

DESCRIPTION ET ANALYSE DE STRUCTURES SÉDIMENTAIRES EN MILIEU MARIN : RECENSEMENT DE QUELQUES EXEMPLES DANS L'HERBIER DE POSIDONIES AUTOUR DE L'ÎLE DE PORT-CROS (PARC NATIONAL)

Pierre CLAIREFOND (1) et Alain JEUDY DE GRISSAC (1)

Résumé : Sur fond meuble, les structures sédimentaires sont étroitement liées aux conditions hydrodynamiques locales.

Au terme de nombreuses plongées sur l'herbier de Posidonies, notamment autour de l'île de Port-Cros, il apparaît que ce type de fond, malgré sa relative compacité, comporte des figures sédimentaires singulières.

Après la définition de la mise en place des principales structures, celles rencontrées dans l'herbier de Posidonies de Port-Cros sont décrites avec leurs variantes.

Summary : Description and analysis of marine sedimentary structures : inventory of some examples in Posidonian seagrass meadows around Port-Cros island (National Park, French mediterranean coast).

On sandy bottom, sedimentary structures are strictly bound up with local hydrodynamic conditions.

After numerous scuba-divings on Posidonian seagrass meadows especially around Port-Cros island, it seems that this type of bottom, although more rigid, comprises similar figures.

First, we define the setting of principal structures ; then those founded in Posidonian seagrass meadows around Port-Cros island will be described with their variants.

Mots descripteurs : herbier de Posidonies, érosion sous-marine, courants de fond, morphologie littorale, Port-Cros, Parc National.

(1) Laboratoire de Géologie Marine, Centre Universitaire de Marseille-Luminy, 13288 Marseille Cédex 2.

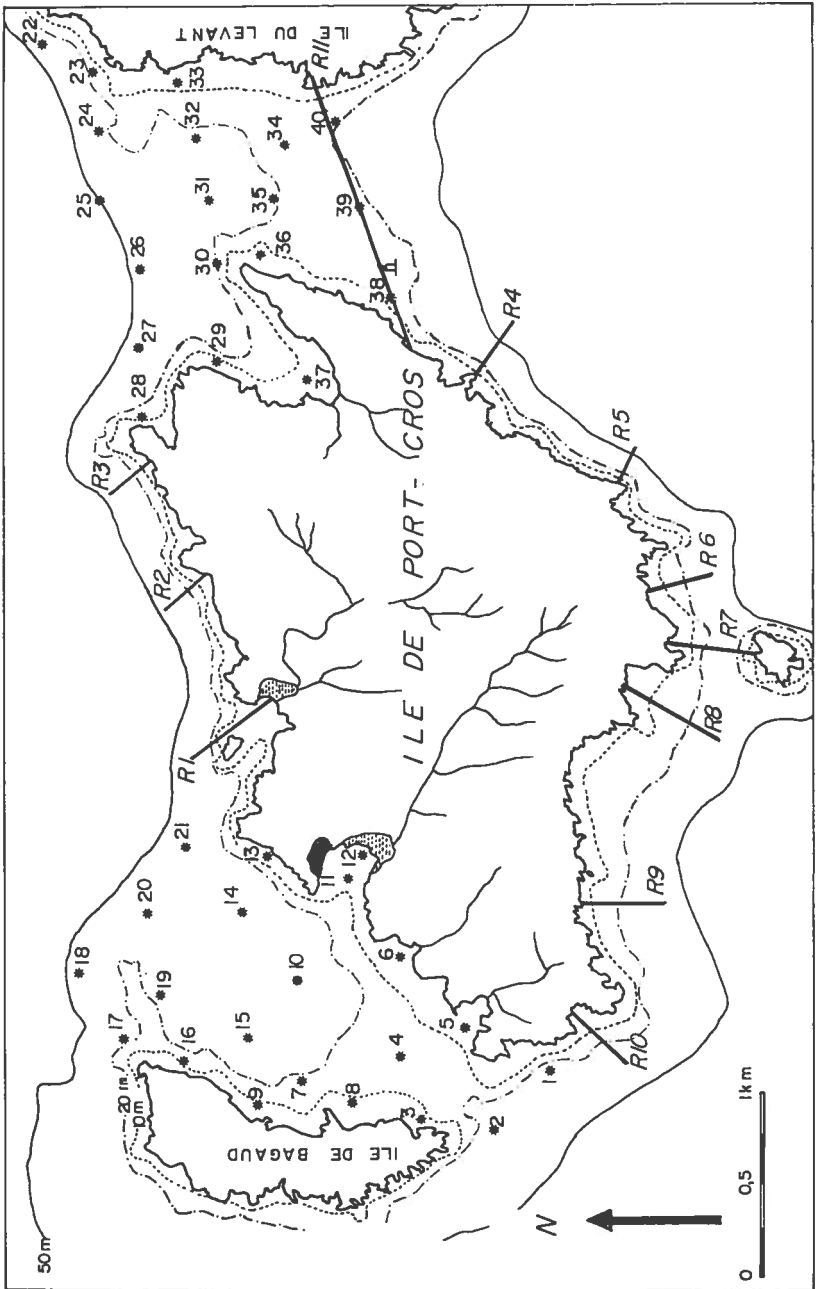


Fig. 1. — Ile de Port-Cros : localisation des points et des radiales d'observation.

1. — INTRODUCTION

Les fonds marins autour de l'île de Port-Cros sont de trois types :

- fonds de sable,
- fonds d'herbier (*Posidonia oceanica*),
- fonds rocheux,

dont la portance et la cohésion vont en croissant.

* *Sur fonds de sable*, la réponse aux agents hydrodynamiques se marque par diverses structures. Successivement on rencontre :

— fond plat, ridé (ripple-marks), présence de dunes et anti-dunes lorsque le fond est libre et l'action dynamique uniforme,

— « marmites », chenaux lorsque la trajectoire de l'énergie est modifiée, canalisée ou localisée.

Ces diverses figures peuvent être temporaires, effacées ou modifiées en fonction des variations hydrodynamiques (houles, courants).

* *Dans l'herbier de Posidonies*, bien que la cohésion du fond soit supérieure, des structures sédimentaires similaires peuvent se rencontrer. Leur évolution dans le temps reste plus lente et leurs modifications réduites.

Après un rappel des conditions de mise en place des diverses structures sédimentaires sur fonds sableux, un parallèle sera établi avec celles rencontrées à Port-Cros dans l'herbier de Posidonies. Celles-ci ont été recensées au cours de deux missions ayant fait l'objet de contrats d'étude avec le Parc National de Port-Cros :

— entre juin et septembre 1977, 40 plongées ponctuelles ont été effectuées, entre 0 et 40 m, dans les passes de Bagaud et du Levant,

— en 1978, les côtes nord et sud de Port-Cros ont été abordées de façon différente. En effet, en raison de la pente importante des fonds, l'étude a été basée sur 10 radiales de — 40 m à la côte. La figure 1 indique l'ensemble des radiales d'observation et des points de prélèvement. Cependant, dans ce travail, n'ont été retenus que certains sites caractéristiques.

Enfin, quelques structures particulières seront décrites.

2. — LES STRUCTURES SÉDIMENTAIRES SUR FONDS MEUBLES : CONDITIONS DE MISE EN PLACE ET DESCRIPTION

a — *Lorsque le fond est libre* et l'action de l'énergie relativement homogène, la vitesse des courants orbitaires ou unidirectionnels demeure le générateur essentiel de figures sédimentaires.

En dessous d'un seuil de vitesse V_0 lié à la cohésion et à la granulométrie du sédiment, les particules restent en place = lit plan (fig. 2 A).

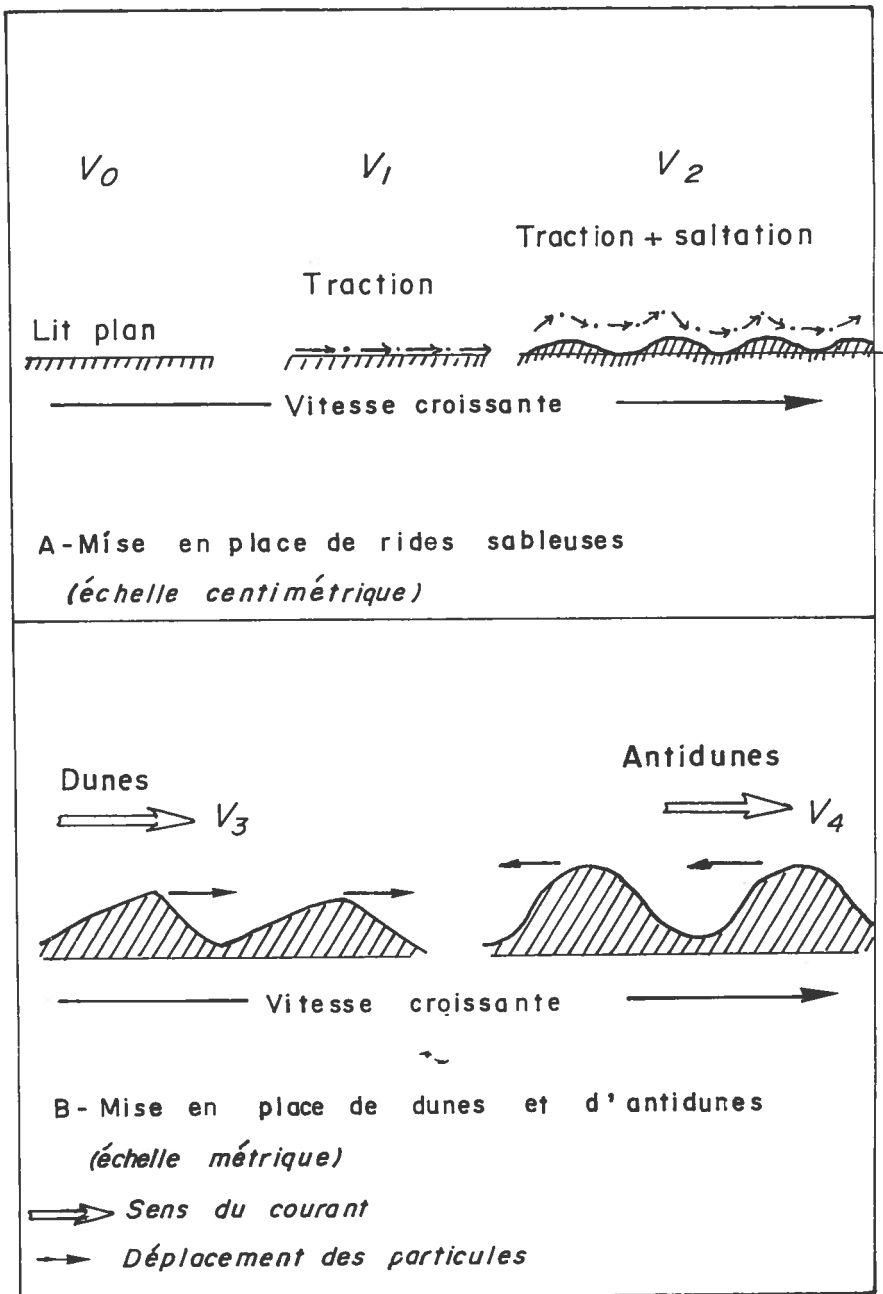


Fig. 2. — Structures sédimentaires établies par un courant sur un fond meuble uniforme.

Pour une vitesse V_1 , le mouvement des grains se fait par traction sur le fond.

A partir d'un seuil V_2 , il y a déplacement en traction et saltation et mise en place d'un système de rides sableuses (longueur d'onde : 5 à 60 cm ; amplitude : 0,5 à 15 cm).

Pour des vitesses plus élevées et des transferts de sédiments plus importants, se forment des dunes puis des anti-dunes. Dans le premier cas, les sédiments se déplacent dans le sens du courant, dans le deuxième, en sens inverse (phénomène de cavitation (fig. 2 B)).

b — Lorsque l'énergie subit une déviation (obstacle latéral) ou une « canalisation », on assiste à une érosion du fond aboutissant à la création de « marmites » ou de chenaux similaires aux marmites de géants et aux chenaux en milieu torrentiel ou fluvial (fig. 3 A et B).

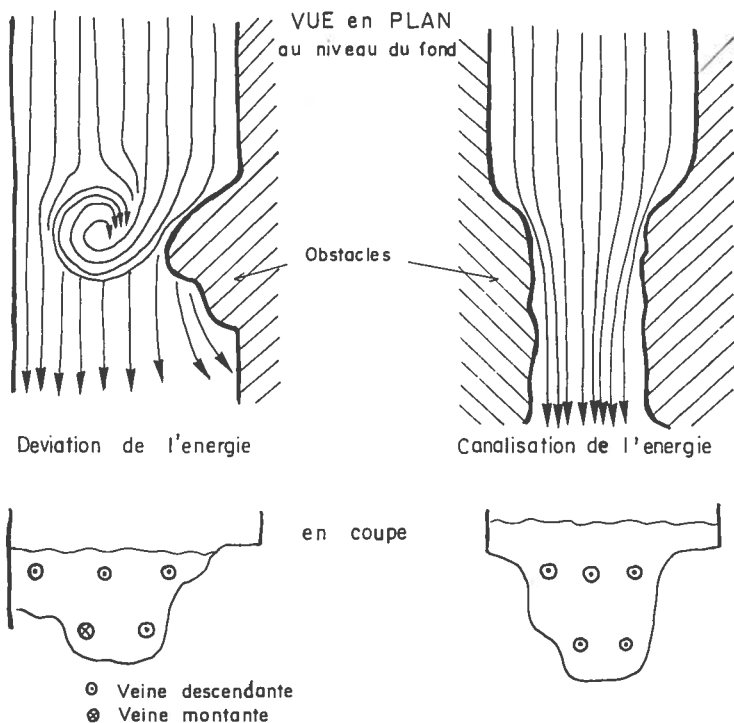


Fig. 3

A - Schéma de mise en place
d'une "marmite" d'érosion

B - Schéma de mise en place
d'un chenal

Dans le cas d'un chenal, le courant demeure linéaire et unidirectionnel : approfondissement suivant un axe. Par contre, la création d'une « marmite » est le fait d'un courant tourbillonnaire qui ne concerne que la partie inférieure de la tranche d'eau : approfondissement d'une aire de forme plus ou moins circulaire.

3. — L'HERBIER DE POSIDONIES : FACTEURS REGLANTS

La couverture d'herbiers de Posidonies (*Posidonia oceanica*) peut s'installer, sur les côtes provençales, entre 0 et 40 m ; cette profondeur est celle compatible avec l'éclairement nécessaire à l'activité photosynthétique des phanérogames (profondeur de compensation).

Son implantation est conditionnée par un ensemble de facteurs dont les principaux sont la qualité des eaux (température, salinité, taux de pollution, turbidité, etc...), les apports sédimentaires et l'hydrodynamisme qui régit en grande partie les précédents.

Il se marque (Abaques de Hjülstrom, 1939) :

— soit par un couple transport - sédimentation (T - S),

— soit par un couple transport - érosion (T - E).

Les composantes principales de l'hydrodynamisme sont les houles et les courants, dont l'énergie et ses résultantes (T - S ou T - E) tendent à s'atténuer lorsque la profondeur augmente.

De par sa constitution, l'Herbier de Posidonies s'avère plus rigide que des fonds meubles sans végétation (de granulométrie similaire).

Il se compose de deux ensembles dont les rôles sont complémentaires :

— la partie visible, constituée par les frondes, joue un double rôle : elle diminue la vitesse du courant par friction sur toute sa hauteur, et, de ce fait, provoque une perte de charge et un dépôt des particules sédimentaires. Le coefficient d'amortissement Ca peut être défini par la formule suivante :

$$F = C_a \cdot \rho \cdot A \cdot \frac{V^2}{2} \text{ avec :}$$

F = force du courant sur la surface concernée par le rideau végétal,

ρ = densité de l'eau (1,02),

A = surface du rideau végétal, pour une section considérée,

V = vitesse du courant.

— Sous les frondes, les rhizômes forment un maillage serré qui piège et maintient le sédiment ; jusqu'à un certain degré d'énergie, cet ensemble, la matée, empêche les phénomènes d'affouillement. Au-dessus de ce seuil d'énergie, il y a érosion et mise en place de structures sédimentaires.

Dans des conditions particulières, l'action combinée de ces deux ensembles (frondes et rhizômes) conduit à un exhaussement des fonds pouvant atteindre 1 m par siècle au maximum (Molinier et Picard 1952, Blanc 1958), et 0,15 m au minimum.

L'état actuel de l'herbier de Posidonies est donc fonction des paramètres suivants :

- relation profondeur / lumière,
- pente des fonds,
- modalités dynamiques concernant les masses d'eaux environnantes,
- apports sédimentaires,
- pollutions et actions humaines.

4. — STRUCTURES SEDIMENTAIRES DANS L'HERBIER

a — Conditions de mise en place et description.

Les structures sédimentaires considérées pourront être, soit des structures intéressant l'ensemble de l'herbier, soit des figures localisées à certains secteurs du couvert végétal sous-marin.

1 — Herbier régulier (fig. 4 a) :

Dans des conditions favorables à son installation et à son maintien, l'herbier de Posidonies se présente sous deux aspects :

- herbier régulier dense,
- herbier régulier clairsemé.

Dans le premier cas, le recouvrement foliaire est supérieur à 75 %. La «*matte*», ou le substrat ne sont jamais visibles. Les particules sédimentaires piégées peuvent être très fines (Orsolini, 1978).

Dans le second cas, le recouvrement foliaire est compris entre 25 et 75 %. La *matte*, ou le sédiment apparaissent entre les pieds de Posidonies. Le sédiment est plus grossier que précédemment. Il s'agit généralement d'un sable coquillier.

Dans les deux cas, la densité reste régulière sur de grandes étendues.

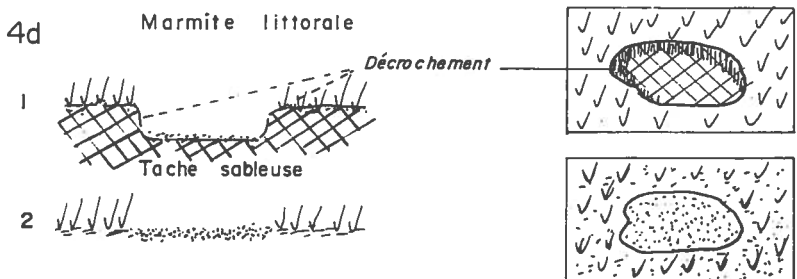
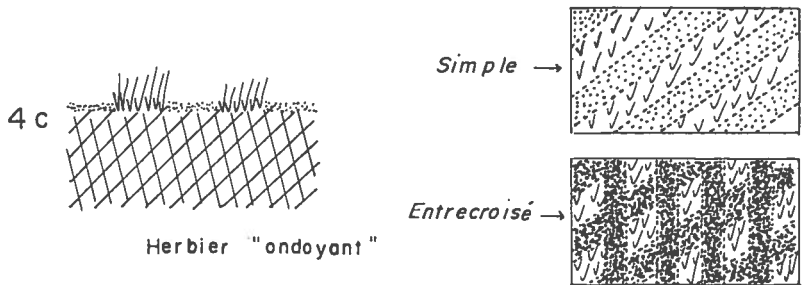
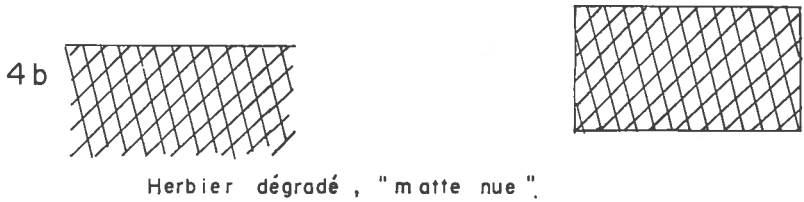
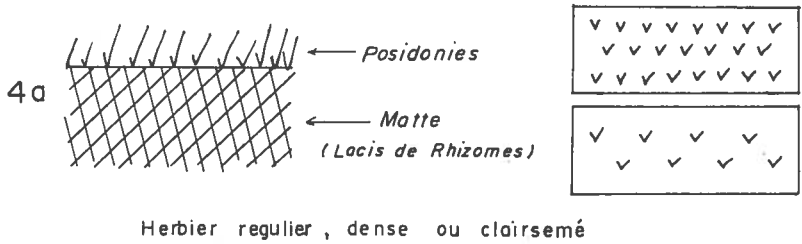
2 — Herbier dégradé (fig. 4 b) :

Sous l'action de nombreux facteurs :

— érosion mécanique due aux ancrages des bateaux de plaisance (Augier et Boudouresque, 1970 ; Meinesz et Lefèvre, 1976) ou à la pratique de la pêche avec des engins traînants (Harmelin et True, 1964 ; Astier, 1972 ; Pérès et Picard, 1975).

— influence des pollutions domestiques au voisinage des émissaires (Harmelin et True, 1964 ; Astier, 1972 et 1975 ; Maggi, 1972 et 1973 ; Jeudy de Grissac, 1975 ; Pérès et Picard, 1975 ; Astier et Taillez, 1976 ; Blanc et Jeudy de Grissac, 1978).

Fig. 4- L'Herbier de Posidonies
et les différents types de structures observés



— actions naturelles liées à l'hydrodynamisme et au couple érosion-sédimentation (Blanc, 1958, 1974 ; Blanc et Jeudy de Grissac, 1978 ; Molinier et Picard, 1952 ; Jeudy de Grissac, 1975).

La matre ou le support sédimentaire de l'herbier peuvent être mis à nu totalement ou partiellement ; seuls quelques pieds subsistent alors (recouvrement $< 5\%$) sur des surfaces plus ou moins étendues.

Entre les deux stades « herbier clairsemé » et « herbier dégradé », le recouvrement, compris entre 5 et 25 %, correspond généralement à un herbier en déséquilibre. Cet état peut n'être que passager et évoluer vers une reconstitution lente et progressive (Harmelin, 1976 ; station LP.72.III, La Palud, — 7 m, Port-Cros).

3 — **Herbier « ondoyant » simple ou entrecroisé (fig. 4 c) :**

Identiques aux rides se formant sur les fonds sableux, de telles structures peuvent être présentes dans l'herbier.

Elles sont généralement le fait des houles : leur mise en place est liée à un système d'onde stationnaire. Une telle onde provoque la mise en mouvement alternatif des particules au niveau du fond. L'interférence entre cette onde incidente et l'onde réfléchiée par la côte accore crée une structure comportant des nœuds et des ventres (lignes dites nodales et ventrales).

Il y a dépôt de sédiment au niveau des lignes nodales et maintient de l'herbier sur les lignes ventrales.

On obtient ainsi sur le fond une alternance de bandes parallèles de sable et d'herbier. Cette structure est nommée herbier ondoyant simple.

Pour l'herbier de Posidonies, la mise en place de telles structures ne peut se faire que progressivement par l'action régulière d'un régime de houle défini et revenant se marquer régulièrement. C'est le cas pour les côtes comportant « un » régime de houles homogènes et très largement dominant.

Lorsqu'agissent deux régimes de houles dominants et alternants, on peut aboutir à la mise en place de deux systèmes d'orientations différentes. Il s'agit d'un herbier ondoyant entrecroisé.

Dans certains cas, une direction peut être provisoirement beaucoup plus marquée, correspondant à un régime de tempêtes. De telles structures peuvent occuper des surfaces très importantes, affectant tout l'herbier, lorsque les conditions dynamiques restent les mêmes sur toute une portion du littoral.

Les structures qui seront maintenant décrites (4, 5, 6, 7) sont beaucoup plus restreintes en taille ou en étendue.

4 — **Marmites et taches sableuses :**

Les « marmites » sont liées à une action dynamique tourbillonnaire. Elles se localisent dans les secteurs les moins profonds de l'herbier de

Posidonies où l'hydrodynamisme est plus important. La matre sous-jacente est mise à nu au fond d'une excavation présentant un net décrochement sur son pourtour. Le sédiment présent dans la marmite est de granulométrie grossière (sable grossier, gravier, galets).

Les taches sableuses ont une répartition bathymétrique plus étendue que les précédentes. Leur origine peut être dynamique et correspondrait au stade préliminaire à la mise en place d'une marmite.

Mais, leur présence à des profondeurs importantes fait penser que leur origine pourrait être différente et plus particulièrement biologique.

Deux hypothèses ont été émises, l'une par analogie avec la mise en place de clairières dans une forêt, l'autre par l'intermédiaire de bactéries ou de champignons dont l'action se marque à terre par des structures circulaires.

Dans le cas des taches sableuses, la matre n'est pas dénudée ; ces étendues plus ou moins importantes sont tapissées de sable généralement fin et ne présentent pas de « tombants d'érosion » sur les bords.

5 — **Chenal de baie (fig. 4 e, d'après J. Blanc, 1958) :**

Étudiés par J. Blanc au Brusac (1958), les chenaux de baie sont le fait de courants de compensation lors d'afflux d'eau dans une baie.

Ils peuvent passer par des stades successifs allant du chenal simple aux chenaux emboîtés.

Stade 1 : Erosion de la matre par les courants de fond donnant un premier chenal et des « tombants ». Lorsque le chenal est suffisamment profond, les courants compensateurs sont affaiblis et l'érosion s'arrête.

Stade 2 : Un nouvel herbier s'installe sur ce fond de sable et le niveau du fond progresse régulièrement vers la surface.

Stade 3 : La matre remontant atteint un niveau où l'action érosive peut se manifester à nouveau. Il y a formation d'un chenal emboîté. La mise en place définitive apparaît similaire à celle des terrasses fluviales.

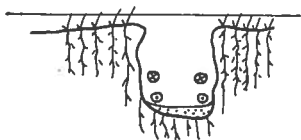
6 — **Chenal de passe (fig. 4 f) :**

Dans les passes, il se produit une augmentation de l'hydrodynamisme du fait de la canalisation de l'énergie dans un volume d'eau plus réduit (cf fig. 3 b).

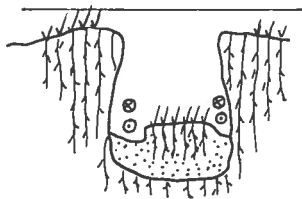
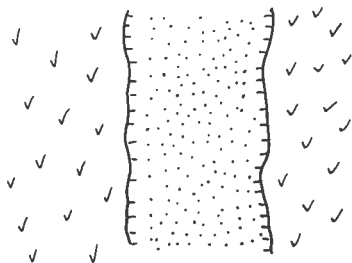
Il en résulte une érosion du fond et notamment de l'herbier qui aboutit à la formation de chenaux parallèles aux lignes de force.

En général, ces chenaux apparaissent moins marqués que les chenaux de baie, car ils intéressent des étendues plus larges. L'énergie est en effet moins concentrée.

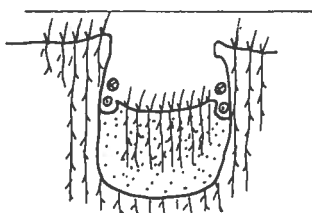
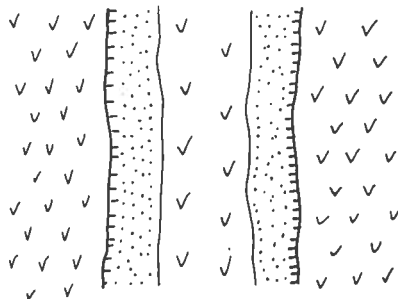
Localement, on assiste à la coalescence de ces chenaux qui donnent des taches ou lobes sableux. Le matériau constitutif de ces éléments est assimilables aux sables grossiers et fins graviers sous l'influence de courants de fond (J. Blanc, 1978 ; P. Clairefond, 1978).



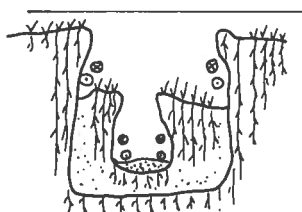
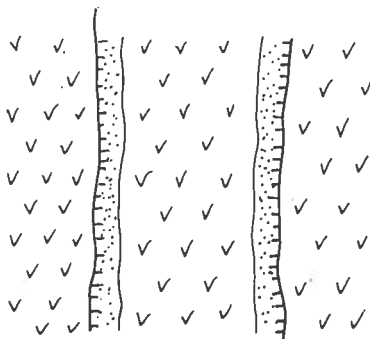
STADE 1 : Erosion de la
matte, formation du
chenal et des tombants



STADE 2 Approfondissement
du chenal, puis arrêt de
l'érosion, un nouvel
herbier s'installe.



STADE 3 Colmatage du
chenal " intermatte "



STADE 4 Colmatage jusqu'à la
profondeur d'érosion et formation
d'un nouveau chenal emboîté

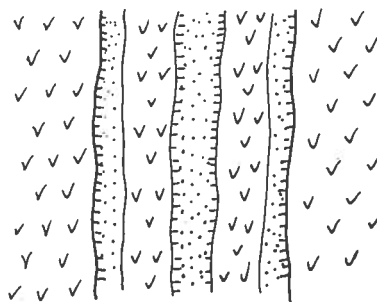


Fig. 4 e. — Chenal de baie : simple (A) et emboîté (D) d'après J. Blanc (1958)

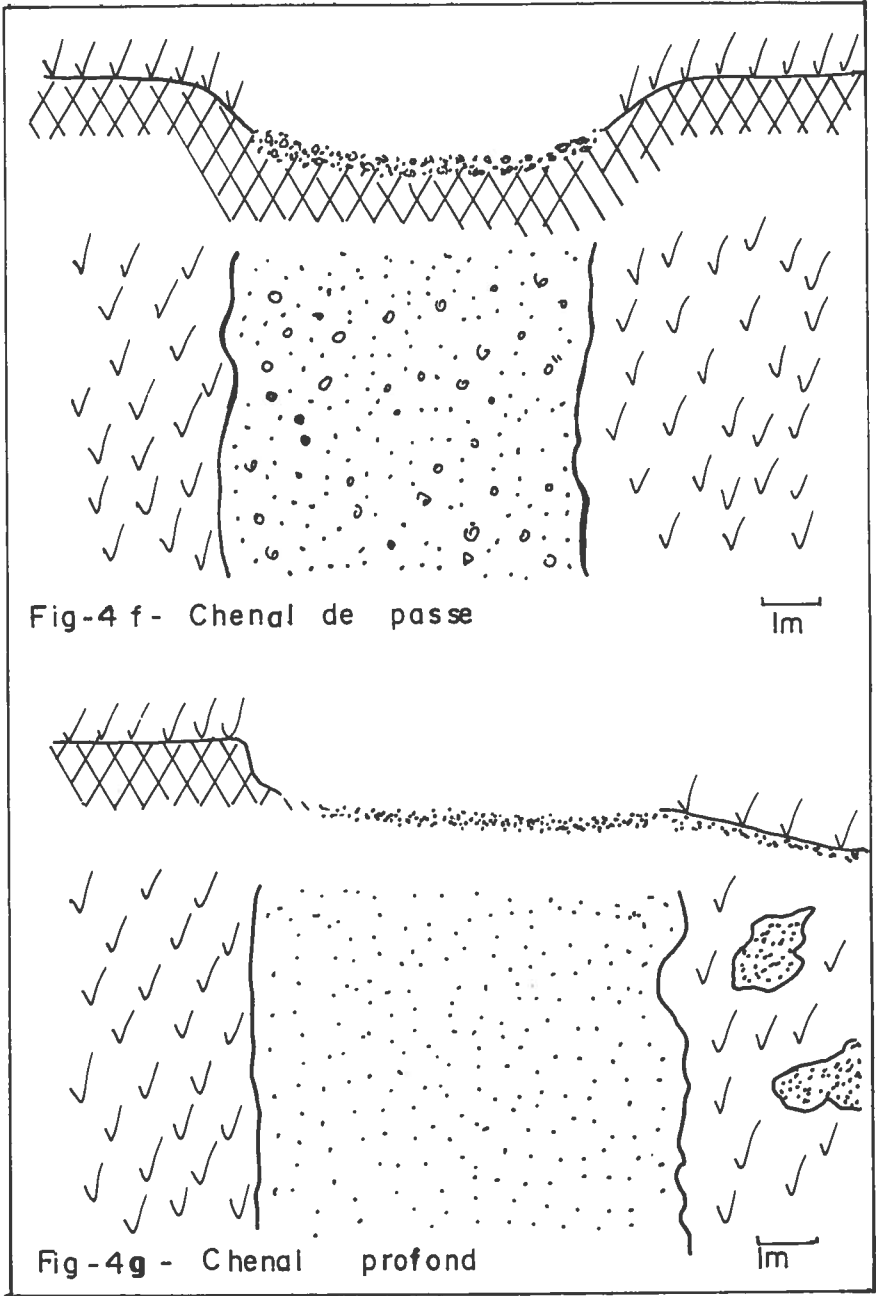


Fig. 4 f et 4 g. — Chenal de passe et chenal profond.

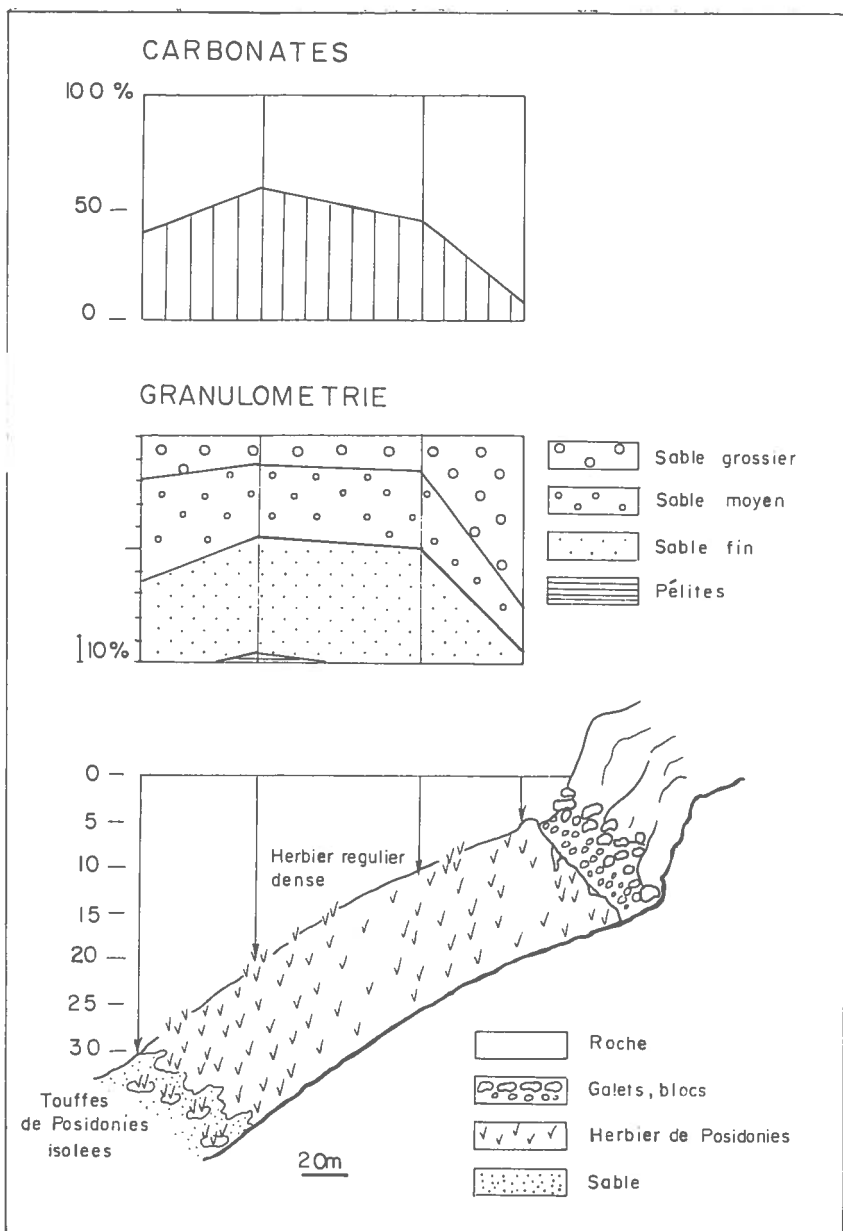


Fig. 5. — Radiale 2 : La Marma.

7 — **Chenal profond (fig. 4 g) :**

Dans certains secteurs où la côte est encore et les pentes des fonds marins fortes, l'action conjuguée de la houle et des courants peut conduire à la formation de chenaux profonds. Ils entaillent l'herbier de Posidonies parallèlement à la côte. En effet, les agents hydrodynamiques « en appui » sur le littoral longent celui-ci en érodant les fonds. Ce type de structure se rencontre à partir de 10 - 12 m jusqu'à 35 m de fond et résulte du même principe que celui du transfert littoral sur les côtes sableuses. Dans le cas présent, il peut être lié à la présence d'un substrat localement plus rigide (roche) permettant l'affouillement dans sa partie inférieure, à une faiblesse relative de l'herbier pour une certaine profondeur ou à la profondeur dite « d'amortissement » des houles. Dans ce dernier cas, cet élément constituerait la « trace » des houles les plus courantes ou les plus actives sur le site.

A cette action par les houles et les courants induits, peut s'ajouter celle de courants généraux (géostrophique) localement renforcés par les conditions météorologiques régnantes.

b — **Application à l'herbier de Port-Cros.**

Dans ce paragraphe, seront décrits les différents types d'herbiers recensés autour de l'île de Port-Cros, ainsi que les structures sédimentaires qui leur sont associées.

1 — **Radiale 2 : La Marma (fig. 5) — Herbier uniforme dense :**

* *Description :*

De —30 m à —5 —6 m de profondeur, l'herbier de Posidonies est uniforme et très fourni. Plus bas, ce sont les fonds Détritiques Côtiers. La limite entre ces deux ensembles est en dents de scie, irrégulière. Une étude précise de la position et des variations de cette limite pourrait montrer l'influence des houles.

Le littoral rocheux est encore et la frange littorale est occupée par des blocs, graviers et gravelles.

* *Sédiments - Carbonates :*

On peut, pour ces deux éléments, différencier trois types sédimentaires :

- Détritique Côtier,
- Herbier de Posidonies,
- Talus détritique littoral.

La production biogène est masquée par les apports terrigènes littoraux ; son maximum apparent se situe vers 20 mètres de fond (50 % environ).

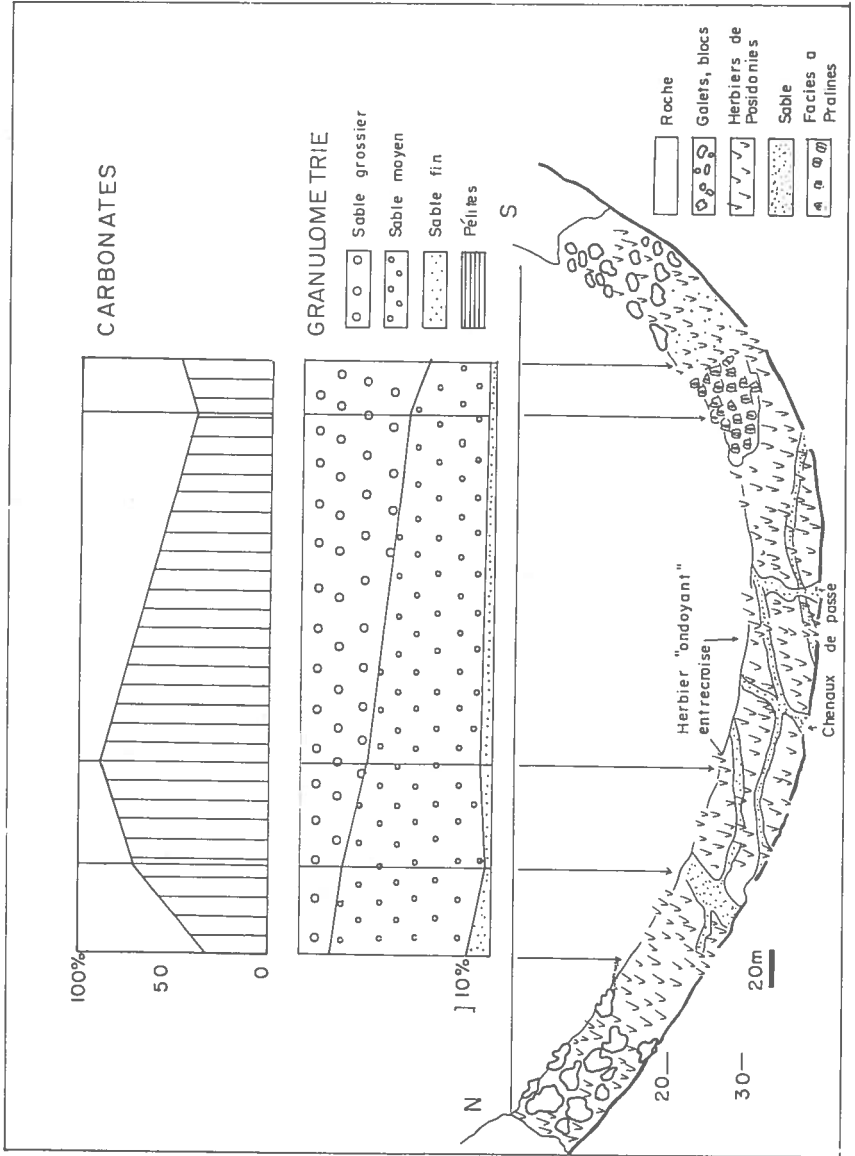


Fig. 6. — Réaie 6 : Port Cros - La Gabinière.

2 — Radiale 7 : Port-Cros — La Gabinière (fig. 6) — Herbier « ondoyant » et chenal de passe :

Cette radiale part de l'îlot de la Gabinière pour atteindre la côte de Port-Cros.

Au niveau de la Gabinière, la côte est accore et un éboulis fait suite à la falaise rocheuse. Il se poursuit jusqu'à 18 - 20 m de fond. Quelques Posidonies occupent cette zone, puis un herbier assez lâche lui fait suite jusqu'à la profondeur de 17 m de l'autre côté de la passe. La profondeur maximale est le 29 m.

Cet herbier est marqué de chenaux et de traces diverses, témoins de l'hydrodynamisme. Apparemment, il existe deux systèmes de chenaux :

— des chenaux de passe de direction est-ouest, peu marqués et discontinus, liés aux courants présents entre la Gabinière et la côte,

— des structures d'axe nord-ouest - sud-est venant recouper les chenaux. Vraisemblablement, engendrées par les houles de sud-ouest venant se freiner sur le seuil, elles correspondraient à une morphogenèse de type « herbier ondoyant » de longueur d'onde de plusieurs mètres.

Dans les deux cas, la matre est rarement visible car les observations semblent montrer un transport sableux important.

Du côté sud de la passe, les fonds Détritiques Côtiers ont été rencontrés sous la forme de leur « faciès à pralines » entre 22 et 28 m de fond à proximité de la Gabinière : c'est la marque de courants importants.

L'étude sédimentologique montre la prédominance d'un matériel terrigène ($\text{CO}_3\text{Ca} \neq 40\%$), confirmant les apports et transferts sableux notables dans ce secteur.

3 — Radiale 8 : Pointe Julien (fig. 7) — Herbier clairsemé, taches sableuses littorales et profondes :

La limite profonde de l'herbier se situe vers 37 m. Elle présente quelques indentations de Détritique Côtier. L'herbier est lâche mais régulier jusqu'à 20 - 22 m, excepté de larges taches de sable parallèles au littoral vers 30 m pouvant constituer l'amorce (ou la terminaison) d'un chenal profond. Entre —20 et —13 m, de nouvelles taches, plus petites et plus fréquentes, font leur apparition. Leur présence et leur sédiment plus grossier indiquent une augmentation de l'activité hydrodynamique confirmée par la faible teneur en carbonates, signe d'apports terrigènes importants. La dynamique et la profondeur jouent ici un plus grand rôle que la présence de l'herbier dont la matre est réduite ou nulle.

De —13 m à —10 m, une barre rocheuse marque la limite supérieure de l'herbier. Au littoral, la roche est nue ou parsemée de blocs et de galets.

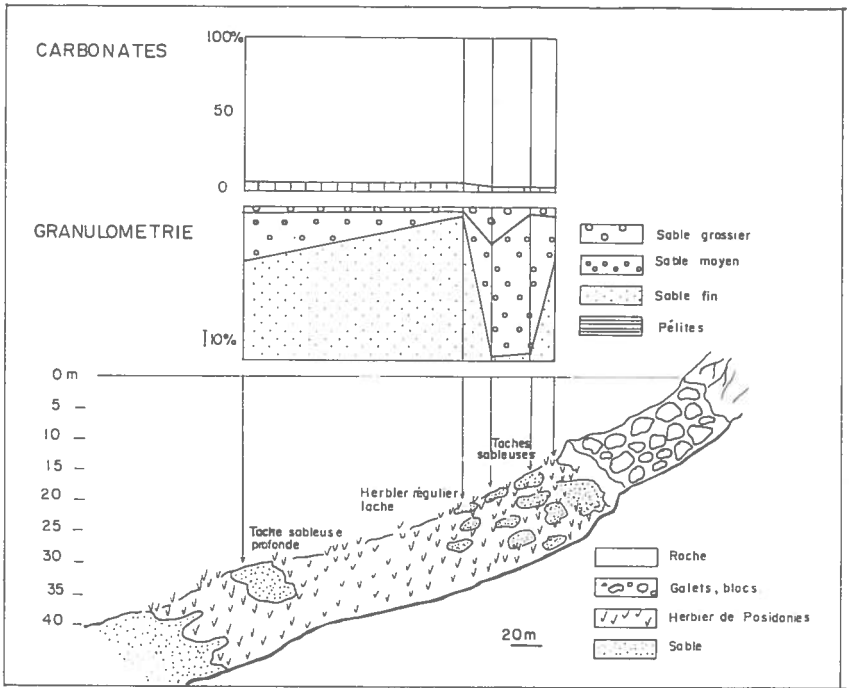


Fig. 7. — Radiale 8: Pointe de Julien.

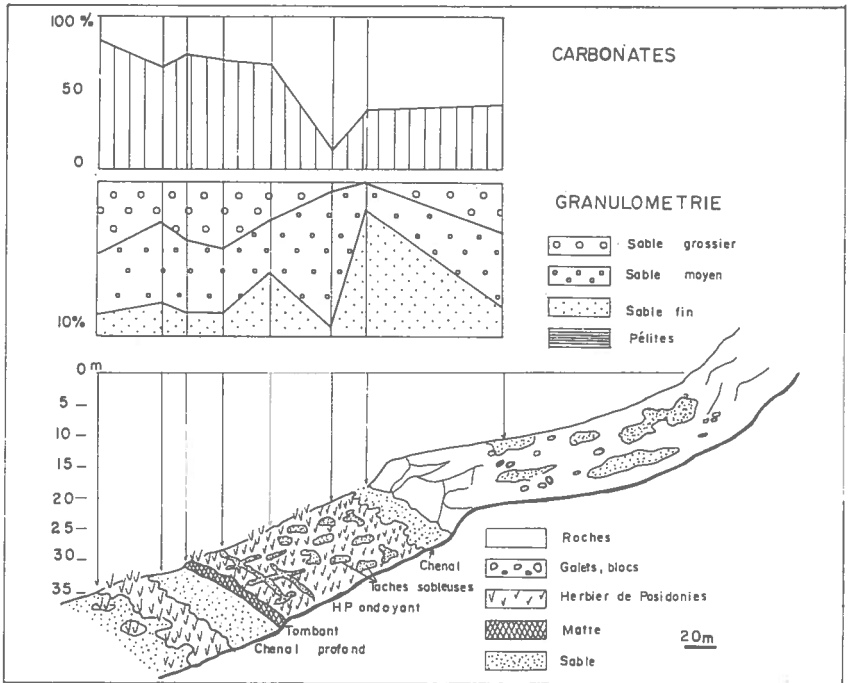


Fig. 8. — Radiale 10; Pointe du Cognet.

4 — Radiale 10 : Pointe Cognet (fig. 8) :

Cette radiale est très intéressante, car elle regroupe des structures sédimentaires diverses.

Les fonds Détritiques Côtiers proprement dits se rencontrent vers —35 m. La limite avec l'herbier est diffuse. Quelques taches de Posidonies sont isolées. Entre 35 et 32 m, est installée une bande d'herbier clairsemé et ensablé. De 32 à 30 m, un chenal de sable s'allonge parallèlement aux isobathes. Sa largeur est d'environ 7 m. Son origine paraît à priori liée à des courants venant de l'Ouest, en raison de son caractère peu marqué vers l'Est (cf. Radiale 8).

Ces courants peuvent être :

— le fait des houles de Sud-Ouest seules,

— l'association de cet élément et de la sortie d'eaux de la passe de Bagaud par régime de Mistral (Nord-Ouest) générateur de ces houles.

Ce dernier cas s'intégrerait dans le schéma proposé par J. Blanc (1978) pour les régimes hydrodynamiques des passes en Méditerranée :

« Les houles du large se concentrent au niveau des passes, là où la profondeur diminue. Il en résulte une accumulation de l'énergie en un volume de plus en plus restreint. La vitesse des courants de dérive et des « vagues forcées » s'accélère au niveau de la passe, tandis que diminue la pression hydrostatique par *effet Venturi*.

Au débouché « aval » de la passe, les ondes diffractées et les vagues forcées s'étalent en augmentant de volume (vagues de décharge), tandis que se sédimentent les sables, les graviers arrachés aux herbiers de la zone sommitale du détroit. Cette conséquence du « paradoxe de Venturi » amène ainsi l'érosion des mattes en chenaux longitudinaux et la redéposition des sables et graviers par excès de charge, là où la section concernée par le transfert fluide augmente à nouveau ».

Ces vagues de décharge seraient alors reprises latéralement par les houles de sud-ouest, ce qui augmenterait encore l'énergie hydrodynamique dans cette zone.

Cette action se marque :

— au contact chenal profond / herbier par un décrochement (tombant de matre) de 0,50 m à 0,80 m,

— dans l'herbier, entre 30 et 25 m, par des marques perpendiculaires au rivage (herbier ondoyant),

— au contact de la roche littorale (vers —17 m) par une frange de sable très fin. Il s'agirait là d'un axe de transfert parallèle aux précédents, véritable transfert littoral puisqu'au dessus on ne rencontre que la roche nue.

Par ailleurs, entre —30 et —25 m de fond, un second système d'herbier ondoyant parallèle au littoral vient se superposer à celui décrit ci-

dessus. Ce dernier semble pouvoir être rattaché à la seule action des houles de sud-ouest.

Enfin, de —25 m à —18 m, des taches de sable de plus en plus importantes apparaissent.

5 — Radiale 11 : entre Port-Cros et l'île du Levant (fig. 9) :

Entre Port-Cros et l'écueil de la Dame, le fond rocheux est constitué de lames verticales de micaschistes ; entre les pans de roches quelques pieds de Posidonies se maintiennent dans un sable coquillier grossier remplissant les anfractuosités.

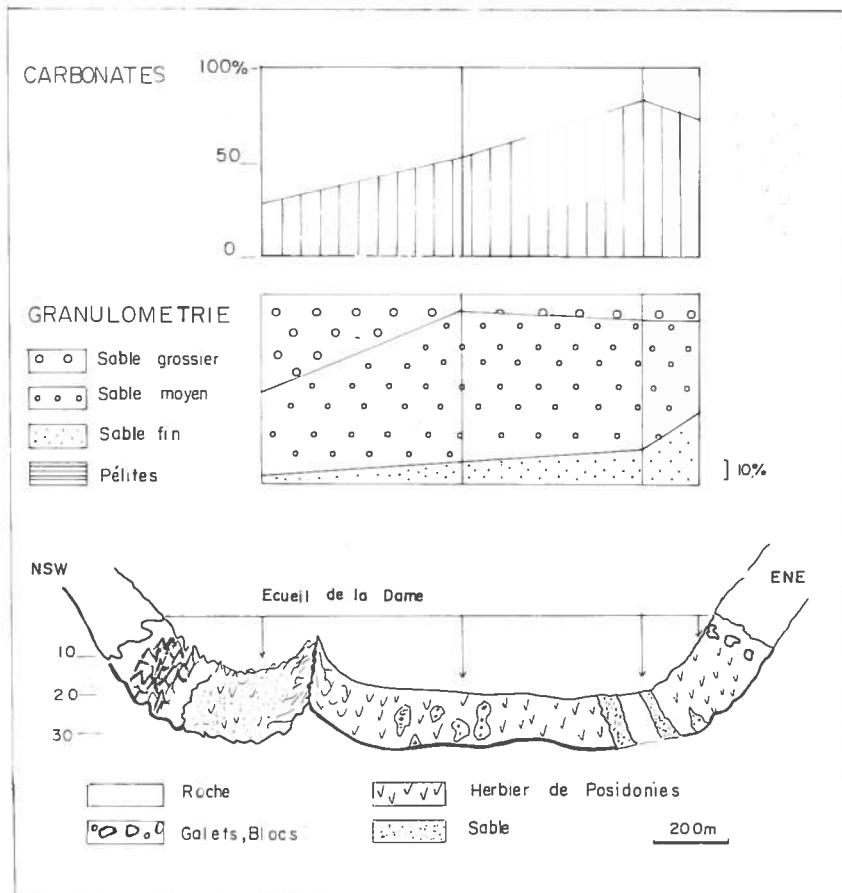


Fig. 9. — Traversière Port-Cros - Le Levant.

A l'est de l'écueil de la Dame, la roche est progressivement recouverte par un herbier clairsemé avec quelques taches sableuses dont le sédiment est plus grossier. La présence de ces taches peut être rattachée à l'existence d'un réseau de chenaux et lobes sableux, visibles en

photographie aérienne, témoignant d'un hydrodynamisme important lié au régime des vents de nord-ouest (cf. radiale 10 : régime des passes).

En se rapprochant de l'île du Levant, de petits chenaux de 1,5 m de large en moyenne entaillent l'herbier de Posidonies dans le sens des courants dominants.

Latéralement, un herbier sur roche est relayé par l'éboulis littoral bordant l'île du Levant.

6 — Passe de Bagaud :

Dans la partie centrale de la passe, on observe la présence d'un herbier de Posidonies homogène et relativement vivace (Ech. 7 - 9 - 15 - 16). A partir des fonds de 25 à 30 m vers le nord de la passe, cet herbier a tendance à se raréfier. On note la présence de taches de sable plus ou moins étendues qui lui confèrent un aspect vallonné (Ech. 17 - 19), voire des zones dégradées où la matre est mise à nue et les rhizomes déchaussés (Ech. 10).

Progressivement, cet herbier fait place aux fonds Détritiques Côtiers sablo-graveleux (Ech. 14 - 18 - 20 - 21) à pralines de Mélébesiées (Ech. 18) ou à Personneliacées libres (Ech. 20).

Dans la partie sud de la passe, on note dans l'herbier, la présence d'un certain nombre de « couloirs » sableux allongés, orientés NE-SO par des fonds de 10 à 20 m. Ils correspondent à des chenaux de passe. Ils peuvent devenir coalescents. Plus vers le Sud, à 23 - 25 m, l'herbier devient plus clairsemé et passe aux fonds Détritiques Côtiers.

c — Structures particulières.

1 — Récif barrière de l'anse de Port-Cros :

Nous ne reviendrons pas sur cette structure très particulière qui a déjà fait l'objet de nombreuses études et publications (Molinier et Picard, 1951 et 1952 ; Blanc, 1953, 1958 et 1978 ; Augier et Boudouresque, 1970 et 1975 ; Boudouresque et al., 1975).

2 — L'herbier en escalier : Radiale 4 — Le Tuf (fig. 10) :

Ce type d'herbier est en relation étroite avec la morphologie du fond. Dans le cas du Tuf, les fonds Détritiques Côtiers se rencontrent à partir de —30 m. Vers le littoral, le substrat est essentiellement rocheux. L'herbier occupe des terrasses, des vasques et des anfractuosités c'e rochers.

Entre —15 et —10 m, la roche forme une dernière terrasse dans la surface est occupée par un éboulis d'éléments grossiers terrigènes. Quelques rares Posidonies se maintiennent à ce niveau.

D'autres types de structures peuvent permettre l'installation d'autres types d'herbier dont la nomenclature reste à préciser.

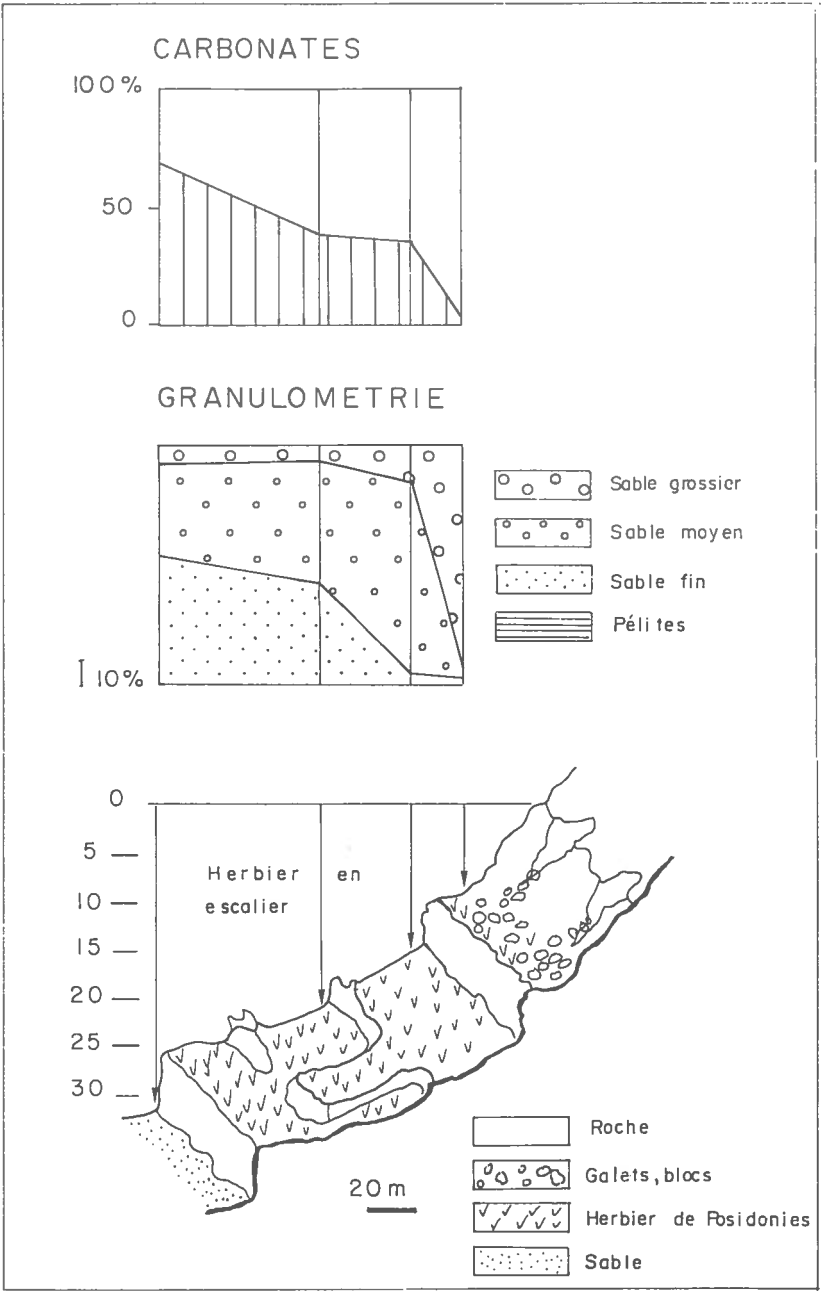


Fig. 10. — Radiale 4 : Calanque du Tuf.

3 — « Dune » sous-marine de Montrémian :

Pour cette structure, le rôle de l'herbier de Posidonies apparaît comme secondaire. Sa mise en place et son maintien sont essentiellement liés à l'hydrodynamisme local.

Située au nord de l'île de Bagaud (fig. 1 DM), elle s'appuie sur la roche entre —10 m et —40 m de fond. Son origine semble en relation avec les houles et les courants engendrés par régime d'est.

Les mécanismes précis de mise en place et d'évolution suivant les régimes seront étudiés ultérieurement, en comparaison avec d'autres structures analogues, repérées sur les côtes provençales.

4 — Marmites d'érosion dans la roche — le Tuf :

Ces structures sont liées à des courants tourbillonnaires. L'action d'éléments abrasifs (galets, graviers) dans des cavités naturelles permet leur création et leur développement. Elles sont présentes en grand nombre dans les grès quaternaires du Tuf et de Bagaud (observations 1979, A. Jeudy de Grissac).

Dans les roches métamorphiques, elles sont plus rares en raison de la cohésion et des formes de délitage, mais non absentes.

CONCLUSION

Au terme de cette étude autour de l'île de Port-Cros, il apparaît que l'étendue, la position et l'aspect de l'herbier de Posidonies sont liés à un certain nombre de facteurs :

- 1 — Type de côte (C),
- 2 — Pente moyenne de 0 à 30 m (P),
- 3 — Degré d'exposition du littoral (E),
- 4 — Profondeur de l'influence terrigène maximale (I T),
- 5 — Profondeur de l'influence biologique maximale (I B),
- 6 — Intensité des influences hydrodynamiques (I D),
- 7 — Modalités d'actions de la dynamique (M D),
- 8 — Facteurs physico-chimiques.

A — *La morphologie littorale*, côte sableuse, côte rocheuse basse, côte accore, joue un rôle sur la partie supérieure de l'herbier.

— une côte sableuse basse détermine une zone de « swash » et, de ce fait, influe sur l'herbier par l'apport de sédiments fins et moyens. La possibilité de fréquentation par l'homme constitue une agression secondaire du milieu.

— une côte rocheuse marque son influence sur l'herbier par des éboulis de blocs, graviers et galets. Les prolongements sous-marins de

cette côte peuvent permettre le maintien d'une frange de sable fin à moyen ou déterminer la mise en place d'un herbier parcellé.

B — *La pente moyenne des fonds* n'apparaît pas comme un facteur primordial de la présence ou de l'absence de l'herbier. Ce facteur intervient en relation avec d'autres : exposition, intensité de la dynamique (énergie des courants de décharge) et nature des affleurements sous-marins (marches et gradins de grès quaternaires sur les formations métamorphiques, falaises fossiles quaternaires immergées).

C — *L'exposition aux houles* est très importante. Elle détermine globalement :

- l'intensité locale des actions hydrodynamiques,
- la mobilité des sédiments et leur répartition, et par suite :
- le type d'herbier de Posidonies présent,
- les structures qui l'accompagnent,
- la profondeur d'extension maximale,
- la morphologie de la limite profonde.

C1 — L'herbier situé au Nord de Port-Cros est abrité des principaux régimes de houles. Les caractères principaux qui en résultent sont :

- Densité forte,
- Absence de taches de sables et autres structures,
- Localement, rétention importante de matériel sédimentaire pélique,
- Abondance de carbonate de calcium : forte production biologique.

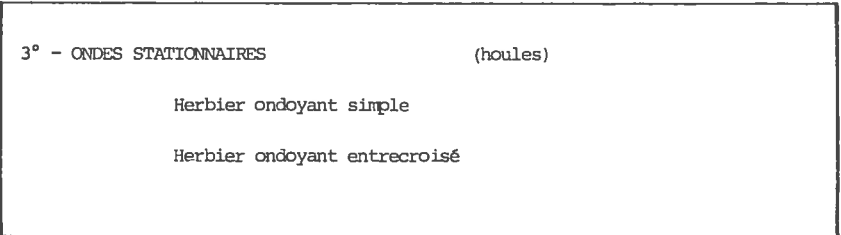
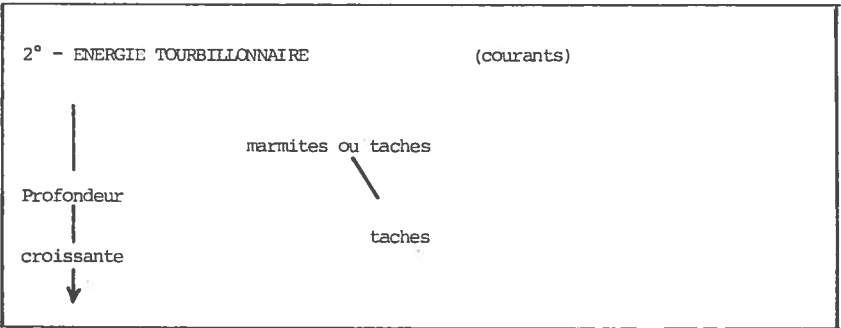
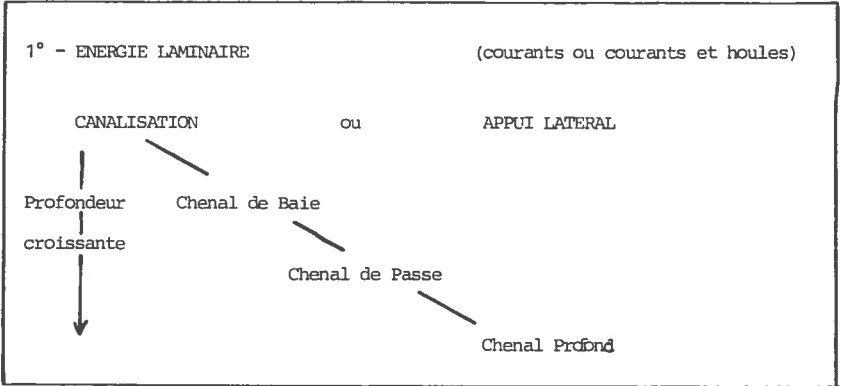
C2 — Dans les passes, les courants agissent sur l'herbier qui se présente suivant deux types :

- Un herbier fourni uniforme,
- un herbier plus clairsemé avec des chenaux de passes.

C3 — Dans les baies de diverses tailles, Port-Cros, la Palu, Port Man, le Sud, ... les chenaux de baie sont la marque de courants compensateurs. Certains sites sont plus sensibles aux dégradations en raison de pollutions physico-chimiques ou plus simplement mécaniques : ancres, mouillages...

C4 — L'herbier plus exposé aux houles et aux courants (zone Sud de Port-Cros) présente les caractères suivants :

- Quand il est uniforme, il est plus clairsemé. La matse est rarement visible, car elle est absente ou recouverte de sable.
- Il est marqué par un certain nombre de structures :



a/ Des taches de sables importantes sont présentes dans sa partie haute. Elles peuvent correspondre à des « marmites » d'érosion sous-marine.

b/ A partir de 10 m de profondeur environ, on peut rencontrer un herbier marqué par l'action d'un régime de houles, herbier ondoyant simple ou de deux régimes : herbier ondoyant entrecroisé.

c/ Dans sa partie basse (30 m et plus) et cela dans le Sud-Ouest de Port-Cros, on rencontre une structure particulière nommée « chenal profond », liée à la fois aux houles et aux courants (houles et courants issus de la passe entre Port-Cros et Bagaud).

C'est finalement l'intensité de la dynamique et ses modalités d'actions, qu'elles se fassent par l'intermédiaire des houles et des courants, qui apparaissent comme les facteurs réglants, dans des conditions naturelles, du type d'herbier et des structures sédimentaires qui l'occupent. Les autres facteurs facilitent ou empêchent la mise en place de structures décrites.

Il est possible de résumer dans un tableau simple les formes d'énergie et leurs effets sur le fond.

Dans un cadre naturel, de tels phénomènes peuvent présenter un aspect cyclique, se mettant en place et disparaissant en fonction de l'intensité de la dynamique.

Dans un site agressé par des pollutions physiques, chimiques ou mécaniques (ouvrages, ancrages), l'installation de ces structures apparaît souvent comme irréversible de façon naturelle. Elles constituent des points de faiblesse dans l'herbier de Posidonies lié à la fréquentation et l'utilisation intensive du milieu marin par l'homme.

BIBLIOGRAPHIE

- ASTIER J.-M., 1972. — Régression de l'herbier de Posidonies en rade des Vignettes à Toulon. *Ann. Soc. Sci. nat. Archéol. Toulon*, 24 : 97-103.
- ASTIER J.-M., 1975. — Cartographie des fonds marins de la région de Toulon par le Groupe ECOMAR. *Ann. Soc. Sci. nat. Archéol. Toulon* : 1-15.
- ASTIER J.-M. et P. TAILLIEZ, 1976. — Impact des effluents du grand collecteur du Cap Sicié (égouts de Toulon, La Seyne, Six-Fours) sur la vie des fonds marins. *Document publié par la commission extra-municipale d'écologie marine « Ecomair-Toulon »* : 27 pp.
- AUGIER H. et C.-F. BOUDOURESQUE, 1970. — Végétation marine de l'île de Port-Cros (Parc National). VI : Le récif barrière de Posidonies. *Bu.l. Mus. Hist. nat. Marseille*, 30 : 221-228.
- AUGIER H., BOUDOURESQUE C.-F., 1975. — Dix ans de recherches dans la zone marine du Parc National de Port-Cros (France). Troisième partie. *Ann. Soc. Sc. Nat. Arch. Toulon et Var*, 26 : 133-170.
- BLANC J., 1953. — L'herbier et le filtrage des sédiments à Port-Cros. *Rev. géomorphol. dynam.*, 4 (2) : 75-82.
- BLANC J., 1958. — Recherches de sédimentologie littorale et sous-marine en Provence occidentale. *Thèse*. Masson. 140 p.

- BLANC J., 1974. — Phénomènes d'érosions sous-marines à la presqu'île de Giens (Var). *C. R. Acad. Sci.*, Paris, D, 277 : 561-564.
- BLANC J., JEUDY DE GRISSAC A., 1978. — Recherches de Géologie sédimentaire sur les herbiers à Posidonies du littoral de la Provence. *C.N.E.X.O.*, 185 p.
- BOUDOURESQUE C.-F. et al., 1975. — Végétation marine de l'île de Port-Cros (Parc National). X. La régression du récif-barrière de Posidonies. *Trav. Sc. Parc Nation. Port-Cros*, 1 : 41-46.
- CLAIREFOND P., 1978. — Etude sédimentologique des fonds de 0 à 50 mètres autour de l'île de Port-Cros (1). *Contrat 77.010.83400 PC* : 25 p.
- HARME LIN J.-G., 1976. — L'herbier de Posidonies de Port-Cros régresse-t-il ? Mise en place de jalons témoins à la limite. *Trav. Sci. Parc nation. Port-Cros*, 2 : 189-190.
- HARME LIN J.-G. et TRUE M.-A., 1964. — Délimitation cartographique de l'extension actuelle des herbiers de *Posidonia oceanica* Delile dans le Golfe de Marseille. *Rec. Trav. Stn. mar. Endoume*, 34 (50) : 157-160.
- HJULSTROM F., 1939. — In *Recent Marine Sediments*, Trask editor.
- JEUDY DE GRISSAC A., 1975. — Sédimentologie dynamique des rades d'Hyères et de Giens (Var). Problèmes d'aménagements : *Thèse Doct. Spéc. Univ. Aix-Marseille* : 86 p.
- JEUDY DE GRISSAC A., 1979. — Etude sédimentologique des fonds marins (0 — 50 m) autour de l'île de Port-Cros (2). *Contrat 78.006.83400 PC*.
- MAGGI P., 1972. — Les herbiers à Posidonies et la pollution urbaine dans le Golfe de Giens (Var). *Ann. Inst. Michel Pacha*, 5 : 1-11.
- MAGGI P., 1973. — Le problème de la disparition des herbiers de Posidonies dans le Golfe de Giens. *Sci. Pêche. Bull. Inst. Pêches marit.* 221 : 7-20.
- MEINESZ A. et LEVEVRE J.-R., 1976. — L'aménagement de la côte entre Menton et Théoule (Alpes-Maritimes et Monaco). Inventaire des destructions du rivage et impacts sur la vie sous-marine littorale. *S.O.S. Vie, nature, environnement*, 19 : 1-35.
- MEINESZ A. et LAURENT R. : Cartographie et état de la limite inférieure de l'herbier de *Posidonia oceanica* dans les Alpes-Maritimes (France). *Bot. Mar.*, 1978, Vol. XXI : pp. 513-526.
- MOLINIER R. et PICARD J., 1951. — Notre préliminaire sur la biologie des herbiers de zostères des côtes françaises de la Méditerranée. *C. R. Ac. Sc.*, 12 nov.
- MOLINIER R. et PICARD J., 1952. — Recherches sur les herbiers de phanérogames marines du littoral méditerranéen français. *Ann. Inst. Océanogr. Paris* 27 (3) : 157-234.
- ORSOLINI P., 1978. — Contribution à l'étude géomorphologique et sédimentologique des domaines côtiers de la presqu'île de Saint-Tropez (Var). Définition des équilibres naturels. *Thèse doct. Spéc. Univ. Aix-Marseille II*. 97 p.
- PERES J.-M. et PICARD J., 1975. — Cause de la raréfaction et de la disparition des herbiers de *Posidonia oceanica* sur les côtes françaises de la Méditerranée. *Aquatic Bot.* 1 (2) : 133-139.