

STATION MARINE de WIMEREUX

Relation entre la structure des peuplements et la
pollution métallique dans les fonds sableux de la
zone littorale.

Aspects méthodologiques.

par

Fabrice DESSAINT

Laboratoire d'Ecologie Numérique de l'Université Lille 1
et Station Marine de Wimereux.



Université des Sciences et Techniques de Lille
Laboratoire d'Ecologie Numérique et Station Marine de Wimereux

Responsable scientifique : Serge FRONTIER, Professeur à l'USTL.

Contrat 516/2 USTL, 84504 Région Nord Pas-de-Calais/IFREMER.

R A P P O R T P R O V I S O I R E

Relation entre la structure des peuplements et la
pollution métallique dans les fonds sableux de la
zone littorale.

Aspects méthodologiques.

par

Fabrice DESSAINT

Laboratoire d'Ecologie Numérique de l'Université Lille 1
et Station Marine de Wimereux.

octobre 1985

ASPECTS METHODOLOGIQUES DE L'ANALYSE
DES RELATIONS ENTRE LA POLLUTION DES SEDIMENTS
ET LA STRUCTURE DES PEUPELEMENTS MARINS

par Fabrice DESSAINT
Serge FRONTIER

Laboratoire d'Ecologie Numérique
et Station Marine de Wimereux
(Université des Sciences et Techniques de Lille)

Nous présentons ici un travail en cours.

La pollution marine, et particulièrement l'accumulation de polluants métalliques dans les sédiments, influe non seulement sur la biologie des espèces considérées individuellement, mais aussi (en conséquence) sur la composition qualitative et quantitative des peuplements : les rapports d'équilibre entre les différentes espèces sont en effet modifiées.

Ces modifications de peuplement sont plus faciles à décrire, sur la base de la présence ou de l'absence des différentes espèces et de leurs proportions mutuelles, que les modifications biologiques au niveau des espèces individuelles, lesquelles sont souvent ténues et difficiles à mettre en évidence au laboratoire. En d'autres termes, les variations de composition du peuplement global apparaissent comme un outil sensible de la mise en évidence de l'agression d'un écosystème. En outre cette analyse biocoenotique donne une vision globale, et non inféodée à telle ou telle espèce particulière, des réactions de l'écosystème, considéré comme un tout. Citons, comme exemple récent de ce type d'analyse dans notre pays, le Thèse de Doctorat d'Etat de C. HILY (1984) sur la Rade de Brest.

La méthode, cependant, nécessite la mise en place de plans d'échantillonnage élaborés et souvent lourds, et des méthodes mathématiques de traitement des données. Le présent travail tente de l'appliquer à l'analyse des effets éventuels de la pollution métallique des sédiments le long du littoral Nord-Pas-de-Calais, sur les peuplements benthiques.

POINT DE DEPART : LES CAMPAGNES "HYDROBIOS".

Un des points de départ de ce travail se trouve dans les résultats des campagnes HYDROBIOS I et II réalisées par le CNEOX en 1980 et 1981, qui avaient observé les fonds marins sur une bande côtière d'environ 10 km de large depuis la frontière belge jusqu'à l'estuaire de la Somme.

Comment rechercher l'impact d'une pollution sur un peuplement naturel ?

On pourrait penser à comparer deux zones ne différant entre elles que par la pollution : de la différence constatée entre les deux peuplements on déduirait, en théorie, l'action de cette pollution.

Malheureusement une telle approche est un rêve cartésien car, à notre époque et dans nos régions, aucune zone n'est exempte des effets de la pollution. En l'occurrence, les campagnes de mesures ont montré l'importance de la pollution métallique dans la totalité de la zone côtière. Aucune étude exhaustive de peuplement n'avait été réalisée avant que s'établisse cette pollution, et qui aurait pu fournir un "point zéro". Enfin, rechercher un point de comparaison dans une région non polluée très éloignée est une méthode douteuse, car elle mêle aux effets de la pollution ceux de la différence géographique ou écologique générale. On est obligé de chercher une méthodologie radicalement différente.

Cette méthodologie différente va être fondée non plus sur la comparaison d'une zone polluée avec une zone non polluée, mais sur la recherche des variations du peuplement benthique lorsque la pollution varie qualitativement et quantitativement.

En effet cette pollution est variable, bien qu'ubiquiste - comme l'attestent les cartes de répartition des polluants (Rapports HYDROBIOS) - et, le peuplement benthique montrant également des variations, on peut se demander si certaines variations caractéristiques de peuplement peuvent être mises en évidence le long de certains "axes" de pollution (nous préciserons ce terme dans ce qui suit), de même qu'il l'est le long d'axes concernant d'autres facteurs (naturels) de l'environnement.

Une première tâche a donc été de rechercher l'existence de ces "axes" de pollution. L'observation a montré que les métaux de la pollution sont nombreux en chaque point. D'autre part ils ne sont pas indépendants, à un double titre : d'une part ils montrent entre eux certaines corrélations, étant abondants ensemble ou au contraire s'excluant dans une certaine mesure ; d'autre part ils interagissent au niveau de leur action biologique sur les organismes et les peuplements. Il en résulte qu'il serait inextricable de rechercher l'action des divers métaux pris individuellement.

Nous adopterons donc une méthode consistant à analyser par un moyen mathématique l'ensemble des corrélations montrées par les différents métaux - du moins au vu d'un échantillonnage tel que celui réalisé par HYDROBIOS. Nous ferons de même pour les peuplements, qui sont des ensembles d'espèces diversement corrélées. La méthode est appelée Analyse Factorielle et nous avons, précisément, appliqué à l'ensemble des données de HYDROBIOS I (11 métaux retenus, dosés en 84 stations) une Analyse en Composantes Principales (ACP), qui est l'une des techniques de base de l'Analyse Factorielle. Nous avons réalisé ce calcul au Centre IFREMER de Brest (C.O.B.), avec les moyens informatiques du B.N.D.O.

11 variables est généralement considéré comme un nombre un peu insuffisant pour réaliser une ACP correcte. Nous avons cependant dû éliminer des calculs un certain nombre d'éléments trop sporadiques car la présence d'un trop grand nombre de "0" dans la matrice de départ biaise les résultats de l'analyse.

Nous avons pu néanmoins mettre en évidence un certain nombre de corrélations (positives et négatives) et à en faire une ordination selon deux axes (Fig. 1) :

- le premier axe (expliquant 40% de la variance totale) est en grande partie expliqué par les variations concomitantes du fer, du cobalt et du nickel (trois métaux à fortes ressemblances chimiques) ;

- le deuxième axe (30% de la variance totale) est surtout caractérisé par les variations concomitantes de plomb, du cadmium et du cuivre.

Les autres métaux (chrome, mercure, zinc, manganèse, titane) se projettent trop près de l'origine des axes I et II pour y être significatifs et, comme les contributions des autres axes à la variance totale est faible, nous

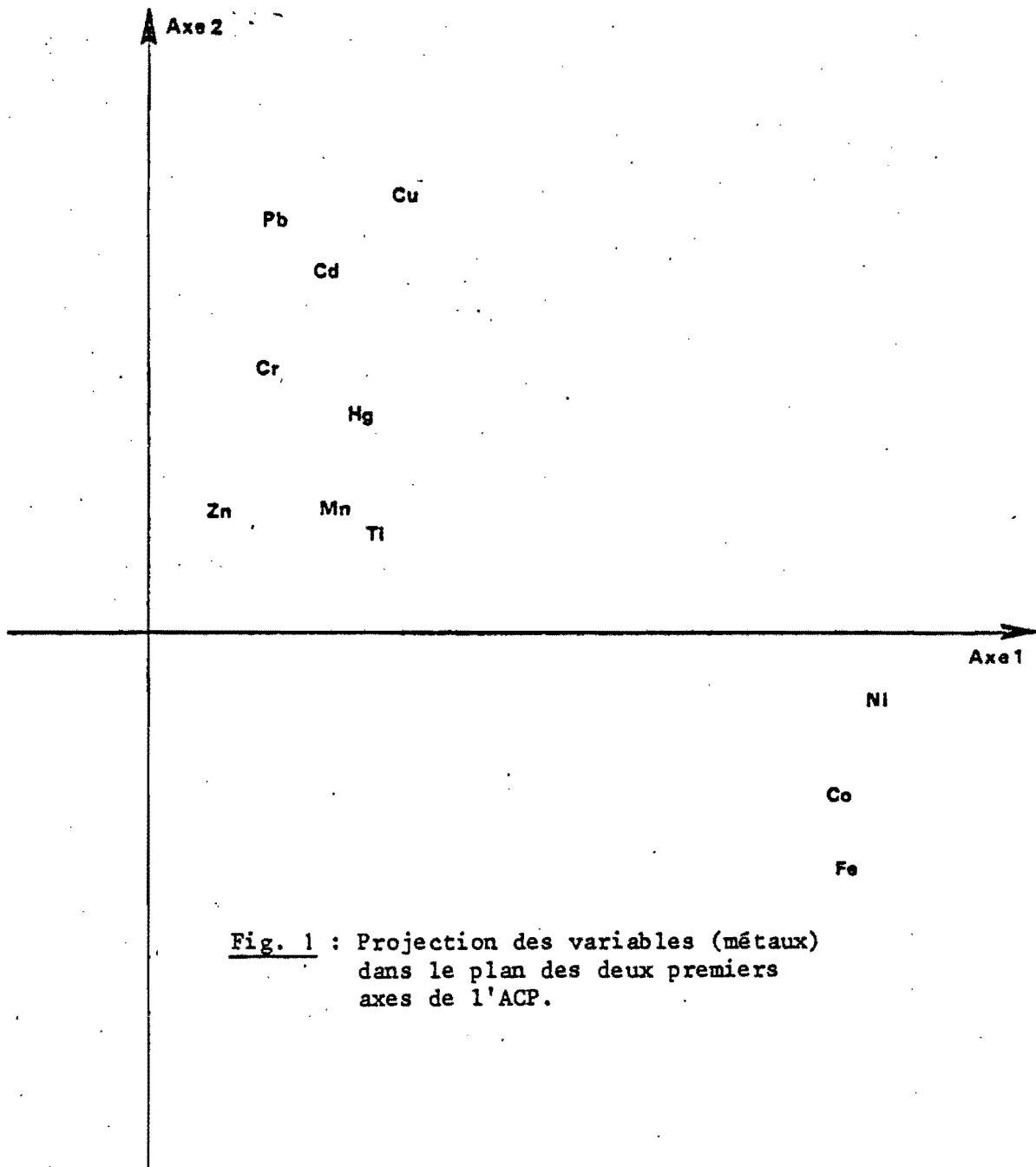


Fig. 1 : Projection des variables (métaux) dans le plan des deux premiers axes de l'ACP.

n'avons finalement considéré que les six premiers métaux.

A noter que l'ACP a été exécutée d'abord sur les teneurs en métaux rapportées à un poids unité de sédiment total, puis rapportées au poids des seuls éléments fins (<63 μ). La première option a donné des résultats incohérents, à l'opposé de la deuxième, montrant que les régularités existantes concernent pratiquement cette fraction "fine".

C'est donc en rapportant la pollution métallique au poids de fraction fine des sédiments que nous concluons, au vu des résultats de HYDROBIOS I, à l'existence de deux types principaux de pollution, l'une dominée par Fe-Co-Ni, l'autre par Pb-Cd-Cu. Rien, à ce stade, n'a fait entrer en ligne de compte la position des stations, de sorte qu'a priori il n'y a aucune raison de penser que ces deux pollutions se partagent de façon cohérente l'espace - pour autant que nous puissions juger d'une cohérence spatiale à partir de stations de mesures éloignées entre elles.

C'est pourtant ce que l'on va constater a posteriori en notant sur la carte les stations où le groupe I de métaux est bien représenté à l'exclusion du groupe II, et les stations où c'est l'inverse. Près de la moitié des stations peuvent être ainsi caractérisées (les autres montrant soit les deux groupes de métaux aussi bien représentés, soit un groupe peu représenté et l'autre quasi-absent). Nous renvoyons à la carte Fig.2 où les stations à dominance Pb-Cd-Cu sont représentées par un cercle noir et celles à Fe-Co-Ni par un cercle blanc. Les stations non caractérisées sont représentées par un simple point. A l'examen, une majorité de stations à Fe-Co-Ni apparaît au sud de la zone prospectée, entre l'estuaire de la Somme et celui de la Canche, et une majorité de stations à Pb-Cd-Cu entre Calais et Dunkerque. De part et d'autre de Boulogne on observe un mélange des deux types de stations.

Nous avons ainsi délimité deux régions où l'une ou l'autre des deux pollutions majeures est prédominante à l'exclusion de l'autre. Nous ferons l'hypothèse de travail que l'effet de l'une ou l'autre sur les peuplements benthiques a le plus de chances d'être mise en évidence en prospectant ces deux régions.

PLAN D'ECHANTILLONNAGE.

Nous avons choisi, dans une première approche, d'explorer surtout la zone sud (à Fe-Co-Ni) et de rechercher l'éventuel impact de la pollution le long d'un gradient côte-large. On présume en effet que la pollution métallique est plus intense près de côte qu'au large.

Par ailleurs il fallait choisir un type de peuplement homogène, afin de ne pas mêler les effets du gradient côte-large avec ceux des autres facteurs de variation du peuplement tels que granulométrie, profondeur du fond etc. Nous avons choisi la Communauté à *Ophelia borealis* ou Communauté des "sables fins propres", relativement pauvres en éléments fins. Ce n'était peut-être pas le meilleur choix du point de vue de la teneur totale en métaux du sédiment puisque les métaux sont associés, nous l'avons vu, à la fraction fine. Toutefois nous avons vu également que les régularités discernées dans la répartition des métaux concernait la fraction fine et non le sédiment total ; d'autre part :

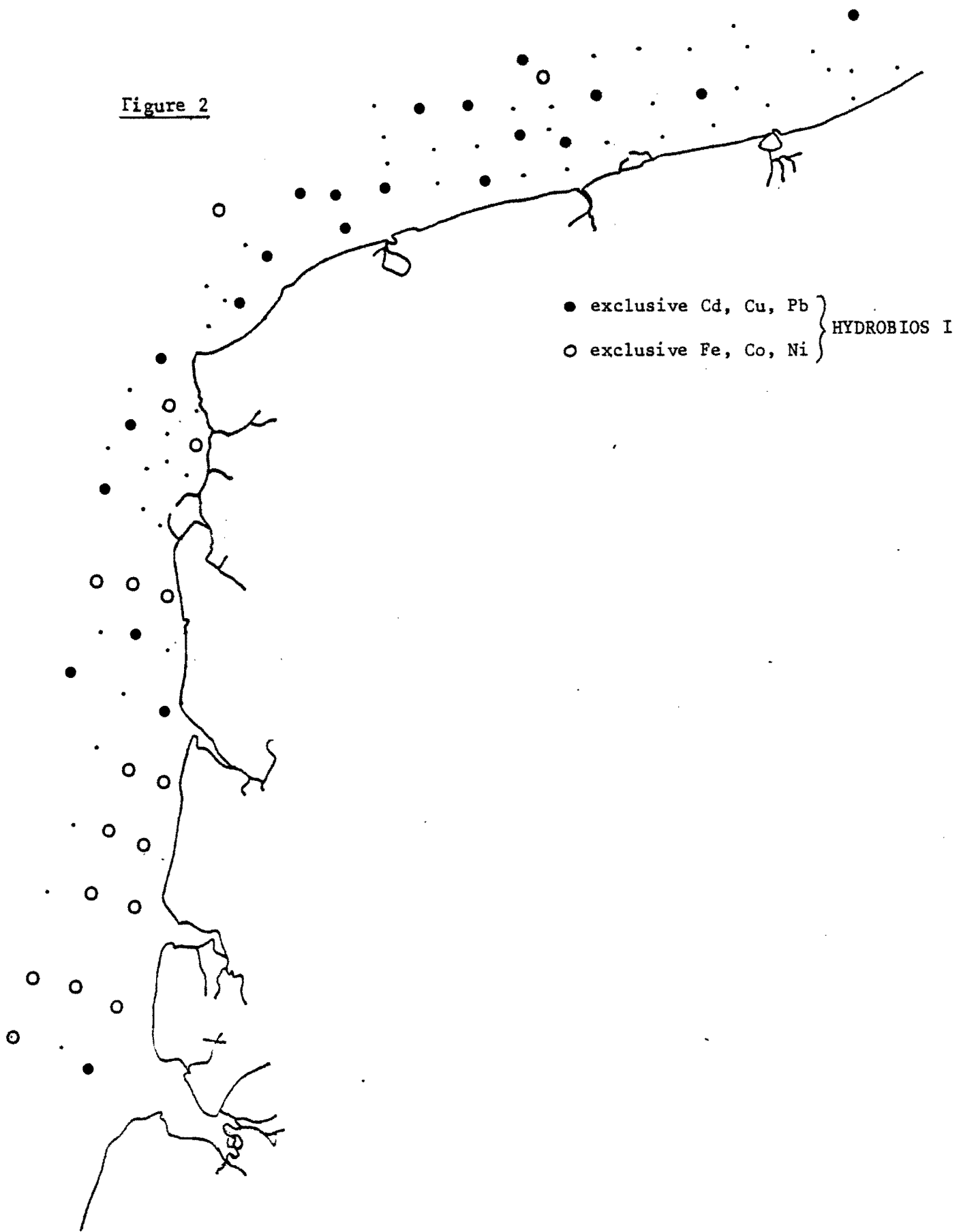
(a) la Communauté à *Ophelia borealis* est bien connue dans le Boulonnais grâce aux travaux antérieurs réalisés par la Station Marine de Wimereux, et en particulier grâce aux travaux en cours, entrant dans le cadre de la Coopération Région-IFREMER (PRYGIEL, ce Document);

(b) elle comporte relativement peu d'espèces endobenthiques ;

(les circonstances (a) et (b) permettant d'accélérer le temps de dépouillement des échantillons)

(c) elle est présente, dans la partie sud étudiée, sur des bancs allongés parallèlement à la côte et plus ou moins éloignés d'elle, réalisant

Figure 2



un transect côte-large : banc de la Battur à la côte (LITT), Bassure de Baas (BAAS), banc du Vergoyer (VERG) (carte Fig. 3);

(d) elle existe tant au nord qu'au sud de la zone prospectée par HYDROBIOS, de sorte que nous avons pu adjoindre à notre gradient côte-large un site situé au nord (DYKE), dans la zone "à Pb-Cd-Cu", près de côte, pour comparaison.

Un problème d'importance vient ensuite, que nous n'avons pas encore considéré. C'est celui de la variabilité des résultats observés dans une campagne de mesures. Cette variabilité se constate sur les cartes de répartition des métaux des campagnes HYDROBIOS, et à un plus fort degré encore sur la composition de la faune benthique, où deux échantillons même proches ne donnent jamais la même image du peuplement (raison pour laquelle les résultats faunistiques doivent être traités par des méthodes statistiques-multivariées : cf. contribution de PRYGIEL).

La cohérence des résultats d'une campagne est souvent jugée par la cohérence de la cartographie que l'on peut faire des résultats. Or ce critère est parfois dangereux, en raison de la variabilité. En effet on peut montrer que, si les stations d'observation ne sont pas très nombreuses, on peut toujours réunir ces stations en fonction des ordres de grandeur trouvés pour la variable mesurée, au moyen de lignes contournées fournissant une allure de carte de répartition. Les écologistes ne se sont pas privés, dans le passé, de publier des cartes totalement fantaisistes et fallacieuses, comprenant 10 isolignes autour de 5 stations - l'allure obtenue étant entièrement due aux hasards de l'échantillonnage (que l'on songe à une carte des Alpes qui serait obtenue à partir d'une mesure d'altitude tous les 10 km !). L'étude fondamentale de la variabilité en écologie a mis un terme à cette technique de recherche, en démontrant la finesse de la "mosaïque" des conditions écologiques et des peuplements vivants.

Le problème de la fiabilité d'une cartographie est posé, et devient d'une grande importance dès lors qu'on se propose de juger d'un impact à partir de la comparaison de plusieurs cartographies.

De façon précise, il s'agit de savoir quelle valeur attribuer à la ressemblance ou à la dissemblance entre deux stations séparées par une certaine distance. Pour pouvoir tirer une conclusion à propos de deux stations (ou de deux époques etc.) que l'on désire comparer, encore faut-il comparer la différence observée entre les deux stations (ou époques) à ce que l'on obtient en ne faisant pas varier le lieu ou l'époque, c'est-à-dire en réitérant les mesures dans les mêmes conditions (ou, tout au moins, à une distance spatiale ou temporelle faible par rapport à celle qui sépare les deux stations comparées). Et cela doit être fait aux diverses échelles d'observation, car la diversité s'observe à toutes les échelles.

La démarche est rarement mise en oeuvre, pour la simple raison que les échantillonnages et les mesures coûtent cher, et qu'il semble toujours plus important de voir des différences entre situations éloignées, que de constater les ressemblances quand on ne change pas de situation ! Quand on déclare qu'il faut doubler toutes les mesures en un même point, on s'entend souvent répondre qu'une mesure coûte déjà assez cher, et qu'on doit étudier la variation géographique avant la variabilité locale. C'est ignorer l'arbitraire d'une description à l'échelle géographique si l'on n'a aucune idée de la variabilité locale.

Il ne faut pas être inconscient des contingences financières... Toutefois nous affirmons, suite à des travaux fondamentaux sur la variabilité statistique en écologie, qu'à nombre de stations constant (c'est-à-dire à coût constant) on obtient des résultats beaucoup plus fiables scientifiquement, surtout dans l'analyse approfondie d'un impact, en diversifiant les échelles d'observation qu'en réalisant un balayage régulier d'une région selon une seule maille de stations. Ce dernier est cependant, en général, nécessaire comme premier abord descriptif.

Des plans d'échantillonnage adaptés à la variabilité des écosystèmes ont été étudiés (voir par exemple l'ouvrage collectif, dirigé par S. FRONTIER :

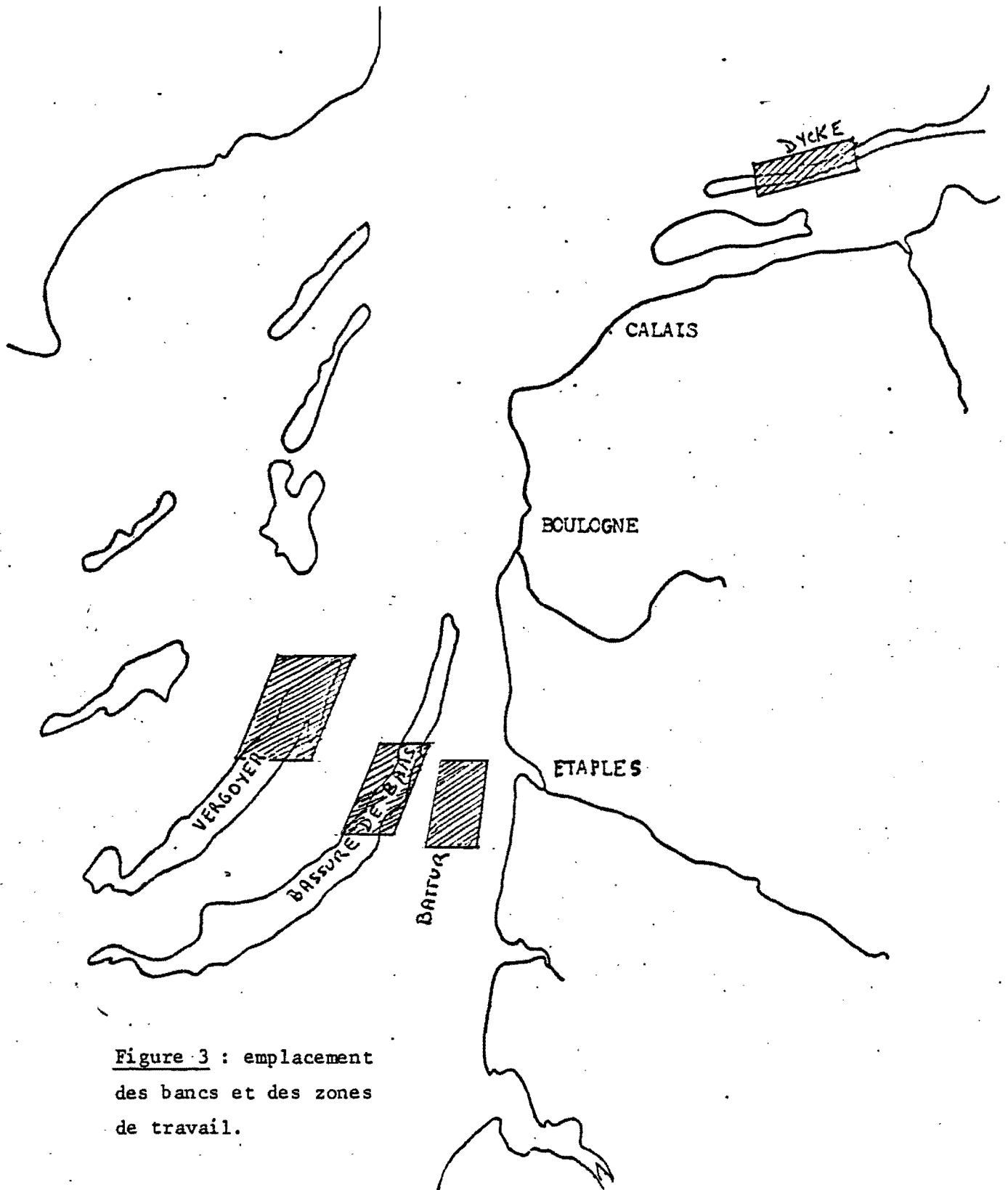


Figure 3 : emplacement
des bancs et des zones
de travail.

"Stratégies d'échantillonnage en écologie", Masson 1983). On adoptera ici un plan d'échantillonnage systématique emboîté à plusieurs échelles, afin de se rendre compte des échelles préférentielles auxquelles des phénomènes de corrélation éventuels, base de notre analyse, apparaissent. Des traitements appropriés des données doivent suivre.

Le plan de stations adopté pour notre travail est présenté aux Fig. 4 et 5. Chacun des quatre sites retenu (voir plus haut) a été échantillonné en trois latitudes (nord, milieu, sud), chaque fois au moyen de deux radiales transversales proches composées chacune de 4 stations (2 stations seulement pour DYKE). Les stations sont éloignées de 100 m - limite de résolution du système de positionnement DECCA utilisé par le navire océanographique Sepia II (Station Marine de Villefranche) utilisé pour ce quadrillage. En chaque station, enfin, le benthos a été échantillonné au moyen de 4 coups de benne successifs (benne Mac Intyre, prélevant 5 à 10 litres de sédiment sur une surface de 0,1 m²) le bateau étant au mouillage ; la position précise de chaque coup de benne ne peut évidemment pas être précisée de sorte que cet échantillonnage local équivaut à un échantillonnage aléatoire.

En chaque station sont donnés également un coup de benne destiné à l'étude de la granulométrie du sédiment, et un ou deux selon l'importance de la fraction vaseuse pour l'analyse des métaux (mais sans répétition vu le coût). Ces prélèvements ont été exécutés par MM. DESSAINT et PRYGIEL.

Ce quadrillage emboîté a été réalisé en l'espace de deux semaines (juin-juillet 1984), en 6 sorties du navire "Sepia II", à une époque de l'année où les peuplements sont bien installés, abondants et peu fluctuants dans le temps. En fait, une première opération complète avait en lieu à partir de l'automne 1983 mais le mauvais temps avait obligé à allonger exagérément le temps d'exécution et même de repousser les derniers prélèvements au printemps suivant, faisant interférer les variations saisonnières normales avec les facteurs de variations recherchés ici. Nous avons donc préféré recommencer complètement à une époque plus faste de l'année.

ANALYSE DES ÉCHANTILLONS.

Les échantillons pour analyses faunistiques ont été tamisés à bord sur tamis de 1 mm de maille, puis formolés et ramenés au laboratoire où les organismes ont été extraits en totalité, déterminés et dénombrés. 100 espèces ont ainsi été inventoriées quantitativement (41 Annélides, 1 Sipunculide, 12 Mollusques, 40 Crustacés, 5 Echinodermes, 1 Poisson).

Les échantillons pour analyse granulométrique ont été dessalés par rinçage à l'eau douce, desséchés à l'étude, passés sur tamis de norme AFNOR et pesés par classes granulométriques. Le sédiment se caractérise par une bonne homogénéité, avec peu de fraction fine (d'où une difficulté technique supplémentaire lors des dosages de métaux; il a fallu d'abord extraire une quantité suffisante de fraction fine, par tri sous eau d'une grande quantité de sédiment pour en avoir 2 grammes dosables), et par une grande uniformité sur l'ensemble des sites prospectés.

Les échantillons pour dosage de métaux ont été traités par l'Institut Pasteur de Lille (Service de l'Eau : Pr. DELATTRE) : fraction fine d'abord extraite comme il vient d'être dit, puis dosage des six métaux retenus par spectrographie à absorption atomique. Donc même méthode et même Laboratoire que pour les campagnes HYDROBIOS, afin que les résultats soient parfaitement comparables. C'est pour des raisons de coût des analyses que celles-ci ont été limitées aux 6 métaux retenus par l'analyse factorielle des résultats de HYDROBIOS I : Fe, Co, Ni, Pb, Cd, Cu. Une analyse plus exhaustive aurait, bien entendu, été plus intéressante, les faits principaux apparaissant surtout à partir des corrélations entre variables.

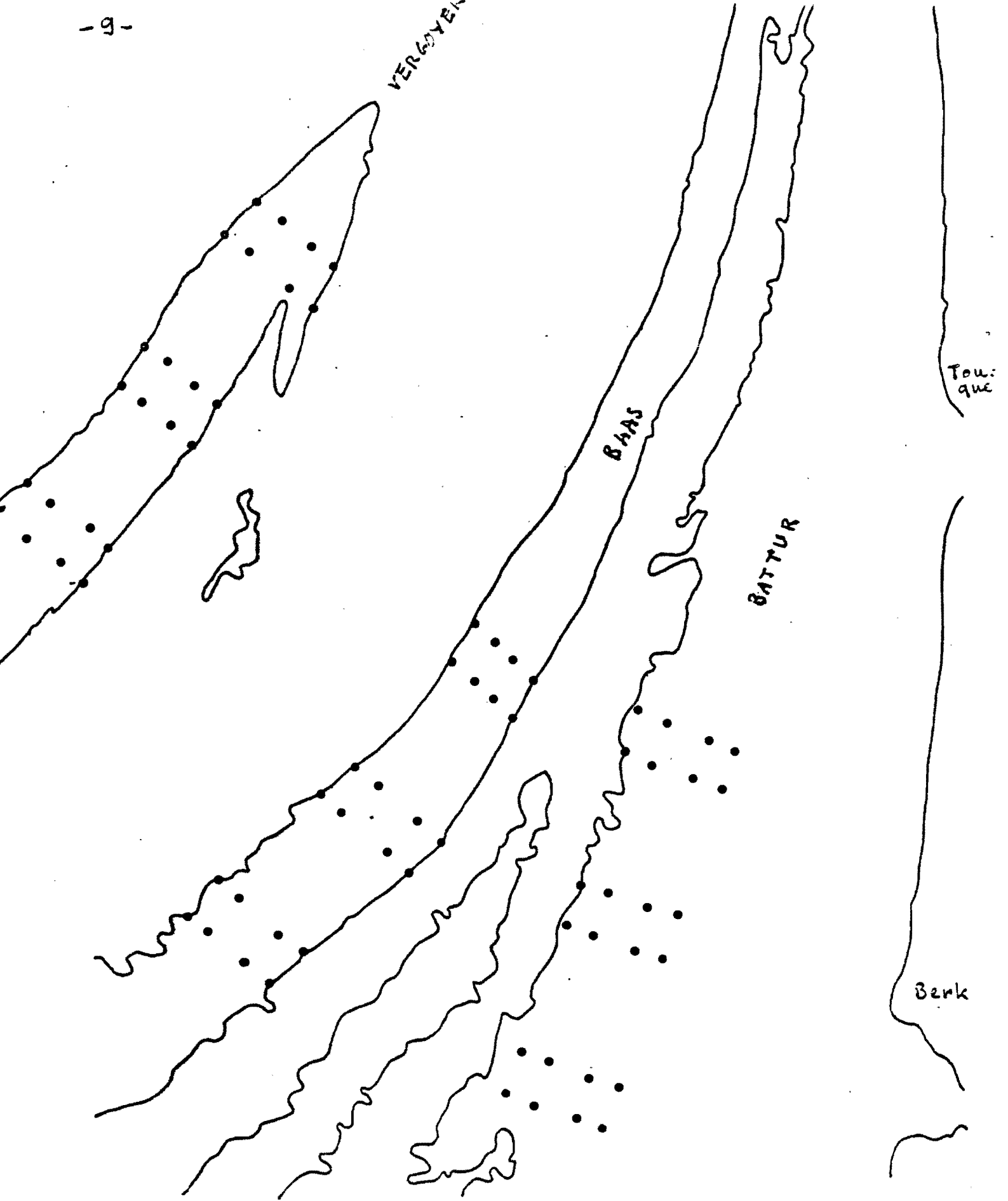


Figure 4 : Plan d'échantillonnage de la radiale côte-large face à la Canche.

RESULTATS ACTUELS.

Ce Chapitre est évidemment provisoire.

A l'heure actuelle la totalité des données brutes a été réunie : inventaire quantitatif du peuplement benthique des 336 échantillons ; granulométrie et teneurs en 6 métaux (rapportées à l'unité de poids de fraction fine des 84 stations du sédiment). Les résultats ont été portés sur les cartes des stations afin de fournir déjà une répartition empirique des différentes variables. Nous donnons ci-après, à titre indicatif, les cartes obtenues pour les métaux (Fig.6 a à f) et pour 12 espèces fréquences (Fig.7 a à l).

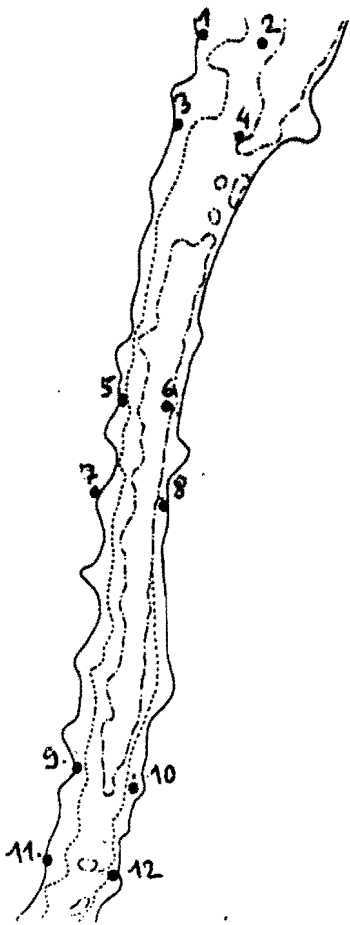
La variabilité apparaît au premier abord. En ce qui concerne les métaux, on observe une variabilité du même ordre que dans les résultats HYDROBIOS, concernant l'ensemble de la bande littorale.

Le fer apparaît au taux de 1500 à 18.000 mg/kg de fraction fine ; le nickel : 2,5 à 430 ; cobalt : 0,5 à 9,1 ; cuivre : 7 à 78 ; cadmium : 10 à 135 ; plomb : 24 à 398. L'apparente homogénéité pouvant apparaître sur les cartes Fig. 6 au vu de la taille des cercles ne doit pas faire illusion, car chaque diamètre de cercle correspond à un intervalle allant du simple au double. Au demeurant, peu de conclusions peuvent être tirées, à ce stade initial de l'analyse, de la cartographie des métaux pris individuellement. On note la forte teneur en Pb aux sites les plus proches de la côte (DYKE et LITT) ; les fortes teneurs en Ni sont également proches de la côte. Pour comparer ces teneurs à celles des campagnes HYDROBIOS nous avons calculé les moyennes et les amplitudes de variation des six métaux, dans les différents sites. Les résultats sont les suivants :

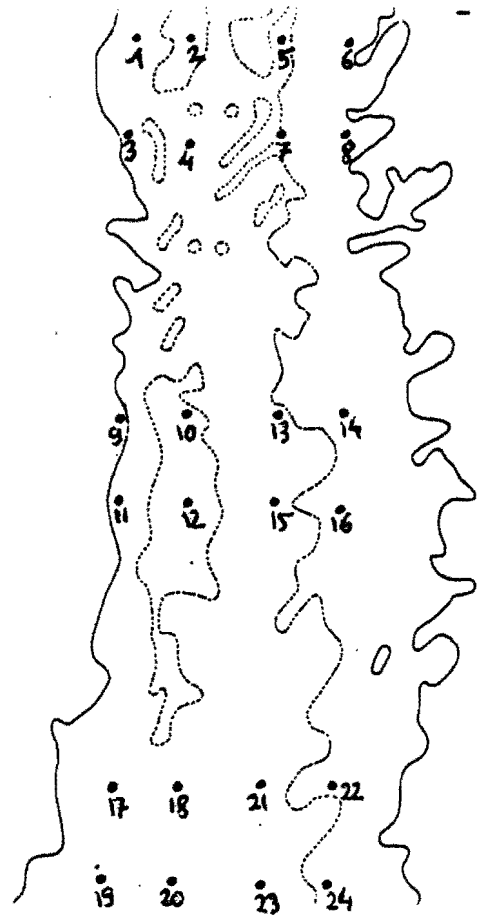
	Cu	Pb	Cd	Ni	Co	Fe
DYKE	18,50 (8-78)	110,25 (30-350)	0,36 (0,1-0,5)	65,54 (2,5-160)	4,23 (1,0-7,0)	6660 (2700-11250)
LITT	13,96 (7-19)	120,96 (25-398)	0,38 (0,1-1,2)	61,54 (2,5-193)	3,97 (0,5-7,7)	8380 (2300-14250)
BAAS	12,81 (8-20)	49,75 (10-95)	0,34 (0,1-1,02)	52,35 (19-124)	3,72 (1,1-5,4)	7680 (1500-12700)
VERG	13,54 (8-23)	62,00 (24-245)	0,40 (0,11-1,35)	44,84 (9,5-430)	3,47 (0,8-9,1)	8840 (1600-18200)
HYDROBIOS I	5,6 (3-8,5)	9,28 (4-27)	0,36 (0,25-0,6)	4,6 (2,8-8,8)	0,84 (0,25-1,45)	6370 (2600-13475)
HYDROBIOS II	7,9 (7-50)	260 (6,4-5000)	1,67 (0,36-12)	9,7 (2,4-130)	1,81 (0,56-14)	6615 (1500-129800)

On observe des différences significatives (incontestables puisque provenant du même laboratoire, selon la même technique) entre les données HYDROBIOS et les nouvelles données. Les teneurs nouvelles sont systématiquement plus fortes pour Pb au large, Cu, Ni, Co ; Cd est au contraire trouvé moins abondant à la côte. Ces différences ne sont pas encore interprétées.

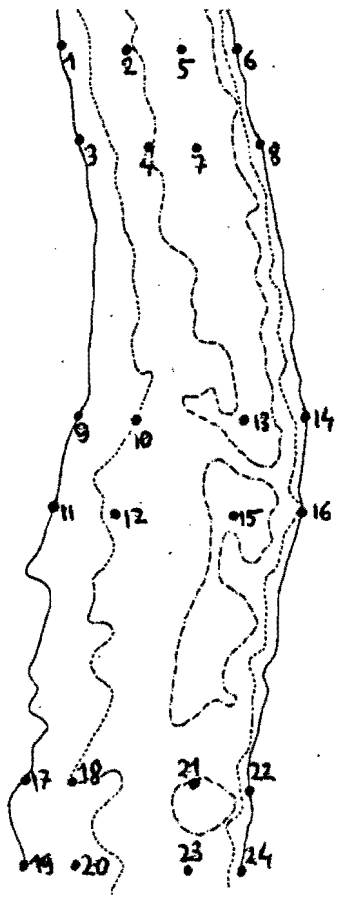
Quant aux répartitions des espèces benthiques, le report sur cartes les fait souvent apparaître erratiques : il n'y a pas de répartition cohérente à cette échelle d'observation, visible selon cette maille de stations. Quelques exemples sont donnés par les Fig. 7 (a - l). Rappelons que ce peu de cohérence géographique ne signifie pas un manque de cohérence fondamental de la réparti-



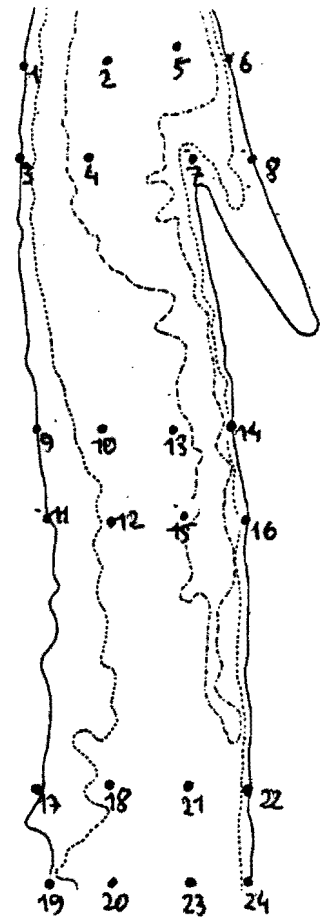
DYKE



LITT

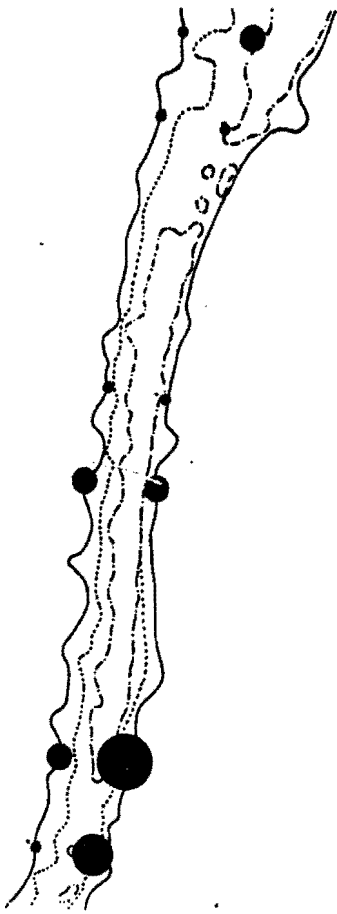


BASS

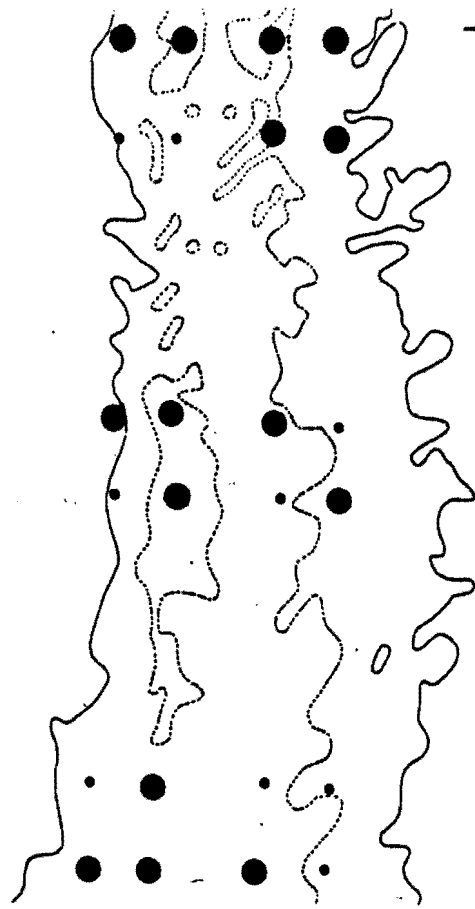


VERG

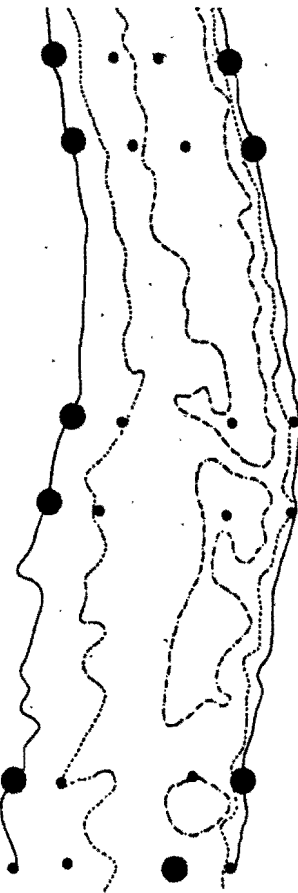
Figure 5 : emplacements des ponts de prélèvement.



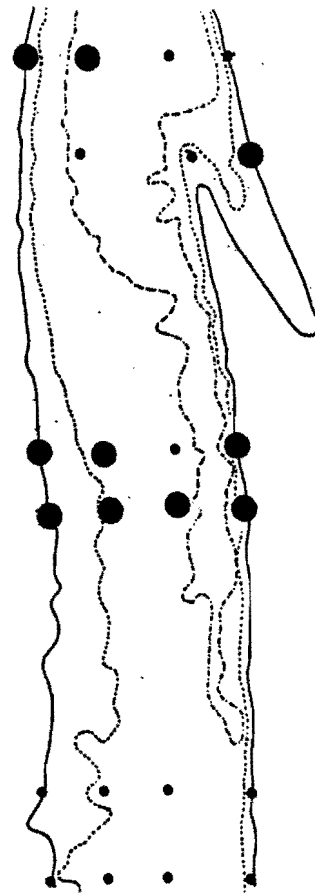
DYKE



LITT



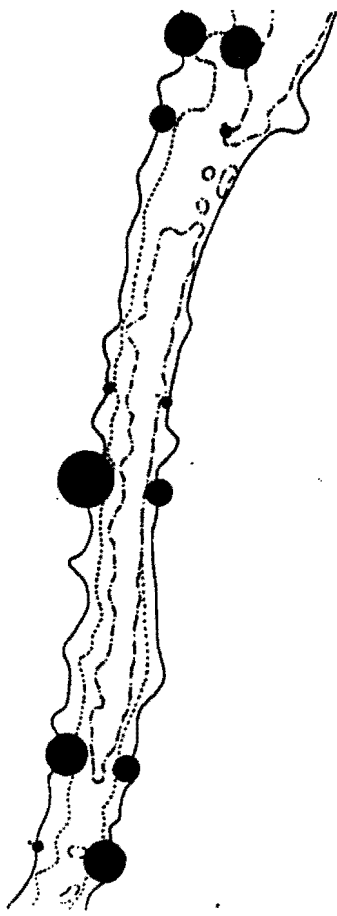
BAAS



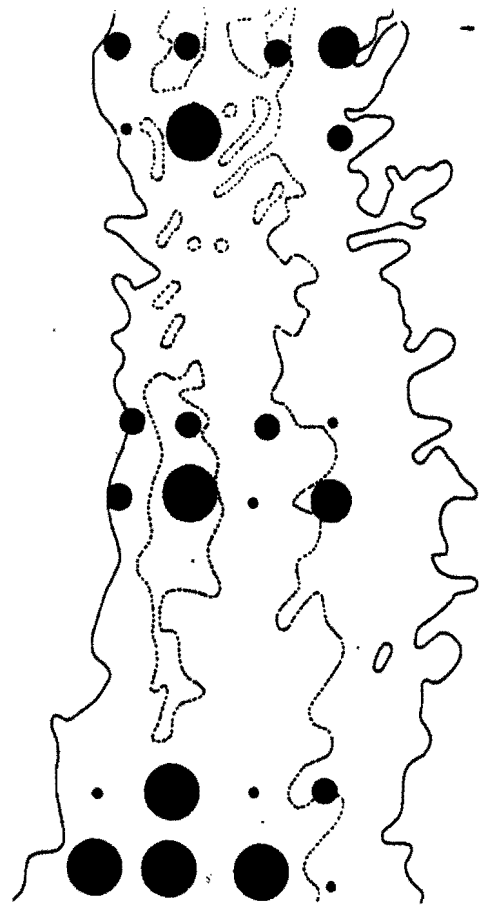
VERG

- 7-13 ppm
- 14-23
- 24-43
- 44-78

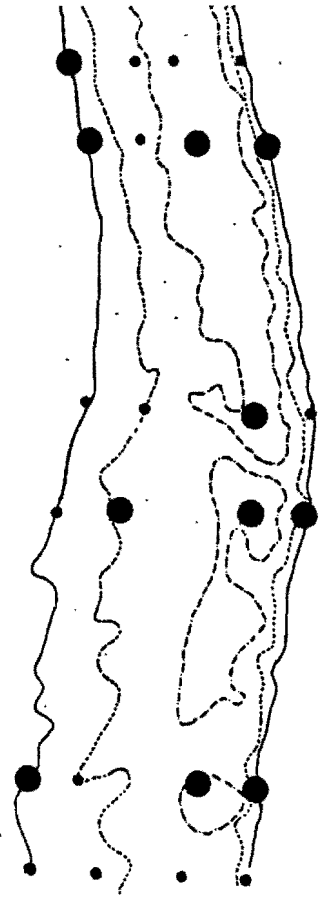
Figure 6 a : Cuivre



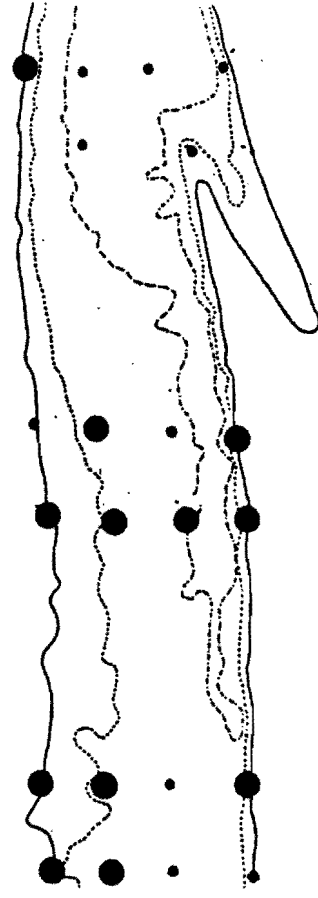
DYKE



LITT



BAAS



VERG

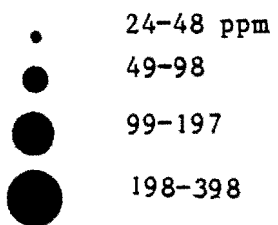
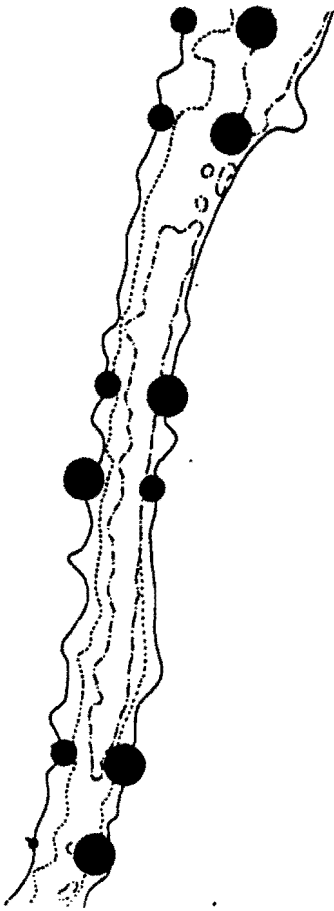
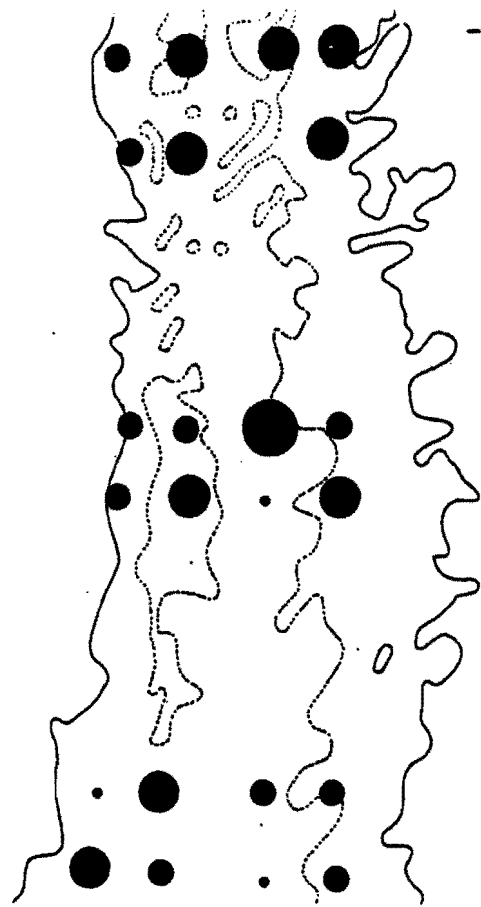


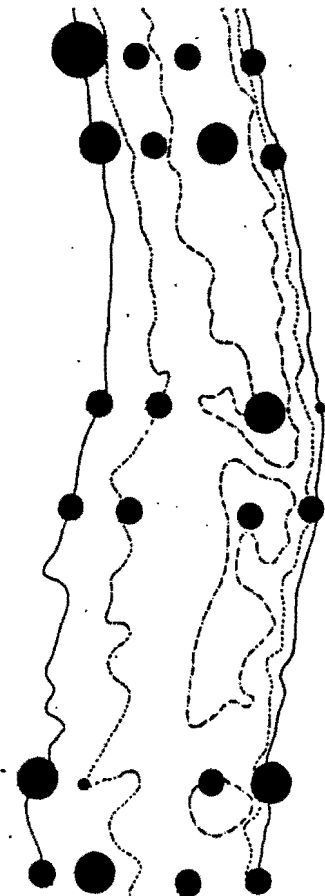
Figure 6 b : Plomb



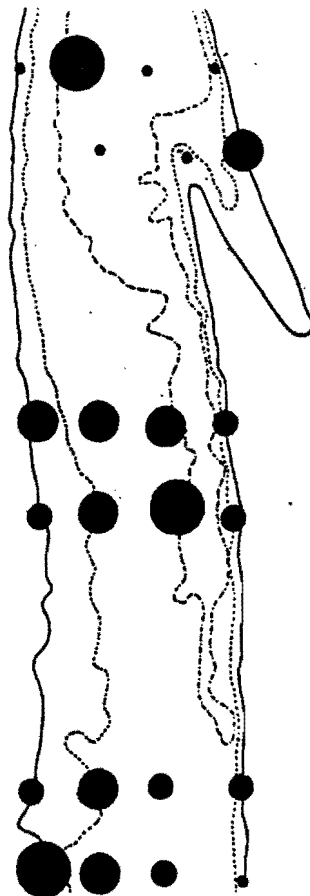
DYKE



LITT



BAAS



VERG

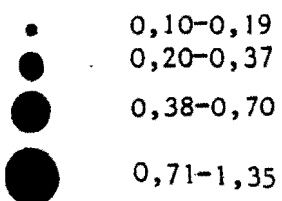
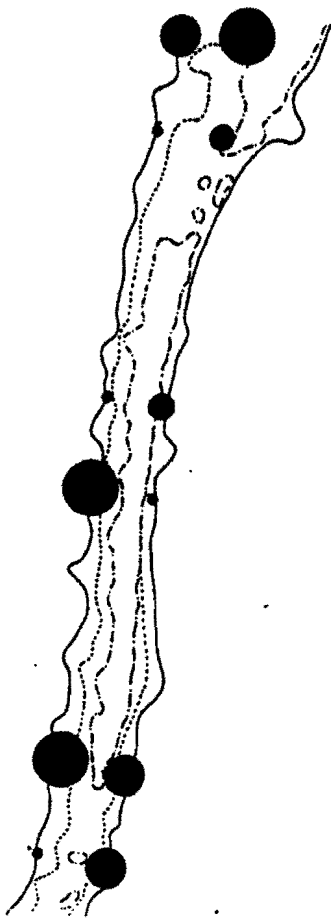
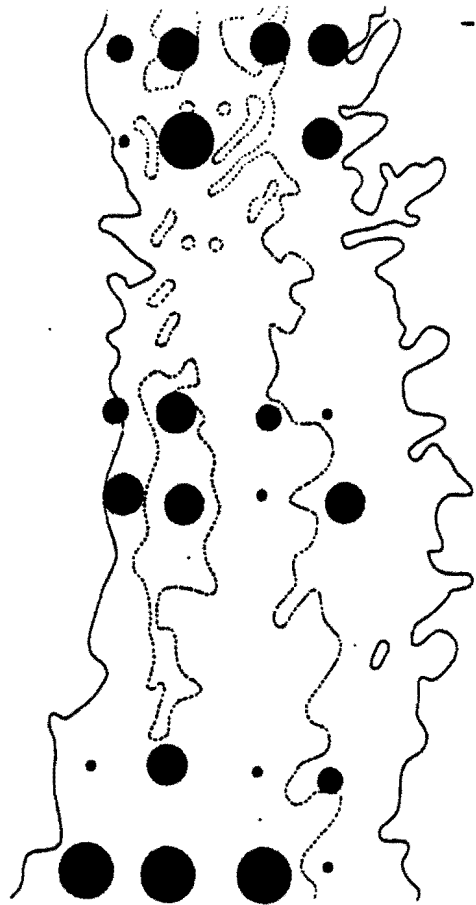


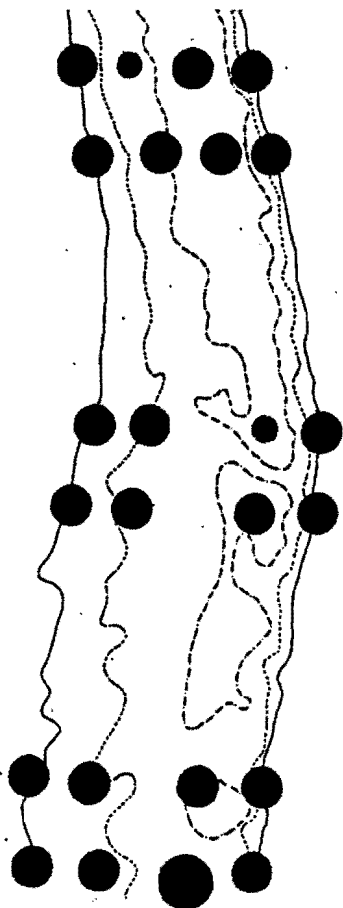
Figure 6 c : Cadmium



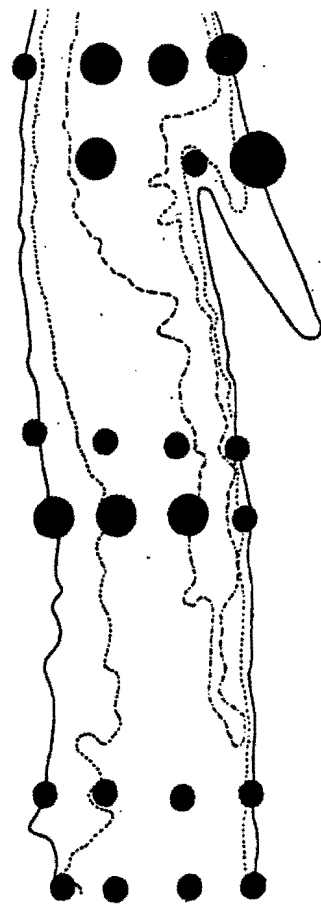
DYKE



LITT



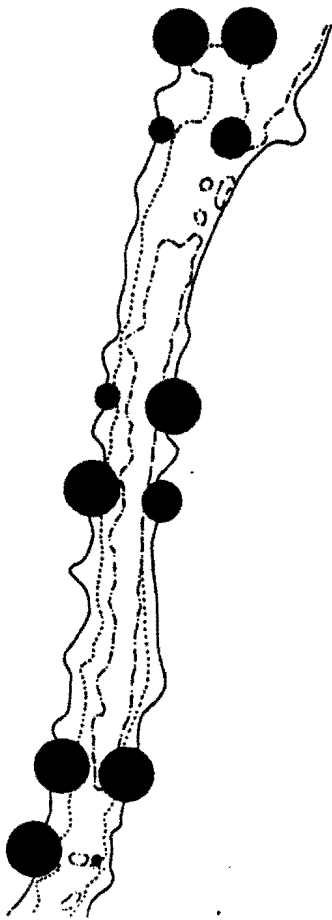
BAAS



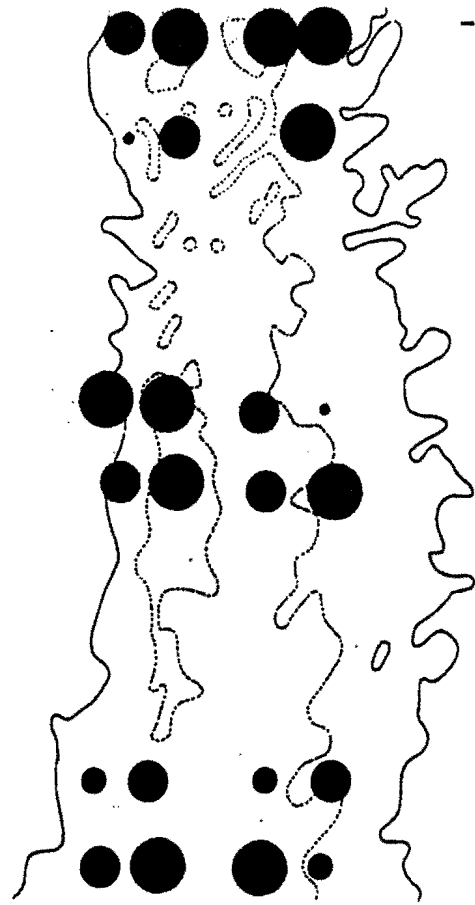
VERG

- 2,5-9 ppm
- 10-33
- 34-118
- 119-430

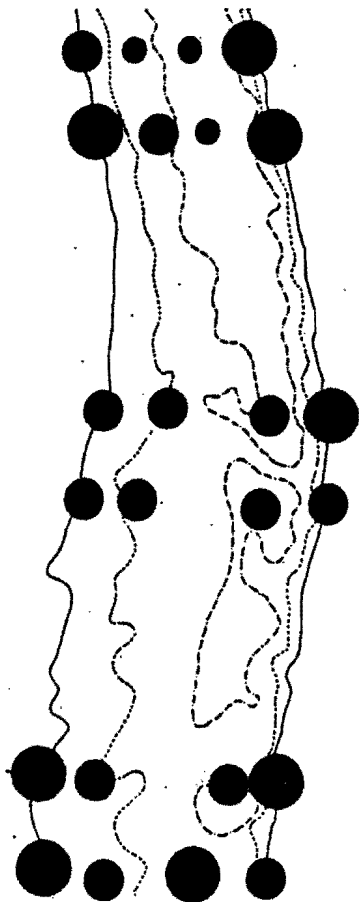
Figure 6 d : Nickel



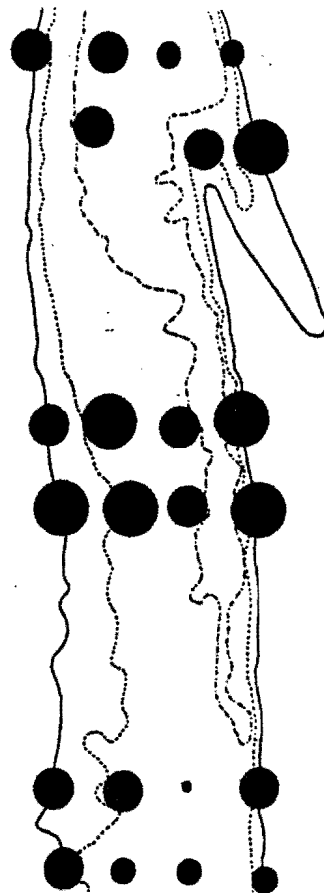
DYKE



LITT



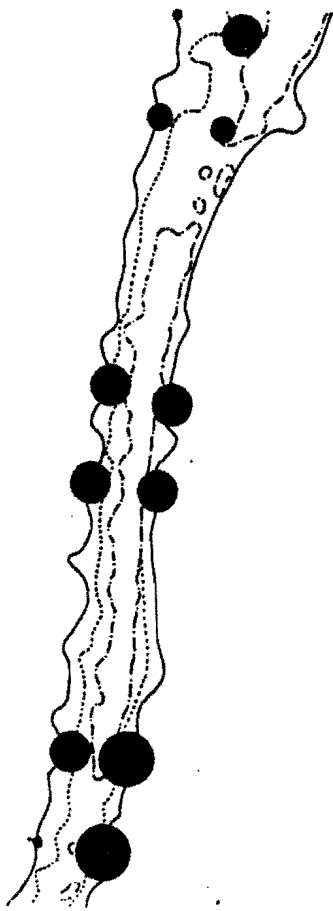
BAAS



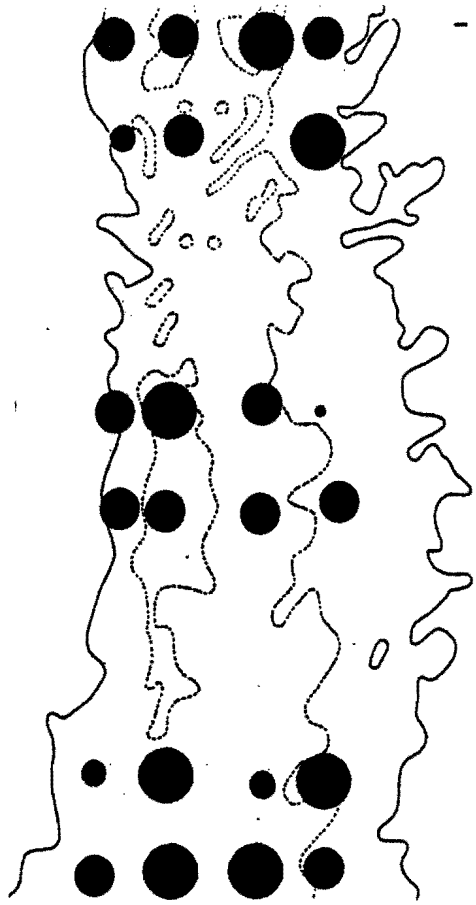
VERG

- 0,5-1,0 ppm
- 1,1-2,0
- 2,1-4,4
- 4,5-9,1

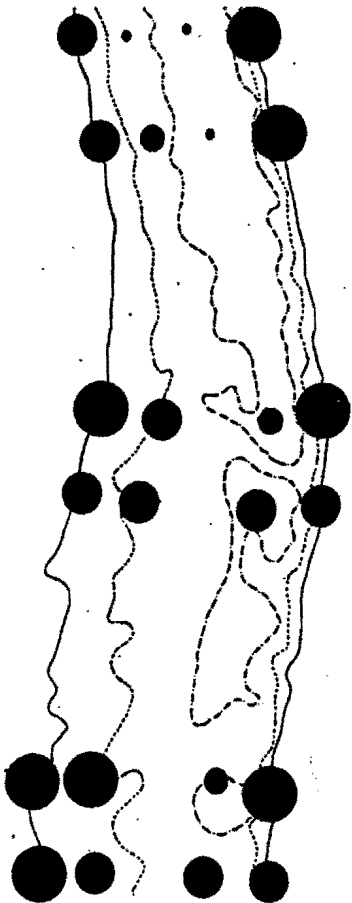
Figure 6 e : Cobalt



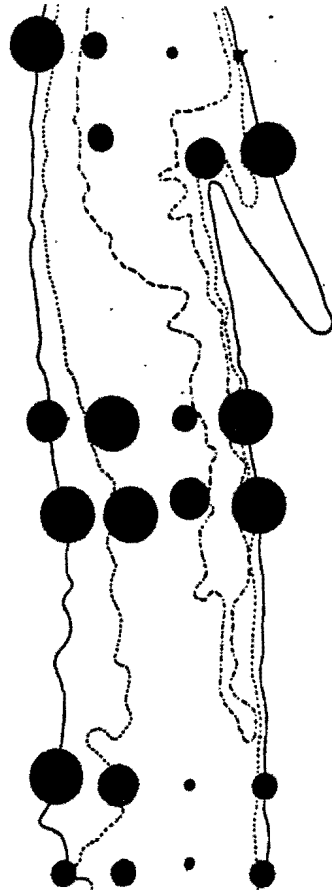
DYKE



LITT



BAAS



VERG

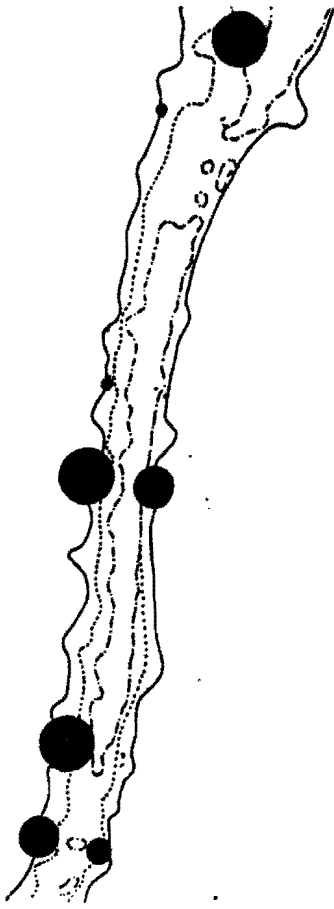
- 1500-2800 ppm
- 2810-5210
- 5210-9710
- 9720-18100

Figure 6 f : Fer

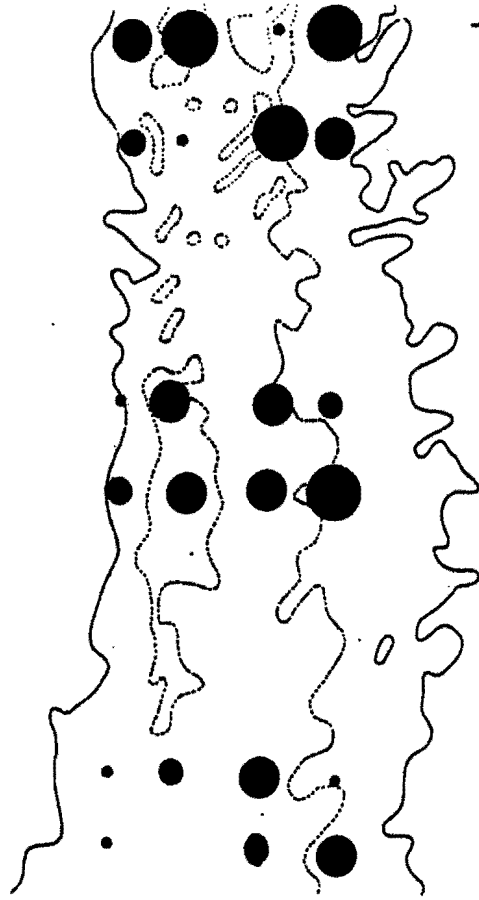
tion écologique, mais simplement que la maille de stations n'a pas atteint l'échelle de la mosaïque de peuplements, si elle existe. Le traitement numérique recherchera d'autres régularités.

Quelques traitements classiques (Analyse Factorielle des Correspondances, Classification Numérique, Diagrammes Rangs-Fréquences) ont déjà été appliqués, mais le caractère très hétérogène des répartitions empêche encore toute conclusion. Il faudra trouver des traitements plus adaptés à cette hétérogénéité et nous devons nous y employer dans la suite de ce travail (F. DESSAINT, Thèse d'Université en Cours). D'ores et déjà les échelles de variabilité du peuplement benthique apparaissent.

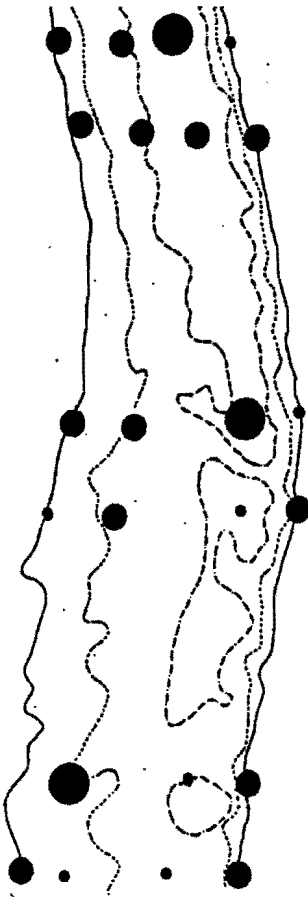
En conclusion, nous en sommes actuellement au stade où en était le dépouillement des campagnes HYDROBIOS, avant le court traitement numérique qui a servi de point de départ à notre étude. La démarche mathématique à suivre est l'objet en elle-même d'une recherche au terme de laquelle nous espérons non seulement donner une réponse à la question posée au départ (peut-on ou non mettre en évidence un effet de la pollution métallique du sédiment sur le peuplement benthique envisagé globalement ?), mais aussi proposer une méthodologie pour ce genre d'approche effectuée à cette échelle d'observation.



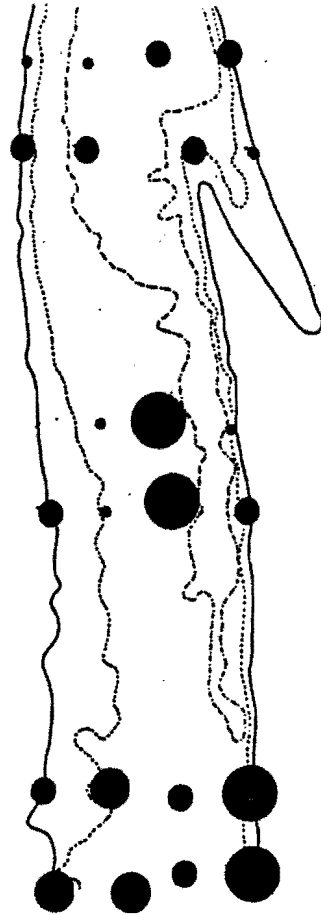
D



L



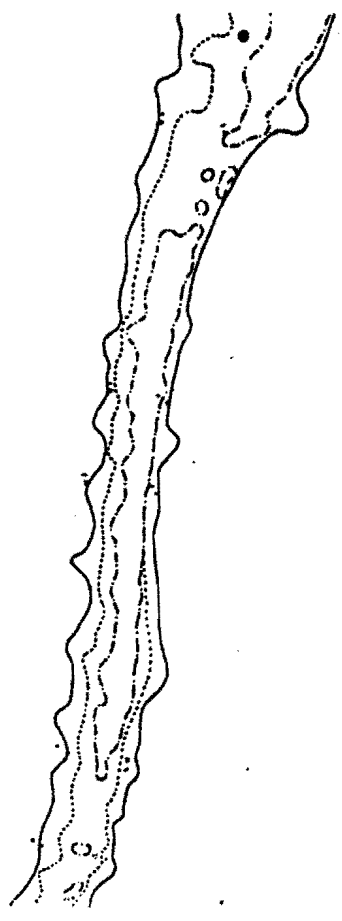
B



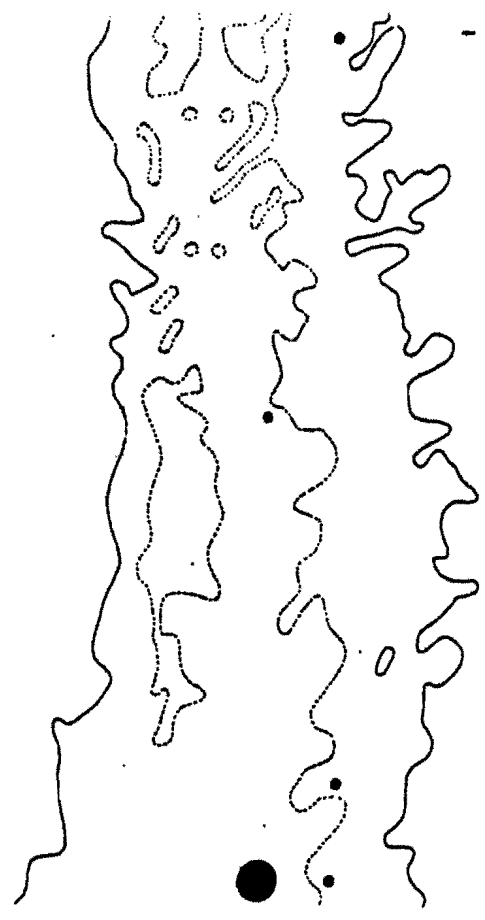
V



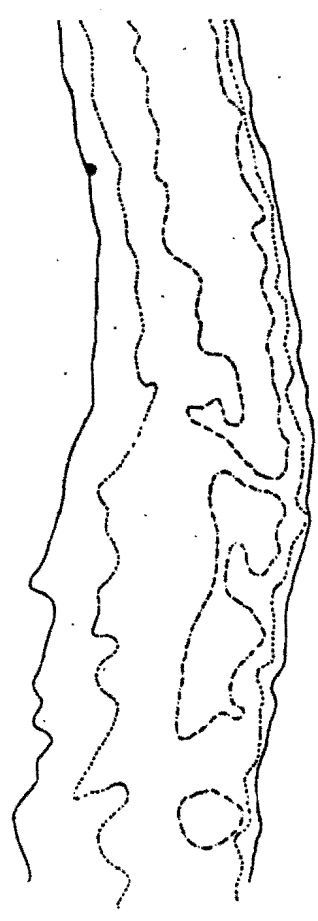
Figure 7 a : Bathyporeia elegans



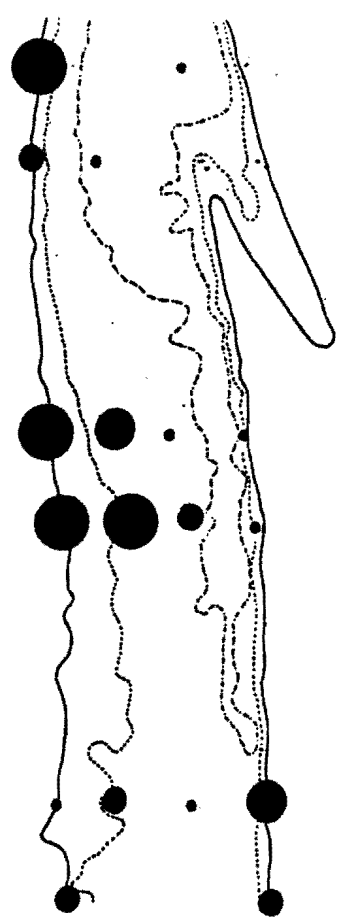
D



L



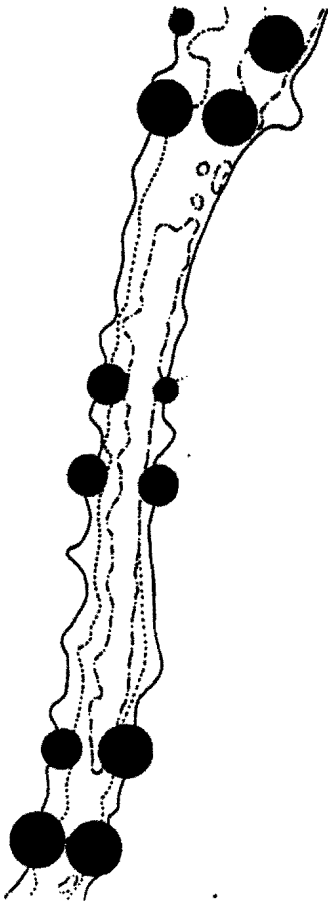
B



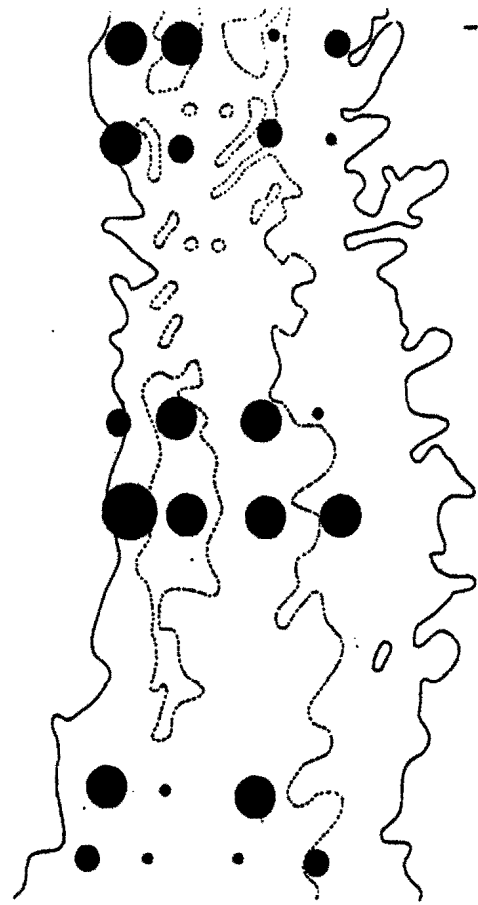
V

- 1-2
- 3-6
- 7-13
- 14-31

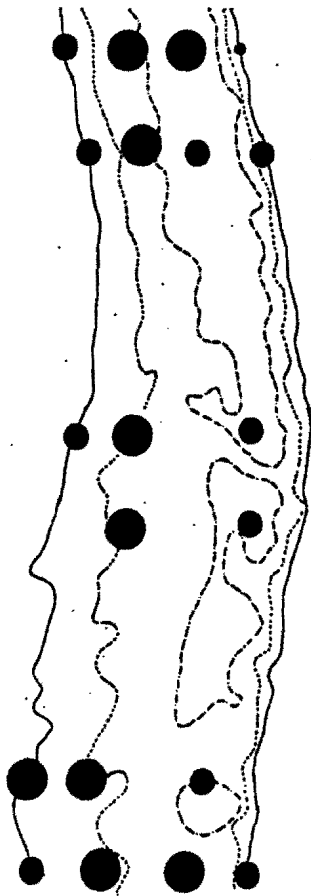
Figure 7 b : *Bathyporeia guillimamsoniana*



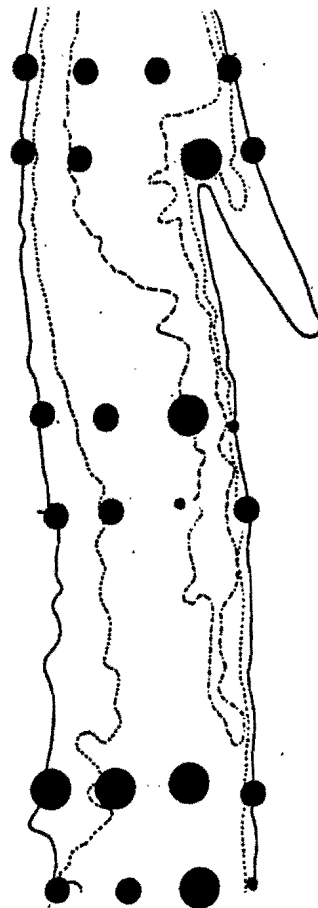
D



L



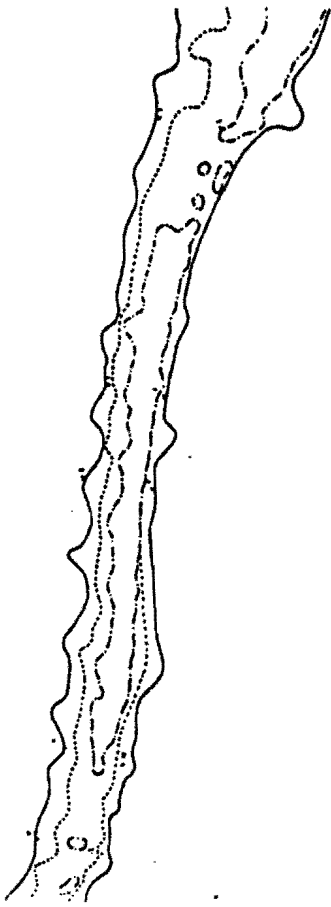
B



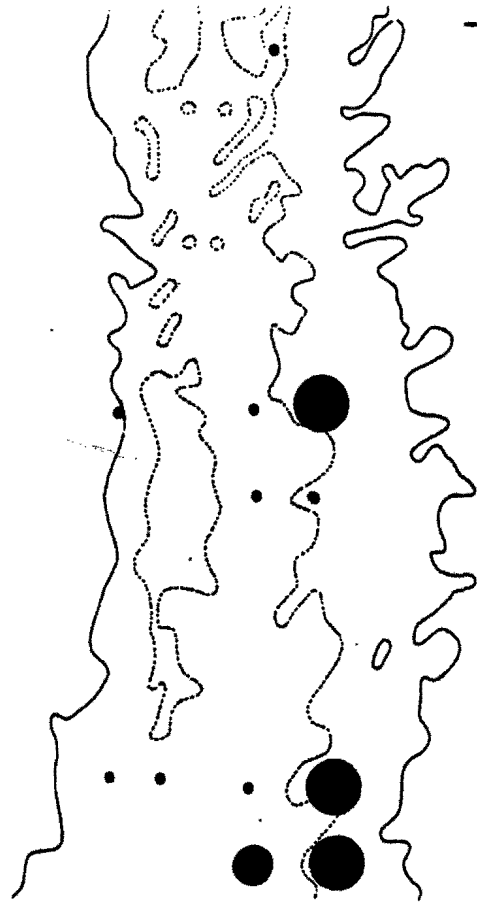
V

- 1-3
- 4-12
- 13-44
- 45-157

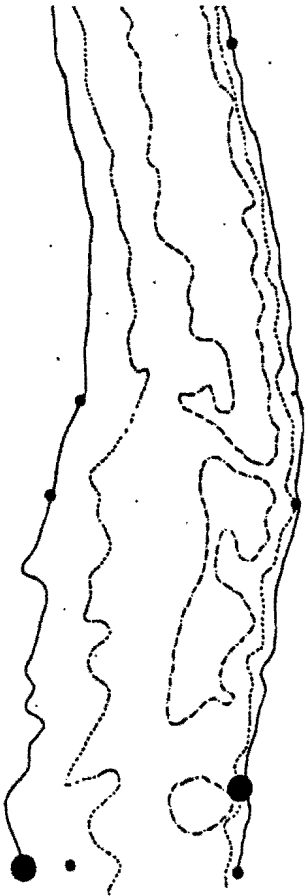
Figure 7 c : *Gastrosaccus spinifer*



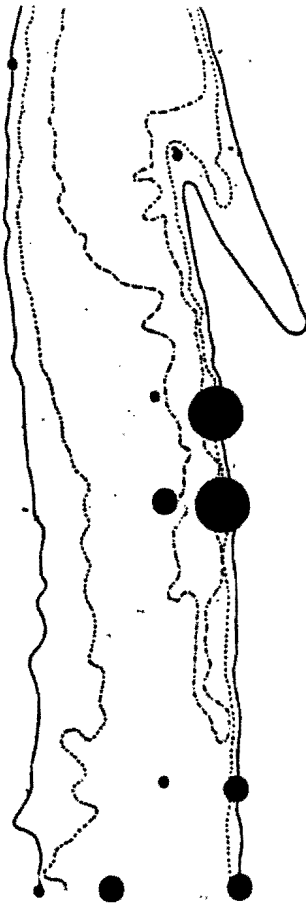
D



L



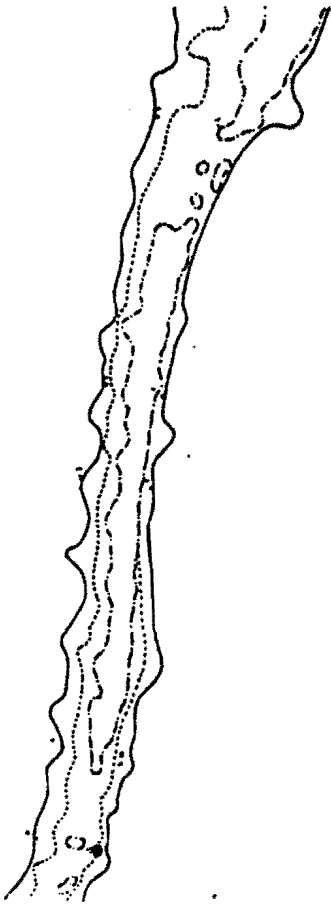
B



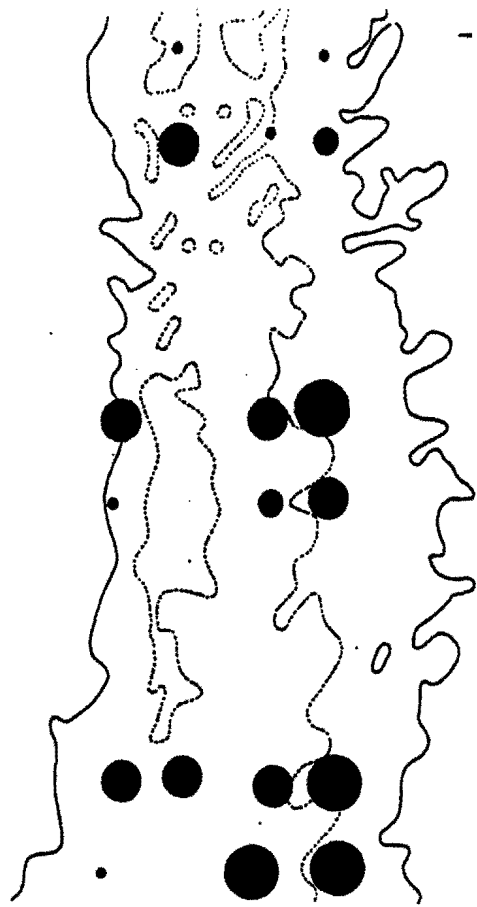
V

- 1-4
- 5-20
- 21-88
- 89-392

Figure 7 d : *Lagis koreni*



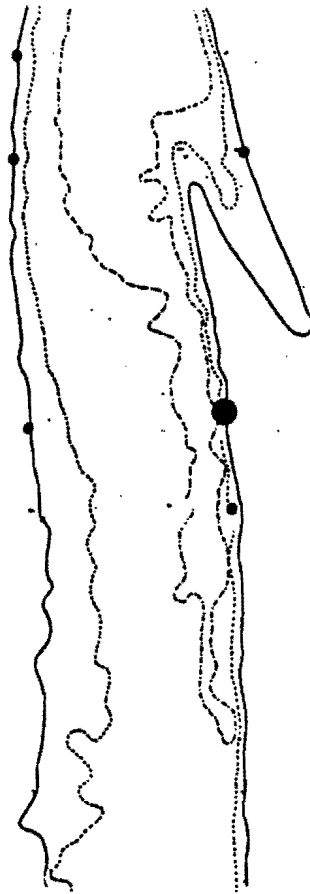
D



L



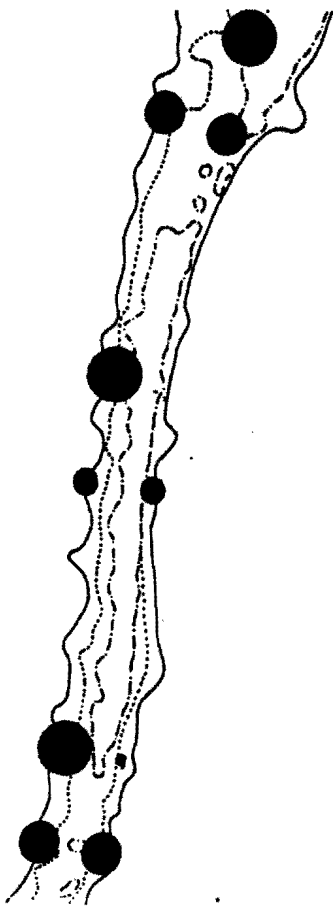
B



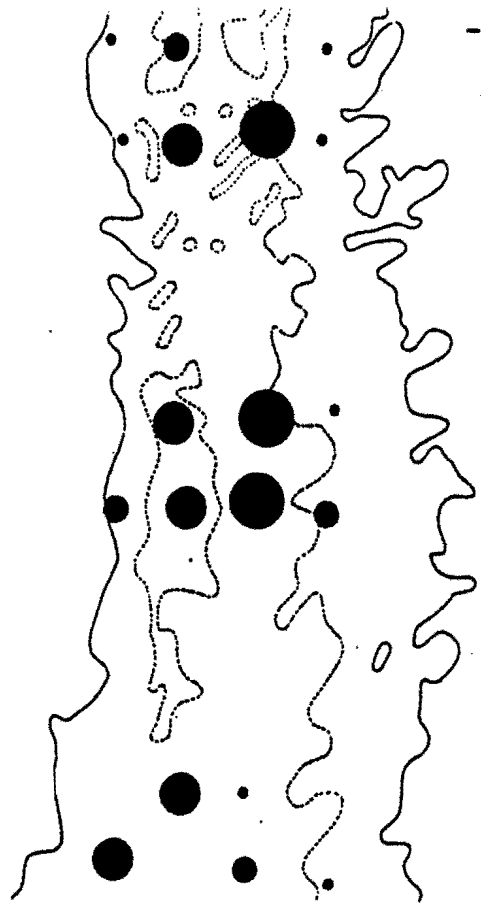
V

- 1-4
- 5-15
- 16-58
- 59-224

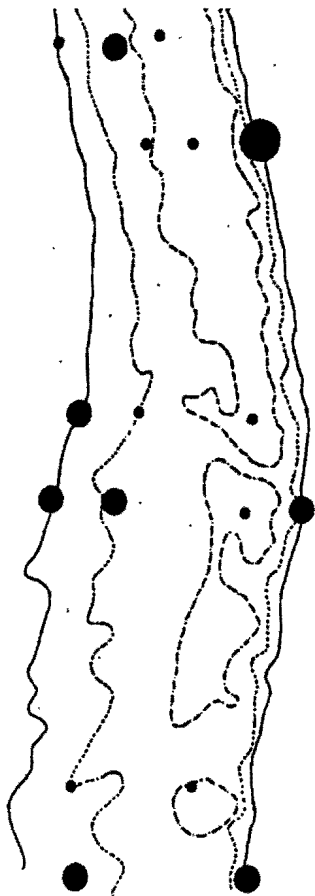
Figure 7 e : *Lanice conchilega*



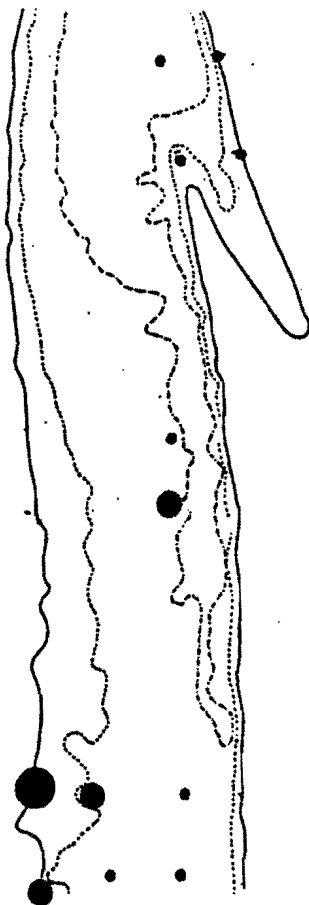
D



L



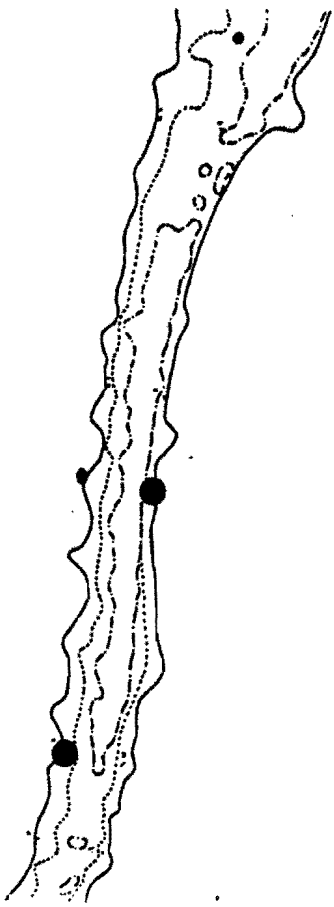
B



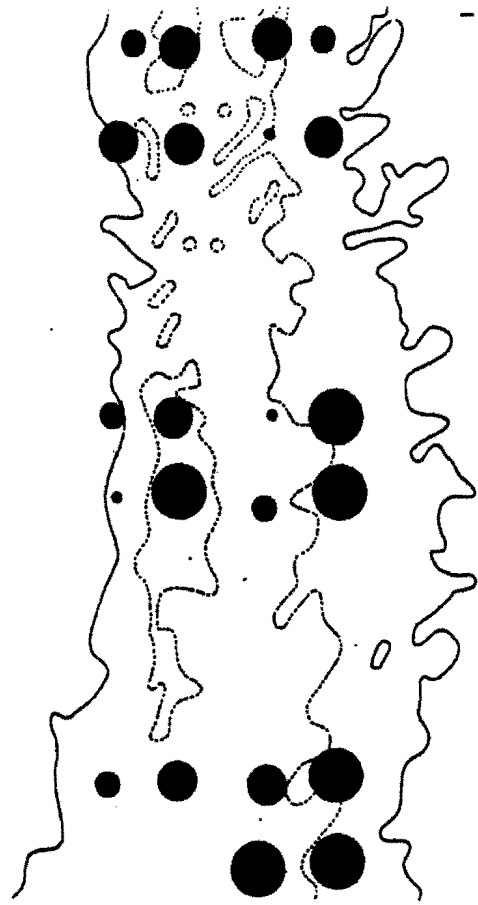
V

- 1-2
- 3-5
- 6-12
- 13-19

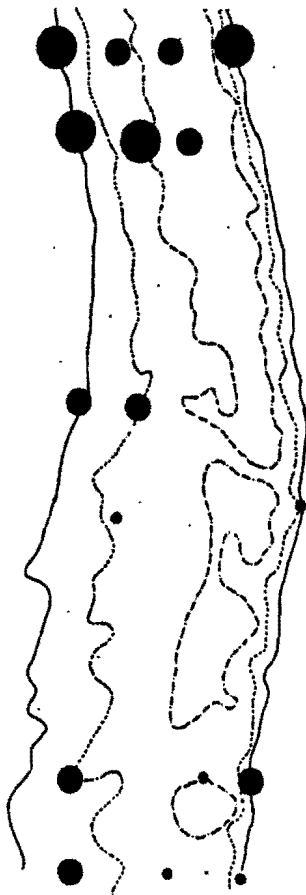
Figure 7 f : *Ophelia borealis*



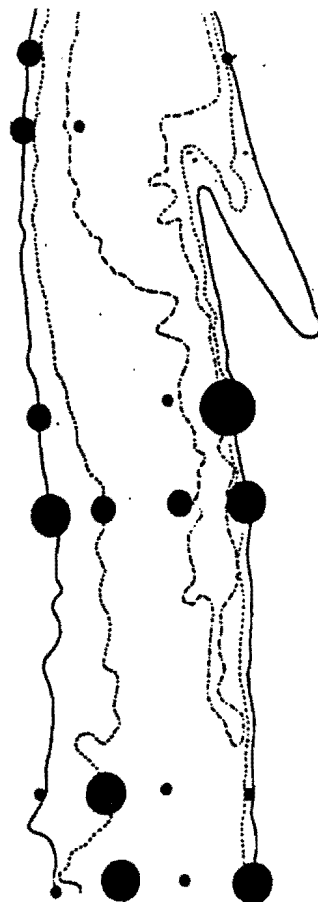
D



L



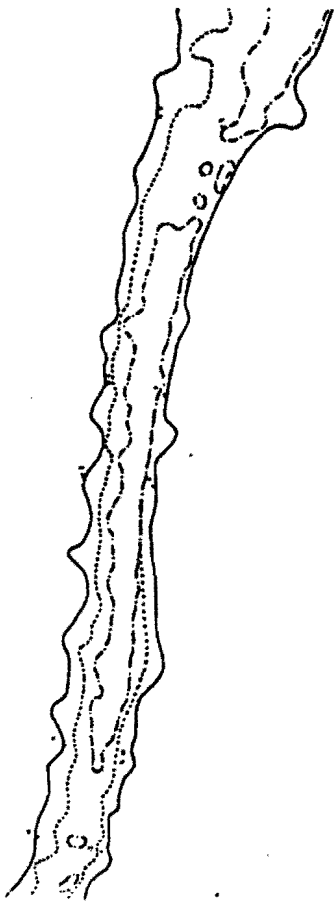
B



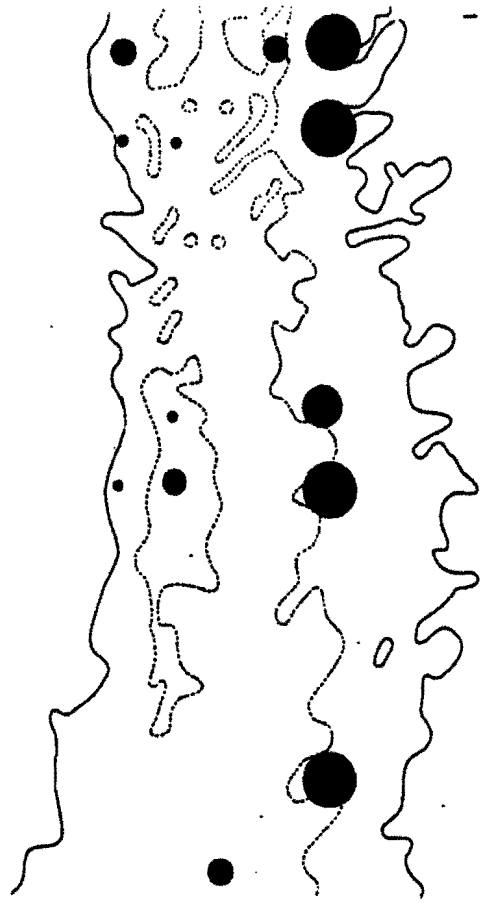
V

- 1-3
- 4-8
- 9-22
- 23-60

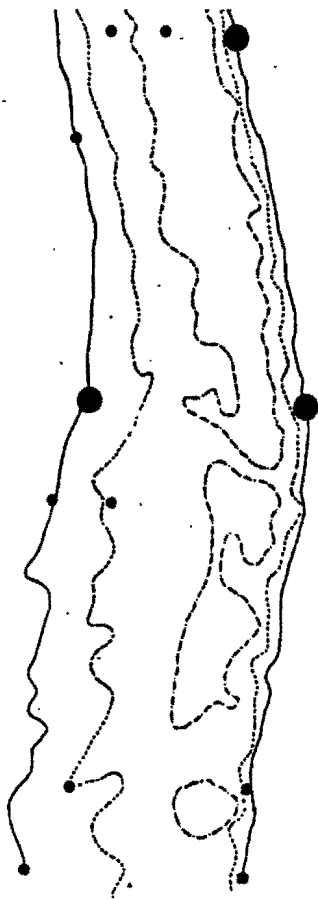
Figure 7 g : *Scoloplos armiger*



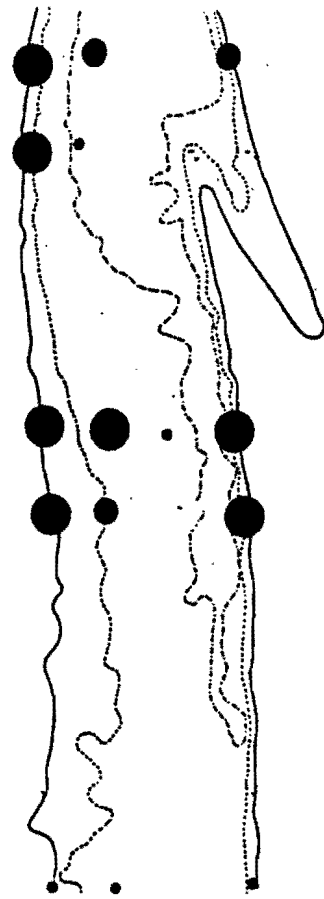
D



L



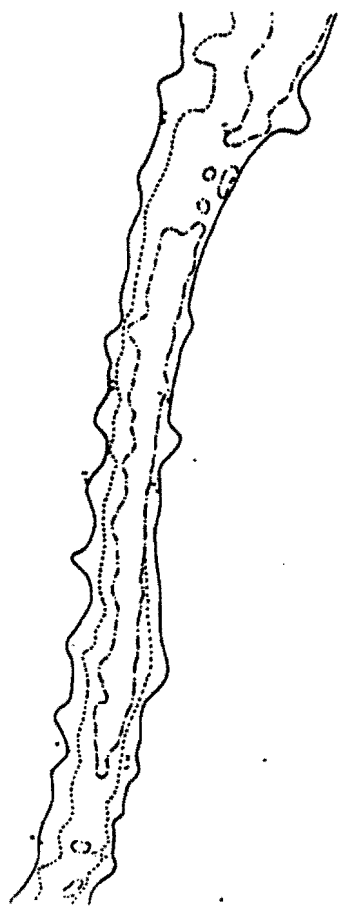
B



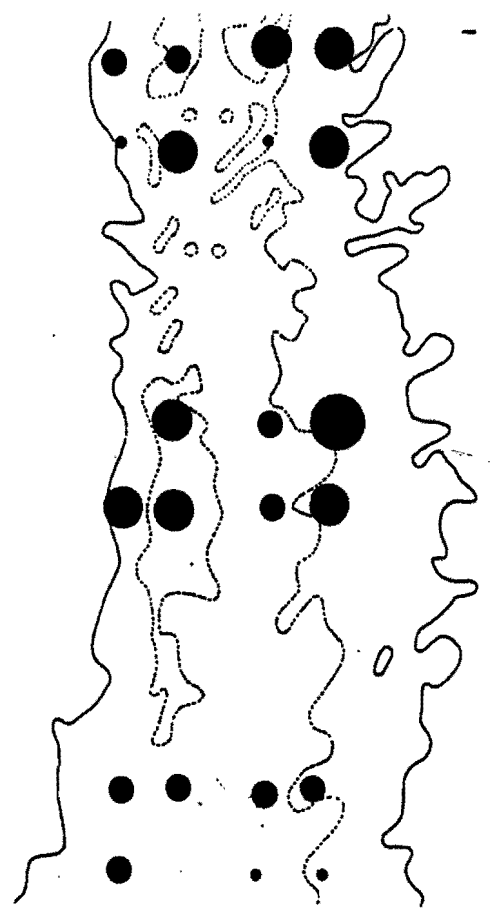
V

- 1-3
- 4-10
- 11-32
- 33-101

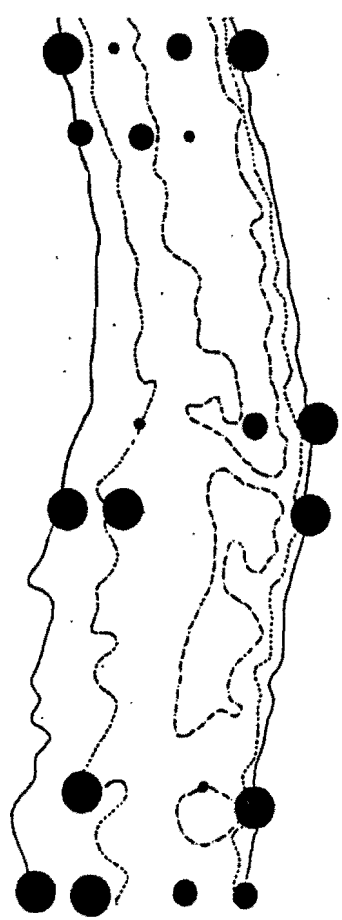
Figure 7 h : *Chaetozone setosa*



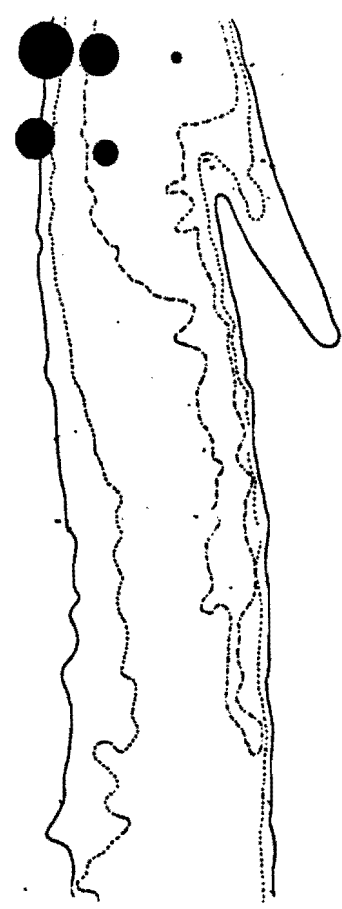
D



L



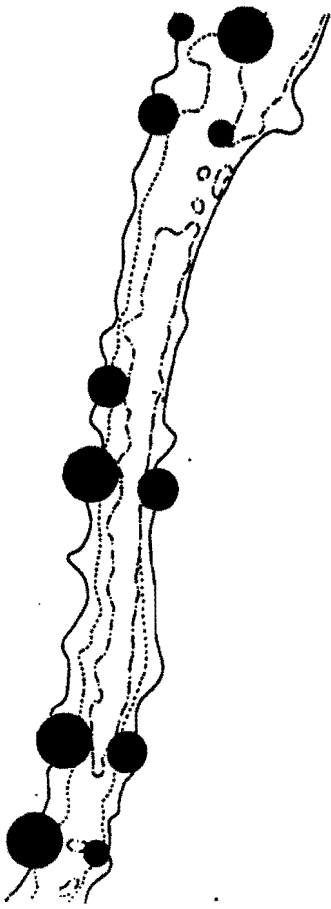
B



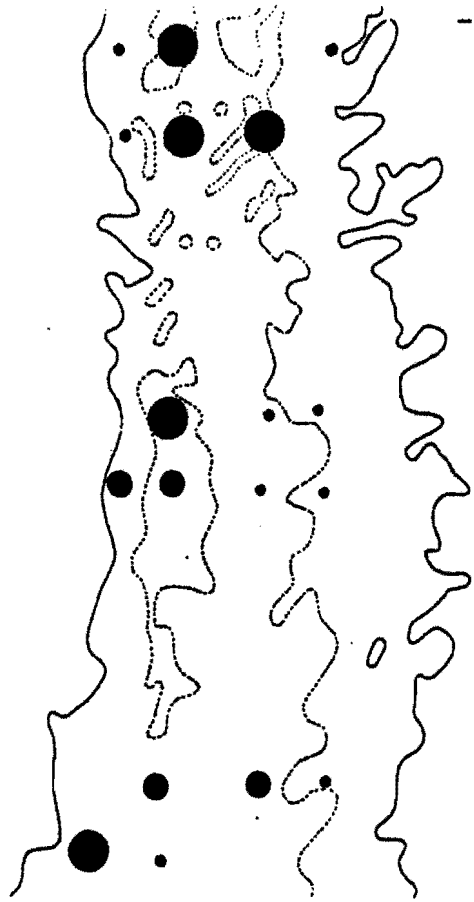
V

- 1-4
- 5-14
- 15-53
- 54-200

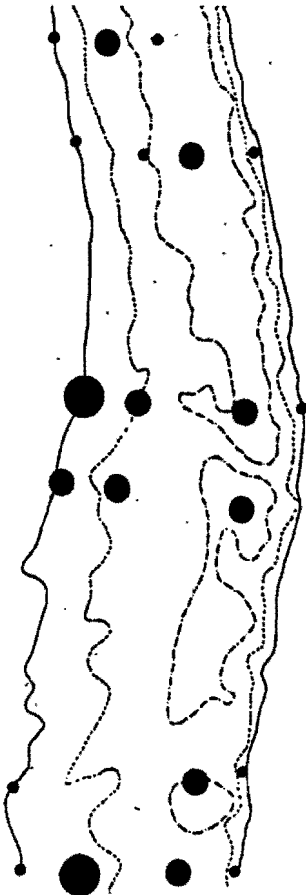
Figure 7 i : Spiophanes bombyx



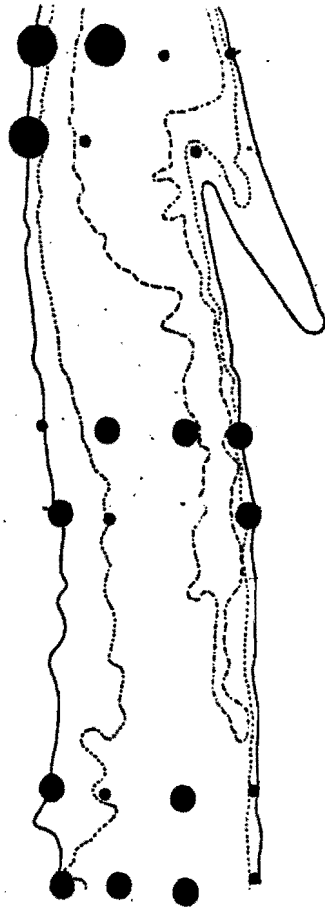
D



L



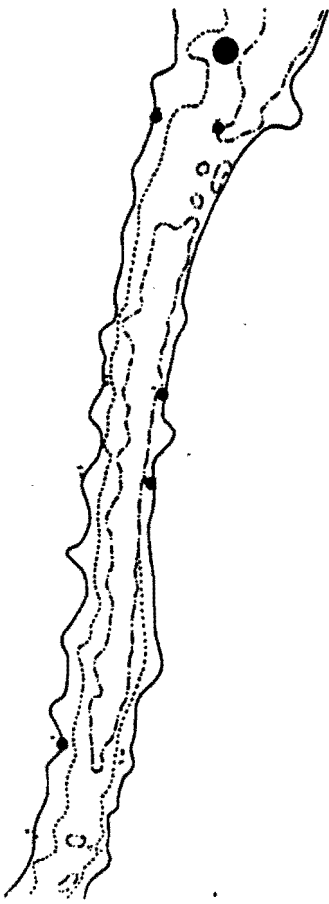
B



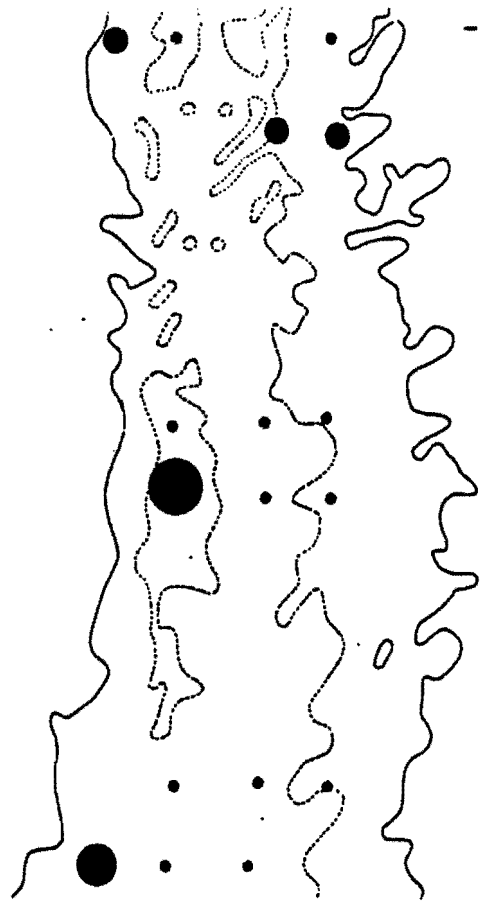
V

- 1-3
- 4-9
- 10-29
- 30-89

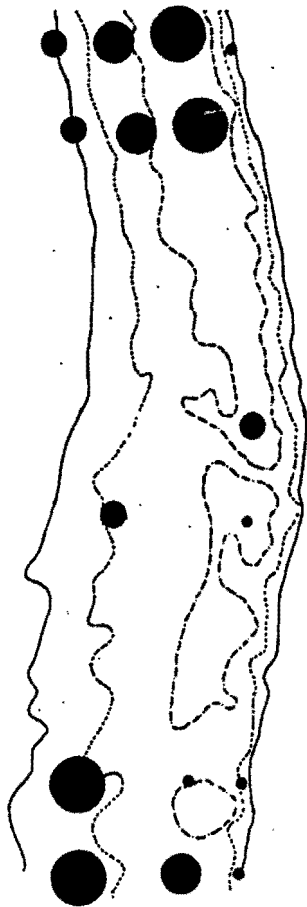
Figure 7 j : *Spio filicornis*



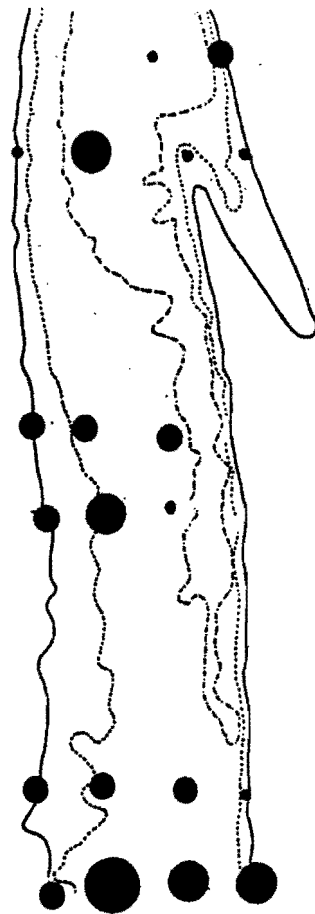
D



L



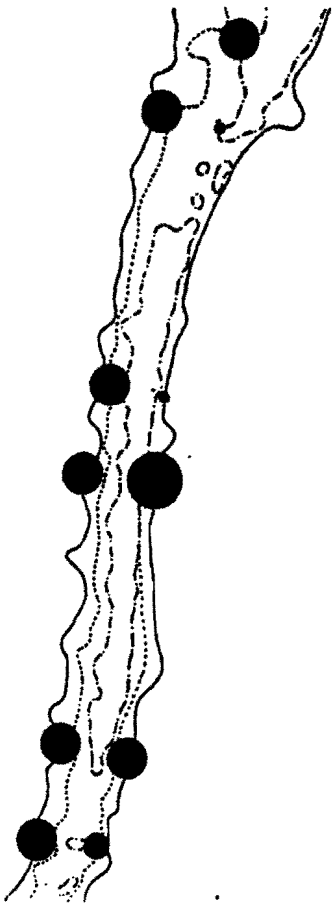
B



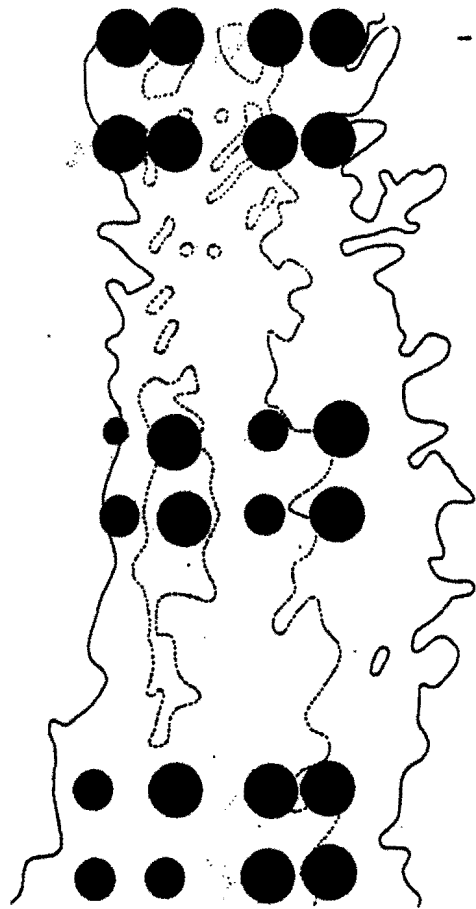
V

- 1-2
- 3-4
- 5-8
- 9-17

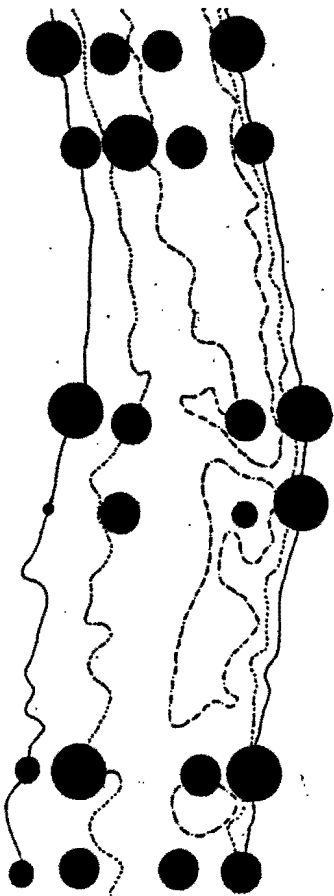
Figure 7 k : *Nerine bonnierii*



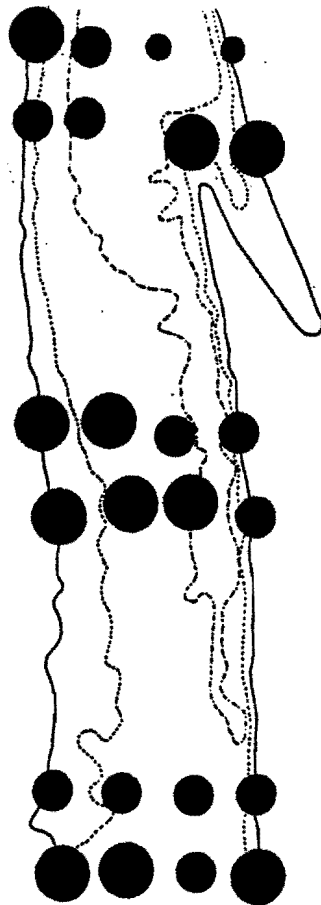
D



L



B



V

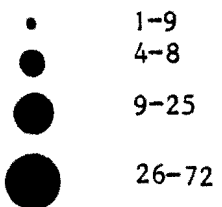


Figure 7 1 : *Nephtys cirrosa*