P 502/1

EXCLU DU PRÊT

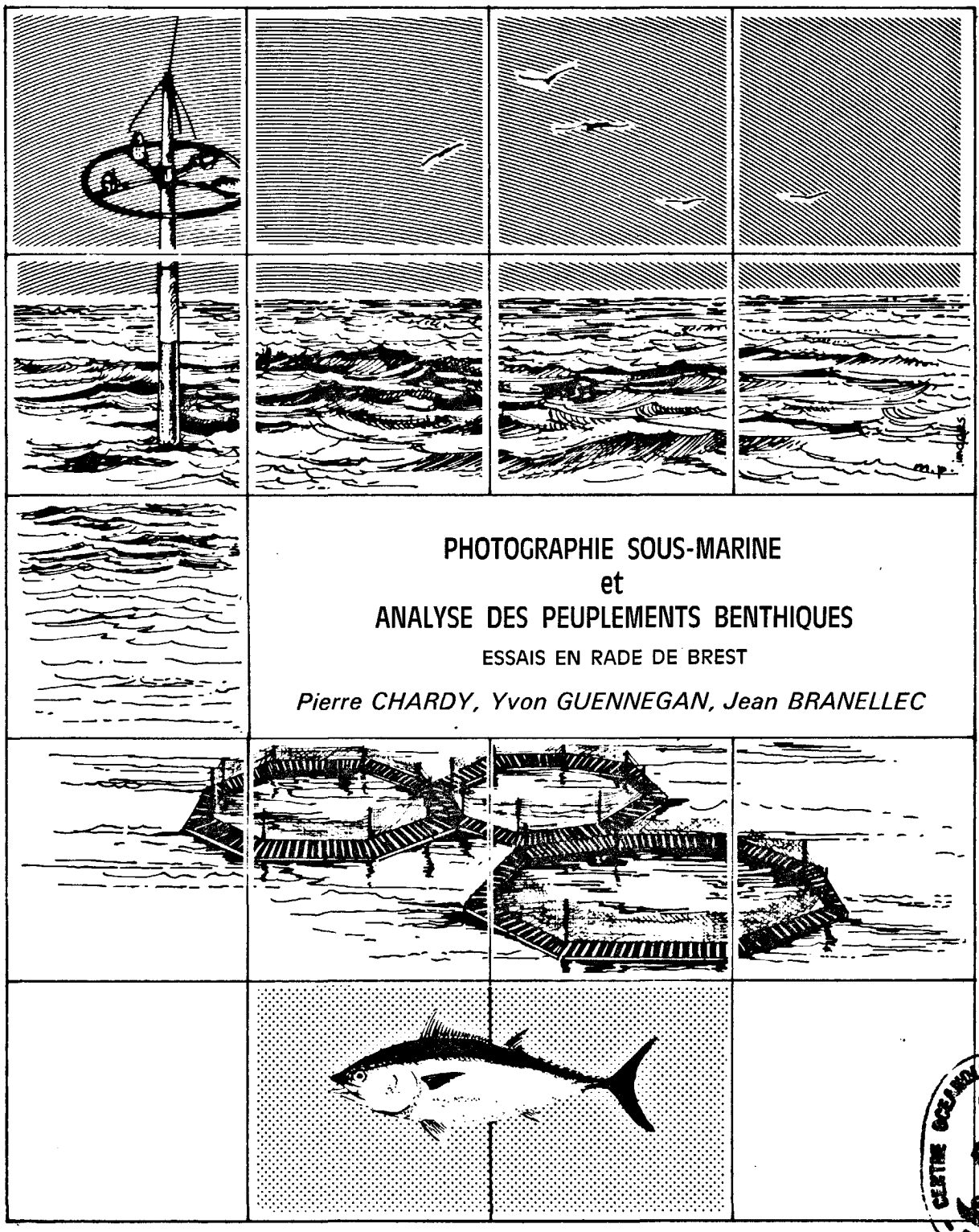
9 JUIN 1980

Publications du

CENTRE NATIONAL POUR L'EXPLOITATION DES OCEANS

Découvrez plus de documents accessibles gratuitement dans Archimer

Rapports scientifiques et techniques n° 41 - 1980



PHOTOGRAPHIE SOUS-MARINE et ANALYSE DES PEUPLEMENTS BENTHIQUES

ESSAIS EN RADE DE BREST

Pierre CHARDY, Yvon GUENNEGAN, Jean BRANELLEC

CENTRE OCEANOLOGIQUE DE BRETAGNE - B.P.D.O.

- Les Publications Scientifiques et Techniques du Centre National pour l'Exploitation des Océans (CNEXO) comportent les séries suivantes :

  The Scientific and Technical Publications of Centre National pour l'Exploitation des Océans (CNEXO) contain the following serials :

  - Rapports Scientifiques et Techniques - ISSN 0339-2899. 1971
  - Rapports Economiques et Juridiques - ISSN 0339-2910. 1973
  - Recueil des Travaux du Centre Océanologique de Bretagne - ISSN 0336-3112. 1972
  - Résultats des Campagnes à la Mer - ISSN 0339-2902. 1971
  - Actes de Colloques - ISSN 0335-8259. 1971

- Les travaux publiés dans ces séries sont analysés par :

  The works published in these serials are analysed by :

  - Aquatic Sciences and Fisheries Abstracts
  - Bibliographie Géographique Internationale
  - Biological Abstracts
  - Bulletin Signalétique du C.N.R.S. - Informascience
  - Chemical Abstracts
  - Norois - Chronique Océanographique
  - Hydrographische Bibliographie
  - Oceanic Abstracts
  - Oceanographic Abstracts and bibliography - Deep Sea Research
  - Pollution Abstracts
  - Underwater Information Bulletin
  - Zoological Record

- Les demandes d'information et les commandes concernant toutes les publications scientifiques et techniques du CNEXO doivent être adressées à :

  The inquiries and orders which concern the whole of CNEXO scientific and technical publications have to be mailed to :

SECTION DOCUMENTATION
CENTRE OCEANOLOGIQUE DE BRETAGNE
B.P. 337
29273 BREST CEDEX

Les publications envoyées en échange doivent être expédiées à cette même adresse.

The publications sent in exchange have to be forwarded to the same address.

PUBLICATIONS DU
CENTRE NATIONAL POUR L'EXPLOITATION DES OCÉANS
(C N E X O)

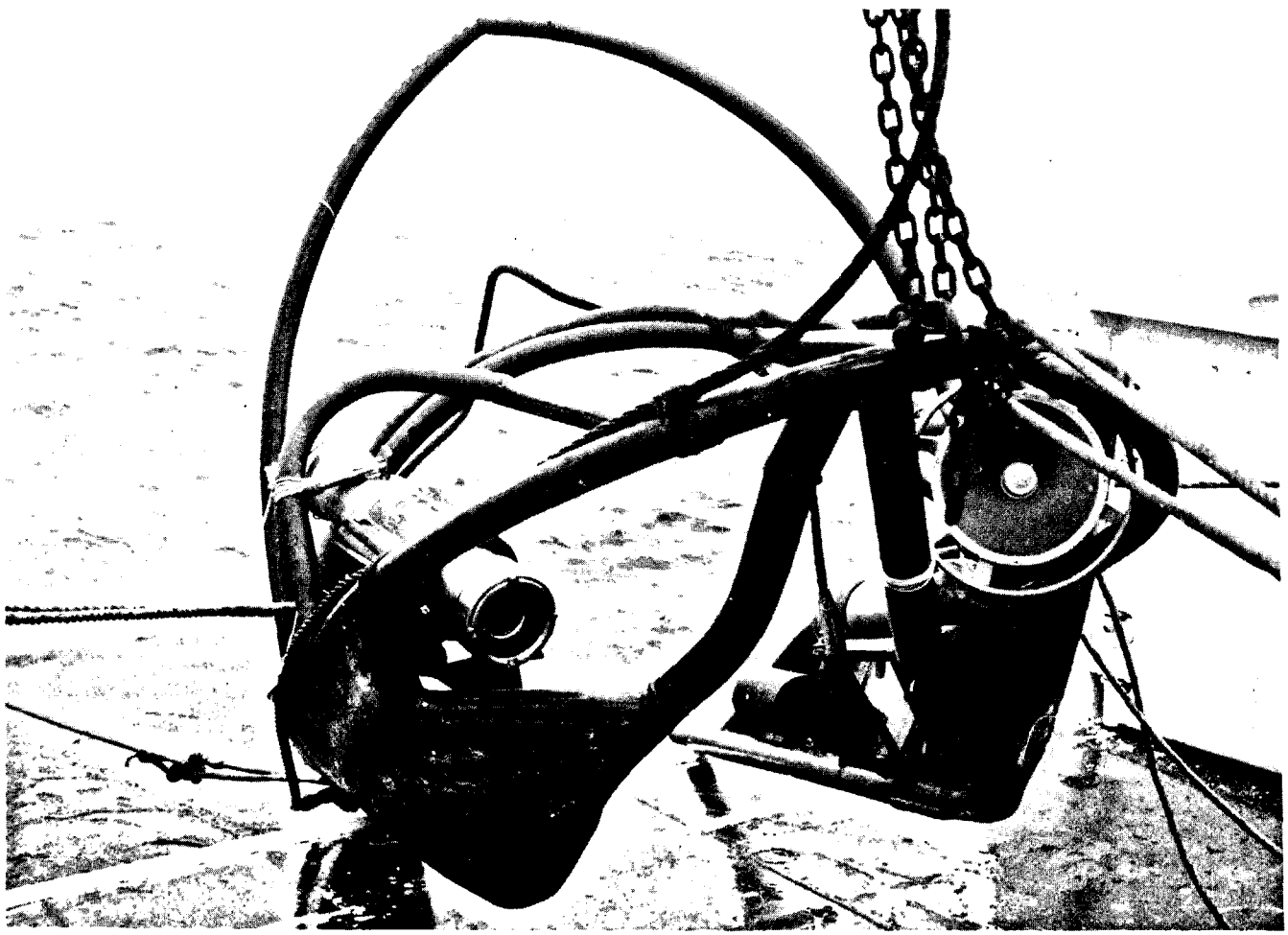
Rapports Scientifiques et Techniques N° 41

PHOTOGRAPHIE SOUS-MARINE ET ANALYSE DES PEUPLEMENTS BENTHIQUES

ESSAIS EN RADE DE BREST

par

PIERRE CHARDY, YVON GUENNEGAN, JEAN BRANELLEC
Centre Océanologique de Bretagne



Troïka équipée du système de prise de vue

ISSN 0339-2899

© Centre National pour l'EXploitation des Océans, 1980

RESUME

L'exploitation de l'information collectée au moyen de la photographie sous-marine est abordée concrètement sur un secteur de la rade de Brest. La cartographie automatique des espèces les plus abondantes permet, dans un premier temps, d'obtenir des renseignements précis sur la distribution spatiale des organismes : taille et densité des agrégations, association ou exclusion, influence de la nature du fond. Dans une seconde phase, l'analyse statistique de la dispersion des individus de chaque espèce par l'application conjointe des techniques paramétriques et non paramétriques, complète l'examen cartographique et met en évidence les hétérogénéités d'échelles spatiales. Dans une troisième étape, une synthèse des différentes distributions observées est fournie par les deux premiers axes d'une analyse d'inertie. Elle introduit une démarche explicative où l'on tente d'évaluer la part des facteurs exogènes (sédimentologie) et endogènes (comportement) entrant dans la définition des modèles de distribution observés.

ABSTRACT

Treatement of faunistical data collected by sub'marine photography is applied on an infralittoral area of "rade de Brest". Automatic cartography of the most important epibenthic species gives, in a first approach, some precisions on spatial pattern of these organisms : size and density of agregats, connecting or excluding relationships, influences of the bottom characteristics. Statistical analysis of individual distribution of each species by both parametric and non parametric tests completes this cartographic examination and point out different levels of heterogencity at different spatial scale. In a third step a synthesis regrouping all the distributions is given by the two first axis of an inertia analysis. This technique may introduce an attempt to recognize the relative contribution of the sedimentological and behavioural factors to the observed pattern.

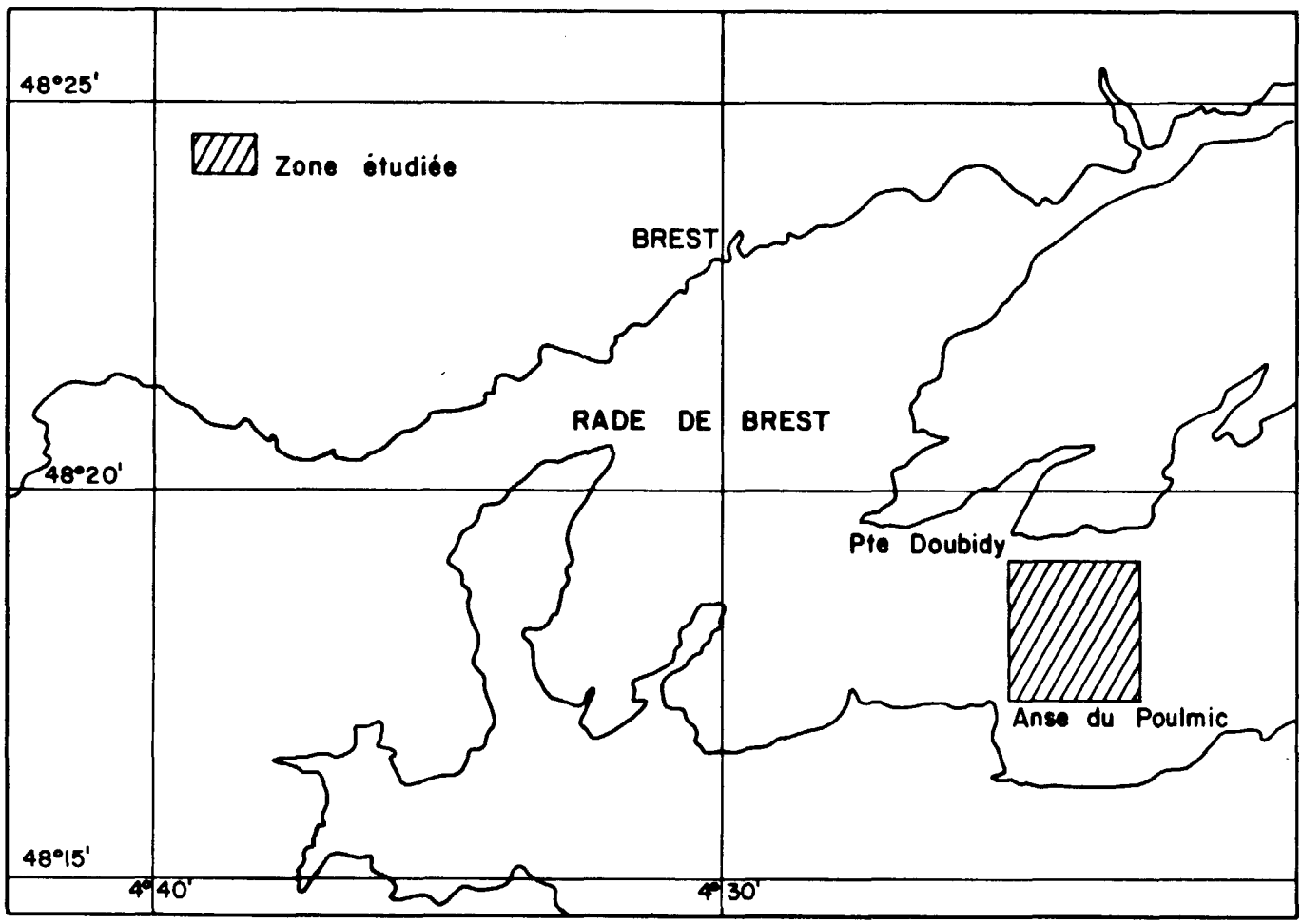


Fig. 1a : Situation de la zone étudiée en rade de Brest.

Les études "d'impact" écologique liées à l'aménagement du littoral réclament au départ la définition d'un "état de référence" sur une zone susceptible d'être perturbée. La cartographie des peuplements benthiques constitue une composante importante de cet "état de référence" dans la mesure où les organismes benthiques, fixés ou sédentaires, peuvent être considérés comme des témoins permanents de l'environnement.

Notre propos est de tester l'intérêt et les limites de la photographie sous-marine en tant qu'outil au service de la cartographie bionomique détaillée d'une zone localisée, et de présenter quelques techniques statistiques adaptées à l'interprétation des résultats.

Le terrain d'étude est situé en rade de Brest, sur un secteur de 6 km^2 environ (fig. 1a - 1b) localisé entre l'anse du Poulmic et la pointe de Doubidy.

MATERIEL ET METHODES

PRISE DE VUES SOUS-MARINES

Les radiales sont réalisées à partir de la vedette Ste Anne du COB qui tracte une troïka d'un poids de 200 kg environ (photo 1). Elle est équipée d'un système de prises de vues photographiques automatique, constitué d'un ensemble flash-caméra EGG prenant des clichés à intervalles réguliers de 10 secondes. Son autonomie est de l'ordre de 1 h 20, soit 500 photographies, ce qui correspond à un trajet sur le fond de 2 milles environ pour une vitesse de trait de 2 noeuds. La configuration de la zone étudiée ne permet pas de réaliser des traits de cette longueur, les radiales effectuées font entre 0,4 M et 1,5 M, ce qui représentent des séquences filmées de 120 à 320 vues.

Le flash et la caméra sont placés à l'avant du traineau, et positionnés avec précision à la suite de nombreux essais de prises de vues. En effet, la forte turbidité des eaux de la rade, liée à un régime hydrodynamique de type semi-estuarien, limite sérieusement la profondeur du champ de prise de vue. La turbidité variant au cours du cycle de la marée, mais également au

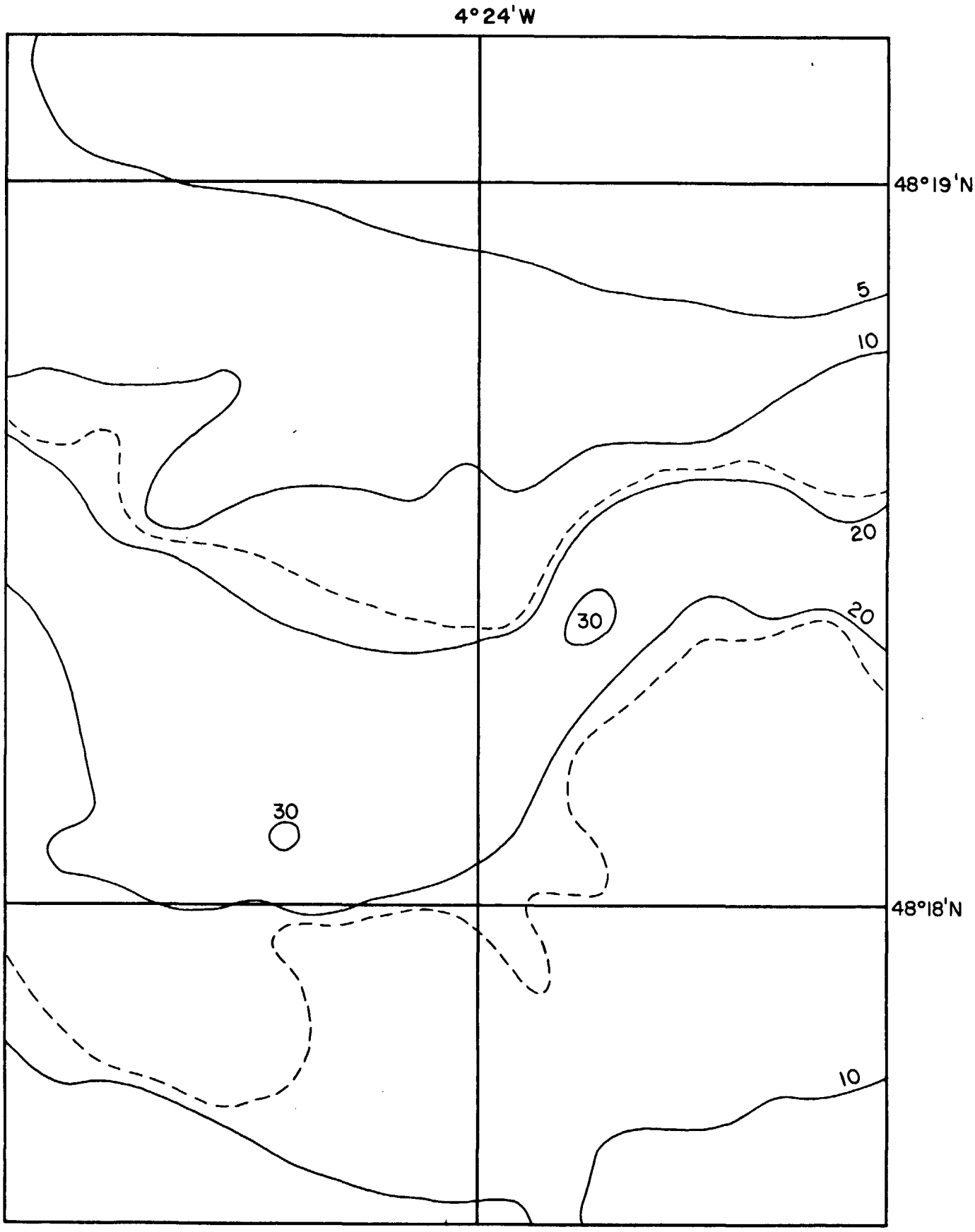


Fig. 1b : Carte bathymétrique de la zone étudiée. Isobathes en mètres.

cours des saisons pour des raisons climatiques, la qualité des photos est inégale d'un film à l'autre. Les films utilisés sont des films Kodak noirs et blancs (Plus X négatif) en bobine de 30 mètres.

Le dépouillement est réalisé à partir de la bande positive. Le développement à bord de quelques mètres de film permet de contrôler le bon fonctionnement du système, l'éclairage et la mise au point. Au cours de 8 radiales de mars et novembre 1976, 2500 photographies ont été réalisées. Seules 1535 photos ont fait l'objet d'un dépouillement précis.

La distance entre chaque photo est de l'ordre de 10 m, pour une vitesse moyenne du bateau de 2 noeuds. Cependant, la vitesse du bateau par rapport au fond est très dépendante des conditions de courants et la distance entre chaque photo peut varier selon les segments de radiales, entre 4 et 18 m.

POSITIONNEMENT

Le but consiste à replacer le trajet de la troïka sur le fond, de telle façon que l'on puisse attribuer à chaque photographie une position géographique précise. La méthode d'observation à vue directe est utilisée pour déterminer la position du bateau. La configuration et l'étroitesse de la rade de Brest à cet endroit se prêtent bien à ce genre de méthode.

La combinaison de différentes observations simultanées d'amers, d'alignements, de relèvements au compas, définit pour chaque radiale une succession de segments de route d'une dizaine de photos, reproduisant le trajet surface du bateau dans le temps. Il est nécessaire d'apporter une correction au trajet de la troïka sur le fond en le décalant sur l'arrière du trajet bateau d'une distance égale à la profondeur, l'angle du câble étant approximativement de 45°. L'heure d'arrivée sur le fond de la troïka est notée et correspond à la première photographie, les autres se succèdent de façon automatique toutes les 10 secondes, soit 6 photographies toutes les minutes. Les photos sont numérotées et placées sur la carte en les recalant par rapport aux points surface. Des variations de vitesse du bateau peuvent être observées sur le trajet fond.

L'utilisation de la bande sondeur permet de contrôler l'exactitude de la position du trait sur le fond, en comparant les valeurs trouvées sur la carte (échelle 1/10 000) et les valeurs relevées sur le sondeur (après correction de la hauteur de la marée).

DEPOUILLEMENT PHOTOGRAPHIQUE

Chaque photographie est observée dans l'ordre des prises de vues et numérotée. Les différentes espèces observées sont identifiées et quantifiées, soit en nombre d'individus lorsque cela est possible, soit à l'aide d'une cotation d'abondance allant de 0 à 5 pour les espèces, dont les plus denses. Le sédiment est décrit de la façon suivante : deux catégories sédimentaires parfaitement reconnaissables, sable envasé et maërl, sont définies par un coefficient allant de 1 à 3 (maërl pur = 3). La description du sédiment peut faire intervenir les deux catégories simultanément dans la mesure où la somme des coefficients est toujours égale à 3. Un

fichier informatisé indique pour chaque photographie :

- le n° du trait ;
- le n° de la photo ;
- la profondeur à laquelle la photo a été prise ;
- la nature du sédiment (codée) ;
- les espèces observées (17) avec leur effectif ou leur cotation d'abondance.

La surface couverte pour chaque photo est d'environ 1 m^2. Ce fichier a été implanté sur ordinateur, les programmes de gestion (sortie sélective, cartographie des valeurs) ont été rédigés en Fortran.

REPRESENTATION GRAPHIQUE

La répartition spatiale de chaque espèce est représentée directement sur le réseau d'observations établi à l'aide du positionnement. Chaque trait de troïka est subdivisé en segments de 10 photos à l'intérieur desquels on considère que l'intervalle entre deux photos consécutives est égal. Chaque photo étant ainsi repérée, il est possible de représenter par un trait perpendiculaire à la direction de la radiale la présence, voire même l'abondance, d'une espèce en chaque point du réseau. La gestion informatique du fichier dans lequel les données brutes sont archivées, prévoit la sortie cartographiée de chaque espèce sur le réseau d'information.

METHODES STATISTIQUES

Les outils proposés dans cet article ont pour but la description de la distribution spatiale d'une ou plusieurs espèces et non l'estimation de paramètres (densité, variance). Remarquons toutefois, avec CHESSEL (1978), que les problèmes d'estimation renvoient en général à des problèmes de description.

METHODES PARAMETRIQUES

Pour les espèces les plus abondantes, les distributions de fréquences observées sont comparées aux distributions théoriques des trois lois classiques utilisées en écologie : loi normale, loi de poisson, loi binomiale négative. Un χ^2 est calculé entre la distribution observée et chacune des distributions théoriques pour chaque espèce. Il ne s'agit pas d'un test d'ajustement mais d'une représentation graphique permettant d'apprécier le degré de surdispersion de chaque espèce. Dans certains cas, les distributions sont examinées à l'intérieur des taches de plus forte densité.

METHODES NON PARAMETRIQUES

Pour les espèces dont la distribution spatiale demeure particulièrement difficile à résumer, une courbe de "contagion vraie" en présence-absence a été calculée. Le but de cette technique (CHESSEL et GAUTIER, 1977) est d'indiquer les principales échelles spatiales auxquelles on enregistre les plus fortes hétérogénéités et permet donc une description complète de la dispersion spatiale des individus d'une espèce. CHESSEL (1978) fournit une description très complète du principe de la méthode, dont nous présentons ici un bref résumé :

Soit un ensemble de N photos formant deux blocs de N/2 photos. Sur les N photos, M sont marquées + et caractérisent la présence de l'espèce. Le principe de base est fondé sur l'équiprobabilité des $\binom{N}{M}$, figures formées par les N points alignés dont N sont marqués + et (N-M) sont marqués -. Appelons D et G le nombre de + enregistrés dans chacun des deux blocs (bloc de droite et bloc de gauche). L'hétérogénéité est mesurée par la variable $H = |D - G|$. Dans le modèle de l'équiprobabilité des $\binom{N}{M}$ choix des M points parmi les N, la variance et la moyenne de H sont notées E (H ; M, N) et V (H ; M, N). Les relations suivantes permettent de calculer ces paramètres.

$$V\ (H\ ;\ M,\ N) = \frac{M\ (N-M)}{N-1} - (E\ (H\ ;\ M,\ N))^2$$

$$E\ (H\ ;\ 1,\ N) = 1$$

$$E\ (H\ ;\ 2\ k + 1,\ N) = \frac{2\ k + 1}{2\ k}\ E\ (H\ ;\ 2\ k,\ N)$$

$$E\ (H\ ;\ 2\ k,\ N) = \frac{N - 2\ k}{N - 2\ k + 1}$$

CHESSEL et GAUTIER appellent indice de contagion vraie en présence-absence, l'indice relatif à la variable H conformément à la relation :

$$I_H = \frac{1}{\sqrt{E^*}} \sum_{i=1}^{E^*} \frac{H(i) - E(i)}{\sqrt{V(i)}}$$

I_H est traité comme une variable normale centrée réduite. E^* est le nombre d'expériences (blocs de N photos) indépendantes fournissant une valeur non nulle de V(i). (H(i) est la valeur observée de la variable H pour le ième bloc de photos dont la variance et la moyenne sont V(i) et E(i)). Plusieurs indices de contagion peuvent être calculés en faisant varier la taille des N. La courbe obtenue à partir de cet ensemble de valeur est la "courbe de contagion vraie".

ANALYSE MULTIVARIABLE

Une synthèse des différentes distributions spatiales portant sur l'ensemble des espèces recencées est fournie par les deux premières composantes d'une analyse d'inertie. L'analyse de la matrice des corrélations entre espèces fournit une structure globale des liens qui existent entre les différentes distributions spatiales. En faisant appel à la dualité observations-variables, les deux premières composantes résumant la structure faunistique peuvent être cartographiées sur le réseau d'observations considéré.

NOTA :

sur les photographies des pages suivantes, les chiffres portés dans le cartouche indiquent :

- 1re ligne : l'heure, les minutes ;
- 2ème ligne : les secondes, le jour ;
- 3ème ligne : le numéro du trait.

Photo 2 : *Ophiocomina nigra* et *Echinus esculentus*.

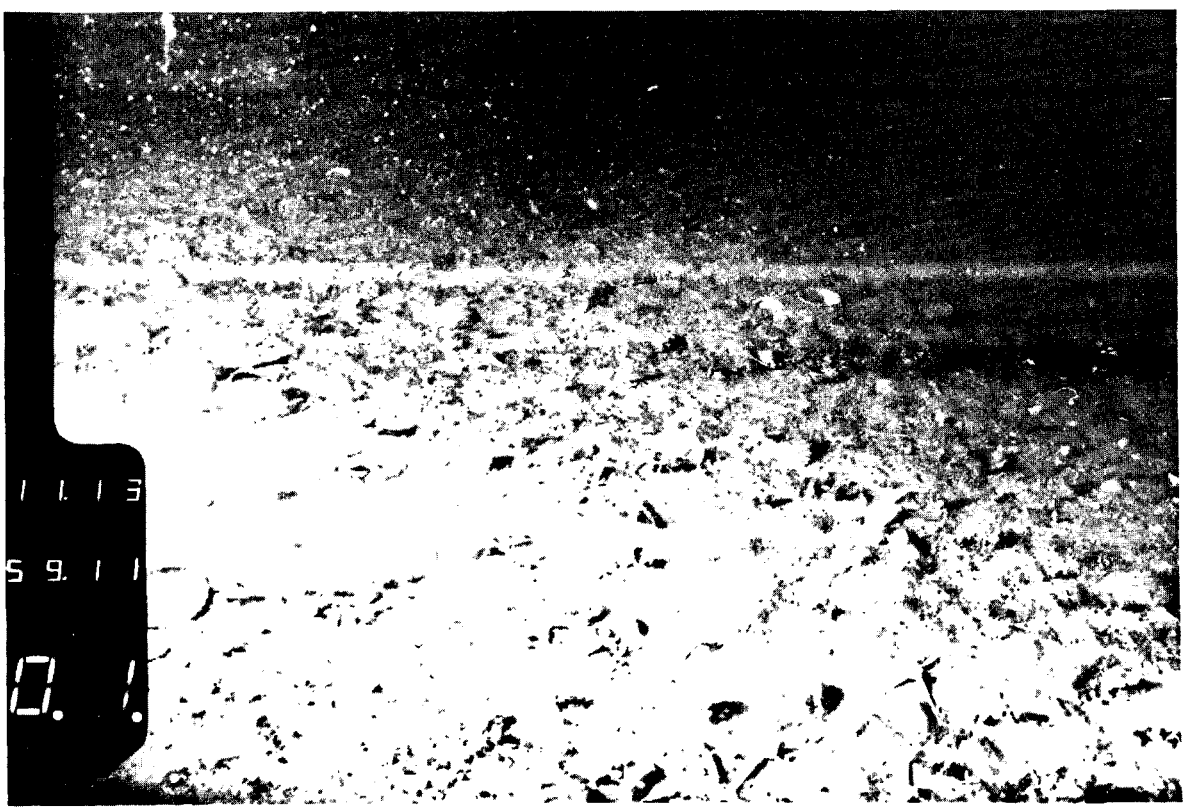


Photo 3 : *Ophiura albida* sur fonds sableux.

RESULTATS

Les résultats concernant le sédiment, puis les cinq espèces les plus abondantes, sont examinés successivement. La synthèse générale, dont l'analyse d'inertie est le support, termine ce chapitre.

SEDIMENT (fig. 2)

La répartition "sable envasé (en vert) - maërl (en rouge)" se lit sur la figure 2 de la façon suivante : chaque radiale est subdivisée en un nombre variable de segments de dix points, chaque point caractérisant la position d'une photo. Sur chaque "point-photo" un trait perpendiculaire à la direction de la radiale, et dont la cote varie de 1 à 3, figure la proportion de sable envasé (trait vert) et de maërl (trait rouge). Un fond de maërl pur est caractérisé par une série continue de points comportant des traits verts cotés 3. Un fond mixte à prédominance "sable envasé" est identifié par une série de points comportant un trait rouge de cote 1 et un trait vert de cote 2. L'absence d'information sur certains "points-photos" correspond à l'existence d'une autre catégorie sédimentaire de type graviers ou débris coquilliers.

L'examen de la figure 2 montre clairement que les fonds hétérogènes (sables envasés + maërl) sont prédominants. Toutefois, il existe, dans l'axe du lit de la "vallée", une zone de sable envasé (photo 3) parfaitement définie par la radiale 1 et le recoupement des radiales 2, 11, 12. Inversement, les versants nord et sud (bathymétrie supérieure à 20 m) sont constitués par des fonds où le maërl domine (photo 3).

La répartition des différentes espèces sera commentée en relation avec la structure sédimentaire.

OPHIOTHRIX FRAGILIS (fig. 3)

Les études portant sur la distribution de cette espèce en Manche sont extrêmement nombreuses et une partie non négligeable des résultats provient d'observations *in situ* par caméra sous-marine (VEVERS, 1952 ; BARNES, 1955 ; CABIOCH, 1967). Nos résultats n'apportent rien de nouveau sur la répartition générale des Ophiothrix, reconnue "contagieuse" ; ils visent uniquement à illustrer une demande descriptive et à apporter un complément d'information, notamment au niveau des variations de l'hétérogénéité spatiale de la distribution en fonction de l'échelle d'observation.

Nous avons représenté simultanément sur le même graphique *Ophiothrix fragilis* et *Crepidula fornicata* car il semble exister un phénomène d'exclusion pour les fortes densités chez ces deux espèces. Les *O. fragilis*, représentées en trait vert sur la figure 3 par une cotation d'abondance allant de 1 à 5 (*), occupent une vaste zone comprenant le lit de la vallée et son versant sud. On note que la présence de cette espèce ne paraît pas influencée par la nature du fond. Cependant, au niveau quantitatif, les zones de sables envasés sont plus pauvres en indi-

(*) Correspondance approximative entre le nombre d'individus et la cotation : 1 ≤ 10 ; 2 = 20 ; 3 = 30 ; 4 = 40 ; 5 ≥ 50.

vidus. La lutte pour la place avec *Crepidula fornicata* est particulièrement évidente sur cet exemple : les zones de forte densité de Crépidules (début de la radiale 13 et début des radiales 2 et 11) sont dépourvues d'Ophiothrix.

On note également que les agrégats d'Ophiures, souvent appelés "prairies" en raison de l'aspect herbacé que leur confèrent les bras dressés (photo 4), peuvent atteindre des dimensions relativement importantes : 4 suites de présences continues rassemblent plus de 65 photos, ce qui représente des taches de 650 m au moins.

Le comptage précis du nombre d'individus par photo n'a été effectué que sur les radiales 11 et 12. Les résultats sont résumés par la distribution de fréquence des effectifs observés, chaque classe comportant 5 individus (fig. 4). La comparaison avec la distribution des fréquences théoriques des trois modèles de répartition spatiale montre une nette affinité avec la loi binomiale négative, ce qui suggère de la part d'*Ophiothrix fragilis* une distribution en agregats.

Les densités maximales, observées sur les fonds mixtes maërl - sable, ne dépassent pas 100 individus au m^2, chiffre très inférieur aux densités observées par CABIOCH (1967), (200-300/m^2) dans la région de Roscoff, à l'aide de la photographie sous-marine. Les plus fortes densités relevées (dans la littérature) sont en général associées aux fonds rocheux ce qui explique les différences constatées. Remarquons que dans le secteur qui concerne cette étude les densités les plus faibles sont localisées sur les fonds sablo-vaseux, fait qui se lit directement sur la carte. La dispersion de cette espèce est clairement influencée par la nature du fond.

L'indice de contagion vraie en présence-absence (cf : Méthodes statistiques, p. 8) a été calculé pour des valeurs croissantes de "N" selon une progression arithmétique dont la base est égale à la valeur initiale de "N" (fig. 5). Toutes les radiales ont été considérées dans cette analyse. Afin de tester la robustesse de la méthode vis-à-vis du choix de la maille spatiale, deux courbes de contagion ont été établies à partir des valeurs de départ N = 4 et N = 10. La première courbe rend donc compte de la contagion de l'espèce pour une échelle d'observation variant selon un "pas" de 4 photos ; la seconde rend compte du même phénomène pour un "pas" de 10 photos.

L'examen de la figure 5 montre une bonne cohérence entre les deux courbes ainsi obtenues. Sauf pour les faibles valeurs de N, l'allure générale de la "courbe de contagion vraie" n'est dont pas dépendante du "pas" définissant les différentes échelles d'observations. Les trois modes principaux mis en évidence indiquent les principales échelles auxquelles on enregistre une forte hétérogénéité spatiale : cette condition est réalisée pour les séries d'observations comportant environ 120, 230 et 350 photos. La valeur maximale de I_H est de 19,03 pour une série d'observations comprenant 348 photos. La taille des agrégats correspond approximativement à N/2 pour les I_H maxima : sur cet exemple, trois échelles d'agrégat apparaissent dont les tailles correspondent à des blocs de 60, 115 et 175 photos, soient environ 600 m (taille déjà mise en évidence par l'observation directe sur graphique), 1150 m et 1740 m. Ces chiffres ne donnent qu'une idée approximative de l'ordre de grandeur des agrégations, la forme des agrégats ne pouvant pas être prise en compte dans le présent travail. Néanmoins, ils indiquent clairement l'existence d'une structure spatiale à trois échelles d'hétérogénéité. Notons que, quelle que

soit l'échelle retenue, l'indice de contagion est toujours positif, ce qui implique une permanence de la surdispersion chez cette espèce. L'hétérogénéité spatiale constatée est due pour une part aux variations de la nature du fond, paramètre qui, nous l'avons vu, influence sensiblement la répartition d'*Ophiothrix fragilis*. Une étude plus fine eût consisté à traiter séparément les fonds sablo-vaseux et les fonds mixtes "sable + maërl".

Selon MILEYKOVSKIY (1967) les agrégats d'*Ophiothrix* pouvant atteindre plusieurs couches d'épaisseur devraient être interprétés comme un système de protection mutuelle des individus contre la prédation. On voit mal en rade de Brest quels peuvent être les prédateurs de cette espèce.

CREPIDULA FORNICATA (fig. 3)

La distribution de la Crépidule en rade de Brest a déjà fait l'objet d'une étude par COUM (1979), à la benne Mac Intyre et par photographies. Les Crépidules, représentées en traits rouges par une cotation de 1 à 5 (*) sur la figure 3 occupent une partie des flancs nord et sud de la vallée. La répartition de cette espèce semble influencée par la nature du fond dans la mesure où très peu d'individus sont présents sur les fonds sablo-vaseux stricts occupant le lit de la vallée. Les plus fortes densités de Crépidules (photo 5) sont rassemblées sur le flanc sud à l'est et le flanc nord à l'ouest, sur des zones non occupées par les *Ophiothrix fragilis*. Ces deux agrégats, confirmés par les recoupements des radiales 11 et 2, et 13 et 9, correspondent à des suites continues de présences de plus de 40 photos, soit une distance d'environ 400 m.

De toutes les espèces étudiées, la Crépidule présente, de très loin, le modèle de répartition spatiale le plus dispersé, comme en témoigne la comparaison des distributions de fréquences théoriques et observées (fig. 6) effectuée à partir du trait 11, seul trait bénéficiant d'un comptage précis des colonies et d'une estimation du nombre d'individus. Dans ce cas, les fréquences observées sont confondues avec les fréquences théoriques de la loi bionomiale négative.

Une étude de la contagion vraie en présence-absence ne paraît pas s'imposer en raison du caractère extrêmement net de la répartition de cette espèce, directement lisible sur la figure 3. En effet, deux types de répartition sont reconnaissables : l'un comprenant des agrégats compacts de 30 à 40 photos (soit de 300 à 400 m environ) liés à l'absence d'*Ophiothrix fragilis* et caractérisé par de fortes densités de Crépidules ; l'autre, plus faiblement contagieux, est constitué d'ensembles discontinus de "blocs" de quelques photos couvrant des segments de radiale de 500 à 600 m et est lié à la présence d'*Ophiothrix fragilis*. Il apparaît donc clairement sur ce graphique que le mode de distribution spatiale de *Crepidula fornicata* est pour une large part dépendant de la répartition d'*Ophiothrix fragilis*.

OPHIOCOMINA NIGRA (fig. 7)

Le nombre d'individus par photographie étant faible (photo 2), un dénombrement précis a été effectué sur toutes les radiales de l'espèce. La répartition d'*Ophiocomina nigra*, représentée en traits verts sur la figure 7, est strictement limitée, pour notre secteur d'étude, à la

(*) Correspondance approximative du nombre d'individus avec la cotation : 1 = < 10 ; 2 = 50 ; 3 = 100 ; 4 = 200 ; 5 = 400.

partie ouest du flanc sud de la vallée sur une étendue d'environ 1 km^2. Sa présence est schématiquement limitée par les isobathes - 10 m et - 20 m. Elle est absente des fonds sablo-vaseux du lit de la vallée sans pour autant qu'il y ait une relation de causalité, cette observation étant limitée à un secteur géographiquement très restreint. Notons que l'espèce *Ophiura albida* dont la répartition est cartographiée en rouge sur la même figure, occupe de façon très complémentaire les fonds des sables envasés du lit de la vallée et que les zones d'occupation de ces deux espèces ne se chevauchent en aucun point.

Le secteur délimité par *Ophiocomina nigra* est à rapprocher des fonds de "populations mixtes" d'Ophiures (*Ophiothrix + Ophiocomina*) déjà observées par photographies sous-marines en Manche par VEVERS (1952) dans la région de Plymouth et par CABIOCH (1967) dans la région de Roscoff. Ces résultats indiquent que la présence d'*Ophiocomina* dans les "prairies" d'*Ophiothrix* est considérée comme occasionnelle et la proportion en nombre d'individus ne dépasserait pas 1 % . Dans son étude sur le benthos des environs de l'Ile de Man, BRUN (1969) signale également ce même type de population mixte mais estime la proportion d'*Ophiocomina* plus importante (8,4 %). Nos résultats fournissent des rapports extrêmement variables, pouvant aller de 2 % à 40 % selon les photos, et dépendant principalement de la densité d'*Ophiothrix*. La densité d'*Ophiocomina nigra* atteint exceptionnellement 11 individus par m^2 ; la moyenne sur l'ensemble de la tâche est de 1,3 individus/m^2. Les "suites" ininterrompues de "présences" comportent au maximum 10 à 12 photos (radiales 11 et 12) ce qui correspond à une longueur sur le fond de 50 à 60 m. La densité de ces tâches est de 2 à 3 individus au m^2, densité comparable aux observations de WILSON, HOLME et BARRETT (1977), également obtenues en Manche à l'aide de la photographie sous-marine.

L'étude de la distribution des fréquences des effectifs relevés au sein de la tâche (radiales 11 et 12) indique un mode de répartition spatiale faiblement surdispersé (fig. 8), tout en étant proche de la loi binomiale négative, la courbe des fréquences observées n'est pas très éloignée de la loi de Poisson. Ce résultat ne saurait surprendre car les deux lois (Poisson et binomiale négative) convergent pour les petits effectifs.

La courbe de contagion vraie en "présence-absence" d'*Ophiocomina nigra* (fig. 9) est établie sur l'ensemble de la zone où l'espèce est présentée, zone qui nous l'avons vu constitue en soit une "tâche". Les valeurs de l'indice "I_H" sont calculées pour les valeurs croissantes de "N" selon un pas de 10 photos. L'examen de la figure 11 révèle l'existence d'une structure spatiale à deux échelles d'hétérogénéité. Les maximas enregistrés correspondent aux séries de 110 photos et de 290 photos. Les valeurs de "I_H" aux deux modes sont de 5,05 et 8,65, valeurs très sensiblement inférieures aux maximas observés chez *Ophiothrix fragilis*. On constate également qu'entre ces deux maximas correspondent deux minimas de I_H dont les valeurs sont négatives (- 1,18 et - 1,09), ce qui signifie que, pour certaines échelles d'observations, *Ophiocomina nigra* présente une répartition légèrement sous-dispersée.

OPHIURA ALBIDA (fig. 7)

Comme pour *Ophiocomina nigra*, les résultats pour cette espèce sont exprimés en nombre d'individus par photos (photo 3). Sa répartition, figurée en traits rouges sur la figure 7, est très précisément limitée au lit sablo-vaseux de la vallée en sa partie ouest. La dimension de

la tâche est d'environ 1 km^2. La densité maximale observée est de 8 individus au m^2. La densité moyenne pour la tâche ainsi mise en évidence est de $0,9/m^2$. Les "suites" de présences les plus longues comportent de 4 à 6 photos, soit une distance sur le fond de 40 à 60 m. La présence d'*Ophiura albida* dans les "prairies" d'*Ophiothrix fragilis* constitue un nouveau type de "population mixte" d'Ophiures, beaucoup moins répandue que la précédente. Il est à noter que l'association des trois espèces d'Ophiures n'est jamais réalisée dans notre secteur d'étude. On remarque par ailleurs qu'*Ophiura albida* est localisée dans les zones de faible densité d'*Ophiothrix*. L'analyse de la distribution des fréquences observées (fig. 10), indique un mode de répartition spatiable faiblement surdispersé, comparable aux résultats acquis sur *Ophiocomina nigra*.

La courbe de contagion (fig. 11) calculée pour un pas de 10 photos au sein de la tâche, montre une variation relativement modeste des I_H. Les valeurs de l'indice se situent entre 2,08 et - 0,90 ce qui suggèrent une répartition faiblement surdispersée ou sous-dispersée selon l'échelle d'observation choisie. Les échelles auxquelles on enregistre les plus fortes hétérogénéités correspondent à des blocs de 20 photos (I_H = 1,76) et de 100 photos (I_H = 2,08). Etant donné le nombre réduit d'observations dont on dispose sur *Ophiura albida*, il serait vain de pousser plus avant l'analyse. Nous retiendrons que cette espèce présente une distribution peu ou pas contagieuse au sein des agrégats, ce qui confirme les résultats du test paramétrique. La comparaison des résultats obtenus sur les trois populations d'Ophiures dans la zone prospectée, permet de classer les espèces selon leur mode de dispersion, de la plus contagieuse à la moins contagieuse de la façon suivante :

- 1. *Ophiothrix fragilis*
- 2. *Ophiocomina nigra*
- 3. *Ophiura albida*.

PSAMMECHINUS MILIARIS (fig. 12)

Bien que cette espèce (photo 2) ait une zone de répartition extrêmement large à l'échelle du secteur prospecté, on constate un net enrichissement sur le versant sud de la vallée. La densité maximale observée est de 3 individus au m^2. En moyenne, la densité de la zone la plus riche (calculée sur la radiale 13) est de $0,6/m^2$. La faible valeur des effectifs rend une analyse de la distribution des fréquences sans intérêt. On note que les photos révélant la présence de *Psammechinus miliaris* sont très souvent isolées, les suites de présences dépassant rarement 3 photos consécutives.

Cette espèce ayant une répartition extrêmement large, les fluctuations de l'indice de contagion en présence-absence sont très importantes. L'examen de la courbe de contagion vraie (fig. 13) indique une grande variabilité du modèle de dispersion pour les faibles valeurs de N (entre 10 et 200 photos). Notons l'existence d'une permanence de la surdispersion pour les valeurs de N comprises entre 260 et 500, intervalle pour lequel I_H varie entre 8,12 et 4,42. Bien que la tendance générale de la distribution soit surdispersée il existe des échelles spatiales particulières pour lesquelles l'indice de contagion est négatif, notamment pour les valeurs de N égales à 40, 210 et 710.

SYNTHESE PLURISPECIFIQUE

La distribution spatiale de chacune des cinq espèces étudiées fournit une cartographie particulière. Afin de disposer d'un schéma général, appréhendant globalement la répartition de toutes les espèces recensées, nous avons eu recours à l'analyse multivariable. Au total, 17 espèces ont été reconnues sur l'ensemble des radiales : *Ophiothrix fragilis, Ophiocomina nigra, Ophiura albida, Asterias rubens, Marthastherias glacialis, Palmipes membranaceus, Psammechinus miliaris, Echinus esculentus, Chlamys varia, Chlamys opercularis, Pecten maximus, Crepidula fornicata, Buccinum undatum, Inachus dorsetteris, Eupagurus bernhardus, Sabellidae, Hydraires.* Le but de l'analyse est de définir les secteurs homogènes du point de vue de la composition faunistique, ce qui implique au départ l'évaluation de la ressemblance (ou dissemblance) faunistique entre chaque paire de photographies. Le principe consiste donc à bâtir une matrice de distance entre chaque observation et d'en extraire les axes d'inertie afin de disposer d'un nombre réduit de dimension utilisable à des fins cartographiques. Le nombre d'observations étant très élevé (1600 photos), il était pratiquement impossible d'envisager la diagonalisation de la matrice des distances inter-observations (matrice carrée de rang 1600) même au prix d'une dépense extravagante en temps d'ordinateur. Nous avons donc fait appel au principe de la dualité "variables-observations", toujours envisageable dans le cas des distances de forme quadratique. En pratique donc, l'analyse consiste à rechercher les axes d'inertie de la matrice des distances entre espèces, puis de calculer les coordonnées des observations sur ces nouveaux axes. L'objet de l'analyse étant de résumer une information quantitative sans pour autant masquer l'influence des espèces à effectif faible par l'effet d'abondance des espèces les plus riches, nous avons retenu, comme mesure de dissemblance faunistique entre observations, une distance euclidienne calculée sur les effectifs des espèces réduits et centrés. Analyser une telle matrice équivaut à rechercher la configuration duale de l'analyse en composantes principales des corrélations entre espèces (CHARDY, GLEMAREC, LAUREC, 1977).

La représentation simultanée des observations (= photos) et des espèces dans l'espace réduit des premiers axes est, dans ce cas, totalement inadaptée en raison du nombre de photos traitées. Les valeurs des coordonnées des axes I et II, intégrant globalement les variations faunistique du fond, sont cartographiées selon le même procédé que la cartographie des espèces (fig. 14 et 15). La projection des espèces dans l'espace défini par les deux premiers axes est présentée isolément (fig. 16). Les deux premières composantes extraient respectivement 15,0 % et 12, 4 % de l'inertie totale ; la modestie de ces chiffres s'explique en grande partie par le très grand nombre d'informations traitées.

La cartographie de la première composante (fig. 14) restitue clairement la distinction maërl - sable envasé dont la répartition a déjà été présentée au chapitre : Résultats (fig. 16). La relation avec la sédimentologie est surtout nette dans la partie est du secteur étudié où les facies sédimentaires sont très tranchés : en particulier les fortes valeurs positives de l'axe I occupent très précisément les fonds sablo-vaseux du lit de la vallée. De même, l'examen de la figure 16 montre la présence d'*Ophiura albida* dans les saturations positives de l'axe I accompagnée des espèces à affinité sablo-vaseuse : *Chlamys varia, Eupagurus bernhardus, Inachus dorsetteris,* et les sabellidae. A l'opposé de l'axe I on retrouve la population mixte à *Ophiothrix fragilis* et *Ophiocomina nigra* accompagnée de *Psammechinus miliaris* et *Palmipes membranaceus*, espèces dont les plus fortes densités sont liées à la présence de maërl dans la sédiment.

La seconde composante oppose l'ensemble *Crepidula fornicata, Echinus esculentus, Asterias rubens*, dans les valeurs positives, à l'ensemble *Chlamys opercularis, Pecten maximus* dans les valeurs négatives. La répartition des deux groupes est définie par la cartographie de l'axe II (fig. 15). On note que la répartition de *Chlamys opercularis* et de *Pecten maximus* coïncide avec les espèces *Ophiothrix fragilis* et *Ophiocomina nigra*, mais également avec *Ophiura albida*. Cette composante n'a aucun lien avec la nature du fond.

Il est hors de question de vouloir tirer des règles générales d'association faunistique et d'affinité biosédimentaire à travers l'analyse d'un secteur aussi réduit. Néanmoins, l'image fournie par les deux premiers axes d'inertie offre un résumé d'une situation écologique à un temps donné, situation qui sera réexaminée ultérieurement à des fins de comparaison avec la même méthodologie.

Photo 4 : Prairie d'Ophiures, *Ophiothrix fragilis*.

Photo 5 : Fonds de Crépidules, *Crepidula fornicata*.

Photo 6 : Coquilles St Jacques sur fonds de maërl.

CONCLUSIONS

Ce travail montre comment le dépouillement des photographies sous-marines peut être enrichi par la cartographie automatique et l'utilisation de méthodes statistiques simples ou multivariées. Bien que la photographie reste une technique d'échantillonnage limitée à quelques espèces de l'épifaune, elle présente l'avantage considérable de fournir l'image réelle de la répartition spatiale des organismes sur le fond. Le nombre élevé d'observations recueillies par cette technique implique, dans le cadre de l'échantillonnage systématique d'une zone identifiée, une réflexion sur les méthodes d'exploitation des données.

Dans l'exemple concret d'analyse présenté dans cette étude, l'utilisation conjointe de deux méthodes statistiques, paramétriques et non paramétriques, permet une description complète de la dispersion des espèces identifiables. Dans la majorité des cas, l'analyse statistique révèle l'existence d'une structure spatiale complexe à deux ou trois échelles d'hétérogénéité. Une même espèce peut, selon l'échelle d'observation choisie, admettre un modèle surdispersé ou sous-dispersé.

Ces méthodes n'épuisent certes pas toute l'information contenue dans les données brutes. Cependant, la publication de celle-ci sous une forme directement utilisable, la cartographie descriptive, autorise d'autre type de traitement et d'autres interprétations de la part des scientifiques intéressés. Il importe de souligner qu'un certain nombre de faits importants, tels que la taille et la complexité des agrégats, l'exclusion ou l'association de couple d'espèces, l'influence de la nature du fond, ont été révélés par un simple examen des cartes de distribution.

Nous avons insisté par ailleurs sur la vocation descriptive de ce travail. En effet, la cartographie peut être considérée comme une fin en soi dans le cadre de l'étude des relations entre espèces et espace. Elle peut également être considérée comme un outil descriptif permettant de comparer des situations écologiques dans le temps, ce qui est le cas de notre projet. Néanmoins, l'interprétation des résultats conduit nécessairement à une ébauche explicative. Il paraît notamment indispensable de pouvoir distinguer la part des facteurs exogènes (sédimentologie, climatologie) et endogènes (comportement, compétition, prédation) entrant dans la définition des modèles de dispersion. Notre analyse illustre clairement les relations entre les deux domaines et indique comment l'analyse d'inertie peut fournir une réponse à ce problème généralement responsable de la complexité des distributions observées.

BIBLIOGRAPHIE

BARNES, H., 1955. Underwater television and research in marine biology, bottom topography and geology. Part 2. Experience with the equipment. *Deutsche hydrographische Zeitschrift*, 8, 213-236.

BRUN, E., 1969. Agregation of *Ophiothrix fragilis* (Abildgaard) (Echinodermata : Ophiuroidea). *Nytt magasin for zoologi*, 17, 153-160.

CABIOCH, L., 1967. Résultats obtenus par l'emploi de la photographie sous-marine sur les fonds du large de Roscoff. *Helgölander wissenschaftlicher Mecresuntersuchungen*, 15, 361-370.

CHARDY, P., M. GLEMAREC et A. LAUREC, 1976. Application of inertia methods to benthic marine ecology : practical implications of the basic options. *Estuar. Coastal Mar. Sc.*, 4, 179-205.

CHESSEL, D., 1978. Description non paramétrique de la dispersion spatiale des individus d'une espèce. *In* Biométrie et Ecologie, 45-135.

CHESSEL, D. et C. GAUTIER, 1977. Des statistiques non paramétriques pour l'analyse des données binaires. *Rev. Stat. Appli.* 25 (1), 57-73.

COUM, A., 1978. La population de Crépidules *Crepidula fornicata* (L. 1758) en rade de Brest. Ecologie et dynamique. Thèse de 3e cycle, Brest. 133 pp.

VEVERS, H.G., 1952. A photographic survey of certain areas of sea floor near Plymouth. J. mar. biol. Ass. U.K., 31, 215-221.

WILSON, J.B., N.A. HOLME and R.L. BARRETT, 1977. Population dispersal in the brittlestar *Ophiocomina nigra* (*Abildgaard*). (*Echinodermata : Ophiuroidea*), 57, 405-439.

FIGURES

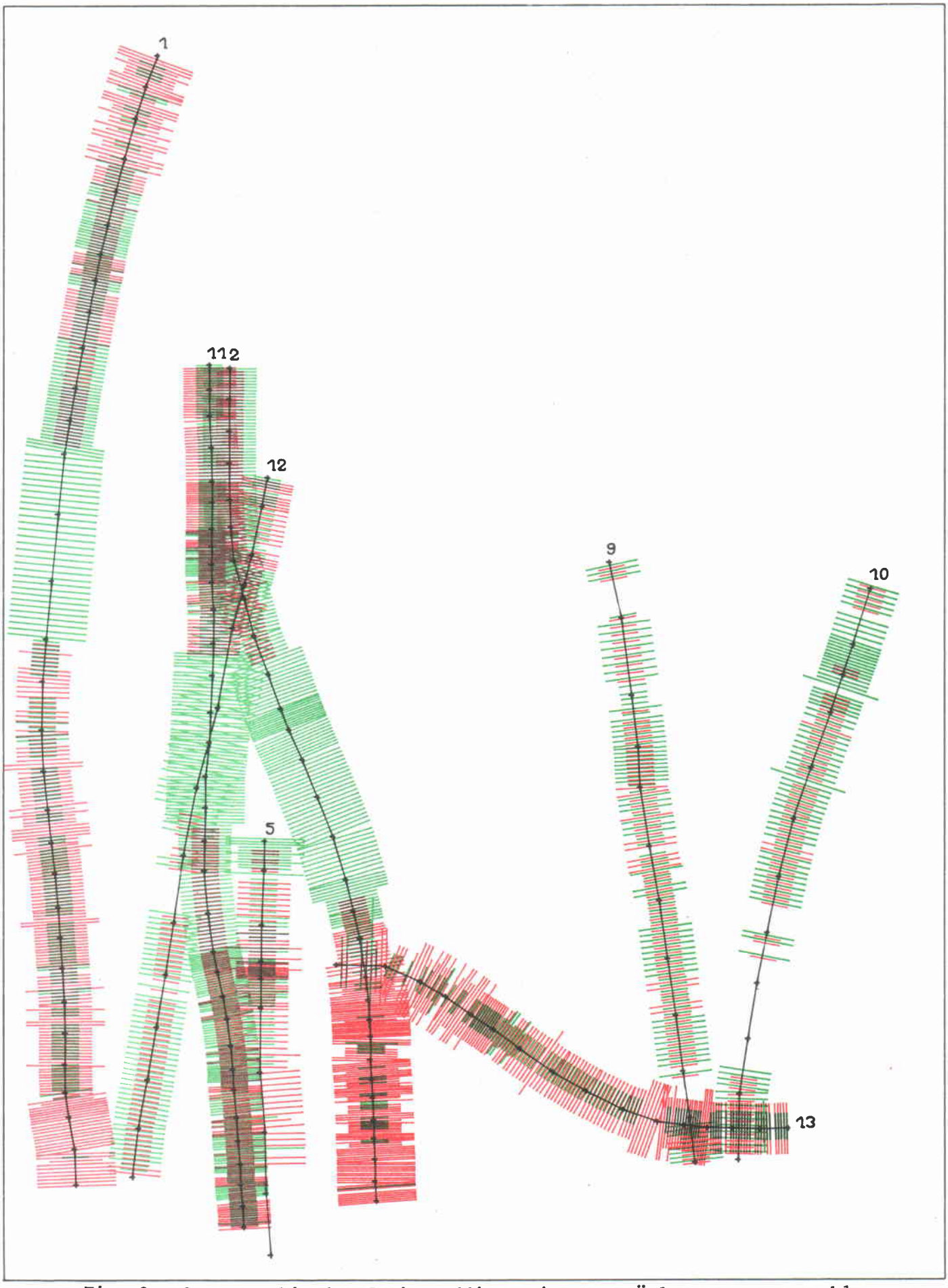


Fig. 2 : Cartographie des facies sédimentaires : maërl en rouge et sable envasé en vert.

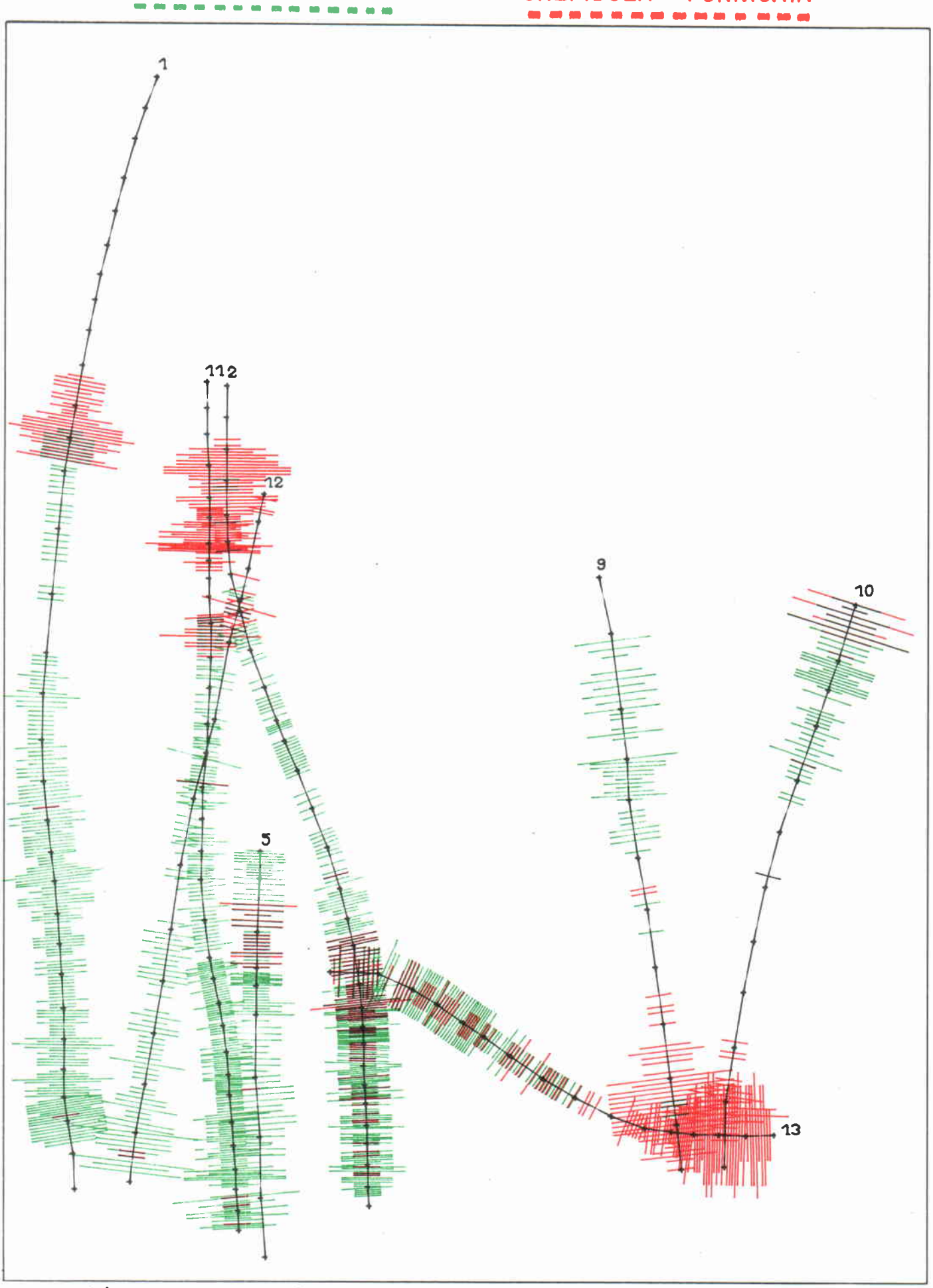


Fig. 3 : Cartographie de la distribution spatiale d'*Ophiothrix fragilis* (traits verts) et *Crepidula fornicata* (traits rouges).

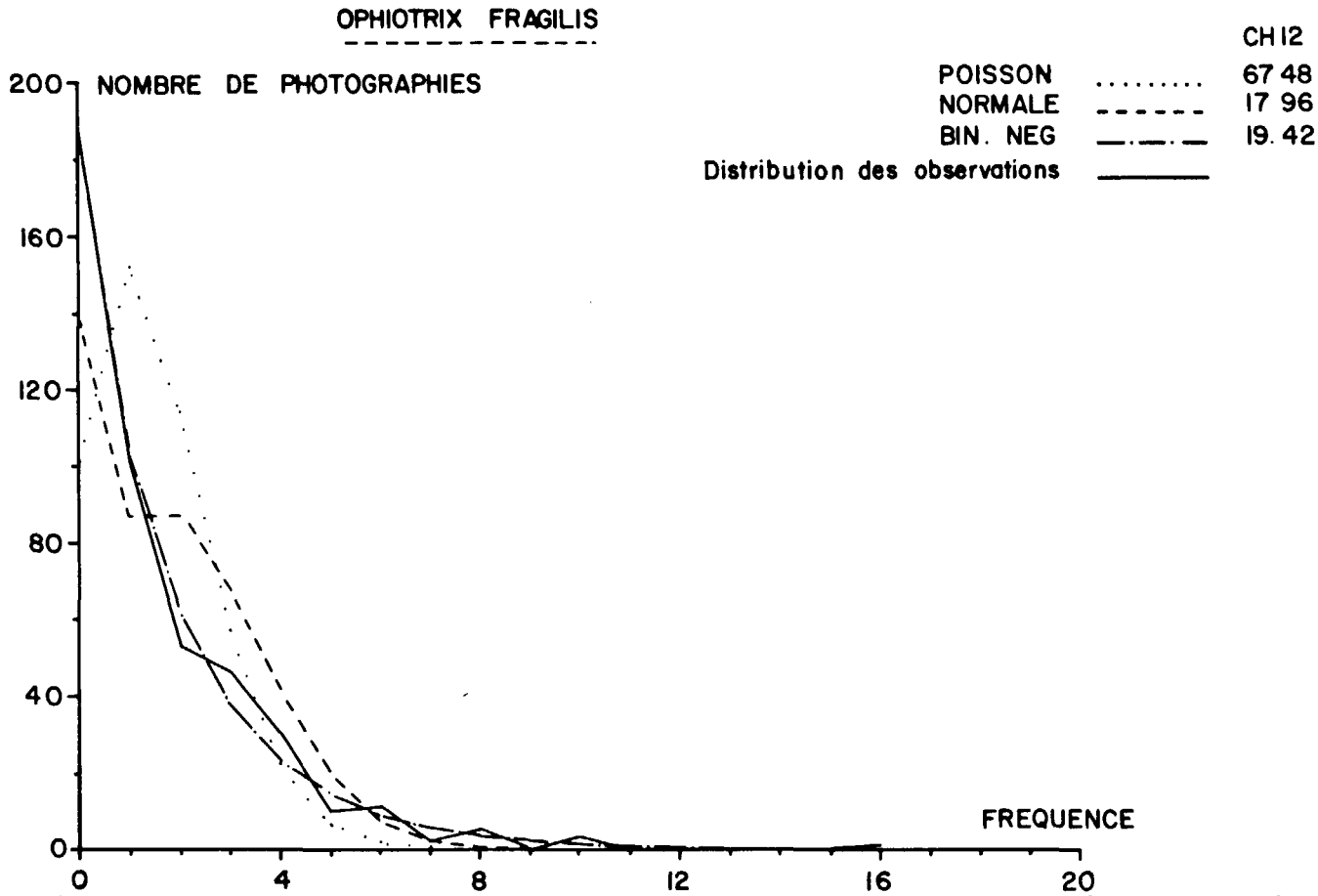


Fig. 4 : Distribution de fréquence d'*Ophiothrix fragilis* sur la radiale 11 et 12.

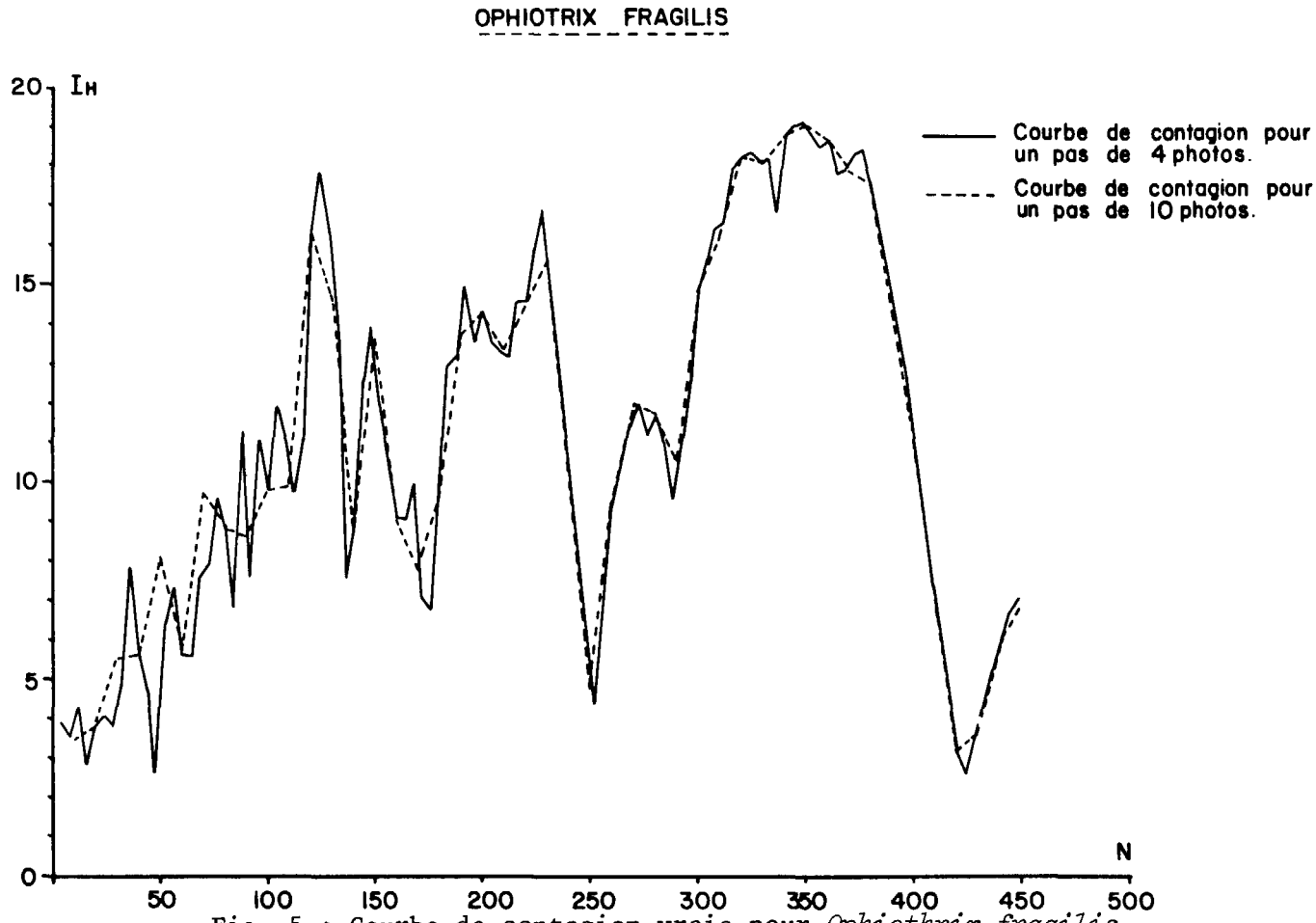


Fig. 5 : Courbe de contagion vraie pour *Ophiothrix fragilis*.

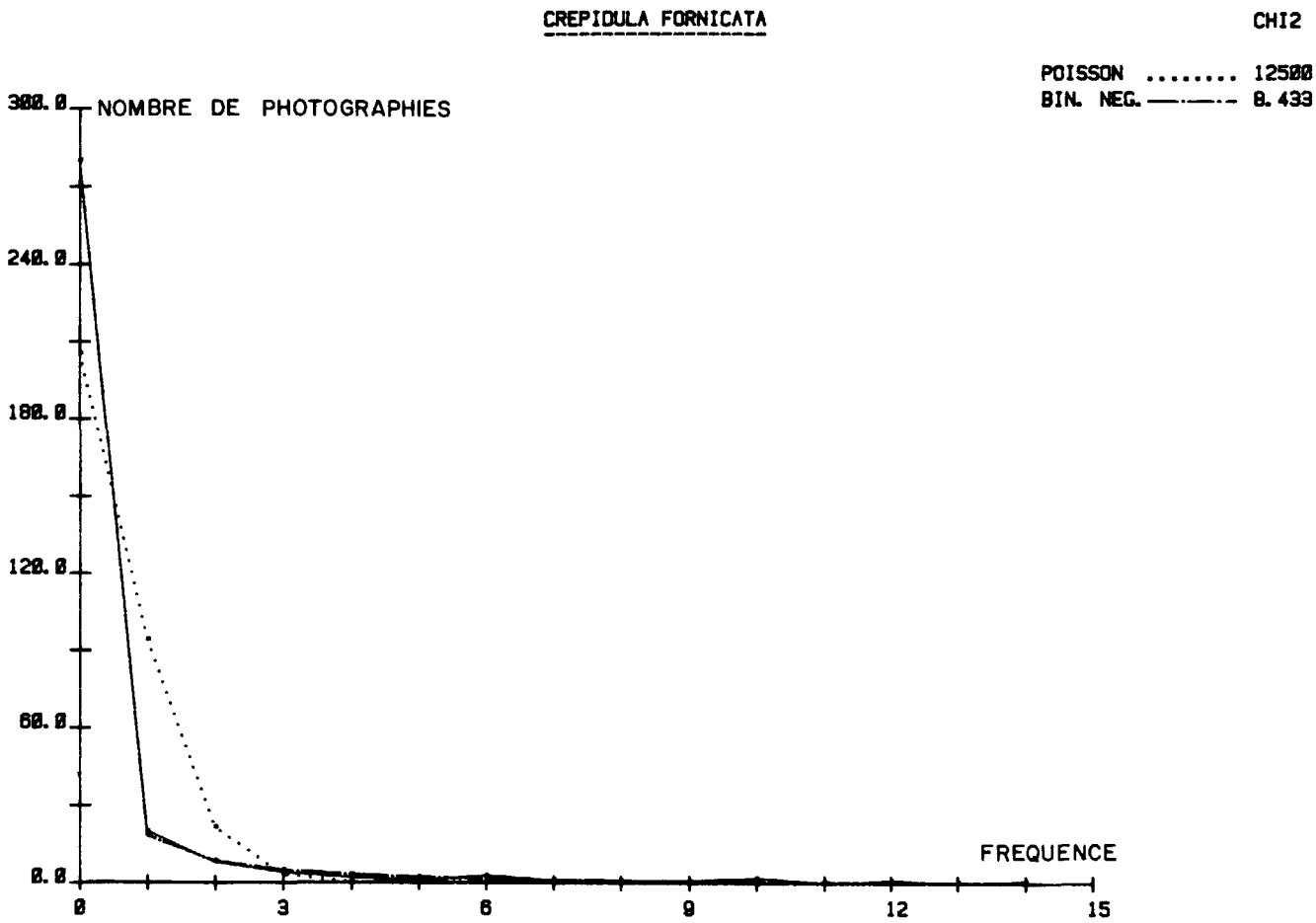


Fig. 6 : Distribution de fréquence de *Crepidula fornicata*.

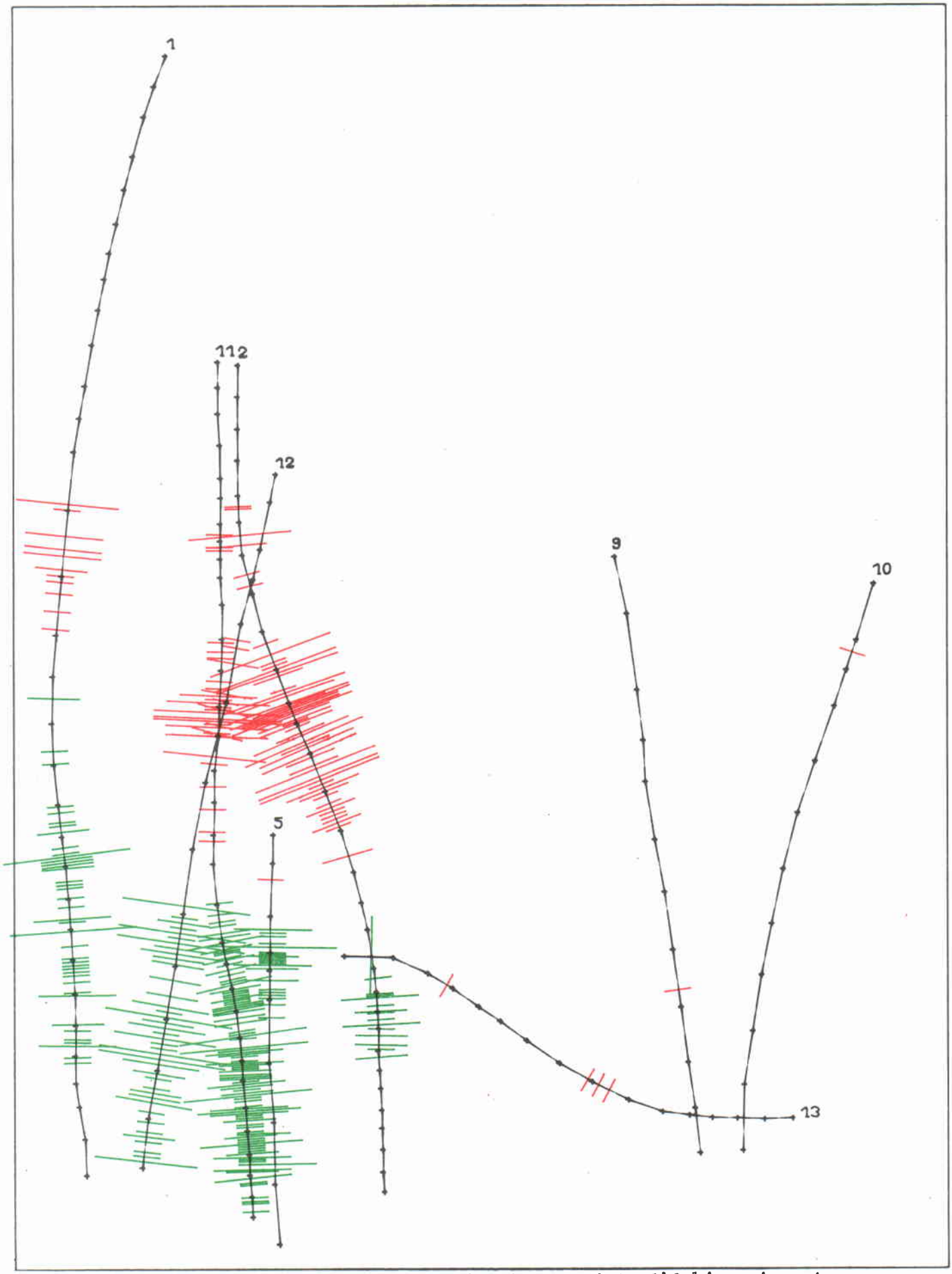


Fig. 7 : Cartographie de la distribution spatiale d'*Ophiocomina nigra* (traits verts) et *Ophiura albida* (traits rouges).

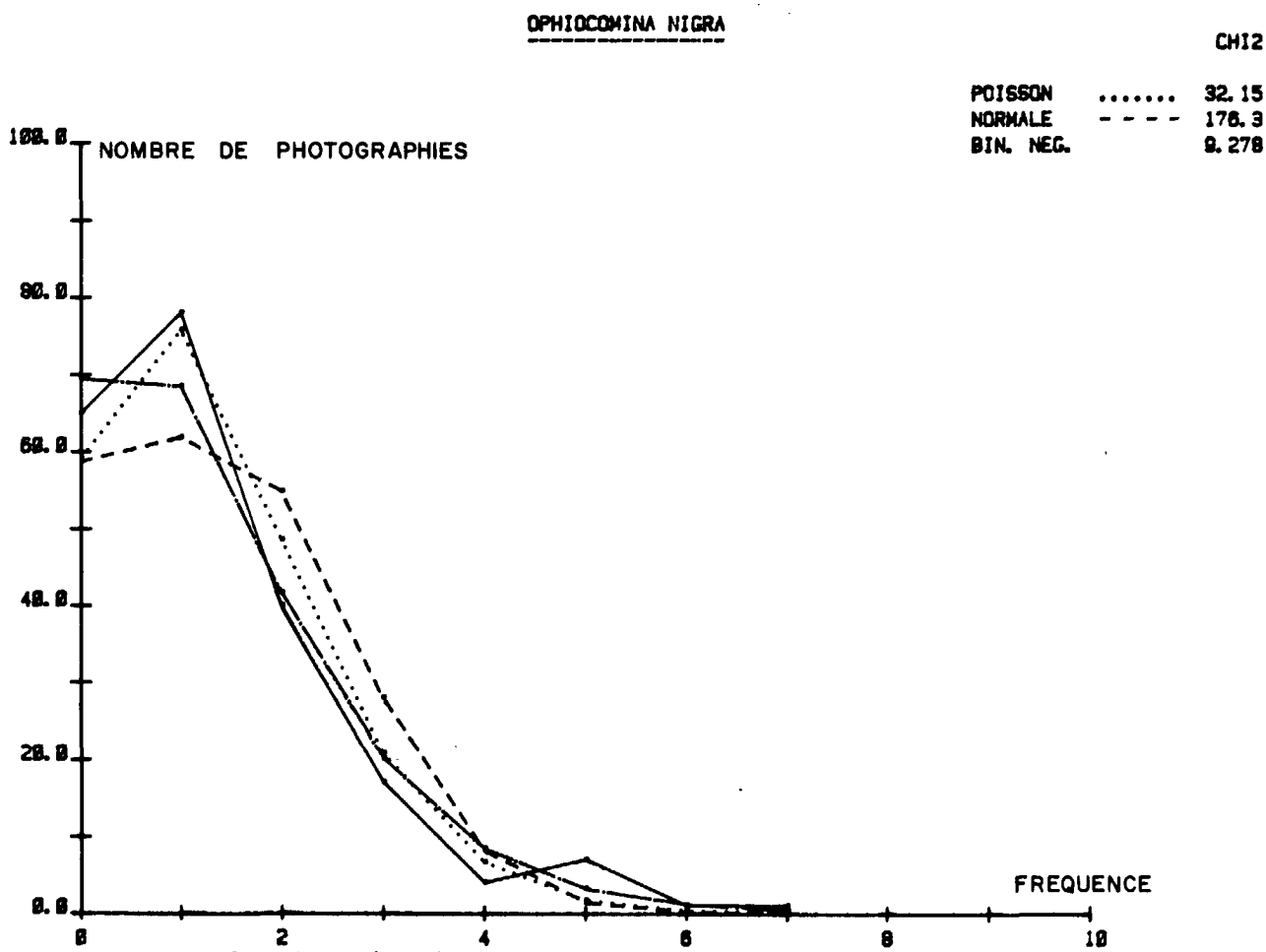


Fig. 8 : Distribution de fréquence d'*Ophiocomina nigra*.

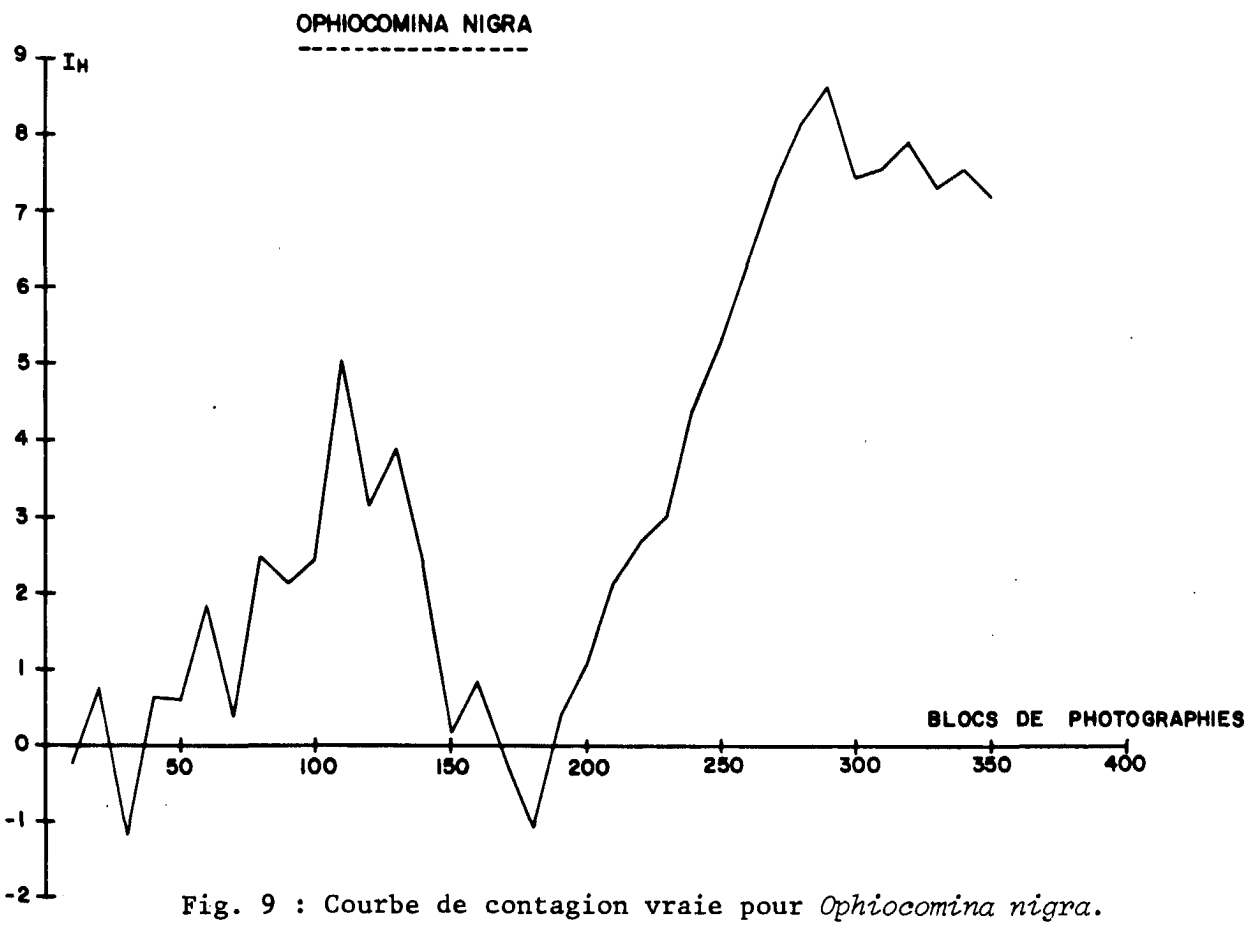


Fig. 9 : Courbe de contagion vraie pour *Ophiocomina nigra*.

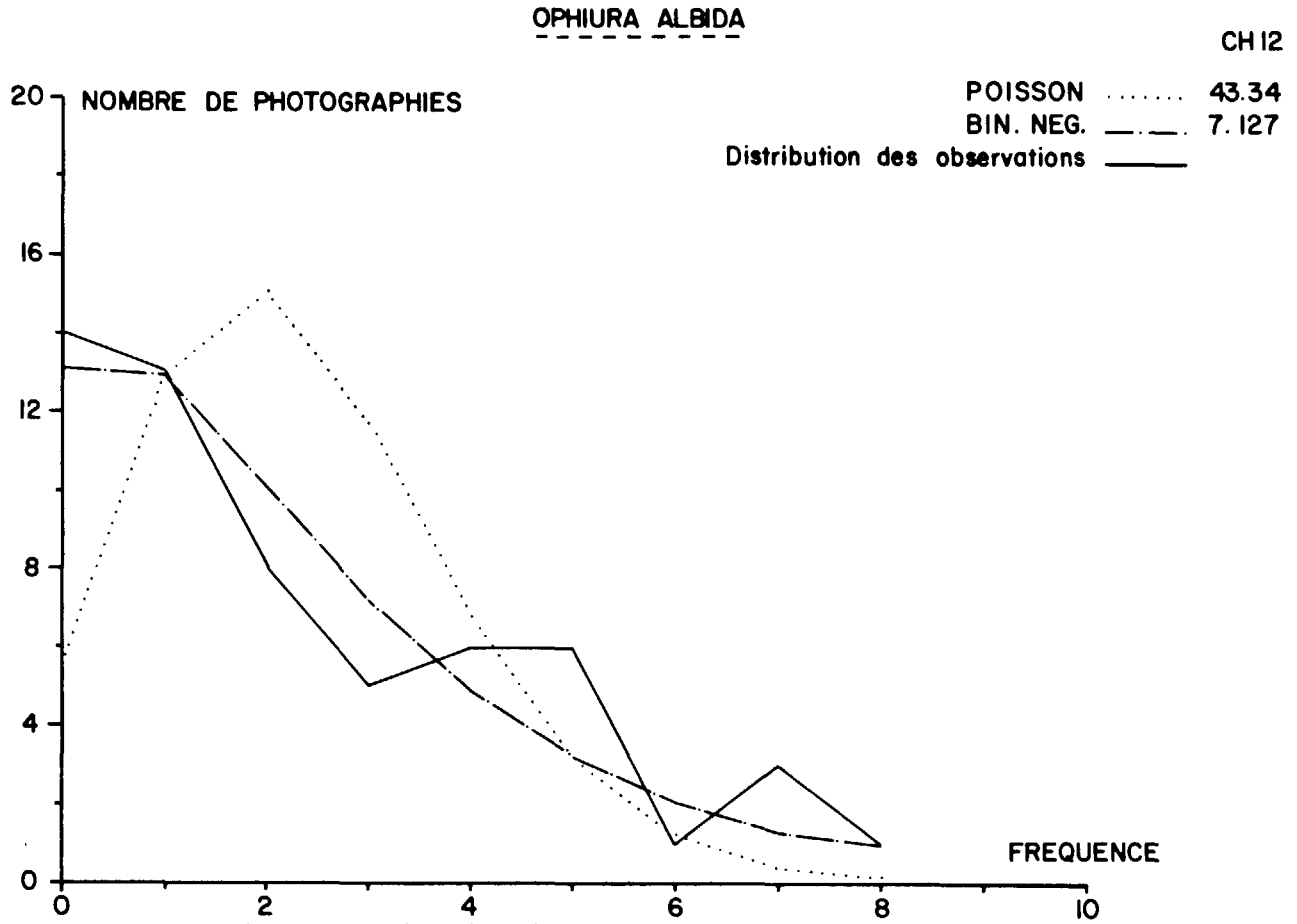


Fig. 10 : Distribution de fréquence d'*Ophiura albida*.

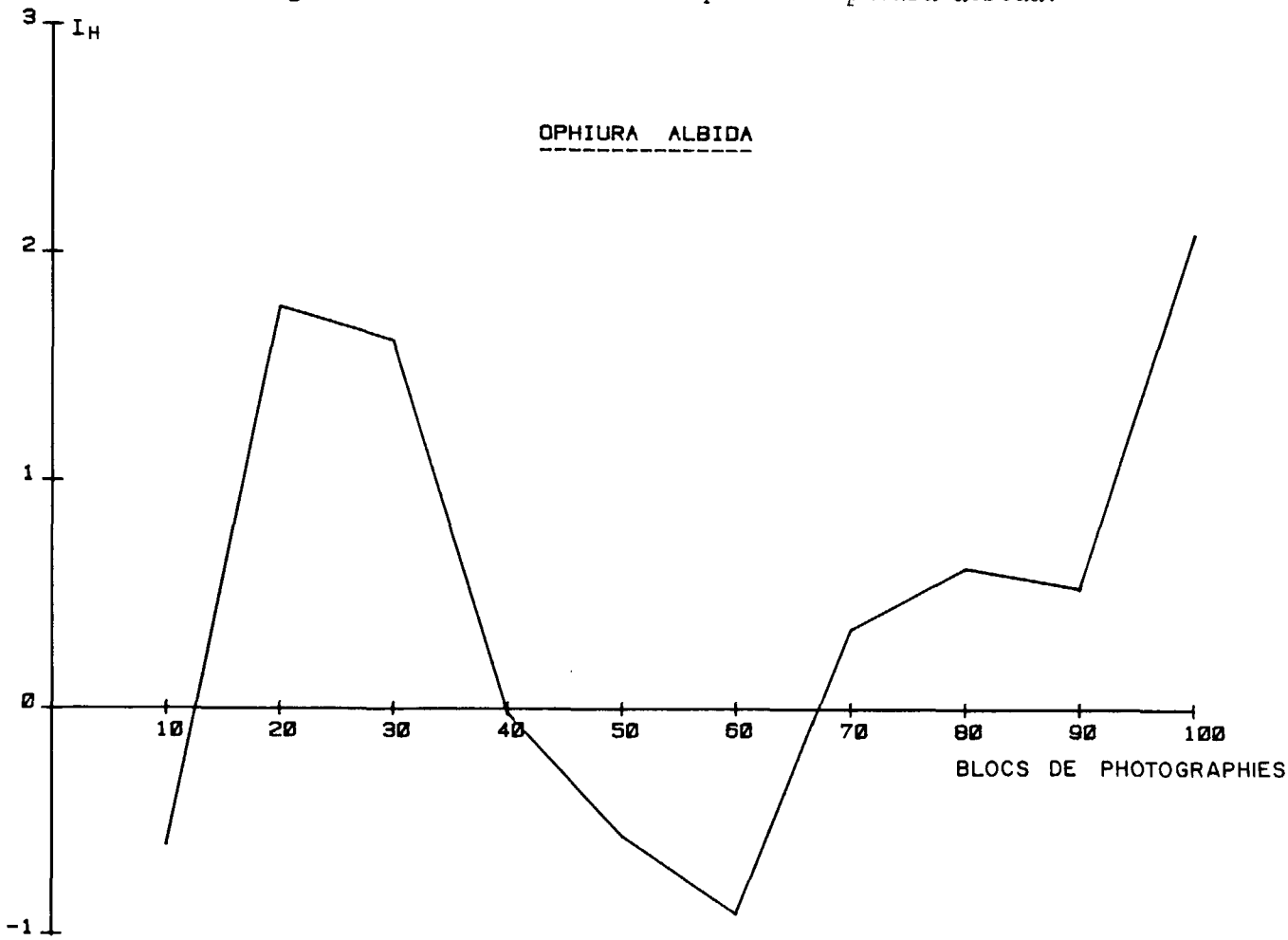


Fig. 11 : Courbe de contagion vraie pour *Ophiura albida*.

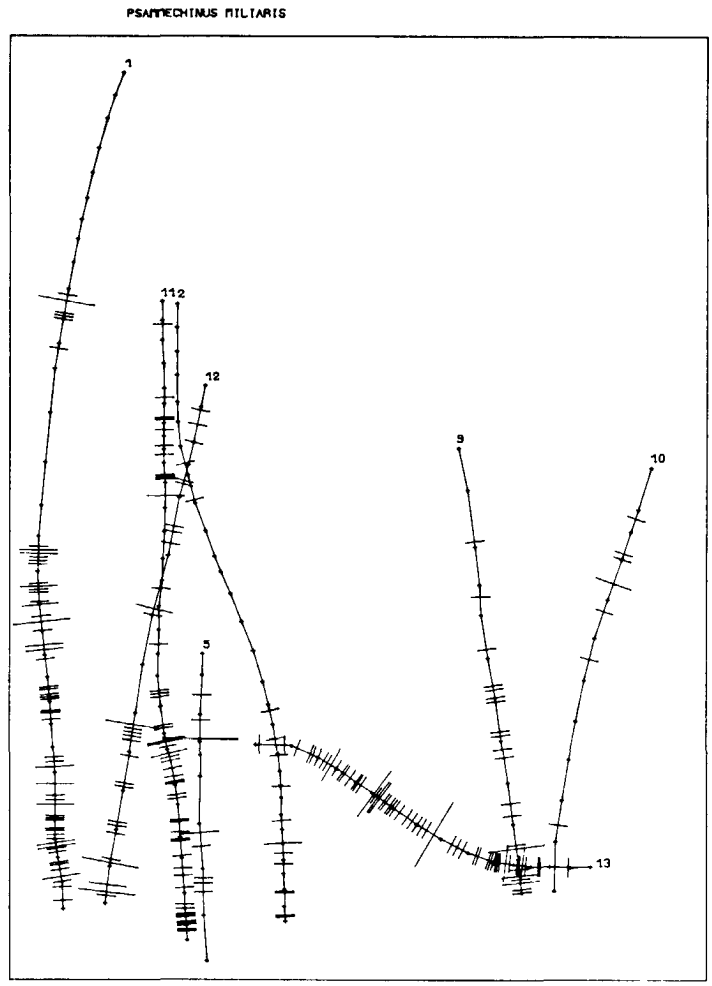


Fig. 12 : Cartographie de la distribution spatiale de *Psammechinus miliaris*.

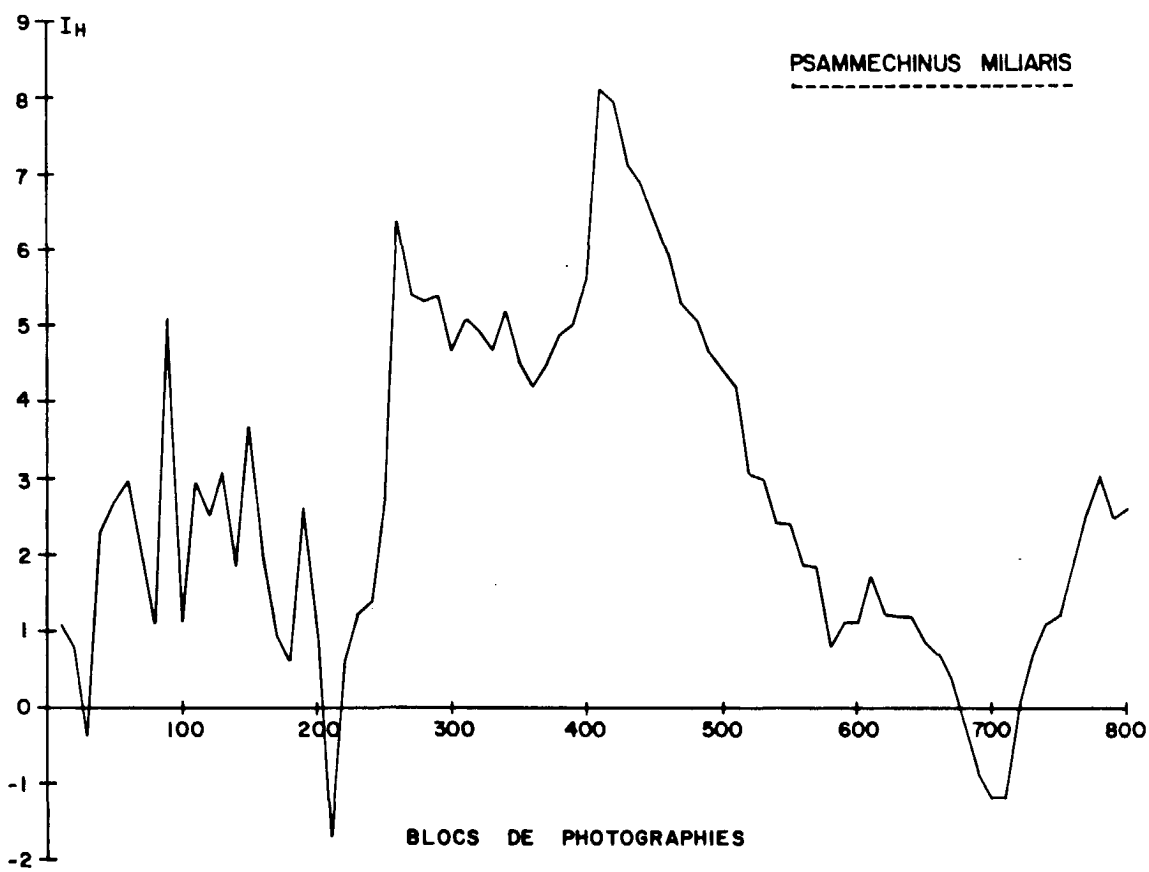


Fig. 13 : Courbe de contagion vraie pour *Psammechinus miliaris*.

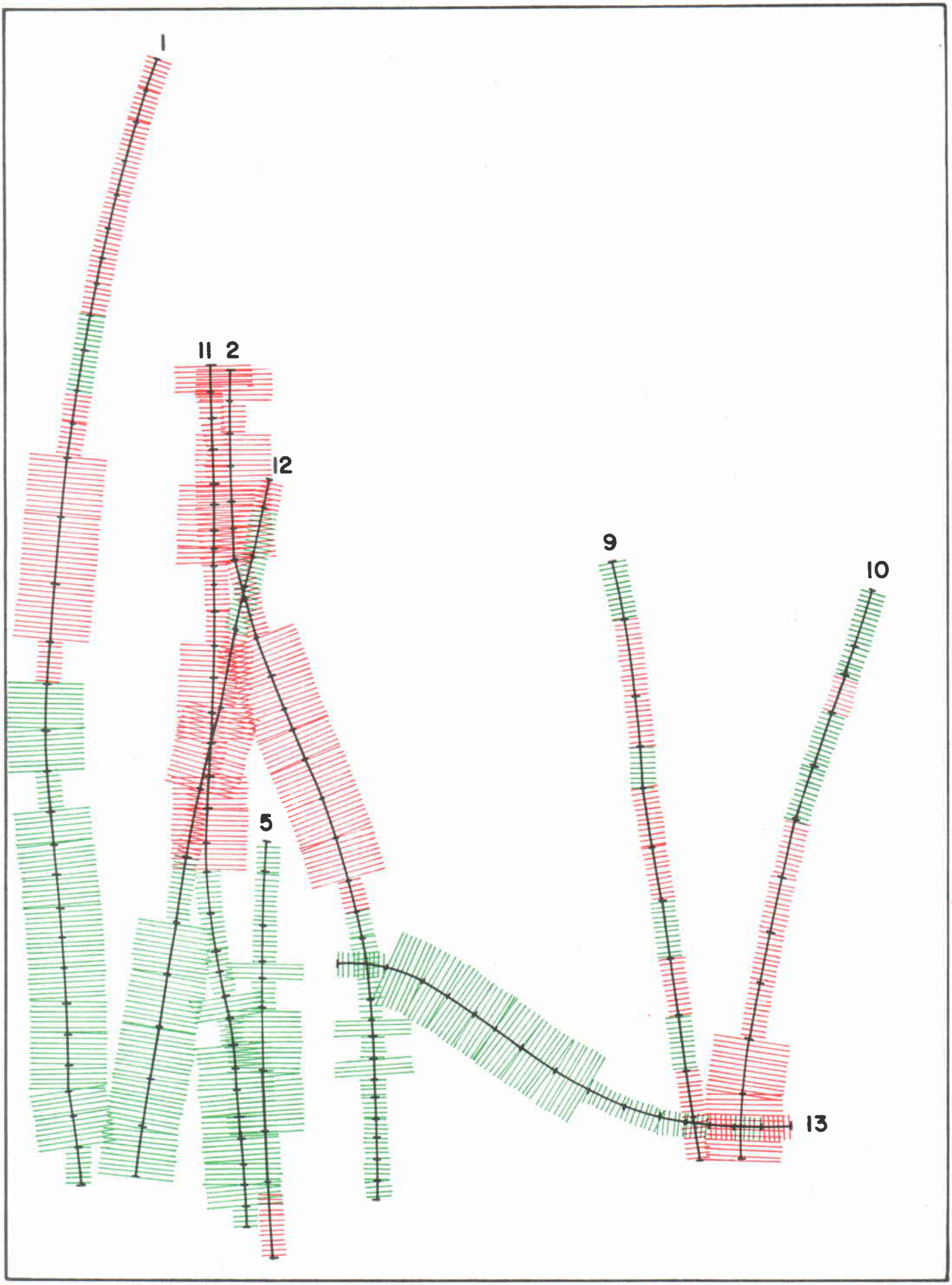


Fig. 14 : Cartographie de la première composante de l'analyse d'inertie effectuée sur la distribution de l'ensemble des espèces. Les valeurs positives sont en rouge et les valeurs négatives en vert.

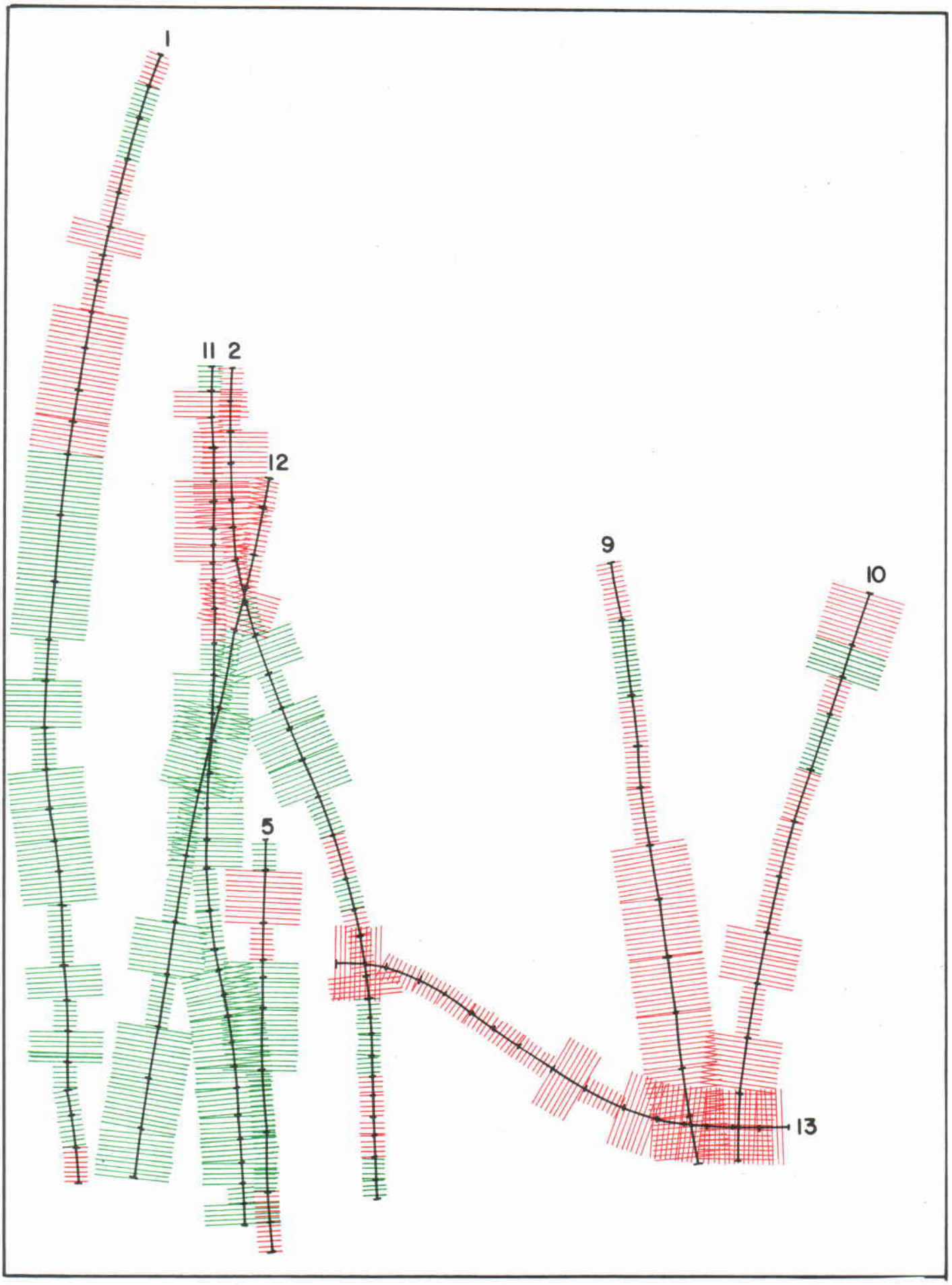


Fig. 15 : Cartographie de la deuxième composante de l'analyse d'inertie effectuée sur la distribution de l'ensemble des espèces.