

**VÉGÉTATION MARINE DE L'ÎLE
DE PORT-CROS (PARC NATIONAL)
XX : RÉPARTITION SPATIALE
DES FAISCEAUX DE
POSIDONIA OCEANICA
(LINNAEUS) DELILE**

**Panayotis PANAYOTIDIS (1)
Charles-François BOUDOURESQUE (1)
Jacqueline MARCOT-COQUEUGNIOT (1)**

Abstract: Space distribution of shoots and its variability in a *Posidonia oceanica* bed (microdistribution) have been studied in Port-Cros Island (Var, France). Shoot microdistribution seems to be contagious with a patchiness of between 800 cm² and at least 3 600 cm². The mean relative error in extrapolating shoot density decreases as the sampling area is increased. A relative stabilization seems to appear beyond 1 600 m².

Résumé: La répartition spatiale des faisceaux et sa variabilité au sein d'une même matte d'herbier de *Posidonia oceanica* (microstructure), aussi bien que l'erreur commise lors de l'extrapolation au m² des valeurs de densité des faisceaux à partir de mesures sur de petites surfaces, ont été étudiées dans la baie de Port-Cros.

La distribution des faisceaux est contagieuse (aggrégative), en taches dont la surface serait de l'ordre de 800 à au moins 3 600 cm². L'erreur relative moyenne sur l'extrapolation de la densité des faisceaux au m², qui diminue rapidement lorsque la surface étudiée augmente, se stabilise relativement à partir de 1 600 cm².

I. — INTRODUCTION

L'herbier de *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile constitue l'écosystème le plus caractéristique et probablement le plus important de la

(1) Laboratoire de Biologie Végétale Marine, Faculté des Sciences de Luminy, 13288 Marseille cedex 2, France.

Méditerranée par son rôle et par les surfaces qu'il occupe dans l'étage infralittoral (1).

Les *Posidonia* sont constituées de tiges rampantes ou dressées nommées *rhizomes*, terminées par des *faisceaux de feuilles* ; l'ensemble des rhizomes et du sédiment qu'ils retiennent constitue la *matte* ; le faisceau, point végétatif entouré par un certain nombre de feuilles, constitue l'*unité structurale* la plus commode pour la description d'un herbier.

La *macrostructure* de l'herbier de *Posidonia oceanica* a été très étudiée au cours de ces dernières années : MOLINIER et PICARD (1952), BLANC (1958), ainsi que de nombreux auteurs plus récents (nous renvoyons à l'analyse bibliographique de BOUDOURESQUE *et al.*, 1977) ont décrit des intermattes, chenaux, récifs, phénomènes d'érosion, de recolonisation, etc...

Plus récemment, les auteurs ont cherché à évaluer quantitativement les herbiers de *Posidonia*, en mesurant en particulier la densité des faisceaux. Ces évaluations quantitatives posent le problème de la variabilité de la répartition spatiale des faisceaux au sein d'un herbier (microstructure), et par conséquent de la représentativité des échantillons (erreur commise lors des extrapolations au m² à partir de mesures effectuées sur de faibles surfaces).

Les auteurs ont effectué jusqu'ici leurs comptages sur des surfaces de :

- 400 et 900 cm² (GIRAUD, 1977)
- 625 cm² (EUGENE, 1978)
- 700 cm² (BAY, 1978)
- 2 500² cm (MAGGI *et al.*, 1977).

DREW (1971), DREW et JUPP (1976) et COOPER (1976) n'indiquent pas la taille des surfaces étudiées. La représentativité des surfaces étudiées n'est jamais évaluée.

Les comptages sous l'eau sont extrêmement délicats. Leur imprécision et le temps nécessaire croissent très rapidement avec la surface explorée ; d'où l'intérêt qu'il y a à rechercher la plus petite surface représentative ou, plus exactement à préciser l'erreur probable qui s'attache à chaque taille de surface afin de choisir au mieux cette surface en fonction du but recherché. Il ne s'agit en effet pas, pour nous, de rechercher un modèle théorique de distribution des faisceaux de feuilles de *Posidonia*, mais d'adapter la stratégie d'échantillonnage au seuil d'erreur acceptable en fonction du problème posé :

- Comparaison de deux herbiers
- relation éventuelle entre la densité et la dynamique d'un herbier (entre *microstructure* et *macrostructure*).
- Influence de la pollution sur la densité de l'herbier.

(1) Cette étude fait partie d'un travail plus général sur les problèmes de microstructure dans l'herbier de *Posidonia oceanica*, publié dans *Botanica marina*.

2. — MATERIEL ET METHODES

Les résultats qui sont exposés dans les pages suivantes proviennent d'un relevé effectué en mars 1978 dans la baie de Port-Cros. Le travail sur le terrain a consisté à délimiter, vers 1, 2 m de profondeur (sur un herbier sub-horizontale, d'apparence homogène, ayant des rhizomes verticaux poussant sur sable) un carré de 2 m de côté, subdivisé en 144 quadrats de 10 cm × 10 cm et 64 quadrats de 20 cm × 20 cm. Dans chacun de ces quadrats, nous avons dénombré *in situ* les faisceaux de feuilles (Tableau I et Fig. 1).

13	45	21	20	19	25	22	16	26	24		
18	26	31	15	18	20	24	19	18	22		
27	23	23	23	30	32	35	30	23	26		
26	18	30	26	25	33	37	25	21	25		
8	6	8	7	8	13	11	9	8	7	10	5
13	5	7	6	8	9	10	7	10	7	7	10
6	7	4	7	10	4	6	5	7	6	4	4
10	5	6	10	10	4	3	2	6	4	6	3
7	7	5	10	5	4	4	5	5	6	8	0
8	8	13	12	9	3	3	5	6	8	3	2
8	7	9	7	9	3	1	15	10	8	7	4
8	12	4	4	3	5	9	4	7	8	8	9
8	6	11	8	7	4	0	10	9	10	5	8
6	8	13	10	3	14	7	5	5	9	5	6
7	7	7	9	6	6	9	10	9	8	10	6
7	8	7	7	7	10	6	9	9	10	14	12
							20	28	32	29	
							15	25	29	33	
							21	23	25	32	
							24	27	39	42	
							32	40	30	37	
							30	33	35	27	

Tableau I : Dans chaque quadrat de 10 cm × 10 cm (en bas à gauche) ou de 20 cm × 20 cm, a été inscrit le nombre des faisceaux de feuilles de *Posidonia*.

Pour obtenir des surfaces de plus grande taille, nous avons regroupé les données des *quadrats* mesurées sur le terrain en *placettes* de surface croissante : 10 cm × 20 cm, 20 cm × 20 cm, 20 cm × 40 cm, 40 cm × 40 cm, 40 cm × 60 cm, 60 cm × 60 cm et 60 cm × 80 cm. Pour la commodité de l'exposé, nous distinguerons ainsi les *quadrats* (mesures de terrain) et les *placettes* (regroupement de quadrats).

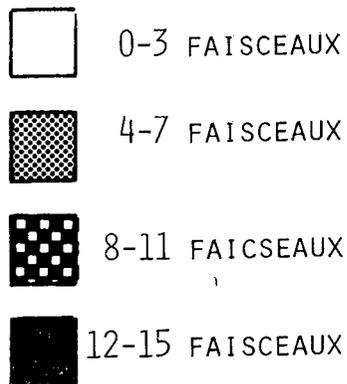
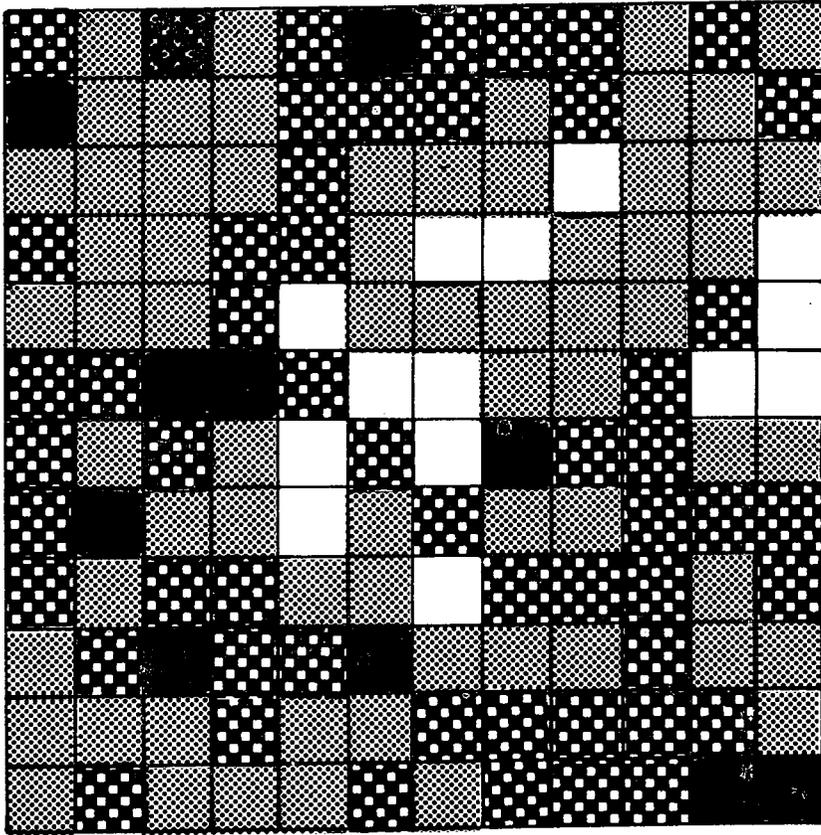


Figure 1 : visualisation de la répartition du nombre des faisceaux dans les 144 quadrats de 10 cm × 10 cm du tableau I.

Pour le traitement des données, nous avons utilisé les indices statistiques suivants :

(1) la Symétrie (skewness) des distributions, suivant la formule :

$$sk = \frac{\frac{1}{N} \sum (x - \bar{x})^3}{\left| \frac{1}{N} \sum (x - \bar{x})^2 \right|} \quad (\text{Texas Instruments, TI 58, 1977})$$

(2) la Kurtosis des distributions, suivant la formule :

$$Kur = \frac{\frac{1}{N} \sum (x - \bar{x})^4}{\left| \frac{1}{N} \sum (x - \bar{x})^2 \right|^2} \quad (\text{Texas Instruments, TI 58, 1977})$$

(3) l'Indice de Dispersion (I), suivant la formule :

$$I = \frac{s^2}{\bar{x}}$$

(4) l'Erreur Relative (Er) suivant la formule :

$$Er = \frac{| \text{valeur extrapolée} - \text{valeur réelle} |}{\text{valeur réelle}} \times 100$$

La valeur extrapolée (au m²), est calculée à partir d'une valeur observée sur un quadrat ou une placette.

La valeur réelle est la valeur mesurée sur l'ensemble de la surface étudiée.

Dans toutes ces formules :

x, y = valeurs données,

\bar{x} = la moyenne,

s = l'écart type,

s² = la variance,

N = l'effectif,

3. — RESULTATS

3.1. — REPARTITION SPATIALE

Les valeurs de I obtenues avec des placettes de taille croissante sont toutes supérieures à l'unité (Tableau II). Des tests de χ^2 (in ELLIOT et DECAMPS, 1973) permettent de rejeter l'hypothèse de conformité avec la loi de POISSON ; la distribution est donc contagieuse.

Dimensions des plaquettes en cm	10 × 10	20 × 20	20 × 40	40 × 40	40 × 60	60 × 60
Effectifs : N	144	100	50	25	15	9
Indice de dispersion : I	1,14	1,87	3,09	3,19	3,40*	3,50*
χ^2 ou χ (variable normale réduite) observés	$\chi = 3,4$	$\chi = 5,1$	$\chi = 9,6$	$\chi^2 = 75,6$	$\chi^2 = 47,6$	$\chi^2 = 28$
Valeurs de χ ou χ^2 à ne pas dépasser	$\chi = 1,96$	$\chi = 1,98$	$\chi = 2,02$	$\chi^2 = 36,41$	$\chi^2 = 23,68$	$\chi^2 = 15,51$

Tableau II : tests χ^2 de conformité à la loi de Poisson. * plusieurs types de combinaison étant possibles, ces valeurs représentent une moyenne.

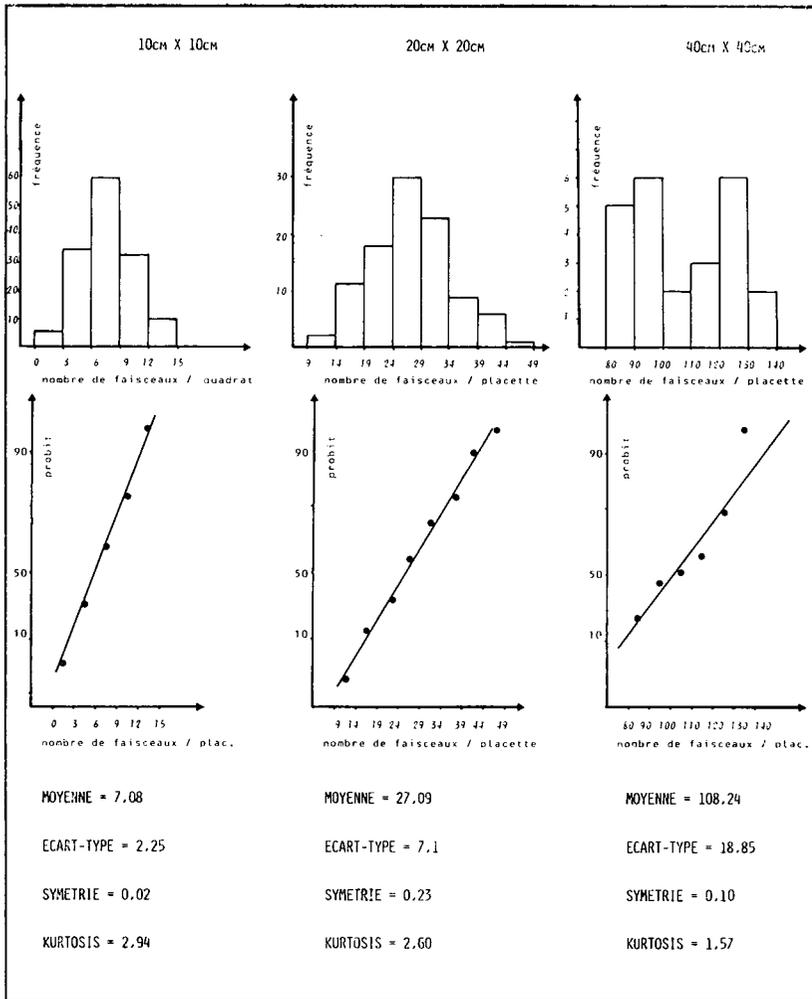


Figure 2 : histogrammes du nombre de faisceaux par quadrat ou placette de 10 cm × 10 cm, 20 cm × 20 cm, 40 cm × 40 cm ; droites de HENRY, moyennes et écarts-types correspondants.

Les histogrammes de fréquence et les droites de HENRY ont été tracés (Fig. 2). L'hypothèse de conformité avec la loi normale est rejetée au seuil de 95 % de sécurité (test χ^2). La symétrie est toujours vérifiée (Skewness entre - 0,5 et + 0,5) ; l'aplatissement augmente avec la taille des placettes (diminution de la kurtosis).

La figure 3 montre que l croît rapidement avec la taille des quadrats, jusqu'à une valeur égale à 3, puis se stabilise (quatre points entre 3 et 3,5).

Il est évident que le type de distribution que l'on obtient ainsi dépend de la taille des quadrats ou des placettes utilisés : pour des qua-

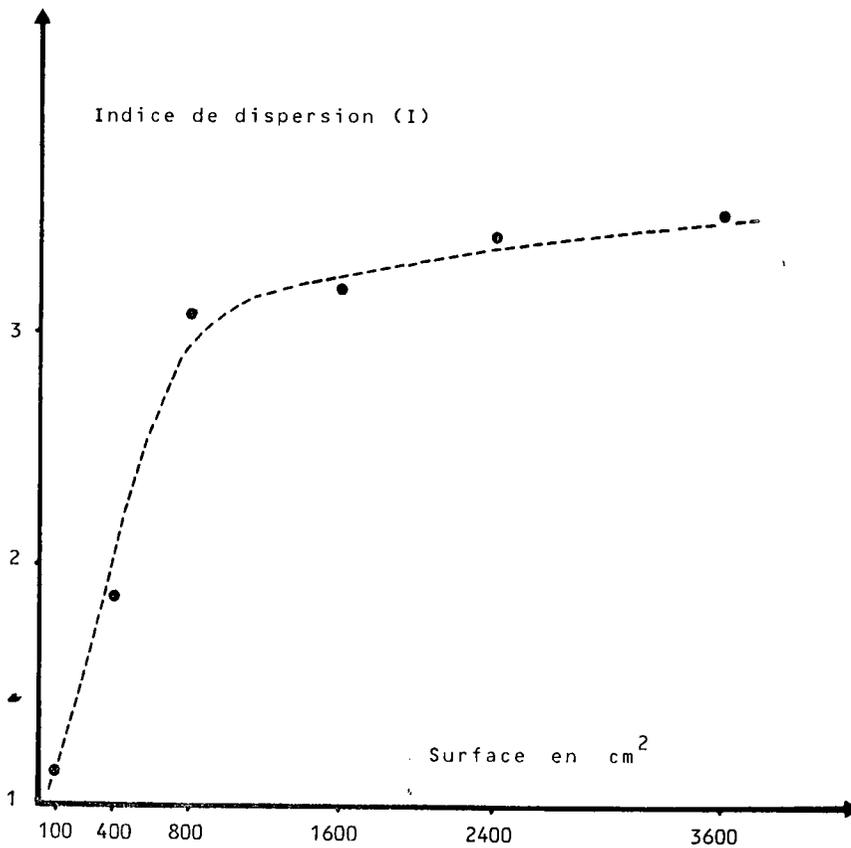


Figure 3: variation de l'indice de dispersion de la densité des faisceaux en fonction de la surface des placettes étudiées.

drats d'une taille à peine supérieure à celle d'un faisceau, la distribution apparaîtrait régulière ; l'indice de dispersion croît avec la taille des placettes jusqu'à une limite qui correspondrait à la dimension des *taches* (patchiness) ; si la taille des placettes augmentait encore, l'indice diminuerait.

Dans le cas de l'herbier étudié dans la baie de Port-Cros, la dimension des *taches* serait donc comprise entre 800 cm^2 et au moins $3\,600 \text{ cm}^2$.

3.2. — VARIATION DE L'ERREUR RELATIVE EN FONCTION DE LA TAILLE DES PLACETTES IMBRIQUEES

Les quadrats ont été regroupés en placettes imbriquées de taille croissante (Fig. 4). Le nombre des faisceaux, extrapolé au m^2 , pour chaque taille de placette, ainsi que l'erreur relative qui s'y attache, ont été calculés (Tableau III). On remarque l'extrême variabilité de l'erreur rela-

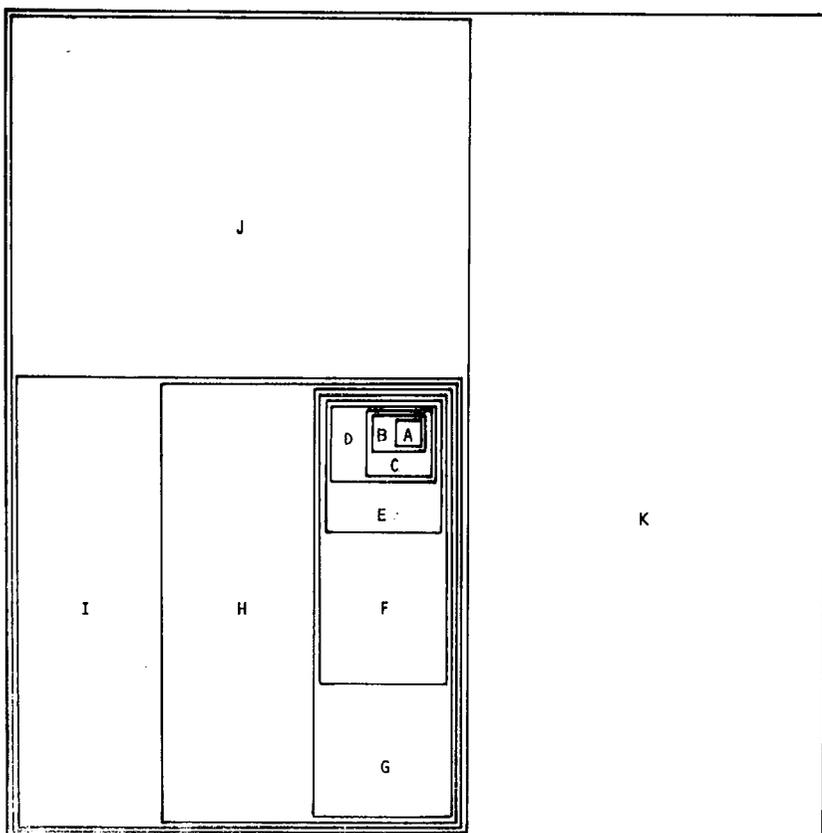


Figure 4 : disposition des placettes imbriquées

tive lorsque les placettes sont de faible surface. Toutefois, le détail de ces oscillations dépend à l'évidence de la position du quadrat initial. Il est donc préférable de travailler sur des moyennes provenant de placettes non imbriquées.

3.3. — VARIATION DE L'ERREUR RELATIVE MOYENNE EN FONCTION DE LA TAILLE DES PLACETTES NON IMBRIQUEES

Les quadrats ont été regroupés en placettes non imbriquées de taille croissante. Nous avons calculé, pour chaque taille de placette, les valeurs extrapolées du nombre de faisceaux au m^2 et l'erreur relative que l'on commet à chaque extrapolation.

L'erreur relative moyenne et son écart-type, qui diminuent lorsque la surface des placettes augmente, se stabilisent relativement à partir de $1\ 600\ cm^2$ (Fig. 5), pour des placettes de $40\ cm \times 40\ cm$.

Nous avons également tracé, pour différentes tailles de placettes, la

Placette	Surface : cm ²	Nombre de faisceaux	Nombre de faisceaux/m ²	Erreur relative %
A	100	6	600	11
B	200	7	350	48
C	400	17	677	37
D	800	33	413	39
E	1600	75	469	31
F	2800	164	586	13
G	4000	258	645	5
H	7000	466	666	2
I	10000	695	695	3
J	20000	1316	658	3
K	40000	2706	677	0

Tableau III : placettes imbriquées ; variations de l'erreur relative sur l'extrapolation au m² de la densité des faisceaux en fonction de la taille des placettes.

courbe des fréquences cumulées de l'erreur relative (Fig. 6, courbes a, b, c, d et e). Les courbes sont d'autant plus redressées que la taille des placettes augmente. Le Tableau IV donne un exemple de lecture sur les courbes de la Fig. 6. La même construction a été réalisée pour des placettes de 20 cm × 20 cm, dans un relevé effectué en Corse (PANAYO-TIDIS, sous presse) : le résultat est tout à fait comparable à celui obtenu avec des placettes de 20 cm × 20 cm à Port-Cros.

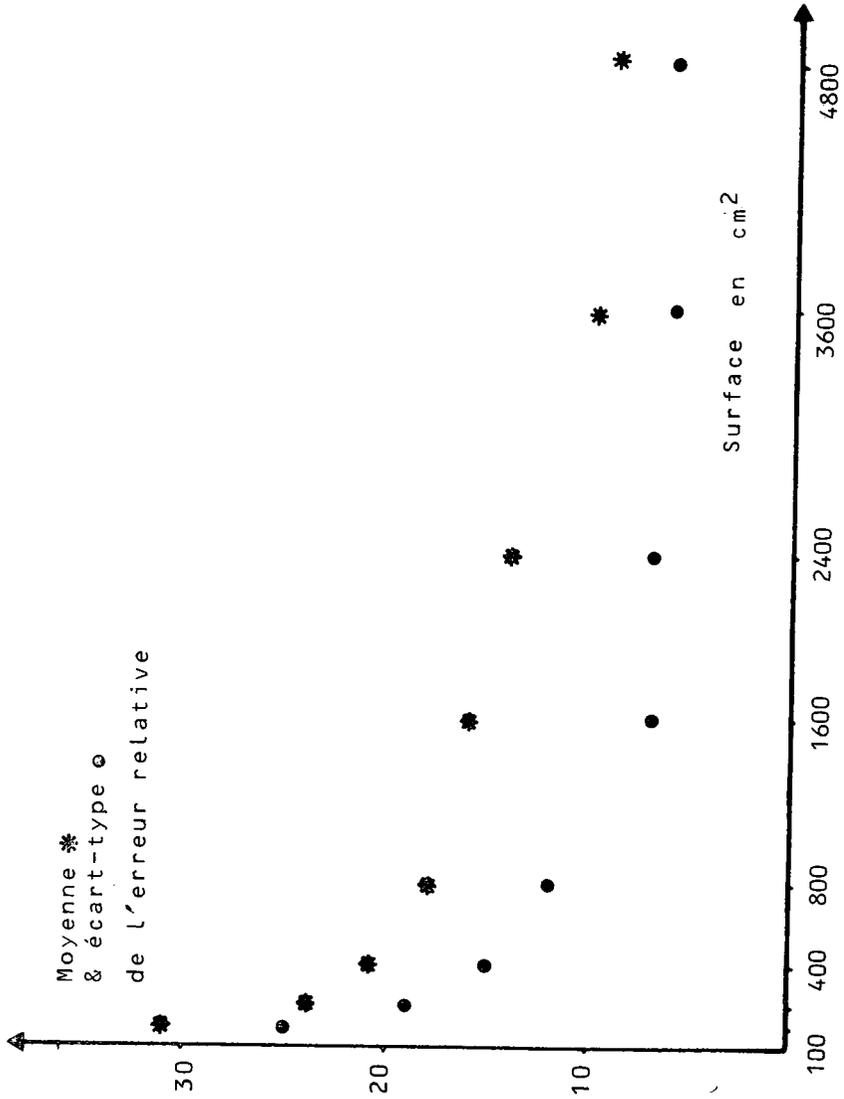
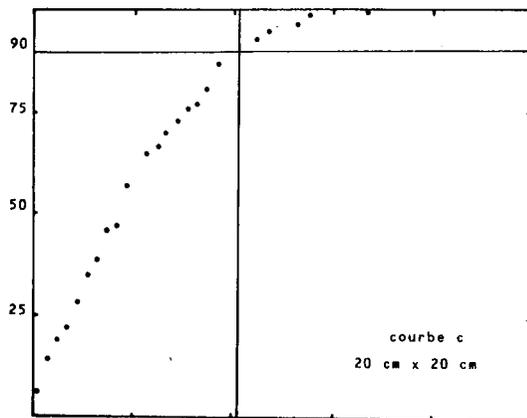
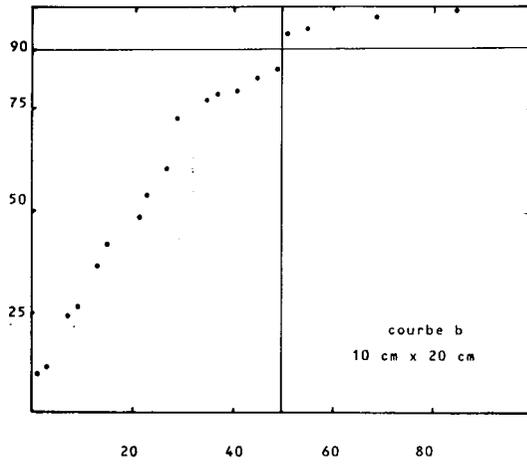
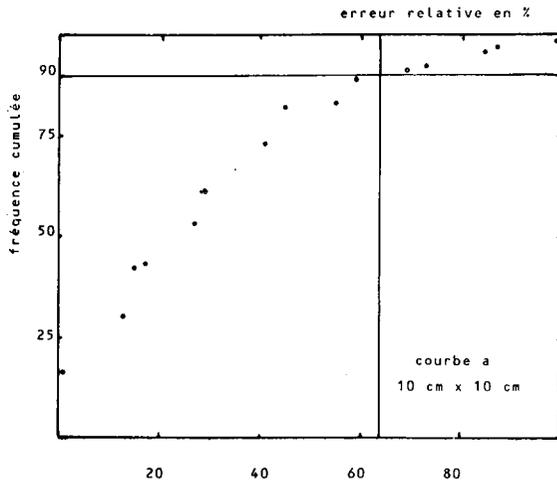


Figure 5 : variation de l'erreur relative moyenne sur l'extrapolation au m² de la densité des faisceaux (*) et son écart-type (°) en fonction de la surface des placettes étudiées.



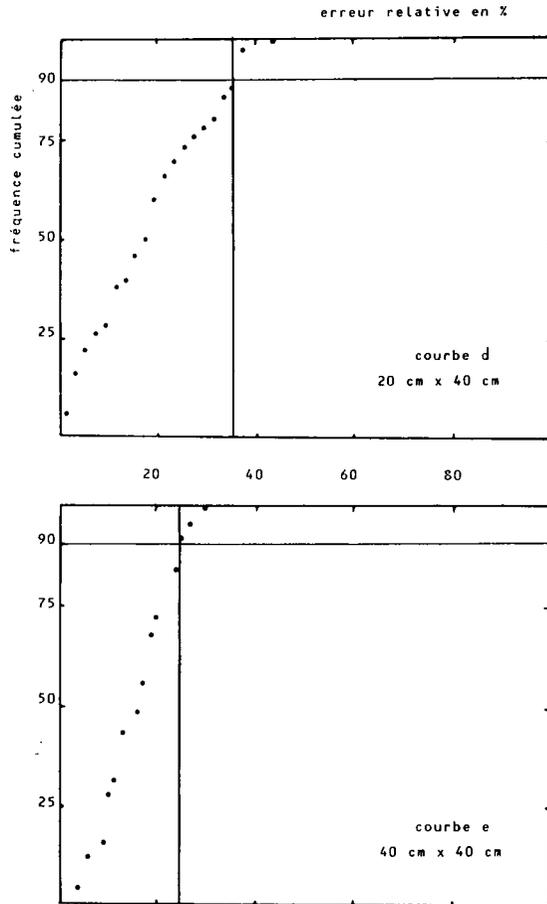


Figure 6 : fréquences cumulées de l'erreur relative sur l'extrapolation au m^2 de la densité des faisceaux pour les placettes de $10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ (courbe a), $10\text{ cm} \times 20\text{ cm}$ (courbe b), $20\text{ cm} \times 20\text{ cm}$ (courbe c), $20\text{ cm} \times 40\text{ cm}$ (courbe d), $40\text{ cm} \times 40\text{ cm}$ (courbe e).

Tableau IV : exemples de lecture sur les courbes a, b, c, d, e, de la figure 6

Dimensions des placettes en cm	Dans 90 % des cas, l'erreur relative sur la valeur extrapolée du nombre de faisceaux/m ² est inférieure à :
10 × 10	62 %
10 × 20	50 %
20 × 20	41 %
20 × 40	36 %
40 × 40	25 %

4. — DISCUSSION ET CONCLUSION

La structure discontinue des herbiers de *Posidonia oceanica* (alternance de mattes et d'intermattes = macrostructure) a été décrite par de nombreux auteurs. La genèse de cette structure n'est pas toujours comprise.

Au sein d'une matre d'apparence homogène, nous nous sommes attachés à mettre en évidence, puis à décrire, l'hétérogénéité de la répartition des faisceaux (microstructure) ; il s'agit d'abord d'adapter les techniques d'échantillonnage à la problématique des recherches, puis de rechercher une éventuelle liaison entre microstructure et macrostructure.

La distribution des faisceaux (Indice de dispersion, droite de HENRY, tests χ^2) n'est jamais conforme ni à la loi Normale, ni à la loi de POISSON. La surdispersion augmente avec la taille des placettes tandis que l'on s'éloigne de la Normalité. La distribution des faisceaux, à l'échelle des quelques m² que nous avons étudiés, est contagieuse (aggrégative), en taches dont la surface semble se situer entre 800 cm² et au moins 3 600 cm². Une table de l'erreur commise sur l'extrapolation au m² de la densité des faisceaux, en fonction de la surface d'échantillonnage, est proposée. L'importance prise actuellement par l'étude quantitative des herbiers rendait urgente une telle initiative.

Le problème de l'éventuel lien entre microstructure et macrostructure reste posé. Seule une étude à long terme pourrait fournir une réponse satisfaisante sur ce sujet. C'est dans ce but que nous avons installé, en juin 1978, un carré permanent de 10 m de côté, sur un herbier situé vers 15-18 m de profondeur, dans l'anse d'Elbo, en Corse (1). Nous y effectuons chaque année une cartographie détaillée accompagnée de mesures de la densité des faisceaux de *Posidonia*.

(1) C.-F. BOUDOURESQUE, A. MEINESZ et P. PANAYOTIDIS, travail en cours.

BIBLIOGRAPHIE

- BAY D., 1978. — *Etude in situ de la production primaire d'un herbier de Posidonies, Posidonia oceanica (L.) Delile de la baie de Calvi, Corse*. Thèse de Doctorat, Université de Liège (Belgique) : 251 p.
- BLANC J.-J., 1958. — *Recherches de sédimentologie littorale et sous-marine en Provence occidentale*. Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Paris, Masson et Cie, édit. : 140 p.
- BOUDOURESQUE C.-F., GIRAUD G., PERRET M., 1977. — *Posidonia oceanica : Bibliographie*. Contrat Univ. Aix-Marseille II et Centre National pour l'Exploitation des Océans (CNEXO) : 191 p.
- COOPER G., 1976. — *La Posidonie, plante étonnante. La pêche ou la mariculture... ?* Association Fondation G. COOPER, Jardinier de la Mer, Cahier 1 : 1-57.
- DREW E.A., 1971. — Botany. *Underwater science. An introduction to experiments by divers*. Woods and Lithgoe edit., London : 175-233.
- DREW E.A., JUPP B.P., 1976. — Some aspects of the growth of *Posidonia oceanica* in Malta. *Underwater research*, Academic Press, London : 357-367.
- ELLIOTT J.M., DECAMPS H., 1973. — Guide pour l'analyse statistique des échantillons d'invertébrés benthiques. *Ann. Limnol., Fr.*, 9 (2) : 79-120.
- EUGENE C., 1978. — *Etude de l'épifaune des herbiers de Posidonia oceanica (L.) Delile du Littoral provençal*. Thèse de Doctorat de spécialité, Univ. Aix-Marseille II : 130 p.
- GIRAUD G., 1977. — *Contribution à la description et à la phénologie quantitative des herbiers de Posidonia oceanica (L.) Delile*. Thèse de Doctorat de spécialité, Univ. Aix-Marseille II : 150 p.
- MAGGI P., GRUET Y., LASSUS P., 1977. — Influence de la pollution urbaine sur la vitalité des herbiers à Posidonies dans le Golfe de Giens (Var). *Science et Pêche, Bull. Inst. Pêches marit., Fr.*, 269 : 5-13.
- MOLINIER R., PICARD J., 1952. — Recherches sur les herbiers de Phanérogames marines du littoral méditerranéen français. *Ann. Inst. océanogr., Paris*, 27 (3) : 157-234.
- TEXAS INSTRUMENTS, 1977. — *Statistiques appliquées*, TI-58.

