lanildut	A	4.55	0.46		12.22	0.60	0.17	0.50	0.20
	B	3.86	0.50	17.92	10.29				
	C	28.80	4.12	11.45	10.00				
Rade de Brest - Porz Tinduff	A	1.05	2.91	9.09	7.65	0.67	0.61	0.56	0.44
	C	1.59	1.49	9.25	4.50				
	B	1.95	3.62	15.64	5.57				
Rade de Brest - Plougastel (proximité zone agricole)	A	4.14	14.00	10.15	12.08	0.54	0.75	0.24	0.38
	C	1.20	2.95	10.43	7.64				
	B	0.60	6.02	10.14	10.50				
Rade de Brest - Amont de Kerascoët	A	12.33	0.87	7.97	8.00	0.75	0.95		0.28
	C	1.82	11.24	8.39	8.47				
	B	1.73	29.59	7.33	7.65				
Rade de Brest - Aval de Kerascoët	A	1.94	2.71	8.98	6.53	0.88	0.80	0.52	0.64
	B	0.32	11.74	9.85	7.70				
	C	0.72	3.21	8.84	7.33				
Baie de Douarnenez Port de Pouldavid	A	0.33	0.98	6.06	9.55	0.32	0.20	0.59	0.73
	B	0.71	1.44	12.05	10.80				
	C	0.49	3.00	14.71	12.11				

Tableau 2 (suite).

Sites		N/P minéralisés relargables		C/N organiques totaux		Fer total matg Fe/g sec		Cuivre total µatg Cu/g sec	
		avril	juillet	avril	juillet	avril	juillet	avril	juillet
		Sédiment vaseux intertidal suite							
Baie de Vilaine - Parcs du Logo	A	0.91	0.87	8.75	8.82	0.58	0.56	0.27	0.30
	B	0.37	1.12	6.61	8.05	0.44		0.20	
	C	-	2.58	10.73	7.71	0.45		0.16	
Baie de Bourgneuf - La Cou- pelasse (parcs ostréicoles)	A	3.98	0.62	26.59	12.96	0.22	0.29	0.09	0.17
	B	5.73	1.31	14.27	15.14				
	C	2.43	2.13	25.71	18.83				
Baie de Bourgneuf - Passage du Gois (parcs ostréicoles)	A	2.61	2.10	12.13	12.71	0.42	0.23	0.17	0.18
	B	1.76	1.55	14.41	10.37				
	C	13.60	1.04	40.08	10.94				
Charentes - Presqu'île de Fouras (zones portuaires)	A	5.06	5.29	10.52	3.22	0.66	0.22	0.64	0.18
	B	1.45	3.58	9.35	9.20				
	C	3.79	7.59	12.86	8.98				
Charentes - Baie d'Yves (zone conchylicole)	A	1.18	2.32	11.76	6.81	0.57	0.44	0.23	0.28
	B	6.35	5.03	9.71	8.83				
	C	12.38	11.50	9.81	7.77				