

C.N.E.X.O

CONTRAT 74/920

ÉQUILIBRES SÉDIMENTAIRES ET  
AMÉNAGEMENT DU LITTORAL DE PROVENCE

---

DÉPARTEMENT ENVIRONNEMENT  
LITTORAL ET GESTION DU MILIEU  
MARIN

LES ZONES LITTORALES DE LA PROVENCE ORIENTALE

EQUILIBRES SEDIMENTAIRES

---

IFREMER Bibliothèque de BREST



0EL05513

F22

C.N.E.X.O  
Contrat 74/920

Equilibres sédimentaires et  
Aménagement du littoral de Provence.

---

## LES ZONES LITTORALES DE LA PROVENCE ORIENTALE EQUILIBRES SÉDIMENTAIRES

---

J. BLANC

Professeur de Géologie marine et Sédimentologie appliquée  
Centre Universitaire de Marseille-Luminy  
13288 Marseille Cédex 2

---

### 1) CADRE GEOGRAPHIQUE :

Ce travail correspond à l'étude de la majeure partie du littoral de la Provence "métamorphique" et éruptive (ou Provence orientale "cristalline", par opposition à la Provence occidentale sédimentaire). Cet examen a permis de subdiviser onze secteurs distincts sur près de 125 km de côtes assez variées, limitées :

- à l'Ouest, par la Pointe du Brégançon, au massif du cap Bénat,
- à l'Est, par la limite départementale entre le Var et les Alpes Maritimes (Pointe des Trayas), dans la partie orientale du massif de l'Estérel.

Grandes et petites plages, criques et falaises ont été examinées en dehors des périodes estivales et de fréquentation maximale, par tous les temps. Certaines zones sont assez difficile d'accès, telles le cap Bénat et, surtout le massif du cap Lardier, par voie "terrestre". D'autres secteurs, heureusement limités, demeurent rigoureusement interdits à nos explorations littorales : cap Léoube, certaines zones du cap Bénat, domaines du Dattier et de Volterra.

La prospection aérienne a été partout largement utilisée, avant et après les examens sur le terrain. Des relevés généraux au 1/50.000 ont été effectués et, localement complétés, par d'autres "minutes" au 1/25.000 et 1/50.000. Le temps imparti s'avérant très limité, nous estimons que ces analyses constituent un travail exploratoire ; mais, des recherches détaillées seraient utiles et demanderaient à être prolongées sur plusieurs années.

L'étude de ce littoral apparaît déjà suffisamment riche en faits géologiques, sédimentologiques et océanographiques. Or cette portion du rivage qui, naguère, a fait l'objet des débarquements alliés (14, 15 août 1944), demeure aujourd'hui une zone fragile, de plus en plus soumise aux pressions des aménagements divers et dont il importe de préserver les zones désertes qui constituent encore près du 1/10 de la ligne de côte.

A l'exception de la rade de Bormes, baies de St Tropez et de Fréjus, le précontinent se réduit de plus en plus vers l'Est et le N.E ; au bout de quelques milles nautiques, on atteint assez rapidement les profondeurs de 200 m où se marquent les entailles abruptes des canyons des Stéchades (ou Stoechades), de St Tropez, Fréjus et Agay, - pour le secteur considéré.

Les zones (au nombre de onze) qui sont distinguées, constituent des entités assez indépendantes, caractérisant ce littoral varié, des points de vue physiographiques et géographiques, dynamiques et géologiques.

## 2) CADRE GEOLOGIQUE :

Trois secteurs essentiels, à peu près d'égale importance peuvent être individualisés de l'Ouest vers l'Est :

1°) Littoral des Maures occidentales : de Brégançon au grand accident de Grimaud - Croix Valmer, comprenant :

- le massif du cap Bénat : phyllades de Loli, micaschistes des Berles et gneiss de Bormes.

- cette série du métamorphisme général se poursuit à la Corniche (schistes à minéraux du cap Nègre, micaschistes de Cavalaire, amphibolites et serpentinites de Cavalaire et Cigaro).

2°) L'accident et la mylonite orientés NNS-SSW (faille de Grimaud), nous introduisent dans le domaine métamorphique complexe des Maures orientales (micaschistes, amphibolites, anatexites et embréchites probables, granite et granulite, etc...).

- micaschistes et granites au cap Lardier, cap Taillat,

- gneiss et granulite de la presqu'île de St Tropez,

- embréchites de la corniche des Maures orientales (les Issambres, St Aygulf, etc...).

3°) Le massif volcanique de l'Estérel en constitue le troisième ensemble, bordé à l'Ouest par les complexes volcano-sédimentaires de St Raphaël, des Lions, du Dramont et Boulouris : grès et pélites permien, rhyolites à pyromérides, etc... A partir d'Agay s'observe un littoral exceptionnel : ce sont les falaises abruptes de rhyolites amarantes (plusieurs coulées), voire d'ignimbrites, du cap Roux, pointe de l'Observatoire, pointes du Trayas et criques de Théoule.

Ces trois régions, géologiquement très distinctes sont séparées par des plaines alluviales : (fonds de golfes) :

- plaine alluviale de Bormes et du Lavandou,
- plaine alluviale de la Foux au fond du golfe de St Tropez,
- plaine de Fréjus.

D'autres étendues sablo-limoneuses ont une importance plus locale et demeurent indépendantes du réseau hydrographique général : citons les alluvions de Léoube, Cavalaire, Pampelonne et la Bastide Blanche, les Canebiers, Ste Maxime et Agay.

### 3) MILIEUX PHYSIQUES ET ZONES EXPOSEES :

Deux régions peuvent être bien distinguées au point de vue hydrodynamique :

1° - Maures occidentales, du cap Bénat au cap Lardier : un tel secteur réalise en fait la transition entre le golfe du Lion, limité à la presqu'île de Giens, et le golfe de Gênes.

. Les vents d'Ouest y demeurent encore prédominants en force et direction (28 % en journées annuelles) augmentés d'une "composante" de 10 %j/a d'azimut NW. La rade de Bormes constitue un abri exceptionnel, voire la rade de Cavalaire (zone W). Une forte dérive, orientée de l'Ouest vers l'Est accompagne ces régimes.

. Les vents des secteurs Est et N.E occupent près de 38 % j./a mais demeurent relativement atténués, sauf aux caps Bénat et Lardier.

. Le courant géostrophique permanent, assez lent (0,5 noeud), sauf par vent d'Est, porte de l'E à l'Ouest et ne se manifeste qu'au large du littoral.

. Des contre-courants, orientés de l'Ouest vers l'Est, en sens inverse du courant géostrophique permanent, se manifestent en rades de Bormes et Cavalaire, le long du littoral de la Corniche des maures occidentales. Ils sont renforcés par régimes Ouest et N.W et leur vitesse de surface peut dépasser 1 noeud.

. La marée, très réduite, ne paraît point avoir d'influence efficace, sauf à Port-Cros, mais des seiches se manifestent en rades de Bormes et Cavalaire.

. Les secteurs littoraux les plus exposés sont le cap Bénat, le cap Blanc, le cap Cavalaire et le cap Lardier.

2° - Maures orientales et Estérel, du cap Lardier à la rade de La Napoule, s'incorporant nettement au régime du golfe de Gênes, ce qui se traduit par :

. dominance très nette des régimes du secteur Est :

- N.E : 17 % j./a (avec maxima de 25 à 40 noeuds)

- Est : 15 % j./a (avec maxima de 30 à 50 noeuds)

- S.E. : 5 % j./a (avec maxima de 20 noeuds).

Les dérives rapides (40 à 50 m/mm en surface) renforcent le courant géostrophique permanent (appelé "courant général" ou "courant ligure"). Les vitesses peuvent alors atteindre 1,5 noeud par beau temps à plusieurs noeuds par gros temps.

. dominance (relative) du régime SW (18 % j./a), avec des "pointes" à 25 noeuds, relayé ou accompagné de composantes W à NW (jusqu'à 27 % j./a). Mais les zones abritées sont excellentes : baie du Bon Porté, Pampelonne, golfe de St Tropez, baie du Bougnon, golfe de Fréjus, rade d'Agay, - d'où leur encombrement estival, à la limite du supportable.

. on retrouve le contre-courant des baies, portant de l'Ouest-SW vers l'E.NE, renforcé par les régimes d'Ouest.

. sauf la rade d'Anthéor et les abris artificiels, il n'y a guère de sites naturels protégés et étendus, en eau profonde, contre les tempêtes des secteurs Est.

. action spectaculaire des seiches et résorances en fonds de baies, exclusivement liées aux rivages orientés N.S : baies du Bon Porté et de Pampelonne, baie de Bougnon et de St Aygulf. Les conséquences sédimentologiques de ces phénomènes sont majeures pour le littoral qui nous occupe.

. secteurs très menacés par gros temps : parages malsains des caps Lardier, Taillat, Camarat, St Tropez, Pointes des Sardinaux et des Issambres, cap Dramont, cap Roux, etc...

#### 4) LE MASSIF DU CAP BENAT :

##### 1°) Nature géologique des versants :

Les quartzites et phyllades de la série de Loli s'observent à Brégançon et plus à l'Est, à la pointe de la Tripe où se situe un conglomérat

à éléments intraformationnels. Au-dessus, et plus à l'Est encore, on note la série sub-verticale des phyllades du cap Bénat, à minéraux du métamorphisme, injections d'amphibolites et filons quartzeux, puis, la séquence se poursuit par des micaschistes à minéraux. Cet ensemble, très schisteux, présente une certaine instabilité, mais, dès les pointes de Gau et de Gouron débute la zone des gneiss de Bormes, à bonne tenue.

L'examen des criques sauvages du massif du cap Bénat, généralement d'accès difficile montre :

1) le prisme littoral forme des "éventails détritiques" étalés par les courants de décharge, notamment entre le cap Blanc et la pointe de la Tripe. Ces criques et "plages de poche" sont très exposées, parsemées de blocs de grandes dimensions. Des filons quartzeux orientés E.W protègent certaines portions littorales.

2) cette exposition a déterminé la formation de deux plates-formes d'abrasion, à +3 m, pour la plus ancienne, découverte par H. Chamley (1) et à +0,5 m, pour la surface récente, sub-actuelle.

3) Postérieurement au cycle tyrrhénien, une importante phase d'éboulements et de glissements a mobilisé les versants instables, au front de mer du massif du cap Bénat. Il s'agit d'éboulis à matrice limoneuse et argileuse colorée par les sels de fer, des blocailles d'origine cryoclastique, voire de "coulées" solifluées. Le phénomène majeur est un balancement local du versant avec le basculement des "têtes de couches" (strates sub-verticales ou à 45°, orientées au 190°S). La même disposition a été observée au Sud de l'île de Port-Cros.

4) Actuellement on note des versants instables, indépendamment de l'érosion marine très réduite, malgré les apparences. Ce sont :

- éboulements et solifluxion (action de la pluie notamment).
- balancement des versants favorisés à partir de pentes de 25° à 36°.

#### 2°) Fonds sous-marins :

A partir des criques et "plages de poche" où se situent des cordons de galets et "beach cusps", s'étale un prisme littoral où les sables grossiers passent, vers le large, à des sédiments fins. Les dispositions sont compliquées, dans le détail, par de nombreuses roches sous-marines orientées E.W et un "semis" de gros blocs isolés.

---

(1) Probablement "néo-tyrrhénienne" ; elle est recouverte d'éboulis et colluvions würmiens.

L'herbier (à Posidonies) demeure continu mais dégradé, face au littoral, au contact des épandages détritiques. Mais cet herbier s'avère dense et se régénère dans les criques assez profondes entre les caps Blanc et Bénat.

### 3°) Criques et plages entre les pointes de l'Esquillette et de Gau :

Un transfert orienté du Nord vers le Sud, observé dès 1958 et récemment confirmé, engraisse une plage artificielle contre une jetée, amenant cependant un cloisonnement transverse dans le trajet du transfert et l'orientation d'un tourbillon. L'herbier est dégradé vers le large.

## 5 LA RADE DE BORMES :

### 1°) Nature des fonds :

Cette zone a été l'objet d'importantes modifications liées à la construction du Port de Bormes et à une intense urbanisation du littoral depuis une vingtaine d'années.

Les sables fins ( $\emptyset$  : 0,18 à 0,20 mm) des plages s'étendent vers le large en lobes asymétriques empiétant sur l'herbier, en voie d'envasement. Un haut-fond gneissique, nommé "Sèche de Gouron" (fig.2), de -11 à -15 m forme un obstacle réfractant les houles frontales de régime Est avant que ces dernières n'atteignent le rivage et, surtout, la jetée du nouveau port, légèrement courbe et tangente à l'isobathe -8 m. Mais :

a) les jetées du port de Bormes et l'épi de la plage Sud du Lavandou amènent l'interruption du transfert et de la dérive orientée du Nord vers le Sud. Cela se traduit par un envasement et des circuits tourbillonnaires complémentaires.

b) si la jetée frontale du port de Bormes s'avère bien établie, à la "zone d'ombre" de la Sèche de Gouron, le port, directement ouvert au Nord, face au transfert, demeure voué à un colmatage et une pollution rapides. Le chenal est déjà obturé partiellement par des dépôts sableux.

### 2°) Le Port de Bormes (fig.2) :

Ouvert face à un transfert, il réalise un piège à sédiment mais demeure abrité des vagues et houles liés au Mistral, vents d'Est, etc...

- le musoir nord (A), très large (10 à 12 m) est édifié de gros blocs calcaires et gneissiques bien coincés. La protection paraît suffisante (fruit : 3,5/1).

- la jetée elle-même (B), haute de 3,5 à 4 m apparaît bien construite, large de 10 à 7 m, fruit : 2,5/1, avec un mur interne et drains. Elle est "tangente" à l'isobathe -8 m et réalise une bonne protection.

- le musoir Sud (C) : même type, relativement exposé à la houle de Mistral W.SW, ici atténuée par l'obstacle constitué par le massif du cap Bénat.

- en C', on note trois alvéoles au Sud. Le premier, à partir de la terre se trouve presque entièrement colmaté. La pollution d'un émissaire empoisonne la zone méridionale (fig.2), augmentée par l'apport d'un ruisseau et aggravée par un circuit tourbillonnaire.

- l'intérieur du plan d'eau portuaire (D) montre des eaux peu renouvelées. Cependant, la bonne disposition adoptée pour les wharfs internes et les "pannes" d'accostage, sur pilotis, évite la formation et le développement de seiches et autres types d'oscillations parasites.

### 3°) Conséquences de la construction du port de Bormes :

a) colmatage au Nord et pollution liés au transfert orienté du Nord au Sud et interrompu.

b) colmatage au Sud, pollution diverses, apports de ruisseaux, remblais et décharges. Il en résulte la formation de dunes sableuses sous-marines et de cordons festonnés (fig.2), modifiés dans leur tracé. Ces figures sont liées à des interférences de la seiche développée au fond de la baie de Bormes, orientée ici N-S, entre la pointe Gouron, le haut-font de Gouron et la pointe de Gau. L'épi à ergots récemment édifié à la plage de Gau accentue ces effets de résonance et développe deux tourbillons secondaires.

Le déplacement de ces corps sableux sous-marins aboutit à un colmatage accéléré protégeant le littoral mais amenant une concentration des macro-pollutions (débris divers flottés), vers le Sud. Des nettoyages fréquents doivent alors être entrepris.

Des communications ménagées au travers de la jetée d'accès au port et à la "marina", eussent été nécessaires afin d'assurer un renouvellement partiel des eaux, en utilisant le trajet naturel du Nord au Sud.

### 4°) Les plages du Lavandou (fig.3) :

Ce sont des plages orientées N-S, longues de 1.600 m, très accessibles et à fort coefficient d'occupation. Depuis 1950, j'ai eu la possibilité d'en suivre l'évolution.

Les faits suivants caractérisent les plages du Lavandou :

a) Erosion de la plage Nord,

b) Développement d'un transfert littoral orienté du Nord vers le Sud, lié aux vagues et régimes d'Est (observations 1958 et alt.).

c) Colmatage régulier de la plage Sud (fig.3) : sable grossier ( $\phi = 0,5$  mm, pente moyenne de la plage :  $8^\circ$ ).

Le secteur montre un excellent abri pour les vents du secteur Ouest mais il demeure exposé à la chute d'étranges trombes d'eau (18 avril 1974) amenant des inondations locales accompagnées de l'érosion de la plage. Le fait s'est reproduit six fois en une décennie ; son origine est peut-être liée à de brusques dépressions très localisées en bordure du massif des Maures.

Description :

La plage, assez propre, montre 4 épis dans sa partie septentrionale (Lavandou) ; (espacement 2,5 l pour 1 = longueur de l'épi). Seul l'épi Sud (n°4) est correctement construit (rendement assez faible : 15 %) : sables moyennement fins, angle de plage : 9°.

Les autres épis, en blocs trop petits, sont en voie de démantèlement et leur rendement est mauvais, sauf pour l'épi Nord (n°1), en situation plus abritée (rendement 25 %).

En fait, l'érosion, observée depuis vingt cinq années, s'avère assez incomplètement entravée ; lors de relèvements du plan d'eau (+ 0,50 m), elle demeure assez spectaculaire mais atténuée par les réflexions sur les épis. La cause essentielle est que la plage Nord n'est point protégée des houles frontales d'Est par la sèche de Gouron, comme cela est le cas pour le nouveau port de Bormes. L'implantation de défenses frontales serait à conseiller, sous réserve d'une étude locale détaillée.

Les plages du Lavandou sont caractérisées, à une faible distance du littoral, par la présence de croissants sableux festonnés (fig.3). Ces corps sédimentaires sous-marins, le -1 à -5 m déterminent une protection naturelle efficace, mais insuffisante pour les plages Nord.

Entre les points A et B (fig.3), on note un changement dans la courbure du tracé de plage (point neutre). Alors commence, plus au Sud, une zone d'engraissement formée de sable grossier mal trié jusqu'à -5 m, infléchie du Nord au Sud par le transfert et liée à l'alluvionnement local du ruisseau nommé Bataillier. Au Sud du point B commence le secteur des plages en voie de colmatage et la protection indirecte de la Sèche de Gouron commence à se manifester. Les pollutions constituent en fait le seul problème de la plage Sud. Par gros temps, les troubles sont déportés vers le large c'est-à-dire vers l'herbier, très dégradé en la baie de Bormes, et les formations du détritique côtier. Par Mistral modéré, le transfert s'inverse, du Sud vers le Nord mais demeure insuffisant pour la compensation des érosions liées au régime normal.

Conseils :

1° - Préserver la double ride littorale et les cordons sableux

festonnés qui protègent les plages. Interdire les dragages et emprunts de matériaux pour les petits fonds en rade de Bormes.

2° - Etudier l'éventualité d'une protection frontale pour les plages nord, entre le Lavandou et le point A.

3° - Examen de l'évolution de la zone AB au cours du temps.

## 6) LA CORNICHE DES MAURES OCCIDENTALES :

1°) Plage de Saint Clair (fig.4) :

- Bon abri par régime d'Ouest (longueur : 450 m).

- Très exposée aux régimes d'Est.

- Action de l'oscillation d'une onde stationnaire amenant aux nodales la formation de croissants festonnés, comme aux plages du Lavandou (seiches et interférences accentuées par la pointe de Nard-Viou et ses prolongements rocheux sous-marins amenant un cloisonnement au SW).

La plage, formée par un sable moyen bien calibré montre une assez forte pente tandis que l'extension sous-marine d'un lobe sableux s'étend vers le large aux dépens de l'herbier. L'absence fréquente de ride littorale accentue l'érosion locale heureusement régulée par le "volant" représenté par les cordons festonnés sous-marins.

L'érosion, en fait, demeure forte aux deux extrémités orientale et occidentale de la plage, là où se manifeste le départ de courants sagittaux, au voisinage des pointes rocheuses qui "canalisent" le mouvement. De très fortes pentes sous-marines y sont observées : 24° en certains cas (fig.4). Les stratifications laminées plongent vers la mer.

Un examen complémentaire très détaillé serait nécessaire au voisinage des écueils du Nord-Viou.

La plage de Saint-Clair peut réaliser un modèle pour les diverses plages et criques des Maures.

Ici, les observations ont débuté en 1958 et les caractères généraux suivants peuvent être dégagés :

1) chaque crique, plage ou "plage de poche" fonctionne en "circuit fermé". Les sédiments ne transitent point d'une unité à l'autre.

2) Les mouvements du sable concernent des portions limitées du littoral : Saint-Clair, plage Jean Blanc, plage d'Aiguebelle, de la Fossette, plage de Cavalière, criques de Pramousquier, du Canadel et du Rayol.

3) La dérive générale des eaux (et non des sédiments), est orientée de l'Est vers l'Ouest, parallèlement au tracé du rivage.

2°) Plage d'Aiguebelle (longueur : 380 m) :

Plage de sable assez fin ( $\emptyset$  : 0,35 mm), isométrique et très lessivé, assez peu de minéraux lourds : grenats et staurotide. Nombreux grains de quartz liés aux influences gneissiques. Les fortes pentes ( $12^\circ$ ) et l'absence de ride littorale, déterminent des érosions locales, micro-falaises, notamment pour les tempêtes venant du Sud et de l'E-SE. Par beau temps, en quelques semaines, la plage retrouve son équilibre.

Les gros cordons littoraux à pente forte sont établis durant la deuxième phase des grandes tempêtes, ce que j'ai pu observer en novembre 1951. Les érosions maximales sont disposées à "l'abri" des pointes et affleurements rocheux sous-marins drainant au large et cloisonnant les courants de décharge. Les apports torrentiels locaux sont relativement faibles et n'assurent point de compensation.

Conseil : plage à protéger par des ouvrages discrets et bien étudiés.

### 3°) Plage de Cavalière (fig.5) :

Cette très belle plage est observée depuis les violentes tempêtes de vent d'Est de 1952. Orientée E-W, longue de 1.400 m, très accessible, elle présente un fort coefficient d'occupation (plus de 3.000 personnes). En importance, elle correspond à la deuxième plage des Maures Ouest.

Les caractères, parfois assez singuliers, sont les suivants :

1) Présence de placers littoraux de minéraux denses : colorant le sable : grenats et minéraux opaque (hématite) : TA, disthène (A à TA), staurotide (A à TA), sillimanite, hornblende, augite. Ces placers sont alimentés par l'érosion, à l'Est, de la série des micaschistes à minéraux du cap Nègre, injectés par des filons d'amphibolite, dacites et aplites.

Cette zone est parmi les plus intéressante pour les études minéralogiques car la fraction dense y constitue, en poids, 3 à 6 % du total du sédiment.

Les "concentrés" minéralogiques (grenats) s'observent aux niveaux de tempêtes (+0,70 m) où se manifestent d'intenses lessivages ; les disthènes correspondent à un niveau d'énergie moins élevé (+0,40 m) et où l'on trouve jusqu'à 80 % de minéraux denses par rapport au poids total du sédiment (1).

2) Pentes relativement élevées ( $11^\circ$ ), diamètre du sable = 0,6 à 0,8 mm, sable moyen lessivé plutôt grossier. On note une légère érosion, surtout dans la zone occidentale moins abritée par l'écran du cap Nègre. Mais l'herbier à Posidonies exerce une action protectrice par le freinage qu'il exerce

---

(1) Mentionnons les recherches de F. Picard, S. Duplaix, J. Blanc.

vis à vis des vagues incidentes. Il importe de conserver cet herbier sous peine de risques d'érosion importants (protection des maisons de la partie occidentale de la plage) ; cela permettrait d'éviter l'établissement d'ouvrages de protection onéreux.

3) Zonation de la plage : on observe, à partir de la grève :

- zone du "swash" : transfert littoral en "dents de scie" : vitesse 1m/mn, de 0 à -0,40 m.

- sillon pré-littoral : -0,40 m à -0,50 m : traction oblique sur le fond.

- ébauche de ride littorale de -0,40 à -0,50 : zone d'arrachement déferlements et tourbillons.

- de -0,40 à -0,80 m : zone à ripple-marks imbriquées, début de la zone "off shore"; chenaux obliques où se manifestent les saltations et balancements du sable.

- de -0,80 à -1,5 m (distance du rivage : 12 m) : zone des ripple-marks régulières : saltation ; déplacement vers le large discontinu.

L'herbier protecteur se trouve ici très proche du littoral, en situation fragile et exposée. Vers l'Est, il se rapproche encore jusqu'à devenir coalescent au rivage.

4) Transfert localisé, à dominante orientée de l'Est vers l'Ouest, conforme à l'asymétrie de la houle incidente dominante.

5) Laminations du sable de plage très lessivé, légèrement inclinées vers la mer, graded-bedding. Les niveaux de tempêtes sont marquées par des zones sombres résultant de la concentration des minéraux lourds. Dès la profondeur de 5 m, apparaît l'herbier. La teneur en minéraux lourds diminue très rapidement tandis qu'augmentent les composants bioclastiques. Les zones sous-marines sont inexploitablement tandis que les concentrations les plus élevées s'observent dans les dunes littorales.

Remarques concernant les aménagements éventuels :

a) Le tracé des isobathes amène ici un bon amortissement de la houle conformément à la loi de Lewis. Soulignons en outre, le rôle protecteur de l'île de Levant formant écran aux grandes vagues du large, à fetch élevé.

b) Erosion sous-marine des herbiers au niveau des pointes, avec formation de chenaux d'érosion en cours d'étude. Par vent d'Est, la dispersion du sable léger est assurée par des chenaux obliques.

c) Mauvaise tenue mécanique des falaises du cap Nègre, risques d'éboulements (micaschistes à minéraux, lits micacés).

#### 4°) Plage de Pramousquier :

Etudiée depuis 1958, elle a fait l'objet des recherches de C. Degiovanni (1970, 1972) et J. Blanc (1974). Il s'agit d'une petite plage (l = 350 m), très exposée, à régime intermédiaire entre la grande plage et la "plage de poche".

#### Caractères généraux :

La zone aérienne montre le sédiment le plus grossier. Ce dernier s'affine en milieu marin tandis que la teneur en minéraux lourds diminue. La ride littorale y est faible ou nulle.

- stocks minéralogiques ; le placer littoral comprend en moyenne : staurotide (62 %), disthène (10 %), grenat (7 %), tourmaline (7 %), biotite, sillimanite, rutile, zircon, minéraux opaques (hématite), en proportions variables. La staurotide dominante caractérise le massif des Maures (S. Duplaix, 1972). Les minéraux légers sont le quartz (90 % de la fraction totale du résidu léger), l'orthose et les plagioclases.

. Le placer de la plage aérienne montre des teneurs de 7 à 80 % de minéraux lourds.

. Le placer correspondant à la plage sous-marine ne comprend plus que 1 à 2 % de minéraux lourds (C. Degiovanni, 1970-1972).

- Les "plages de poche" à l'Est de Pramousquier sont de véritables placers littoraux, de couleur rouge ou rose saumon. En hivers, une érosion notable lessive les éléments légers qui sont déportés en direction des herbiers.

#### Erosions :

Malgré la présence de l'herbier, le milieu est déséquilibré et les actions érosives l'emportent, favorisées par de fortes pentes : 18° et même 24°. Les zones de départ des courants de décharge sont séparées de tracés sinueux à plus faible pente : 8°. Des transferts locaux E.W et W.E, selon les régimes, n'ont qu'une action faible.

Degiovanni a montré un mode de transport en suspension granoclassée et par traction dans la zone du swash. Le sable, très lessivé, est grossier ou moyen ( $\phi = 0,8$  mm).

Il s'agit, en résumé, d'un milieu très exposé, fortement érodé, en déséquilibre, susceptible d'aucun aménagement.

#### 5°) Plage du Canadel :

Longueur 400 m ; présente, toujours dans la série des micaschistes à minéraux, des placers à staurotide et grenats.

Comme à Pramousquier, il s'agit de plages exposées aux fortes vagues d'E.SE. L'érosion hivernale y demeure forte avec des pentes de 17° à 22°. Le sédiment est un sable moyen ( $\phi = 0,80$  mm), très lessivé. Petits transferts, tourbillons et contre-courants.

Cette plage a été utilisée par des commandos légers pour les opérations préliminaires du débarquement, dans la nuit du 15 août 1944, au niveau de la "roche" orientale, actuellement assez érodée par des courants de décharge locaux.

La protection naturelle est cependant efficace :

- 1) "volant" régulateur sableux lié à une ride littorale,
- 2) herbier à Posidonies dense malgré les fortes pentes sous-marines.

Les falaises du littoral montrent une mauvaise tenue mécanique, liée à la lithologie et aux dispositions tectoniques de plusieurs écaillés de la série des micaschistes à minéraux.

6°) Plages du Rayol :

En fait, il s'agit de deux plages de 350 et 180 m séparées par un affleurement rocheux (hôtel du Bailly de Suffren). Les cordons de galets sont accompagnés de sable fin ( $\phi = 0,35$  à  $0,40$  mm) ; la pente est forte : 13°.

Ici, l'érosion hivernale est compensée par un engraissement estival et l'action protectrice de l'herbier s'y manifeste comme au Canadel. Les éboulements locaux réalisent un appoint de matériaux. A cet endroit on note la diminution des concentrations en minéraux denses (minéraux opaques, staurotide et grenats), qui passe de 1 % à 3 % du stock.

7) LA PLAGE DE CAVALAIRE ET SES ANNEXES :

1°) Description :

Grande plage orientée E.W, longueur : 3.100 m, accès aisé, très fréquentée. La zone orientale a été le siège d'un débarquement important, le 15 août 1944, à 6 h (engins lourds).

Au point de vue géologique, la zone Ouest est bordée par la série des micaschistes à minéraux tandis que les amphibolites, associées à des leptynites et serpentines forment le contrefort oriental.

La plage s.l. se subdivise en 2 zones très distinctes :

- 1) la zone occidentale demeure très exposée aux vagues des régimes d'Est, SE, E.SE, dominants dans le secteur.

2) la zone orientale, au contraire, se trouve bien abritée par l'écran du cap Lardier.

2°) Plage occidentale :

Elle correspond à une importante zone d'érosion et de déséquilibre. Plusieurs courants sagittaux, probablement quatre, dispersent le sable fin et moyen du prisme littoral jusque par des fonds de 10 m (fig.6). L'herbier est assez dégradé, mais demeure continu vers le large, de -10 à -30 m.

La présence de seiches contre le littoral et la pointe de Cavalaire amène, aux nodales, la formation de cordons sableux festonnés, analogues à ceux du Lavandou de St Clair, de Pampelonne, la Nartelle, St Aygulf, Ces corps sédimentaires stockent une grande partie du sable en transit et régularisent le profil d'équilibre littoral, atténuant, sans les supprimer, les effets de l'érosion.

. Zones érodées : Elles sont importantes et concernent 1.300 m de littoral, pour la zone occidentale (fig.6), jusqu'au débouché du ruisseau de Cavalaire (débit : 500 l/sec, inondations par très forts orages : automne 1973 et printemps 1974). Malgré les apports sablo-limoneux, l'érosion est vive. Le littoral de la promenade de Cavalaire a été protégé par un "perré" incliné, formé de béton aggloméré, accompagné de 3 épis très soignés, formés de blocs lourds d'amphibolite et de serpentine.

. Transfert : Lié à un contre-courant de la baie de Cavalaire (fig.6), il est dirigé cette fois, de l'Ouest vers l'Est, tandis que la dérive au large porte toujours, de l'Est vers l'Ouest. Seule une dérive secondaire s'observe près du port de Cavalaire, orientée du NE au Sud, accumulant les pollutions du ruisseau dans le plan d'eau portuaire.

. La construction des épis est soignée (zone A, fig.6) ; leur espacement est égal à 3 l (l = longueur de l'épis). A partir du port de Cavalaire, on note :

- épi 1 : rendement : 50 %, colmatage de deux ruisseaux et abri exceptionnel, influence de la nouvelle jetée.

- épi 2 : rendement : 15 %, l'érosion qui menaçait la route, la plage et plusieurs maisons a été limitée.

- épi 3 : très exposé, il se déchausse par le côté oriental.

Malgré ces ouvrages et le rôle des cordons festonnés, cette zone demeure préoccupante et nécessite des études et, probablement, quelques travaux complémentaires.

La zone B (fig.6), plus à l'Est, est actuellement la plus exposée ; la plage a reculé de plusieurs mètres au cours des tempêtes hivernales ; le mur de protection en moellons s'est écroulé.

. Conseil : deux épis très soignés, en forme de T, seraient nécessaires en cet endroit où se situe la zone de départ d'un courant sagittal arrachant le sable du littoral.

La zone C (fig.6) montre une nouvelle zone de départ de courant sagittal, face au restaurant "la Rascasse". Le recul est rapide ; des études et installations d'épis en T sont à prévoir.

La zone D, la plus orientale, va jusqu'au débouché du ruisseau de Cavalaire dont les troubles sont déportés vers le S.SE par le transfert et le contre-courant. L'érosion due aux courants sagittaux, plus atténuée, se poursuit accompagnée de quelques accumulations de minéraux lourds (grenats, amphibole). Un petit ouvrage frontal, établi à l'isobathe -3 m, serait souhaitable ("piégeage" des sédiments apportés par les torrents lors des orages).

Plus à l'Est, vers les Arbusées, se situe le point neutre (PN, fig.6). Alors, la plage change d'orientation et de régime.

. Les minéraux lourds sont concentrés dans les zones d'érosion sans y former de véritables placers. (F. Picard (1968) et S. Duplaix (1972)). La staurotide cède la place à la hornblende qui progresse régulièrement de l'Ouest vers l'Est, en relation avec les affleurements d'amphibolites et sous l'influence du contre-courant de la baie de Cavalaire. Les proportions de staurotide grenats et disthène diminuent. Ainsi, les amphiboles pourront être utilisées comme des "marqueurs" de la dérive littorale.

### 3°) Plage orientale :

A partir des Arbusées on observe le changement de courbure de la plage. A l'Est du PN (point neutre), on note la disparition des cordons festonnés (cessation des phénomènes de résonance), tandis qu'apparaissent les rides littorales. Désormais, les risques d'érosion sont nuls et les plages s'engraissent, ne posant aucun problème particulier : sable moyen ( $\phi = 0,45$  mm), angle de pente :  $7^\circ$ , forte pollution macroscopique en fin de transfert, notamment à la plage de la Douane et à la zone abritée du cap Lardier.

La zone remblayée de la plage Est est renforcée par l'édification d'une jetée fonctionnant comme un épi. Or, à l'Est de cette jetée, jusqu'au littoral rocheux (amphibolites de la pointe de la Bouillabaisse), se situe une zone agitée, exposée aux vagues obliques de vent d'Est ( $T = 6$  à  $8$  sec), où se forme un tourbillon et un courant sagittal, à la faveur de ce cloisonnement (fig.6).

Tous les dépôts torrentiels de la plage de Cavalaire sont systématiquement déviés vers l'Est (ruisseaux de la Croix et de la Canade). On note un léger colmatage et l'ensablement des fonds à la partie orientale de la baie de Cavalaire.

Les minéraux lourds, étudiés par F. Picard (1968), montrent la dominance de la hornblende (74,3 %), liée aux séries d'amphibolites, la staurotide (3,1 %), issue des leptynites et micaschistes de Cavalaire, le grenat (1,8 %), disthène (1,2 %), un maximum intéressant de la magnétite (1,2 %), hématite (0,2 %), minéraux altérés : 10 %, avec de fortes variations.

4°) La plage de Cigaro ou le "régime cloisonné" : (fig.7) :

La plage de Cigaro (encore "orthographiée" : Gigaro), d'une longueur de 1.500 m, est interrompue par deux pointements rocheux d'amphibolite ainsi qu'une jetée fonctionnant comme un épi (fig.7).

. Ainsi, la dérive littorale se trouve entravée et aucun transfert notable n'est réellement observé à l'exception de quelques cheminements localisés. Le cloisonnement isole trois portions de plages, du NW au SE.

D'où l'importance des vagues frontales et de la diffraction sur les roches sous-marines prolongeant les pointes.

. Les trois plages de Cigaro montrent les caractères suivants :

- bon abri des vagues et houles d'Est et E.SE,
- amortissement correct des vagues de SE,
- situation exposée aux vagues de Mistral (régime Ouest).
- sélection minéralogique :

. les amphibolites dominent à la plage NW, associées au quartz drusique et à la hornblende.

. la hornblende et la staurotide dominent encore à la plage St Michel (plage intermédiaire).

. la plage SE montre déjà l'influence de la série granitique du cap Lardier : amphiboles : 40 %, grenats, staurotide, divers (zircon, etc...) 40 %.

La plage de Cigaro se termine, au SE, sur le grand accident tectonique de Gassin, La Croix-Valmer, à partir duquel débutent les Maures orientales, du point de vue géologique.

- érosion par des courants sagittaux dirigés vers l'W.SW, par fortes tempêtes et "canalisés" par les prolongements sous-marins rocheux des pointes. Les pentes sont moyennes (9° à 11°) ; pour la plage "intermédiaire" (St Michel), quelques défenses frontales seraient nécessaires. Il n'y a aucun problème pour la plage Nord. La plage Sud montre une légère érosion et, plus au SE, contre le granite, un colmatage accentué par la présence d'un herbier à Posidonies.

## 8) LES MASSIFS DU CAP LARDIER, CAP TAILLAT ET CAP CAMARAT :

### 8.1 - LE MASSIF DE CAP LARDIER :

A) Géologie : A l'Est de la plage de Cigaro et des mylonites correspondant aux accidents de Grimaud - Croix Valmer, débutent les Maures orientales où s'observent des granites, gneiss, embréchites, etc... Les affleurements du granite du cap Camarat datés à 350 millions d'années (hercynien), forment une côte déchiquetée, riche en accidents NE-SW, déterminant des criques sauvages et des zones fissurées (fig.8). La morphologie littorale y revêt un aspect "armoricain" ou "corse", assez singulier pour la Provence, tout comme aux caps Taillat et Camarat. Dès la plage des Brouis, de nouveaux accidents et mylonites introduisent des amphiboles et gneiss amphiboliques, type Croix-Valmer, très altérables, puis, à la pointe Andanti, des micaschistes friables et gneiss albitiques.

Le cap Lardier lui-même, site sauvage non desservi (1), est formé d'étendues très boisées et vulnérables, correspondant à la série métamorphique des gneiss de St Tropez. Cette zone est cassée par plusieurs accidents orientés E-W, responsables du tracé littoral et de la formation de criques et grottes marines (fig.8). Une prospection aérienne permet de détailler ces failles transverses.

B) Morphologie littorale : les failles E-W et le réseau orienté E.NE-W.SW sont marquées par des criques, grottes et "plages de poche". Les blocs et cordons de galets littoraux se prolongent en mer par des épandages et lobes sableux.

- La zone granitique conditionne la présence d'une bonne arène, très sabieuse, stable et filtrante, surmontant un substratum à bonne tenue mécanique même dans les secteurs très exposés (pointe Dubreuil).

- En revanche, la zone des amphibolites et des micaschistes s'écroule en plans parallèles successifs, vers le front de mer, le long des plans de schistosité. Le substratum est recouvert d'un éboulis argileux très rubifié, parfois instable et souvent imperméable.

- L'isthme étroit et faillé du cap Lardier comporte plusieurs grottes marines agrandies par les effets dus aux chocs des vagues et à la pression de l'air comprimé. La falaise, haute de cent mètres, et difficile à contourner, de la pointe Andanti en constitue le secteur le plus instable.

- Au niveau des gneiss rubannés et des anatexites, on observe

---

(1) Cinq heures sont nécessaires pour faire le tour de la presqu'île par de mauvais sentiers cachés.

une plate-forme d'abrasion récente, limitée à +0,40, +0,30 m, beaucoup moins développée qu'au voisinage de l'isthme du cap Taillat.

C) Fonds sous-marins :

. Le prisme littoral et des courants sagittaux s'observent à Cigaro ; des courants de décharge, par fortes tempêtes, se développent tout au long de la côte rocheuse, aux bas des falaises, criques, etc...

. Ces lobes détritiques correspondent à des "taches" de sable étalées jusqu'à -15 m par les courants de fond (régimes W, W.NW = Mistral, et W.SW).

. L'herbier à Posidonies est bien développé et non altéré par les pollutions ; on y observe des érosions "naturelles" et locales, dues aux courants de fond et généralement assez bien compensées.

. Plus au large, vers -30 m, parfois -25 m, se présentent les fonds du détritique côtier. La relative étroitesse du précontinent les fait rapidement "passer" aux vases bathyales du "canyon de Cavalaire", en fait, branche "affluente" du grand canyon des Stéchades. Mais, au Sud du cap Lardier, le précontinent montre un subit développement sous la forme d'un vaste plateau, sous-marin parsemé de "monadnocks" immergés (écueils de la Roche Quairolle).

. On soulignera la beauté des fonds rocheux dans cette zone vouée au tourisme et à la pêche artisanale. Nous y déconseillons tout aménagement complémentaire alors que la pénétration humaine altère déjà fortement l'ensemble de la presqu'île de Saint Tropez : plusieurs lotissements à Cigaro, aux Brouis. Dans un cadre plus large : constructions à la Bastide Blanche, campings à Briande, lotissements très développés et luxueux à l'Escalot (plage du Bon Porté), à Camarat, etc... Les modifications du milieu naturel y sont profondes - pas toujours en mal d'ailleurs.

L'enclave "sauvage" du cap Lardier, difficilement pénétrable par voie terrestre, menacée par les incendies du fait de la densité de sa végétation très fragile, demande une protection efficace et rapide.

8.2. LA BAIE DU BON PORTE, CAP TAILLAT, CAP CAMARAT :

A - Géologie :

Le granite de Camarat forme des assises résistantes à l'exception des zones traversées de nombreux filons de quartz, feldspath, aphte, voire dolérite. Elles alternent avec les gneiss ocellés de la série de St Tropez.

Aucune rivière n'aboutit dans ce secteur où l'alimentation sédimentaire majeure demeure assurée par la présence de l'arène granitique, parfois épaisse de 2 m.

La petite plaine alluviale de la Bastide Blanche constitue une exception : elle est formée de limons récents et de cailloutis post-würmiens, recouvrant la surface d'arasion marine de +5 m, étudiée par H. Chamley, lorsque cette dernière se trouve représentée. Il s'agit de sables et limons très filtrants et peu lessivés.

L'érosion marine est nulle pour les secteurs formés d'assises compactes et dépourvus d'arène ou d'accidents tectoniques.

B) Hydrodynamique et types de fonds :

. L'éboulis et le prisme littoral se poursuivent jusqu'à -10 et même -15 m. La sélection du matériel, les triages des matériaux alluviaux issus de la petite "plaine" de la Bastide Blanche, les éléments issus de l'éboulis littoral, etc... sont en relation avec des milieux très agités par régimes d'Est et S.E. En revanche, par Mistral, l'abri oriental est assez favorable d'où l'appellation de "Bon Porté".

La répartition des sédiments sous-marins sera conditionnée par cette exposition particulière aux vents des secteurs Est et SE.

. Partout se manifeste le courant dirigé de l'Est vers l'Ouest, rapide entre les écueils et les roches sous-marines. Il s'inverse, en surface, de l'Ouest vers l'Est, par fort Mistral. Ces mouvements favorisent une forte pollution sur les roches littorales granitiques : cap Taillat, plage de l'Escalet, criques de la baie du Bon Porté, et de Briande : "galets" de mazout, bois flottés. L'écran du cap Taillat amène le stockage de ces débris dans les criques.

. Le curieux tombolo du cap Taillat (1), long de 160 m, formé de sable quartzeux à grenats et zircons, est une construction liée aux courants de dérive de vent d'Est et Mistral (W). Cependant, cette "flèche" sableuse a surtout été édifiée grâce à une ligne d'écueils alignés, déchiquetés, correspondant à un filon très dur de dolérite, orienté NW-SE et, encore, aux phénomènes de diffraction en relation avec l'îlot-promontoire de Taillat. Il en résulte une accumulation de sédiment meuble au Bon Porté et à Briande.

. Les cordons festonnés sous-marins constituent une des caractéristiques de la baie du Bon Porté. Ce sont des accumulations sableuses, de -2 à -7 m, le long du littoral orienté N-S, de la pointe du Canadel jusqu'aux accores du cap Taillat. Ces cordons correspondent aux nodales de seiches se manifestant à la baie du Bon Porté. L'énergie incidente étant la houle d'Est tandis que les résonances se produisent au cap Taillat et aux roches immergées des Enfers (-3,2 m) ainsi qu'à un écueil "anonyme" à -6 m, plus à l'Est.

---

(1) Encore nommé : cap Tayat ou cap Cartaya.

. Les principaux types de fonds sont (fig.9) :

1°) Développement des sables détritiques littoraux formant des lobes mobiles (sables et graviers), jusqu'à -25 m, au grand maximum.

Ces corps sédimentaires présentent une disposition asymétrique : -15 m, à la Villa Bergés, -17 m, au "droit" de la pointe du Canadel, -25 m contre le "platier" rocheux immergé (-5 à -10 m), situé au N.NE du cap Taillat et au "sécant" sous-marin, assez dangereux, de l'Enfer (gneiss ocellés).

En fait, ces "reliefs" immergés forment un "barrage" sous-marin retenant le sédiment sableux, lessivé et dispersé par les courants de décharge.

2°) Herbier à Posidonies, assez dégradé par les courants de fond jusqu'à -33 m (fig.9).

3°) Détritique côtier très développé au niveau des hauts fonds et à la zone supérieure du précontinent, en deçà d'une rupture de pente à -24m. On observe des graviers près des roches et des zones de courants au Sud et au S.E des caps Lardier, Taillat et Camarat.

4°) Vases bathyales, vers -170 m, rupture de pente soulignant les deux "diverticules" du canyon dit "de Saint Tropez" (en fait "canyon de Camarat" serait une meilleure appellation), creusé dans le granite ("talwegs" à -620 et -450 m).

La morphologie sous-marine est très influencée par des glaciis rocheux immergés prolongeant les caps Taillat, Camarat et St Tropez. Ces aires tourmentées représentent les vestiges d'une ancienne topographie anté versilienne, où subsistent des "monadnocks" granitiques déblayés par la dernière remontée de la mer. Il s'agit de fonds de pêche, sites de plongées, etc...

C) Tracé du rivage et mécanique des roches :

L'héritage mécanique de la roche explique le paysage et le tracé du littoral. La désorganisation des massifs rocheux s'y traduit par des ruptures plastiques (comme celles qui ont été observées à Sicié, au cap Bénat, etc.) et des ruptures rigides (compression triaxiale), du type "Esterel".

Des actions complexes, non encore étudiées, interviennent sous la forme de contraintes tectoniques, charges brutales et détente des versants. Des discontinuités s'ouvrent dans la roche sous la forme de deux réseaux :

1) fissures parallèles à la direction des contraintes de compression.

2) fissures perpendiculaires à la direction des efforts de traction.

Au point de vue tectonique, le massif granitique du cap Camarat montre deux directions dominantes :

1) direction W.NW-E.SE : elle détermine l'orientation des criques, écueils, dykes doléritiques, platiers. L'orientation du revers occidental du cap Taillat en est le résultat.

2) Direction E.NE-W.SW : ces fractures se raccordent aux failles et mylonites du cap Lardier ; elles correspondent à l'orientation dominante des grottes marines (1).

Enfin, le contact du granite avec les gneiss ocellés de la série de St Tropez est jalonné par un drainage préférentiel, criques, zones faibles, etc...

## 9) LA PLAGE DE PAMPELONNE :

### 9.1. DESCRIPTION :

La plage de Pampelonne, orientée Nord-Sud, face à l'Est, directement exposée aux vagues et houles issues du golfe de Gênes, s'avère, après Giens, être la plus vaste plage de la Provence métamorphique (longueur : 4.200 m).

Ses accès faciles et sa situation lui assurent un coefficient d'occupation souvent par trop élevé. Cette disposition exceptionnelle avait été remarquée par l'Etat-major du général Patch qui, les 15, 16, 17 et 18 août 1944 y débarqua un matériel considérable après les parachutages effectués dans la presqu'île de St Tropez.

La plage demeure très exposée et dangereuse par fort vent d'Est ; elle est, en contre partie, très abritée au Mistral et, particulièrement, aux régimes W, W.NW et NW. Un curieux pointement rocheux sous-marin s'observe, à partir du Nord, à la base de son premier tiers : la Sèche de Salaru. Par régime normal ou vent d'Est, on note un transfert assez général dirigé du Nord vers le Sud (fig.10).

### 9.2. SITUATION GEOLOGIQUE :

. Le substratum métamorphique imperméable est représenté par le granite du cap Camarat et les anatexites de la presqu'île de St Tropez (gneiss ocellés, gneiss feldspathiques). Au Nord du cap Pinet, on relève des séries gneissiques, fines et micacées, à structure alternante. L'imperméabilité des

---

(1) Il a été procédé à un examen aérien et des relevés de détail au 1/15.000 avec prospection sous-marine conjuguée. Des recherches très détaillées seraient nécessaires.

roches favorise des crues torrentielles, violentes mais brèves, les jours d'orage.

. Une petite plaine alluviale, la plus importante de la presqu'île de St Tropez, est due au remblaiement holocène (Versilien) : limons, sables dunaires, éléments de l'arène granitique, complexes laguno-marins, analogues à ceux du Fournel et de Fréjus-Villepey.

Dix ruisseaux drainent cet ensemble. Ils sont responsables de crues et d'inondations, notamment la rivière du gros Vallat, assez désastreuses, à la fin de janvier et février 1974. Les dégâts sont aggravés par une très faible pente combinée à la présence d'un biseau "salé" à faible profondeur (rivière du gros Vallat, de Loumède, de Beauqui, etc...).

### 9.3. HYDRODYNAMIQUE :

1) Transfert précité, du Nord au Sud, malgré un cloisonnement relatif dû à la Sèche de Salagru. Comme à St Aygulf, on note un colmatage accentué à la partie méridionale.

2) Présence d'oscillations stationnaires (seiches) et de lignes nodales correspondant à la formation de cordons festonnés et en demi-lune, voire à des dunes sableuses sous-marines plus au large (fig.10).

*Ce système naturel protège le rivage sableux de l'érosion liée aux vagues déferlantes des régimes d'Est.* La seiche de Salagru assure également une protection efficace en organisant les amortissements et déferlements frontaux des très gros rouleaux, dès la profondeur de -20 m, avant leur arrivée à la plage.

3) Action de courants sagittaux, comme à Cavalaire, St Aygulf et Fréjus (1). Ils étalent le sable du prisme littoral jusqu'à -14 m. En deçà, font suite les sables fins, moyennement calibrés, des fonds de baies, remaniés puis étalés en lobes turbides asymétriques, déviés par un courant de fond, orienté du Nord vers le Sud, jusqu'à -20 m.

On observe la dégradation de l'herbier par l'action de l'érosion mécanique.

### 9.4. PLAGES NORD : (fig.10)

De la plage de Tahiti, médiocrement desservie par une route étroite, à la plage de Salagru, se montre une zone d'érosion et de transfert (N-S). On y constate l'absence de cordons festonnés et ici, le littoral n'est protégé que par l'amortissement des houles à la pointe du Pinet. Cela se traduit par :

---

(1) Ces derniers ont été découverts à Pampelonne par Arbey et Rivière.

- quelques concentrations de minéraux lourds (lessivage intense)
- micro-falaise d'érosion ; les niveaux de tempête atteignent la cote +0,60 m.

- zones incurvées, très érodées, lieux de départ des courants sagittaux (sable moyen :  $\phi = 0,6$  mm, pentes de la plage, fortes :  $18^\circ$ ).

#### 9.5. PLAGES MEDIANES :

Plage de la Sariette (débarquement du 15.8.1944). Les cordons festonnés apparaissent (longueur de 120 à 70 m), souvent coalescents au rivage. Les courants sagittaux partent de la plage et s'insinuent entre les cordons. Par grosse mer d'Est (T = 8 sec), l'ablation y produit une micro-falaise de 1 m ; la surélévation du niveau marin, à la faveur de résonances, y atteint exceptionnellement +1,20 m +/- 0,20 m, pour des pentes de  $18^\circ$ , malgré la finesse du matériel (sable quartzéux,  $\phi = 0,30$  m). Par forte tempête, le rivage peut alors reculer de 2 à 3 m, puis, un engraissement compensateur se manifeste par beau temps.

#### 9.6. PLAGES SUD : (fig.10).

L'aboutissement du transfert (N-S) s'y traduit par un colmatage accentué, accompagné d'une pollution notable (bois flottés, bidons, bouteilles, galets de mazout, etc...). J'y ai relevé des ponces flottées provenant des îles Lipari et amenées par le courant général, comme à Giens et à Porquerolles. Malgré ces engraissements, les effets des tempêtes de vents d'Est y sont spectaculaires :

- niveaux surélevés à +1 m,
- zones d'ablation liées aux départs des courants sagittaux : les pentes des chenaux sont parmi les plus importantes que j'ai pu observer :  $24^\circ$ .

#### 9.7. REMARQUES IMPORTANTES :

1°) Malgré le transfert orienté du Nord au Sud, on notera l'absence systématique de gradient granulométrique au littoral. Cela paraît lié à la présence des courants sagittaux et à l'influence des rivières débouchant sur les plages et amenant du matériel sableux (crues).

2°) La fraction bioclastique est très faiblement représentée à Pampelonne, parfois même absente. Le prisme littoral, de nature minérale, est prépondérant ; son extension, liée à des courants de fond, entrave et fait même régresser l'herbier à Posidonies.

3°) Aucune menace particulièrement alarmante ne concerne les plages de Pampelonne car l'intervention des mécanismes compensateurs naturels s'avère efficace à la condition que l'on s'abstienne d'y implanter des épis.

## 10) LA BAIE DE ST TROPEZ ET SES ANNEXES :

### 10.1 : GENERALITES ET TYPES DE FONDS :

#### . Exposition et hydrodynamique :

Ouverte largement à l'E.NE, la baie de St Tropez réalise un ensemble dont l'évolution s'avère bien distincte des autres secteurs étudiés au littoral de la Provence métamorphique.

Le régime d'Est est dominant en force et fréquence. Les régimes W ou W.NW sont parfois vifs mais moins bien représentés du fait de l'abri du massif des Maures et des collines de Gassin.

1) Les régimes W et W.NW donnent des dérives sortant du golfe et des contre-courants non étudiés. Les troubles sont déportés vers les vases terrigènes côtières, d'où l'extension des zones envasées.

2) Les régimes d'Est représentent les transferts dominants : sables et poudres sont dirigés vers l'Ouest et l'W.SW ; les troubles s'accumulent et sont piégés dans le fond du golfe, puis à nouveau remis en suspension sous l'influence du premier facteur (régime W ou W.NW).

*Les influences du régime d'Est étant prépondérantes, l'envasement est continu.* Cette progression est accélérée par les décharges et travaux de Port-Grimaud et les crues torrentielles. Plus du tiers de l'herbier à Posidonies est déjà détruit.

. Conséquence pratique : la baie de St Tropez réalise un modèle de "piège à sédiment" ; les effets de la dispersion au large sont insuffisants à compenser la progression des colmatages.

. Un herbier à Posidonies en voie de dégradation : l'herbier à Posidonies est très dégradé par les rapports turbides naturels. Ces derniers relèvent de quatre axes d'apports :

1) Le Préconil : matériaux des embrèchites des Maures orientales formant un épandage sous-marin au Sud de Ste Maxime. Ce dernier alimente les herbiers à Posidonies et les sables du détritique côtier.

2) Ruisseaux d'importance secondaire : ruisseau des Mûres, ruisseaux de Beauvallon, etc... ; apports au prisme littoral et talus détritiques au Nord du golfe.

3) Axe de la Giscle, drainant une partie des Maures centrales et occidentales : micaschistes, séries de la Môle et de Cogolin. Il s'agit de l'épandage sous-marin le plus important alimentant les sables fins bien calibrés au fond de la baie de St Tropez auxquels font suite des sables vaseux de mode calme. Les phénomènes de dispersion par les courants de fond ne sont pas connus.

4) Au Sud : apports du ruisseau de Gassin, alimentant les talus détritiques littoraux et les vases terrigènes côtières. Ils proviennent des embranchements, granites et gneiss de St Tropez.

. Un envasement en progression :

Le faciès des vases terrigènes côtières s'étend suivant deux directions :

1) Le Préconil : zone en extension au Sud de Ste Maxime ; troubles déportés vers le SW et l'W.SW. Dégradation de l'herbier.

2) Axe du golfe de St Tropez : couloir envasé vers le Sud, assez sinueux, de direction générale au 70° (E.NE). Les épandages sont surtout réalisés au cours des orages (régime torrentiel). Il s'y ajoute les apports boueux du Bourrian et du ruisseau des Mûres, ruisseau de Gassin, plus les écoulements "en nappes". Ces vases terrigènes côtières s'étendent aux dépens des herbiers à Posidonies et du détritique côtier.

Les zones I et 2 sont polluées, notamment au Sud de Ste Maxime, à St Tropez et à Port-Grimaud. L'envasement est maximum à trois endroits d'importance inégale :

1) le plus important est représenté par le fond du golfe, à l'Est de Port-Grimaud.

2) zone de St Tropez, notamment le "piège" situé à l'Anse des Canebiers (zone à étudier en détail).

3) Epandages au Sud de Ste Maxime, déjà mentionnés.

. L'insuffisance de nos recherches nous oblige à réserver notre opinion quant aux problèmes de détail.

Il est nécessaire d'entreprendre, au golfe de St Tropez, des relevés sous-marins de détail au 1/25.000 et au 1/15.000, accompagnés d'une étude sédimentologique précise, comme cela a été le cas pour Giens. Ces recherches exigeraient plus de quinze mois de travaux.

#### 10.2. PLAGE DES SALINS ET CAP DE ST TROPEZ :

La complexité de la zone sous-marine du cap de St Tropez est liée à une ancienne topographie granitique, à modelé aérien, immergée par la transgression versilienne.

Les roches et "sécants" du large, les prolongements des pointes, etc... correspondent à des reliefs granitiques ou gneissiques, altérés en boules et formes arrondies, formant des massifs isolés et "monadnocks", de quelques mètres à plus de 30 m de profondeur. Parmi eux, nous distinguerons le Rabiou, l'Ay, le plateau de Sauvère, la basse du N.E., la teste de Can (partiellement émergée), les Basses de Can et, plus au large, la "roche" de

Verhugé. Ces roches, parfois dangereuses et très exposées sont des sites assez poissonneux et favorables aux plongées et pêche sous-marine.

Au-delà de l'éboulis et du prisme littoral (plage des Salins) se situe, jusqu'à -35 m, un vaste herbier très développé à l'Est de la Pointe de Rabiou et du cap de St Tropez. Il s'étend à 2,5 m.Naut. vers le large, au-delà de la roche de Verhugé. Il présente des érosions, graviers remaniés et concrétionnements (Lithothamniées), de -12 à -35 m aux Basses du N.E., à l'Est du cap de St Tropez et à la Basse S.E. de Can, à la Verhugé.

De -35 à -60 m, nous "passons" aux formations hétérométriques et graviers du détritique côtier.

Deux remarques :

1°/ A l'Ouest de la pointe de Rabiou se développent les faciès d'envasement du golfe de St Tropez. Des cette zone se manifeste une régression de l'herbier.

2°/ Les hauts-fonds situés à l'Est du cap de St Tropez isolent deux milieux distincts en-deçà de la ceinture des sables du détritique côtier :

- vases bathyales au Sud (canyon de St Tropez)

- vases terrigènes côtières au Nord, au large de la baie de St Tropez et envahissant cette dernière.

Un travail cartographique précis et de longue haleine serait nécessaire en ce secteur.

Quant à la plage des Salins, au cap de St Tropez, longue de 350 m, accompagnée de quelques plages de poche au S.SW, elle demeure très exposée à tous les régimes et pollutions. Il s'agit d'un site bordé de très beaux fonds mais souillé par des galets de mazout.

Malgré la présence d'une ride littorale temporaire, la plage est fortement érodée en hiver. Par beau temps, malgré des pentes à 12°, une certaine compensation se manifeste (sable blanc quartzéux, fin et isométrique ;  $\phi = 0,25$  mm), augmentée par des apports bioclastiques (*Miniacina miniacea* Pallas) issus de l'herbier et du coralligène, tout comme cela a été observé aux plages des Embiez (grand Rouveau, Le Brusé).

10.3. ANSE DES CANEBIERS (fig.11) :

Cette dernière présente des analogies avec les baies de La Seyne et de Tamaris, près de Toulon. Mais l'évolution des herbiers à Posidonies n'a point atteint, en ces lieux, le stade de l'émersion et du colmatage total.

Il s'agit d'un mouillage très abrité pour la plupart des régimes ; trois chantiers de réparation y sont implantés.

L'herbier à Posidonies est dense mais en voie de dégradation sous l'action des pollutions, des accumulations de débris de Posidonies, mais,

surtout par la progression des envasements dans la baie de St Tropez. La courantologie de détail reste à étudier. Il est possible d'y envisager un circuit tourbillonnaire, érodant les herbiers et les "mattes", jusqu'à -6 et -9 m. Le sédiment est un sable bioclastique, hétérométrique. Dès -33 m, l'herbier fait place à une mince frange de "détritique côtier" tandis que le faciès des "vases terrigènes côtières (V.T.C.) se développe à moins de 40 m de profondeur.

Ce site nécessite une protection rapide avant sa complète dégradation, comme cela a été le cas pour la baie de La Seyne.

#### 10.4. LES "MARINAS" DE PORT COGOLIN ET PORT GRIMAUD :

##### A) Les sites (fig.12) :

. La Marina de Cogolin, au Sud, est creusée dans la plaine alluviale, entre les débouchés de la Giscle et du ruisseau de Bourrian, à l'emplacement des anciens marais de la Foux.

. La Marina de port Grimaud, au Nord, est creusée dans les marais et bras-morts de la Giscle, entre le cours de cette rivière et les embréchites des Maures orientales (Petites Maures). Lors du colmatage holocène, contemporain des stades les plus récents de la transgression versilienne (de 15.000 à 8.000 A.B.P.), le cours de la Giscle s'est déplacé vers le Sud, sous l'influence d'un transfert littoral longeant le littoral au N.E. de la baie de St Tropez. Cet apport sédimentaire a été augmenté de la charge du Préconil et dirigé de l'E.NE vers l'W.SW. En se déplaçant ainsi vers le Sud, la Giscle a abandonné trois bras-morts, jalonnés d'étangs et de marais, actuellement détruits par l'aménagement de la Marina de Port Grimaud (1).

##### B) Hydrodynamique et sédimentologie :

. Exposition et abris : les installations sont exposées aux régimes de forts vents d'Est et surtout d'E.NE. Des résonances se manifestent alors au fond de la baie et sur la jetée de Port Grimaud où des ébauches de cordons festonnés se développent à l'emplacement des nodales. *Ce phénomène sédimentaire demande à être suivi attentivement du fait de l'importance des aménagements.*

Contre la jetée de Port Grimaud, une plage engraisée, en équilibre, ne pose actuellement aucun problème (sable grossier :  $\phi = 0,9$  mm, pente : 7°).

---

(1) Il faut noter que cet aménagement élégant et assez exceptionnel, occupe l'emplacement de marais souillés et sans grand intérêt.

- l'abri est satisfaisant pour les régimes suivants : W, W.NW (Mistral), Sud, NE, N.NE.

- bons mouillages.

. Colmatages : le transfert, de l'E.NE à l'W.SW, déporte les sables et particules fines, de la pointe des Sardinaux à Port Grimaud. Les troubles du Préconil (1), se jetant à l'Ouest de Sainte Maxime, s'y ajoutent pour une large part amenant :

- la dégradation progressive et continue de l'herbier,
- le colmatage de la baie.

Ces apports amènent, avec la contribution du ruisseau des Mûres, de la Garde et du Bourrian, la formation d'un lobe turbide asymétrique et l'envasement plus rapide de la partie méridionale de la baie.

Par vent d'Est moyen, des flotteurs immergés ont permis de mesurer une vitesse de 0,30 m/sec pour la surface.

. Un transfert secondaire, lié aux vagues d'Ouest ou d'Est, longe le rivage méridional de la baie de St Tropez et se dirige de l'Ouest vers l'Est. Les sédiments, troubles, pollutions et bois flottés s'accumulent contre la jetée de Port Cogolin et souillent la plage.

. Les empiétements de terrains sur la mer, effectués à l'Est du port de St Tropez, n'occasionnent aucune nuisance particulière car les talus détritiques et franges d'herbiers concernés étaient déjà l'objet d'un colmatage naturel et d'une dégradation poussés, antérieurs aux aménagements, tout comme à l'Anse des Canebiers et au fond du golfe de St Tropez.

. Un "upwelling" se manifeste par fort vent de Mistral (W.SW par ex.). Il se produit une dérive superficielle salubre, sortant de la baie à la vitesse de 20 m/mn, et renouvelant les eaux au fond du golfe de St Tropez.

### C) Types de fonds (fig.13) :

On note, en fait, la formation de deux lobes turbides successifs :

1) sables moyens du prisme littoral, jusqu'à -12 m, déportés de l'E.NE vers l'W.SW, puis, du Nord vers le Sud. L'action de courants de décharge et courants sagittaux est possible mais n'a point été prouvée.

2) sables fins bien calibrés et sables vaseux de mode calme forment un épandage de -12 à -15 m et, même, -19 m. Ce lobe est déporté vers l'Est.

---

(1) Ne pas confondre avec le torrent "Préconil" situé à l'Ouest du Lavandou. De telles confusions toponymiques sont assez courantes en Provence : ainsi, on connaît deux "cols de Gratteloup" dans le massif des Maures et trois "Simiane", quatre "Bégude", trois "Madrague", etc...

Vers -19 m, parfois dès -13 m, dans la partie méridionale de la baie de St Tropez, on trouve directement le faciès en progression des V.T.C.

Deux remarques importantes :

1°/ disparition totale, ou presque, des herbiers à Posidonies, par envasement dans le fond du golfe de St Tropez.

2°/ un circuit courantologique se manifeste au fond de la baie ; il s'accompagne de la formation d'une "cellule" de sables vaseux déposé dans la zone morte du tourbillon. A l'Est de Port Cogolin, on note la formation d'une "tache" de vase décantée relevant de la même origine. De telles dispositions ont été observées, à plus grande échelle, par M. Roux et E. Vernier, dans la zone de colmatage rapide du golfe de Fos.

D) Les aménagements :

1) Epis de la Villa "Sabi Pass" au ruisseau des Mûres :

Ils entravent le transfert littoral principal et compensent une forte érosion du rivage liée à l'incidence des vagues obliques d'Est, E.SE. Une dizaine d'épis, serrés, formés de blocs d'amphibolite, assez lourds mais altérables, a été implantée. Cependant, des épis interrompus, plus longs et munis d'ergots seraient plus efficaces et n'entraveraient point la circulation des eaux, de l'E.NE vers l'W.SW, *absolument nécessaire à la salubrité du fond du golfe de St Tropez.*

Cet aménagement est à surveiller attentivement.

2) Construction des jetées (Port Cogolin, Port Grimaud) (fig.12).

Les jetées sont bien dessinées et efficaces ; elles suivent les isobathes -6 à -8 m. Les ouvrages sont formés de blocs lourds d'amphibolite, gneiss ou migmatites : 0,6 à 2 tonnes, coincés et couronnés de gros blocs posés à plat : 3 à 4 tonnes.

Le profil est relativement bas (+3 m) mais très large (8 à 10 m), comme au port de Bormes, absorbant bien les "rouleaux". Ici, le degré d'exposition est moins accentué qu'à Bormes ou Santa Lucia (St Raphaël). Du côté intérieur des jetées frontales on note un fossé d'écoulement, une zone filtrante (galets remblayant une tranchée de drainage) absorbant les "paquets de mer" passant au-dessus de la jetée.

Les jetées intérieures des ports (A', fig.12) ne sont renforcées qu'aux zones de réflexion et de diffraction : passes des ports, digues canalisant la Giscle. Cette rivière manifeste des crues très brutales (d'où son nom), liées aux orages violents et au substratum imperméable, élevant brusquement le niveau de +1,5 m (février 1974) : observation directe. Les autres types de digues, jetées internes, sont formés de blocs d'amphibolite (hauteur : 2 m, largeur plus faible : 5 à 7 m).

Il y a une possibilité de seiches dans les bassins des Marinas. Des études détaillées seraient nécessaires afin de préciser l'hydrodynamique des sites aménagés.

#### 10.5. Incidences des aménagements sur les milieux naturels :

Nos informations sont très incomplètes et des études précises, échelonnées dans le temps, seraient nécessaires. On pourra suggérer les remarques suivantes :

1°) L'action des épis bordant le littoral septentrional de la baie de St Tropez, entrave incomplètement le transfert latéral dominant. Il en résulte une diminution de l'érosion et des colmatages à Port Grimaud, mais une accentuation des pollutions locales.

2°) Le creusement des bassins de Port Cogolin et Port Grimaud, tout comme celui de Port d'Agde, a fait disparaître les marécages. Or, ces marais de la Giscle et de la Foux s'avéraient des sites de pêche et de chasse. Cependant, les excellents matériaux ainsi recueillis (galets, sables, limons) ont été utilisés en remblais hydrauliques, talus, travaux routiers, voire matériaux de construction, sans effectuer de véritables dragages extensifs dans la baie de St Tropez. En fait, le "marais" a été sacrifié au bénéfice de la mer et de ses utilisateurs.

Le milieu naturel a été bouleversé, méconnaissable. Néanmoins, l'endiguement soigné de la Giscle et l'approfondissement de son chenal, utilisé comme mouillage, diminuent les effets des crues.

3°) Accentuation des colmatages et pollutions au fond du golfe de St Tropez; problème de l'épuration des effluents des Marinas, notamment en période estivale de fréquentation maximale. Les actions de l'upwelling ne pourront entièrement compenser l'enrichissement en nitrates, ammoniac et phosphates lié au rejet des stations d'épuration. D'où le risque d'eutrophication partielle du milieu marin.

#### 10.6. Un littoral menacé à Beauvallon et à la "Villa Sabi Pass" :

L'érosion est due à des vagues obliques à forte cambrure issues des secteurs Est et E.SE. Par gros temps, les vagues franchissent un cordon littoral réduit et pénètrent à 60 m dans les pinèdes, inondant le littoral et terrains de camping.

Depuis 1950, les travaux de défense se succèdent. Plus de douze épis ont été implantés à des époques différentes ; ce sont des constructions médiocres :

- trops faibles eu égard à l'énergie incidente,
- blocs hétérométriques,

- matériaux mal choisis : embréchites, micaschistes, gneiss ocellés mêlés à quelques blocs d'amphibolite altérables,
- longueurs inégales : de quelques mètres à 15 mètres.

Les apports complémentaires, rechargements d'épis disjoints, ébauches de brise-lames frontaux, etc... sont peu efficaces. Malgré ces avatars, l'alimentation par le transfert latéral demeure bonne et le rendement des épis, très serrés, oscille entre 40 et 60 % (une valeur maximale de 80 % a été notée pour un épi près de Beauvallon). Les zones colmatées, entre les épis, montrent une pente stable de 9° (sable moyen,  $\phi = 0,5$  mm), avec quelques "cusps" et galets d'embréchite.

. Nous conseillerons, à priori

- des épis plus longs et interrompus, portés jusqu'à des profondeurs de -3,5 m.
- gros blocs isométriques bien coincés, ergots.
- brise-lames frontaux très robustes à étudier.

. Remarques : entre la Villa "Sabi Pass" et la pointe de Guerre-vieille (embréchites, gneiss pegmatitiques peu résistants et très altérés), on observe la progression de l'érosion marine : la route et plusieurs villas sont menacées. *Le choc des vagues obliques est responsable de la plupart des dégâts ainsi que la dégradation sous-marine de l'herbier à Posidonies bordant le rivage.*

10.7. Les plages de Sainte Maxime :

. Caractères hydrodynamiques et sédimentologiques :

1°) Plages, très exposées ; l'érosion n'est point compensée par des défenses en enrochements hétérogènes, mal établis, en matériaux médiocres (gneiss, embréchites).

La destruction de l'herbier littoral par envasement et par érosion mécanique sous-marine accentue la menace concernant cette portion du rivage.

2°) Compensation naturelle, souvent insuffisante, par l'action du transfert dominant, dirigé de l'E.NE vers l'W.SW. Une érosion se manifeste vers Ste Maxime, jusqu'à -12 m ; engraissement et pollution, en "aval", vers la pointe de la Croisette (pentes de 9°, sables/grossiers<sup>très</sup> issus du Préconil ( $\phi = 1,8$  mm), éléments de migmatites, petits galets et "beach cusps").

3°) Par fort Mistral et "vents de terre", on note la formation d'un upwelling renouvelant les eaux et d'une dérive sortant de la baie (vitesse : 5m/mn).

4°) Destruction et régression rapide des herbiers à Posidonies par l'étalement sous-marin des sables du Préconil, par comparaison avec les relevés antérieurs pratiqués par W.D. Nesteroff. On observe la formation de sillons d'érosion conformes à la direction de la dérive littorale.

. A Sainte Maxime, on observe l'écroulement du mur frontal de la route devant l'Hôtel Brutus, Cette zone est menacée malgré deux alignements de blocs ("sucres" à tenue médiocre, en éléments maçonnés). L'effondrement de la défense frontale, par sapement en sous-oeuvre, demeure préoccupant contre la culée W.SW du pont sur le Préconil.

La décharge du Préconil est partiellement rabattue vers la petite plage de Ste Maxime. Depuis la construction de la nouvelle jetée externe, les réfractions et diffraction sur le musoir facilitent le dépôt rapide des sédiments. Ce résultat est bénéfique quant à la plage du Casino déjà artificiellement enrichie, mais il se traduit aussi par le colmatage de la passe et du port, colmatage déjà bien amorcé antérieurement à la construction de la nouvelle jetée.

. Au débouché du Préconil, on observe trois crochons de sables grossiers et galets (zone de freinage, action de la houle diffractée, etc..). Ces cordons asymétriques tendent à gêner l'écoulement du Préconil, favorisant alors les tendances au colmatage.

. La corniche, entre Ste Maxime et la Nartelle, montre des érosions locales. Ces dernières sont cependant bien compensées et ne présentent aucun danger car :

1) une large dalle rocheuse sous-marine accentue les frottements et amène le déferlement des vagues incidentes.

2) présence d'un herbier dense et bien conservé jusqu'à la pointe des Sardiniaux.

3) concentration de l'énergie incidente sur la pointe des Sardiniaux et les écueils voisins : Sèche des Sardiniaux et Sèche à l'Huile.

## 11 - CORNICHE DES MAURES ORIENTALES : PETITES MAURES :

### 11.1. PLAGE DE LA NARTELLE (fig.14) :

. Le site : plage orientée N-S, massif embréchantique des Maures orientales, longueur : 750 m, accès facile. Il s'agit d'une des plages parmi les plus intéressantes du littoral des Maures Est.

On note une dérive générale des eaux de surface orientée du Nord vers le Sud, mais point de véritable transfert. La plage elle-même demeure très exposée et présente une érosion hivernale montrant, à chaque saison, un recul de 1 à 2 m ; la pente est de 9° à 11°, les matériaux sont un sable très grossier, voire des granules et petits galets ( $\emptyset$  moyen = 2,8 mm). La compensation est assurée par les décharges de deux ruisseaux (ruisseau de la Nartelle, principalement).

Au voisinage de la plage, dans la zone immergée, se trouvent des cordons festonnés disposés suivant une ligne continue orientée du Nord au Sud.

Ici encore, on notera l'influence des lignes nodales correspondant à des oscillations de type "seiche".

. Mécanismes d'érosion : par fortes tempêtes d'Est, le niveau peut être surélevé de +0,60 m, sous l'action du déferlement d'une houle quasiment frontale, d'où l'absence de transfert notable.

Les sables sont dispersés au large sous l'action de deux courants sagittaux situés au Nord et au Sud de la plage. Une partie du matériel sableux grossier revient au rivage tandis que les sables fins et les pélites restent au large. Le platier rocheux sous-marin prolongeant les affleurements gneissiques du cap des Sardinaux occasionne les réfractions des vagues d'E.SE et amortit leur énergie.

En l'état actuel, il demeure préférable de ne point modifier l'état naturel de cette plage qui demeure assez exposée, par ailleurs, à une "macro-pollution" (bois, mazout, débris flottés divers).

. Zones sous-marines :

1°) Prisme littoral sableux, plutôt grossier, étalé en un lobe détritique jusqu'à -22 m (action des courants sagittaux).

2°) De -22 à -42 m, on observe une "tache" très étalée de sables fins de fonds de baies, comme il s'en présente à Toulon, Giens et Hyères. Cette décharge détritique fine forme un nouveau "lobe" passant aux vases terrigènes côtières (V.T.C.), entre -45 et -50 m.

On notera la disparition de l'herbier à Posidonies en face de la plage.

11.2. PLAGE DE BOUGNON (fig.14) :

Plage orientée NNE-SSW, longue de 650 m. Elle a été utilisée le 18 août 1944, pour le débarquement du R.I.C.M. Elle est directement exposée aux vagues et tempêtes d'Est. La zone sous-marine est analogue à celle de la Nartelle, avec une pente de 8° à 10°, sable grossier ( $\emptyset$  de 0,8 à 1,0 mm), riche en grenat et amphibole.

L'érosion y demeure assez forte, notamment au Sud où deux maisons sont menacées. Une houle frontale à forte cambrure montre de gros déferlements sur l'écueil de Bougnon, à proximité de la ligne de rivage, ainsi que deux courants sagittaux situés de part et d'autre de cette roche.

L'érosion de la plage et de la promenade n'est point jugulées par les actuelles défenses : enrochements à médiocre tenue : blocs d'esterelite et d'amphibolite. Les apports torrentiels sont insuffisants pour compenser cette érosion aggravée par la destruction des herbiers en deçà des écueils.

11.3. PLAGE DE VAL D'ESQUIERES (LA GARONNETTE, LES ISSAMBRES) :

Orientée NE, SW; longueur : 400 m ; bon accès.

L'érosion s'avère moindre qu'aux plages précédentes car les orientations deviennent obliques par rapport aux vagues incidentes des tempêtes d'Est. Il en résulte la formation d'un contre-courant littoral dirigé du SW vers le NE. On a une érosion, formation de "beach cusps", etc... à la pointe rocheuse SE accompagnée d'apports et légers ensablements à la Garonnette ; ce dernier ruisseau amenant des troubles déportés, eux, par fortes pluies et régimes d'Est, du NE vers le SW.

Il en résulte une compensation mutuelle et un certain état d'équilibre, assez relatif, mais sans risque grave pour le littoral. Seul l'herbier à Posidonies montre des ablations et altérations préoccupantes.

11.4. POINTE DES ISSAMBRES :

Les plages de San Peïré et les criques des Issambres montrent des "beach cusps", sables grossiers et galets d'embranchement. Malgré quelques soutirages locaux, il semble y régner un équilibre relatif.

La création de deux épis en enrochements et d'un "terre-plein" sur la pointe rocheuse des Issambres a déterminé la formation d'un alvéole amenant la rétention du sédiment tracté par le courant littoral du NE vers le SW. Ce colmatage, assez heureux, ira en s'accroissant.

11.5. PLAGE DE LA GAILLARDE :

Entre la pointe des Issambres et St Aygulf se situe un littoral rocheux pittoresque, en équilibre mais relativement pollué ("macro-pollution"). Une dérive, dirigée de l'Est vers l'Ouest se manifeste plus au large de la plage.

Cette dernière, longue de 350 m, à très fort taux d'occupation durant la saison estivale, est le siège de forts déferlements et de courants de décharge qui, par gros temps, se traduisent par une érosion de l'herbier. On y observe des circuits tourbillonnaires en cardioïde avec accumulation de débris organiques dans la zone axiale (bois, frondes et souches de Posidonies).

On observe en outre plusieurs criques et "plages de poche", assez polluées (rejets clandestins). Des villas, bâties trop près du rivage sont menacées par les gros temps d'Est malgré des soutènements et murs bétonnés.

12) LES PLAGES DE SAINT AYGULF ET DE FREJUS :

12.1. SITES ETUDIÉS :

Sur 4,7 km, la côte basse et sableuse est orientée SSW-NNE, puis, dès Fréjus-Plage, montre une courbure de l'W.SW à l'E.NE.

Une plaine alluviale s'étend entre deux domaines :

1 - au SSW : littoral rocheux accore de St Aygulf, formé par les migmatites (embréchites) liées au métamorphisme du massif des Maures.

2 - à l'Est : zone rocheuse formée de grés et pélites permien-  
ainsi que de formations complexes volcaniques et volcano-sédimentaires du même âge.

La plaine alluviale, bordée par les plages, résulte essentiellement des récents colmatages de l'Argens. Ces derniers ont été rapides et importants au Quaternaire très récent (Holocène), comme le prouvent les sondages effectués dans la basse vallée (recherches de C. Gouvernet, 1968 ; R. Anglada, et L. Blanc-Vernet, J. Blanc, 1968). Depuis l'époque romaine, l'alluvionnement a progressé de 1.500 m, au Sud de Fréjus. Tout au long de cette histoire récente, les bras de l'Argens et son cours majeur se sont déplacés du SW vers le NE. Les étangs de Villepey représentent les vestiges d'un cours ancien de l'Argens, grossi du Fournel, tandis que les marais et étangs, en forme de demi-lune, au S.E du débouché actuel en matérialisant les dernières extensions. Enfin, à un moindre degré, le Reyran (aujourd'hui canalisé), le Cougourdier, le ruisseau de Vallescure (limite de notre étude) et la Garonne, ont participé à l'ensemblement récent de la plaine de Fréjus.

Le golfe de Fréjus et la baie de St Raphaël (carte S.H.5140) sont largement ouverts aux houles et vagues du large. Les pentes sous-marines y sont relativement élevées ; le précontinent, assez étroit (3,5 à 4 km), s'abaisse brutalement à -200 m à 3.500 m du littoral tandis que les fonds de -1.000 m s'observent à 10 km du rivage (Bourcart et coll., 1958).

La présence des zones volcaniques rocheuses des Lion de Mer et Lion de Terre atténue légèrement l'action des houles d'Est et SE qui se réfractent au niveau de ces îlots. Il n'en sera point de même pour les zones occidentales des plages de Fréjus et pour les littoraux de St Aygulf-Villepey.

## 12.2. LES PROBLEMES (recherches J. Blanc : 1972 et 1973).

Les préoccupations des riverains sont liées à ce degré d'exposition et à l'action des tempêtes particulièrement aggravés par la raideur des pentes sous-marines. Trois points de vue devront être considérés :

- l'érosion et l'amaigrissement des plages,
- le mouvement des sédiments,
- la protection du littoral.

D'autres actions se manifestent encore dans ce secteur : les pollutions, l'"héritage" sédimentaire résultant de la catastrophe de Malpasset,

l'influence de l'Argens et les phénomènes d'eutrophisation des eaux surchauffées en période de canicule (pullulation de Diatomées, Flagellés, Dinoflagellés troublant les eaux, etc...).

Le régime des vents d'Est se traduit par une dérive des eaux littorales orientée du NE au SSW. Réciproquement, le Mistral s.l. (régimes W, NW, NNW) engendre un mouvement dirigé du SSW vers le NNE.

Le transfert dominant s'effectuera en principe, du SW vers le NNE. Il sera confirmé en outre par le contre-courant du golfe de Fréjus (fig.15). Mais on observera des exceptions et des déplacements contradictaires.

### 12.3. LES COURANTS :

1) Courants permanents : le courant géostrophique permanent - ou "courant général", est dirigé de l'Est vers l'Ouest. Le mouvement giratoire de ce courant, encore nommé "courant ligure", concerne les eaux du large dans le golfe de Gènes. Ces eaux se déplacent à faible vitesse (0,3 à 0,5 noeud) et se dirigent vers l'Ouest, c'est-à-dire vers le golfe du Lion.

Ce "courant général" se trouve "accélééré" par des dérives liées aux régimes d'Est. *Il n'a aucune action particulière vis-à-vis des sédiments littoraux.*

Il n'en est point de même pour le contre-courant du golfe de Fréjus (fig.1), déportant les eaux du SSW vers le NNE, puis le NE, en conformité avec la migration globale des sédiments littoraux. Les vitesses mesurées peuvent atteindre 1 noeud et même dépasser cette valeur. Ce contre-courant est "accélééré" à son tour par les dérives liées aux vents des secteurs W, WSW et NW ; la vitesse passe alors de 30 m/mn à 70 m/mn.

### 2) Courants de dérive (ou courants de vent) :

1 - Vents du secteur Ouest (W, WSW, WNW, NW, etc...). Ce sont des dérives rapides de 10 à 40 m/mn en relation avec des vagues à courte cambrure. La faible profondeur des plages de Villepey-St Aygulf assure un freinage rapide, ce qui n'est point le cas pour les plages de Fréjus où la dérive demeure forte. Les déplacements observés confirment le contre-courant du golfe de Fréjus ; les eaux superficielles sont déportées en direction de St Raphaël et du Lion de Mer.

2 - Par régime d'Est, le courant porte vers le SSW et St Aygulf. Dès la base aérienne, la dérive s'accélère et les troubles de l'Argens se trouvent déportés par le mouvement. L'ensablement est manifeste dès la pointe de St Aygulf où les pentes sous-marines diminuent de 1/35 à 1/60.

*Les influences de ces deux types de dérives se compensent naturellement dans la baie de Fréjus. Néanmoins, il apparaît une dominance des dérives*

et transferts de l'W.SW vers le E.NE et NE ; l'action du contre-courant "épaulant" le mouvement.

### 3) Courants de fond :

Leur importance est fondamentale pour la tenue des plages et la protection des rivages.

1 - Radioactivité, "marquage" des sédiments et courants de fond : commencées à la Napoule (Bellaïche, Cheminée, Martin et Pautot, 1966), les recherches furent étendues au golfe de Fréjus (Bellaïche et al., 1969 ; Bellaïche, 1970).

#### . Radioactivité naturelle du sédiment :

Les isorades "naturelles" demeurent parallèles au rivage tout en dessinant de larges ondulations. Une assez forte radioactivité (r.a), supérieure à 100 chocs/sec se manifeste entre 5 et 10 m de profondeur (concentrations d'éléments minéraux naturellement r.a issus des embréchites et du permien : zircons, monazite, etc...). Ces minéraux, généralement assez denses, restent "piégés" entre -5 et -10 m, formant des bandes radioactives tandis que la r.a décroît à 30 chocs/sec à la fois vers le rivage et vers le large.

#### 2 - Vitesses et déplacements sur le fond :

Ces derniers sont sous la dépendance de l'état de la mer. Nous distinguerons (1) :

a) mer "moyenne" : Période (T) = 4 sec. Longueur de la houle : L au large = 25 m. Hauteur (H) = 0,55 à 1,10 m. Vitesse du vent (W) = 11 à 16 noeuds.

Ce régime, très fréquent dans le golfe de Fréjus, amène une mise en suspension du sédiment fin ("poudres") et du sable sur le littoral. Pour H = 1 m, l'érosion sur le fond sableux se manifeste jusqu'à -25 m.

b) tempête "normale" : T = 6 sec ; L = 56 m (L au large) où la profondeur  $\geq L/2$ , W = 22 à 25 n., H = 1,3 à 2,5 m. Mise en suspension du sédiment fin jusqu'à 60 m de profondeur, c'est-à-dire jusqu'aux vases du large. Ce régime s'observe plusieurs jours par an.

A 10 m de profondeur, le courant de fond atteint une vitesse de 0,50 m/sec ; de 5 à 3 m de profondeur, v atteindrait 2,30 m/sec.

c) forte tempête à très forte tempête : T = 7 à 8,2 sec, L au large = 75 à 88 m, H = 2,5 m à 6 m, W = 23 à plus de 40 n. Le déplacement du sédiment fin (sablon, poudres) peut se manifester pour toute la baie de Fréjus,

---

(1) les cas de "beau temps", mer "belle" ou "peu agitée", où il ne se passe rien ou peu de choses, ne sont point abordés ici.

jusqu'à -90 m. De tels régimes sont assez exceptionnels, mais non absents et il arrive qu'ils se manifestent quelques heures ou quelques journées par an. Les diagrammes de B.W. Logan permettent de calculer des vitesses de déplacement de 0,80 m/sec à -20 m, 1 m/sec à -15 m et 1,5 m/sec par -10 m. L'énergie est donc suffisante pour mettre en mouvement des blocs, galets et sables grossiers.

. Expériences de marquage des sédiments :

Bellaïche et al. (1967, 1970, 1972) ont effectué un marquage du sédiment par un radio isotope de l'or ( $^{198}\text{Au}$ ) dont la période de 27 jours ne présente aucun danger. Le marquage a porté sur 2 kgr de sable recueillis à -5m dans le golfe de Fréjus. Après adjonction de l'or. r.a, ce sédiment a été immergé en son lieu de prélèvement. La détection a été effectuée au scintillomètre

Après correction de la r.a naturelle ("bruit de fond") et de la décroissance de la r.a de  $^{198}\text{Au}$ , les résultats suivants ont été obtenus :

1) régime de Mistral (N s.l.) : courant de fond à 9,5 cm/sec, vitesse du vent (W)  $\approx$  3 à 6 m/sec.

2) régime de NE : courant de fond à 26 cm/sec au maximum, valeurs moyennes à 13,5 cm/sec.

La tache radioactive a demeuré quelques jours saturée à 15.000 chocs/sec. La plus grande partie du sédiment demeure à la même place (-5m). Seules les parties les plus fines migrent vers le NNE et l'E.SE. La mesure moyenne des courants de fond donne une vitesse de 14,3 cm/sec. Cela, est à comparer aux expériences de Pautot à l'embouchure de l'Argentière (golfe de St Tropez), où le sédiment s'est déplacé, cette fois, de 500 m vers l'Ouest.

Tout en restant prudent sur ces expériences précieuses mais limitées, il semblerait :

1) que le sédiment migre sur les petits fonds dans le sens des impulsions reçues.

2) que le sédiment fin se déplace vers le large en suivant la pente - ce qui amène un déficit sur les plages.

Ces chiffres ne correspondent qu'à des valeurs maximales et probablement exceptionnelles. On peut émettre les remarques suivantes :

- influence des secteurs non abrités (St Ayulf) soumis à toutes les grosses houles du large - et cela assez fréquemment dans l'année.

- il n'est point tenu compte de la pente : or cette dernière, parfois forte, oscille entre 1/15 et 1/60. Ainsi de gros blocs peuvent être tracés dans les chenaux.

Pour ces pentes importantes, talus et chenaux, on note<sup>des</sup> différences entre les résultats observés et le calcul, tantôt sous-estimées ou réciproquement.

Pour  $T = 6$  sec, on peut établir un courant de fond de 0,50 m/sec à -10 m et un flux de vitesse voisine de 2,30 m/sec de -3 à -5 m, déplaçant, granules, galets et petits blocs vers le large, ce que l'on constate effectivement, immédiatement après le gros temps. Cela peut expliquer encore les chenaux creusés, de 0,50 à 1,20 m de profondeur, dans les sédiments sableux, imputables à l'action de courants sagittaux.

### 3 - Courants sagittaux :

Ce sont des courants dirigés vers le large compensant l'afflux des eaux sur un littoral. Véritables "torrents" dans le milieu marin, ils déplacent une "veine" d'eau assez étroite, malgré les vagues portant à terre, puis après une trajectoire variable, reviennent au littoral.

*Les courants sagittaux ont été observés sur les plages de St Aygulf et de Fréjus.*

1°) Plages de St Aygulf : les courants sagittaux empruntent des chenaux, profonds de 1 m, séparés de flèches ou "langues" sableuses régulières. L'ensemble, depuis l'embouchure de l'Argens, forme un réseau sub-périodique. Les caractères observés sont les suivants :

- largeur des chenaux : 40 à 60 m
  - espacement des flèches sableuses (interfluves) : 80 à 120 m
  - orientation légèrement infléchie vers le SSW, se combinant avec les cordons festonnés liés aux seiches.
  - colmatage lent et non-fonctionnement par beau temps.
  - sédiment des chenaux : généralement plus grossier jusqu'à -5 m
- Des blocs issus de la banquette d'un restaurant menacé ("les Sables d'Or"), se retrouvent à -3 m.

- ces chenaux empruntés par les courants de décharge sont pollués par de nombreux "galets" de mazout, ovoïdes et allongés jusqu'à une profondeur de -5 m. Il se forme alors des masses noires et visqueuses agglutinant le sable sur le fond.

- présence d'anti-dunes de granules et sables grossiers dans les chenaux, de -2 m à -8 m. Cela implique un *fort courant de retour en partie responsable de l'érosion du littoral*.

### 2°) Plages de Fréjus :

La zone orientale apparaît la plus érodée, entre l'épi et le ruisseau (torrent de Vallescure + La Garonne) limitant les communes de Fréjus et St Raphaël.

Trois chenaux de courants sagittaux ont été identifiés jusqu'à une profondeur de -6 m. Ils entaillent le sédiment sur 1 à 1,30 m de profondeur. On y trouve de larges ripple-marks gaufrées à crête aplatie ; aucune

périodicité n'a été observée ; la sédimentation y est assez grossière (granules sables mal classés, etc...), surtout jusqu'à -3 m. A -5 m : sable moyen et à -15 m, sable fin. Une sélection granulométrique paraît s'établir en fonction du profil (forte pente : 1/20 à 1/30) et de l'énergie du "flot de fond", ou courant de retour.

La turbidité de l'eau, même par beau temps relatif, due aux Diatomées et pérites en suspension, rend difficile les observations directes.

#### 12.4. LES CORPS SEDIMENTAIRES :

Deux types de corps sédimentaires sont observés : les rides littorales et les cordons festonnés pré littoraux.

1°) Rides littorales : ce sont des constructions classiques, observées sur tous les rivages et liées aux déferlements des vagues incidentes. Ces rides réalisent un "volant" de matériaux mobiles protégeant le littoral. Par gros temps elles s'éloignent du rivage en fonction de l'extension de la zone de turbulence. Par beau temps au contraire, elles se rapprochent du littoral et deviennent coalescentes à la plage qui s'engraisse.

On observe les rides littorales à la plage de Villepey - St Aygulf, à la base aérienne, plus rarement à Fréjus-Plage. *En aucun cas il ne faudra détruire ou modifier ces constructions.*

#### 2°) Cordons festonnés pré littoraux :

Découverts par Clos-Arceuduc (1964), étudiés par Bellaiche (1965, 1966, 1970, 1972), il s'agit de cordons sableux sous-marins en forme de festons et de demi-lunes résultant de phénomènes d'interférences pour des oscillations réfléchies sur des "parois" de baies ou de golfes. Les ondes concernées peuvent être la houle et des oscillations de seiches. Au niveau des nodales où se trouve une zone d'énergie minimale, on observe :

- le dépôt de sédiments (formation d'un corps sableux sous-marin)
- une élévation de température (eaux réchauffées et relativement peu brassées)
- une pollution maximale par accumulation des déchets macroscopiques (bois, bidons, "galets" de mazout).

Lorsque les nodales sont normales ou obliques par rapport au littoral et quand elles s'anastomosent avec des rides (ou une ride) parallèles au littoral, on a un système de cordons festonnés, comme cela a été observé à Giens et à Pampelonne (Rivière, Clos-Arceuduc, Blanc). La première ride se trouve à L/4 du rivage, la deuxième et les suivantes sont espacées de L/2, L étant la longueur d'onde moyenne de l'oscillation incidente (exemple de la Camargue).

Ces cordons festonnés s'observent dans la zone méridionale du golfe de Fréjus, le long des plages de Villepey-St Aygulf. Bellaïche (1970) estime que leur formation correspond à des interférences entre les vagues d'Est (ou d'Ouest, selon les cas) et des oscillations transverses causées par les pointes de St Aygulf ou des Lions.

Le rôle des houles frontales d'Est, à grande longueur d'onde paraît primordial. En effet, on les observe en Provence sur des littoraux principalement orientés N-S, là où justement se trouvent les cordons festonnés (Bellaïche : Fréjus, Pampelonne ; Blanc : Giens-Est). Les sinuosités des isora-des naturelles seraient alors en relation avec les cordons festonnés, là où s'effectueraient des triages minéralogiques (zircons, monazites) par les vagues et les courants de fond.

Ces cordons festonnés pré-littoraux, liés ou non à des seiches et en relation avec les grandes houles d'Est, se traduisent par un engraissement des petits fonds (et par une pollution annexe). *Leur mécanisme de formation a pour conséquence directe la protection du rivage sableux des plages de St Aygulf. De ce fait, les dragages et emprunts de matériaux sous-marins sont à prohiber en ces lieux (fig.16).*

#### 12.5. LES TYPES DE FONDS (fig.15) :

La compréhension des mécanismes littoraux implique la connaissance des milieux sous-marins du golfe de Fréjus.

Les levés sous-marins de Nesteroff (1965) et Bellaïche (1965, 1970) permettent de distinguer les types suivants, à partir du rivage :

1°) Sables détritiques mobiles du "prisme littoral", prolongeant la plage sous-marine et les petits fonds, jusqu'à -12 m ou -20 m selon les cas ; leur extension est plus grande dans le secteur méridional (St Aygulf), en voie d'engraissement et où se situent les cordons festonnés pré-littoraux.

2°) Sables détritiques associés à un épandage superficiel lié à la catastrophe de Malpasset (rupture du barrage le 2 décembre 1959). Cinquante millions de m<sup>3</sup> ont été brutalement déversés en mer formant un nuage trouble de 10 km. Bellaïche (1965) estime que 4,5/5.000 m<sup>3</sup> de sédiments se sont déposés dans le golfe de Fréjus (limons et sables fins, érosion des plages puis reconstitution des dépôts littoraux).

Avant la catastrophe, la "mud line", marquant la limite des "vases terrigènes côtières" (V.T.C.), se situait vers -15 m (Nesteroff, 1965). Après la rupture du barrage de Malpasset, la mud line a été reportée entre -20 et -23 m (Bellaïche), soit un recul de 400 m vers le large. Les carottages effectués dans le golfe de Fréjus montrent qu'il s'agit d'un dépôt superficiel

de 0,30 m d'épaisseur, au maximum, recouvrant la V.T.C. *Ce sédiment assez fluide est mis en suspension lors des tempêtes, ce qui amène une coloration générale (trouble) des eaux du golfe.*

3°) Les vases terrigènes côtières commencent en deçà de la mud-line, de -20 à -23 m ; elles se poursuivent largement sur le précontinent au-delà de l'isobathe 50 m. Les V.T.C. correspondent à un sédiment détritique fin, riche en pélite et d'origine essentiellement fluviatile (épandage de l'Argens) plutôt que pélagodétritique. Par fortes tempêtes, le sédiment brun-foncé des V.T.C. peut se trouver superficiellement remanié et mis en suspension tout comme le dépôt précédent.

4°) Les fonds rocheux, herbiers à Posidonies, sables et graviers du détritique côtier, s'observent au NE (St Raphaël, Rochers des Lions) et au SW du golfe de Fréjus (pointe de St Aygulf).

#### 12.6. LES ZONES ERODEES :

##### A) Plages de St Aygulf (fig.16) :

L'érosion y est moins grave qu'aux plages de Fréjus car on observe des mécanismes naturels de protection :

1) alimentation sédimentaire en provenance de l'Argens et déportée par le transfert du NNE au SSW.

2) réduction des pentes sous-marines : 2° à 4° et colmatage de la partie méridionale du golfe de Fréjus.

3) protection sous-marine efficace due au système des cordons festonnés pré-littoraux (absent à Fréjus).

En revanche, les chocs frontaux y sont très violents du fait de l'exposition aux vagues du large. Les zones les plus érodées sont, par ordre d'importance :

1) plage amaigrie à 350 m au NNE de l'épi et de part et d'autre du restaurant des Sables d'Or.

2) large plage bordée de dunes, non desservie par la route, de 600 à 1000 m au NNE de l'épi. L'ablation, en progressant, accentue le tracé sinueux du littoral.

3) choc des vagues à forte cambrure au Sud de la plage, entre l'épi et le débouché des étangs de Villepey, Un enrochement en estérellite a été établi en cet endroit.

Causes : 1) choc des vagues obliques,

2) action des courants sagittaux,

3) destruction de la flèche de la rive droite de l'Argens accentuée par les déferlements. L'extraction du sable, amène un déficit continu en

sédiment, entravant l'action des mécanismes naturels compensateurs.

B) Débouché de l'Argens ; rive méridionale (fig.17) :

Erosion rapide sous l'action des causes précitées. La mer a gagné sur les dunes pour des profondeurs de 5 à 10 m. La flèche observée en 1971 et 1972 est détruite.

L'érosion rapide de ce site, actuellement désert, non viabilisé et très pollué (rejets de l'Argens) n'apparaît point trop préoccupante en l'état présent. Néanmoins, le déficit sédimentaire se répercute vers le S.SW, pour les plages de St Aygulf, à fort coefficient de fréquentation et d'accès aisé. Ce déficit est constamment aggravé par les exploitations actives du sable de l'Argens.

C) Plages de Fréjus (fig.18 ; expertises J. Blanc, 1972, 1973) :

Le secteur Est apparaît le plus menacé, notamment contre la jetée occidentale du débouché canalisé du ruisseau de Vallescure grossi de la Garonne, là où les pentes sous-marines sont maximales.

Ensuite vient le côté oriental de la plage contre l'épi court médian. D'autres ablations plus discrètes s'observent à l'E.NE des accrochements réfléchissants du domaine militaire (Ecole de maistrance aéro-navale). La raideur des pentes diminue en ces secteurs.

Causes de l'érosion : elles sont multiples :

1) action des forts rouleaux obliques frontaux E, E.SE ou W.SW.  
2) absence d'alluvionnement notable ; la Garonne, le ruisseau de Vallescure ou le Cougourdié ne sauraient être comparés aux débits solides de l'Argens et du Reyran, déportés, eux, vers le S.SW.

3) écran naturel des écueils et flots orientaux (Lion de Mer, Lion de Terre), formant un barrage et déflétant les branches littorales de la dérive générale. L'aménagement des grandes jetées et installations portuaires à l'Est de St Raphaël accentue cette action. Ainsi, les plages de Fréjus sont peu alimentées en sédiment.

4) absence de ride littorale, donc de freinage efficace des ondes incidentes. Cette absence (assez générale), confirme le bilan sédimentaire déficitaire - résultat de l'accentuation du swash (jet de rive : uprush) et du courant de retour ("flot de fond"). Les pentes trop fortes (13° à 17°) et l'absence d'obstacles réfléchissant aggravent les actions érosives. On notera encore l'absence de cordons festonnés protégeant le littoral.

L'édification d'épis longs, jusqu'à l'isobathe 5 m pourrait être dangereuse car elle se traduirait par de fortes érosions dans les "zones d'ombre".

Nous conseillons ici l'établissement de très robustes brise-lames frontaux en enrochements lourds (gros blocs d'esterellite par ex.), faiblement inclinés ("fruit" de 3/1 à 2,4/1), dépassant le niveau moyen de la mer de + 2,5m et implantés parallèlement à l'isobathe 5 m. Ainsi, les gros déferlements seront réalisés avant que l'onde n'atteigne le littoral à protéger.

Les fortes pentes naturelles rendraient trop onéreux des ouvrages situés plus au large ; en outre, leur efficacité serait douteuse car de nouvelles vagues fortes (vagues de translation) pourraient se reformer.

En plus de leur situation parallèle aux isobathes, ces brise-lames devront être interrompus afin d'assurer le renouvellement de l'eau des plages par phénomène d'upwelling. On atténuera ainsi les possibilités de pollution, fermentations, voire eutrophisations en milieux relativement confinés. En face des interruptions (passes), les phénomènes d'érosion seront accentués. On prévoira alors une défense frontale rapprochée à -3 m.

Une certaine quantité de sédiment pourra alors s'accumuler dans les abris ainsi créés. Alors, on pourra étudier des recherches artificielles si la nouvelle pente des talus le permet - mais en ce cas seulement.

La jetée en enrochement, située à l'Ouest du débouché des torrents de Vallescure et de la Garonne, pourrait être prolongée par un "ergot" orienté E-W, comme cela a été pratiqué avec succès à Carnon et au Grau-du-Roi (onde diffractée). De même, les brise-lames devront comporter des extrémités arquées et infléchies vers le littoral afin de mieux permettre la diffraction de la houle incidente et des phénomènes d'interférences avec dépôt de sédiment souhaitable dans les passes.

. L'implantation récente d'un émissaire à 1.250 m au large de la plage de Fréjus, effectuée après notre expertise relative à l'érosion du littoral, et sans notre avis, paraît devoir attirer les commentaires suivants :

1) retour possible d'une partie des effluents vers le littoral de St Raphaël et les installations portuaires de Santa Lucia du fait de la présence du contre-courant de la baie de Fréjus.

2) une partie des résidus finira cependant par être déportée, après quelques "tourbillons", par la dérive générale, dirigée vers le S.SW, qui se manifeste à 1 km environ au S.SE du débouché de l'émissaire.

3) la forte pente (de 0 à -30 m en 1250 m) et le degré d'exposition (turbulences) du milieu, les courants sagittaux, etc... en relation avec les vagues incidentes d'Est, assureront, en contre-partie, une bonne dilution.

4) risques d'eutrophisation en période estivale (eaux brunes, etc...). (1).

---

(1) phénomène observé, il est vrai, antérieurement à l'installation de l'émissaire.

. Les aménagements portuaires récents, implantés à Santa Lucia (St Raphaël), accompagnés de remblais pris sur la mer, ont amené la destruction du talus littoral et de l'herbier, à vrai dire déjà fort dégradés.

Les jetées longent l'isobathe -7 m et utilisent les dispositions naturelles, c'est-à-dire l'abri des Lions de Terre et de Mer ; obstacles diffractant très efficacement les houles incidentes d'Est, SE et E.SE. La résistance de ces jetées et leur construction paraissent bonnes à l'exception de quelques points anguleux dans leur tracé. L'abri qui demanderait une étude détaillée, apparaît satisfaisant pour tous les régimes, mais les eaux portuaires, assez difficilement renouvelées, connaissent déjà une pollution assez forte.

### 13 - LA CORNICHE DE L'ESTEREL :

#### GEOLOGIE :

Le massif de l'Esterel (1) est caractérisé par ses "porphyres rouges" donnant un paysage caractéristique. Il s'agit en fait d'un massif volcanique acide constitué de rhyolites, d'âge permien. Par la suite, toujours au Permien, une phase volcanique basique, cette fois, est représentée par des basaltes à texture doléritique et des trachyandésites microlitiques. Enfin, une dernière extrusion éruptive correspond à la formation des laccolites de l'Esterellite du Dramont, d'âge tertiaire (61 à 53 millions d'années).

Les formations volcaniques acides du Permien inférieur, étudiées par Bordet et Boucarut, sont en certains cas, assimilées à des ignimbrites, notamment les épanchements les plus puissants (coulées A5 et A7), formés de rhyolite "amarante" (texture vitroclastique avec "flammas", transformée par recristallisation en texture subgranoblastique). Ces ignimbrites proviennent d'éruptions fissurales et ont envahi le graben de l'Esterel, il y a environ 270 millions d'années, "noyant" un paléo-relief (Boucarut). La couleur rouge éclatante des rhyolites, donnant au paysage ce caractère très singulier, proviendrait de la dévitrification des laves libérant un pigment d'oxydes de fer (hématite). Quant aux ensembles pélitiques, également de couleur rouge ou lie-de-vin, d'âge permien, et bordant le massif volcanique de l'Esterel, ils sont assimilés à des poussières et limons compactés mis en place par le vent ou les eaux et enrichis de matériaux éruptifs.

Les zones éruptives du massif et du littoral de l'Esterel ont

---

(1) dire : "Esterel" et non "Estérel", comme cela est fréquemment pratiqué.

montré, au cours des temps et jusqu'à l'époque actuelle, un comportement mécanique particulier, apte aux cassures nombreuses et aux diaclasations. Nous étudierons l'importance de celles-ci dans l'établissement du modelé littoral.

#### POINTE DES LIONS - PLAGE DU DRAMONT

A la pointe des Lions, le contre courant de la baie de Fréjus (cf. chapitre 12) "se referme" sur la dérive générale littorale, orientée de l'Est à l'Ouest. Ce secteur est très exposé, contrairement au mouillage de Santa Lucia, avec une forte turbulence au voisinage d'une zone d'écueils correspondant à des dykes sous-marins (rhyolite) au travers de la série pélitique de St Raphaël.

. La plage du Dramont (ou Drammont, Carte S.H.), célèbre depuis le débarquement improvisé (1) du 15 août 1944, montre une pente parmi les plus élevées du littoral (moyenne : 20°, maximum : 22°), formée de gros galets d'esterellite. Le courant de décharge, vers le large y est très violent et dangereux par gros temps. Il n'y a pas de ride littorale et de protection naturelle ; néanmoins, il ne semble point y régner d'érosion notable. On notera l'abri, vis-à-vis des houles de SE, réalisé par le cap Dramont et l'île d'Or.

. Les fonds sous-marins du Dramont sont influencés par l'écran de l'île d'Or et de son prolongement immergé (rhyolites) : Basse des îles d'Or, formant une bonne protection. Il en résulte :

1) la formation d'un lobe sableux, très lessivé, jusqu'à -35 m ; les courants de décharge tractent les gros galets jusqu'à des fonds de -5 m.

2) la dégradation mécanique de l'herbier à Posidonies avec des "tombants" et des chenaux "inter-mattes" jusqu'à -12 et -15 m.

3) le détritique côtier, succède jusqu'au contact des V.T.C. (mud line) à -45 m, à 2m.n. du littoral en cet endroit.

4) au large se trouve le "banc de Fréjus", non étudié, où l'on retrouve le détritique côtier et les graviers concrétionnés (Banc Nouveau : -65 m). Sa nature géologique demeure inconnue (coulée rhyolitique ?) sous son revêtement sédimentaire.

#### RADE D'AGAY (fig.19)

La courbe harmonieuse de la rade d'Agay est une caractéristique (2)

---

(1) A la suite de l'échec de l'opération "amphibie" aux plages de Fréjus.

(2) Cette courbure servait de repère à A. de Saint Exupéry, lors de chaque mission aérienne effectuée en territoire français occupé (1944).

de la topographie littorale. Il s'agit d'une véritable "calanque" au sens géologique du terme, dominée par les "Mornes Rouges d'Agay". C'est la plus grande plage de l'Esterel (1.800 m), accès aisé et très forte occupation estivale, bien desservie (route, train).

. Hydrodynamique : très forte exposition aux houles du Sud et S.SE. Abri excellent pour les régimes d'Ouest, W.NW et Est.

On observe un transfert littoral (fig.19), en régime normal, orienté de l'Est à l'Ouest, sans courant sagittal mais montrant une érosion à l'Est (Auberge), avec sables grossiers et "cusps" de galets rhyolitiques. A l'Ouest, au débouché du ruisseau d'Agay, le remblaiement est modéré. Ce torrent à forte pente, provoque des affouillements aux culées supportant le pont de la R.N. 98.

La zone orientale est érodée par les fortes tempêtes où le niveau est surrélevé de +0,50 m à +0,60 m. Il en résulte le déchaussement des "plots" bétonnés protégeant la promenade. Les "cusps" sont très grands pour la région et témoignent d'actions hydrodynamiques locales mais fortes (10 à 9 m). Leurs dimensions passent à 6,7 m vers l'Ouest où s'atténuent les érosions.

Nous conseillons ici, après une étude plus détaillée, une série d'épis transversaux courts et serrés.

En zone orientale, des platiers résistants et roches sous-marines, dévient les vagues incidentes, en bordure du phare d'Agay (fig.19) et de la pointe de la Baumette (ou Beaumette). Enfin, il convient de noter une regrettable pollution de la plage et des petits fonds, par l'action de trois tuyaux d'arrivée de réseau "pluvial", mêlé à des effluents en plus de l'influence du ruisseau d'agay, drainant le vallon.

. Fonds : leur distribution est influencée par le transfert de l'Est vers l'Ouest :

1°) prisme littoral (galets, sables rhyolitiques), jusqu'à -7 m, prolongé par un curieux lobe asymétrique revenant vers l'Est (fig.19), sous l'action d'un contre-courant de fond, tourbillonnant dans la rade d'Agay.

2°) herbier à Posidonies, bien développé jusqu'à -30 m, au-delà de la roche sous-marine de Périguiet (dyke ?).

3°) Détritique côtier jusqu'à -60 m.

4°) V.T.C. vers -60 m, -65 m.

#### CALANQUE D'ANTHEOR

. Un littoral abrupt et très exposé s'observe de la pointe de la Baumette à la pointe des Vieilles d'Agay (1). L'écueil des Vieilles, la roche

---

(1) Fonds de pêche artisanale : cf. l'espèce de poisson "Vieille".

de la Boute et la balise de La Chrétienne représentent les reliquats du volcanisme permien : dykes et cheminées, formant des roches sous-marines dangereuses et des hauts-fonds, jusqu'à 2 m.n. du rivage.

Le "tombant de la Chrétienne" constitue l'un des plus beaux paysages sous-marin de la région. A son pied se situent plusieurs épaves antiques, chargées d'amphores. La roche littorale montre d'intéressants biotopes à *Mélobésiées*, *Rissoella*, ainsi que deux platiers d'abrasion à +0,40 m et +5 m. Le niveau à +5 m, étudié par Lutaud et Chamley, s'élève plus à l'Est ; son âge antérieur aux éboulis würmiens à éléments "polyédriques" (rhyolite), demeure encore difficile à préciser en l'état actuel de nos connaissances ; il semble se rattacher au cycle tyrrhénien.

. La Calanque d'Anthéor, surmontée de son viaduc, est "enchassée" dans les rhyolites amarantes  $R_3$  du massif volcanique du cap Roux. Ce sont des plages "de poche" formées de sables grossiers et de granules, en équilibre relatif (érosions hivernales - colmatages estivaux).

Les roches les plus résistantes sont les dykes et les culots volcaniques indurés. *Les zones érodées sont essentiellement les versants volcaniques décomprimés et faillés, riches en éboulements.* A Anthéor, un virage de la route, menacée en cet endroit, a dû être protégé au front de mer par quatre rangées superposées de plots de béton.

La voie ferrée a été prudemment établie plus à l'intérieur du massif en s'éloignant ainsi du littoral instable et décomprimé.

#### LA DISPOSITION DES FONDS EST COMMANDEE PAR LES PROLONGEMENTS ROCHEUX SOUS-MARINS DE LA POINTE DES VIEILLES D'AGAY.

Les coulées rhyolitiques amarantes sont fracturées par un réseau complexe de fractures, orientées E-W. Cette disposition détermine la formation de spectaculaires "corridors" sous-marins ainsi que le grand "tombant" au Sud de la balise de la Chrétienne.

L'agitation est extrême en ces lieux, battus par tous les régimes et où il serait souhaitable d'entreprendre des recherches détaillées. L'herbier ceinture les îlots et les écueils, borde les "sécants", vers le large, suivant une disposition mal connue, avec chenaux de ravinement, sables lessivés, etc...

Ensuite, se trouve la "ceinture" des sables et graviers du détritique côtier, de -35 à -75 m. G. Giroud d'Argoud et moi-même y avons étudié des graviers rhyolitiques, des sables à thanatocoenoses holocènes, des graviers coquilliers, etc..., à l'emplacement du banc des Vieilles, de -50 à -100 m. Il s'agit de gîtes d'agrégats potentiels, mais inexploitable en

fonction des conditions actuelles. Enfin, les V.T.C. s'observent pour une "marge" bathymétrique comprise entre -65 et -80 m, en général.

### LA CORNICHE "SAUVAGE" DE L'ESTEREL

Sa portion la plus belle s'observe depuis la pointe des Vieilles d'Agay jusqu'au Trayas. Elle est dominée par le rocher du Saint Pilon et les pics du cap Roux (440 m, 452 m), aux bases creusées de cavernes (1). Ces roches se prolongent en mer par des dykes et des entablements volcaniques.

A partir du cap Roux, l'orientation du littoral devient franchement N-S et ce dernier demeure toujours très exposé : roche d'Aurette, abri du Trayas, dominé par les pics d'Aurette (323 m) et de l'Ours (496 m). A l'Est de la pointe du Trayas, à Espéro-Pax (Trayas supérieur), se termine le littoral varois (pointe de Notre Dame), avec la "zone sauvage".

Alors, pour le département des Alpes Maritimes, reprennent de nouveaux aménagements (ports de la Figueirette, de la Galère, au Nord de la pointe de l'Esquillon, etc...). La pression humaine s'accroît, presque sans transition, sur ce littoral original bâti et "loti" avec dynamisme et souci de rentabilité immédiate.

Les caractères propres à ce secteur sont les suivants :

1) Abondance des grottes marines : cap Roux, Trayas et Théoule. Certaines sont pénétrables en barque, dégagées dans les zones intensément diaclasées et fissurées. Près du cap Roux, certaines présentent sur leurs parois, des traces d'érosion sub-aérienne ("taffonis").

2) Décompression du massif volcanique au cours des âges : cela amène des zones faibles, génératrices d'écroulements et de glissement de versants.

3) Eboulis cryoclastiques würmiens à éléments polyédriques, garnissant jusqu'à la mer les versants du cap Roux, pic de l'Ours, le Trayas, Théoule. Ils surmontent le niveau (thyrrhénien ?) d'abrasion marine et favorisent des glissements locaux. Vers le Trayas, des soutènements importants ont été édifiés afin de protéger la voie ferrée et la route. Aux criques du Trayas des plots bétonnés ont été installés du front de mer, assurant une protection "dans les deux sens".

4) Blocs éboulés et talus détritique grossier (galets de rhyolite) dans les criques et plages de poche des Nissards, St Barthélémy, Maubois,

---

(1) Les grottes et cavernes "aériennes", en terrains volcaniques posent un problème. Nous évoquerons ici les phénomènes mécaniques préparatoires, puis, accessoirement, la cryoclastie et l'érosion alvéolaire. (grottes du Saint Pilon, vallon de Saint Barthélémy, etc...).

Aurette, le Trayas, etc... Dès la profondeur de quelques mètres, on trouve un herbier continu et en bon état, avec floraison de Posidonies en 1973 et formation de graines en juin 1974.

. Les fonds montrent une disposition complexe, encore mal connue dans le détail :

- l'herbier à Posidonies se régénère naturellement, malgré certaines érosions mécaniques locales, tout au long de la "Corniche Sauvage", non polluée.

- les courants de décharge sont canalisés par les "corridors" sous-marins ou entre les écueils, notamment à la prolongation du cap Roux. L'herbier y forme une zone étroite, très tourmentée.

- le détritique côtier, débutant à -25 ou -30 m, s'étend en-deçà de -120 m, localement recouvert de graviers à biocoenoses actuelles et fossiles.

- les inflexions de l'isobathe -60 m, devant Anthéor et Espéropax, ramènent le faciès des V.T.C. à proximité du littoral accore de l'Estérel réduisant ainsi la "frange utile" du précontinent à 1 ou 0,5 m.naut.

. Conseils relatifs à la protection de la Corniche "sauvage" de l'Estérel :

1) La "pression humaine" enserrme la zone sauvage de l'Estérel, d'Anthéor au Trayas. Il importe de prévoir et maintenir une zone avec interdiction absolue de construire, au littoral et au versant de l'Estérel.

2) Rivages accores et exposés, parfois instables et toujours décomprimés. Risques de glissements de versants, dessertes malaisées ; s'abstenir pour tout aménagement portuaire, etc...

3) Protection des fonds marins, peuplements médio-littoraux, infra-littoraux et grottes maînes. Les rejets d'effluents, même traités, et les décharges devront être interdits. On laissera s'opérer la régénération naturelle des herbiers à Posidonies.

. Menaces locales :

- décharges clandestines dans les criques et plages de poches, dépotoirs, épaves de voitures (plus de dix au 26.3.1974, pour la zone considérée).

- rejets clandestins (ou non) d'effluents domestiques au Trayas, Théoule. La dégradation des fonds et notamment des herbiers, y est immédiate et correspond exactement à la zone où s'exerce la "pression humaine".

1°) Mécanique des roches et des versants : les dispositions mécaniques initiales de la roche, et non l'érosion marine proprement dite, rendent compte du tracé de la corniche de l'Esterel.

Le massif de l'Esterel est formé de roches rigides offrant des réactions brisantes aux contraintes triaxiales. Il en résulte un réseau de diaclases et la perte de cohésion ainsi créée favorisera une fragmentation en lames et aiguilles. En général, on notera l'absence de ruptures plastiques. La charge de rupture des rhyolites demeure très élevée : pour une densité comprise entre 2,7 et 2,9, les essais montrent une charge à 1.360, 1594 et 2.400 bars. La charge de rupture moyenne oscille entre 1.400 et 2.400 bars ; seuls les granites, basaltes et certains calcaires très compacts ont une résistance supérieure et nous avons affaire ici à un matériel du type "monolithique" élastique (Tallobre). Ainsi, les contraintes se manifestent par une diaclason et des failles délimitant des "plots" allongés, lames et monolithes.

La stabilité du massif littoral dépendra du degré de liaison et de cohérence des plots entre eux. Des ouvertures, fissures et discontinuités mécaniques s'établiront pour des pressions supérieures à 1.700 bars.

Il en résultera, au versant d'air, des détente localisées. Les modifications eustatiques du Quaternaire et notamment les régressions, amèneront une décompression de toute la bordure littorale. Les détente se traduiront par des efforts de traction sur les versants, d'où les fissurations, déjà bien ouvertes avant le Würm, car colmatées par l'éboulis "polyédrique", préparant les zones d'éboulements.

## 2°) Evolution des versants :

1 - Phase de compression, contraintes endogènes (tectonique) emmagasinées (compression triaxiale) au sein du massif.

2 - Phase de détente au voisinage du versant : formation d'un réseau de fissures et diaclases, perpendiculairement aux efforts de traction ("traction" négative pour la décompression du versant). Il en résulte une fissuration parallèle au littoral accore.

. la phase 1 est responsable de la rupture généralement oblique des rhyolites : diaclases inclinées de 30° à 50° (cap Roux, Trayas). En zones plus dures, cet angle diminue.

. la phase 2 amène une désorganisation du massif libérant, par des sous-phases successives, les tensions : des plans obliques se fissurent, des fentes se ramifient, souvent perpendiculairement aux fissures de décollement.

3 - Chute de blocs, effondrements de parois, etc... Une période très longue peut s'écouler entre les phases 2 et 3, en l'absence de séismes

ou d'actions tectoniques. De très gros blocs éboulés et des monolithes basculés s'observent au Pic de l'Ours et correspondent à une évolution probablement assez récente et, en tous les cas, postérieure à l'éboulis "polyédrique" würmien.

3°) Orientations dominantes des diaclases : par ordre d'importance :

1 - N.NE - S.SW : criques du cap Roux, formées par ce canevas tectonique (et non "calanques courtes"), formation des "corridors" délimitant les écueils, grottes marines, etc... (Vieilles d'Agay, Trayas). Ces fissures sont, en gros, parallèles au littoral. Elles sont le point de départ des éboulements du rivage et des tranchées de la route, voie ferrée et des déplacements des piles du viaduc d'Anthéor. Ces phénomènes s'amortissent rapidement vers l'intérieur du massif où la zone décomprimée est moins étendue.

2 - W.NW - E.SE : criques, plages de poches, orientation du vallon d'Anthéor, découpage de la zone sous-marine des écueils de la pointe des Vieilles et de l'île d'Or du Dramont.

3 - diaclasation plus discrète orientée N-S avec quelques écarts de  $\pm 10^\circ$ , affectant surtout les coulées indurées.

Vers Agay et les platiers sous-marins de Boulouris, on notera l'influence des joints et contacts lithologiques orientés E-W, liés aux affleurements pélitiques très bien stratifiés, ainsi qu'une diaclasation des Mornes Rouges orientée W.SW - E.NE, retrouvée aux platiers du cap Dramont.

Ces observations ont été réalisées par un examen du littoral et du front de mer ainsi que par une mission photographique aérienne au 1/15.000.

4°) Types de ruptures :

On notera quatre dispositions essentielles (fig.20) :

1 - diaclases verticales ou légèrement obliques : aiguilles, lames, monolithes : le Trayas : grottes traversant la pointe, pointe Notre-Dame, pointe des Vieilles d'Agay, etc... Bonne tenue en général ou éboulements locaux.

2 - diaclases obliques : glissements de versants, souvent stabilisés ; masses en surplomb : pointe de l'Observatoire, formation d'îlots, St Barthelemy, cap Roux. Souvent antérieures à la plate-forme marine de +10 m observée par H. Chamley.

3 - combinaison des fractures des types 1 et 2 : formes en chevrons, responsables de larges fissures et de l'ouverture des grottes, agrandies par les actions sub-aériennes puis marines. Des parois se désolidarisent du massif (grottes du cap Roux). Combinaisons avec des failles accentuées par les différences lithologiques : pointe des Vieille d'Agay, la Chrétienne.

4 - fractures courbes : généralement stables (cap Roux).

4°) Autres combinaisons de fissures et diaclases :

Ce sont des canevas évoquant une trame à plots rhomboédriques : cap Roux, St Pilon, falaises de la crique St Barthélemy. Ces versants sont généralement équilibrés et décomprimés en l'absence de travaux : tranchées, emprunts, etc...

5°) Des grottes marines : les grottes marines du Dramont, Trayas et du cap Roux, établies dans les ignimbrites et les coulées ryolitiques amarrantes, ne sont point le résultat d'une érosion karstiquesou marine. Il s'agit de "diédres" décomprimés au versant, limités par une diaclasation généralisée (types 1, 2 et 3). Ces grottes étroites, parfois relativement profondes (plusieurs décamètres), s'insinuent sous les ouvrages de soutènement de la route de la Corniche de l'Esterel : pointe du Trayas. L'éclatement de "plots" allongés (fig.20), parallélépipédiques et leur descellement agrandissent la cavité qui acquiert l'allure d'un couloir étroit, élevé et rectiligne (fig.21).

## - CONCLUSIONS -

Nous examinerons ici les résultats et les problèmes théoriques, les applications et les problèmes d'aménagements, les questions et recherches à développer.

1°) Résultats et problèmes théoriques :

. L'érosion des littoraux rocheux accores demeure liée, pour le secteur considéré, aux propriétés mécaniques initiales de la roche éruptive ou métamorphique.:

- ruptures de type plastique au cap Bénat et à la Corniche des Maures, amenant des basculements, glissements, coulées solifluées, etc...

L'héritage paléo-climatique würmien est fondamental.

- ruptures rigides déterminant un canevas de "plots" monolithiques à la Corniche de l'Esterel, avec formation d'éboulements, chutes de blocs et grottes secondairement façonnées et agrandies lors des stades d'émersion ou d'immersion du Quaternaire.

L'érosion marine proprement dite n'a qu'une part très modeste dans cette évolution.

. L'érosion des littoraux sableux ne concerne que les grandes plages (Pampelonne, Le Lavandou, Cavalaire, Fréjus et la Nartelle) ; elle affecte peu les criques ou les "plages de poche". En tous les cas, elle demeure liée à un mécanisme de transfert :

- orienté du Nord vers le Sud, au Lavandou, à Pampelonne ou à Fréjus - St Aygulf.

- orienté de l'Ouest vers l'Est, sous l'action de contre-courants de baies : Cavalaire.

- orienté de l'Est vers l'Ouest : Agay, St Raphaël, etc...

La zone "aval" du transfert demeure le siège de colmatages et pollutions. Les érosions hivernales sont fréquemment compensées par des engraisements estivaux. Le déficit en sédiment demeure préoccupant au Lavandou, Cavalaire, St Aygulf, Fréjus.

En plus du transfert, les causes de l'érosion sont l'action directe des vagues obliques à forte cambrure, les gros déferlements et surtout l'action des courants sagittaux. La présence d'un herbier très dégradé ou son absence, sont des facteurs propices à la reprise ou l'aggravation de l'érosion littorale (Nord du golfe de St Tropez). Les roches littorales immergées et certaines dispositions topographiques favorisent :

- les circuits tourbillonnaires des fonds de baies (Cavalaire, Agay),

- les cloisonnements en secteurs indépendants limitant les actions de l'érosion : plages de Cigaro.

. Les cordons sableux festonnés s'établissent aux nœuds d'oscillations stationnaires en fonds de baies, généralement orientées N-S, sans que cela soit absolument obligatoire (rade de Bormes, Le Lavandou, Le Canadel, Cavalaire, Bon-Porté, Pampelonne, St Aygulf). L'installation de jetées, amenant des résonances complémentaires peut favoriser le phénomène : port de Bormes, Port-Grimaud.

Ces cordons sableux festonnés et mobiles constituent un volant de matériaux protégeant le littoral mais accentuant sa pollution au niveau des nœuds.

. Les courants de décharge étalent en profondeur les sédiments détritiques du prisme littoral et ce, en fonction de la pente initiale, de l'énergie incidente et des qualités du matériau : granulométrie, densité et sphéricité. La profondeur-limite d'extension de ces lobes sédimentaires mobiles, fins ou grossiers, varie de -7 m à -30 m selon les cas ; elle peut correspondre à une régression des herbiers (rade de Bormes, le Canadel, Cavalière, le Bon Porté, le Bougnon et la Briande, etc...).

. L'herbier à Posidonies forme un liseré plus ou moins parallèle au littoral ou "imbriqué" par rapport aux autres types de fonds. Tout au long de la Corniche des Maures et de l'Esterel, dans la mesure où il demeure dense et protégé, il assure la stabilisation des plages sableuses (Cavalière).

Cet herbier montre une régression parfois rapide sous l'action de l'érosion mécanique (Maures, le Bon-Porté, cap Lardier, pointes de St Tropez et des Sardinaux) ou de phénomènes d'envasement (rade de Bormes, golfe de St Tropez, baie de Fréjus).

A côté de ces facteurs naturels, les actions humaines demeurent relativement faibles, localisées mais regrettables : destruction des herbiers de la pointe de Gau, de St Tropez, St Raphaël, (constructions de ports et remblaiements artificiels), pollutions au Lavandou et à Théoule.

En d'autres secteurs, les herbiers à Posidonies se régénèrent naturellement et montrent, en 1973, 1974, des floraisons et fructifications : cap Bénat, cap Lardier, corniche de l'Esterel.

. L'extension rapide du faciès des vases terrigènes côtières (V.T.C.) s'effectue aux dépens du détritique côtier - riche en stocks fossiles, et des herbiers à Posidonies, notamment en baie de Fréjus et aux abords des Petites Maures (Maures orientales) et de l'Esterel. La catastrophe du barrage de Malpasset a libéré une nappe de limons argileux s'étendant dans le golfe de Fréjus. Cette extension des V.T.C. est un phénomène naturel, tout comme au golfe de Fos, lié aux décharges fluviales (Var, Argens, Reyran, etc...) amenant la régression des fonds de pêche traditionnels et le colmatage des baies encaissées : golfe de St Tropez, baie de Fréjus. Les activités humaines ont, en l'occurrence, une action très secondaires.

## 2°) Applications et problèmes d'aménagements :

. Il importe d'assurer la protection maximale de l'herbier à Posidonies, dans les zones où il se régénère naturellement, comme dans les secteurs en voie de dégradation (golfe de St Tropez, cap Blanc, Théoule). Ces dispositions assureront la protection du littoral sableux et des fonds de pêche. Les rejets d'émissaires seront à proscrire dans ces types de fond et devront être reportés au détritique côtier ou, de préférence, au niveau des vases terrigènes côtières, en des sites agités et profonds (-70 m) où s'établit une thermocline. On évitera les circuits tourbillonnaires des fonds de golfes pour tout projet de rejets mêmes épurés, afin d'éviter des phénomènes d'eutrophisation ou de troubles persistants en saison estivale (golfe de Fréjus et de St Tropez).

. Des franges littorales à protection maximale, véritable "sanctuaires", comme à l'île de Port-Cros, devront être délimitées, afin de préserver les sites sauvages non encore trop altérés par la "pression humaine". Ces mesures devront concerner :

- 1) littoral du cap Bénat, du Brégançon au cap Blanc.
- 2) littoral du massif du cap Lardier - cap Taillat, de la plage de l'Escalet.

3) corniche "sauvage" de l'Esterel, d'Anthéor au Trayas.

Cela comporte l'interdiction de construire et de tracer des routes, l'édification d'ouvrages et de "Marinas" mais la pêche sportive et artisanale pourraient y être maintenues.

. Les nouveaux ports, Marinas et comblements de Bormes, Port Cogliin, Port Grimaud, Santa Lucia, ont profondément altéré le milieu naturel, pas toujours en mal, par ailleurs. Nous estimons néanmoins que leur aménagement, en l'état actuel, ne doit plus être étendu sous peine de dégradations irréversibles. Les ouvrages étudiés ont modifié les circulations d'eaux et la répartition des sédiments ; ils sont la cause de résonances, érosions ou colmatages locaux, parfois nuisibles et difficiles à contrôler. Les pollutions par effluents et hydrocarbures, jointes à l'extension des V.T.C., risquent d'aggraver la destruction des zones mal renouvelées, en voie de colmatage naturel : golfes de St Tropez et de Fréjus.

. L'érosion du littoral exige des actions de protection rapide pour les secteurs suivants, de l'Ouest à l'Est :

- plages du Lavandou
- plages de Cavalaire
- littoral au NE du golfe de St Tropez
- plages de St Aygulf et de Fréjus
- plage d'Agay

Les épis transverses, même serrés, ne sont point toujours efficaces, sans en certains cas, à la condition d'implanter des enrochements lourds, soignés et étudiés en fonction des régimes et conditions hydrodynamiques locales.

Nous conseillons, après l'étude des sites menacés, les épis en T, munis d'ergots, les épis "interrompus" et les brise-lames frontaux robustes et décalés, sis à des profondeurs comprises entre -5 m et -3,5 m.

Les enrochements littoraux constituent un système de défense immédiat, tout comme les "perres", souvent coûteux et point toujours efficace. En fait, la dépense d'énergie doit être organisée par des brise-lames ou des cônes immergés, avant l'arrivée de l'onde incidente majeure au rivage.

. Les littoraux rocheux accores sont décomprimés. La localisation des zones dangereuses sera une fonction du degré de fracturation et de l'orientation et pendage de cette dernière, autant que de la nature lithologique des roches. Nos investigations aux massifs du cap Bénat, cap Lardier, Esterel, montrent qu'aucune zone d'éboulement et d'érosion ne peut être attribuée à l'effet du hasard ; la plupart des sinistres s'avèrent prévisibles. Cet examen mécanique comporte plusieurs phases où interviennent la prospection directe, les missions d'observations aériennes, la connaissance des roches et de leur passé géologique. On déterminera l'aptitude et la fréquence des ruptures plastiques

(glissements) et rigides (écroulements). Le présent travail n'est qu'une ébauche dans cette direction de recherche.

3°) Recherches à développer :

Elles sont de plusieurs sortes et comportent des urgences différentes. Nous soulignerons, par ordre d'importance décroissant :

1) Protection des herbiers à Posidonies de tous les mécanismes d'altération : érosion mécanique, envasements et pollutions. Chaque projet d'aménagement ou d'émissaire devra être préalablement étudié.

2) Problème du colmatage et de l'altération du golfe de St Tropez.

3) Protection immédiate ou à moyen terme des secteurs littoraux menacés par l'érosion : Fréjus, St Aygulf (1), littoral de St Maxime et du N.E. du golfe de St Tropez, poursuite des défenses de Cavalaire, étude de protection au Lavandou.

4) Délimitation des caractéristiques mécaniques du littoral rocheux accore.

5) Cartographie détaillée des fonds : cap Lardier, cap Taillat, cap Camarat, pointe de St Tropez, pointe des Sardaïnaux, bordure de l'Esterel, bancs au large de l'Esterel. Etude des faciès du détritique côtier à développer en ce secteur (recherche des gites d'agrégats).

TRAVAUX CONSULTES

Les mémoires et publications des auteurs suivants ont grandement facilité la rédaction de ce travail ; citons : Alinat, Arbey, Bellaïche, Blanc Blanc-Vernet, Bordet, Boucarut, Chamley, Clos-Arceduc, Degiovanni, Duplaix, Gouvenet, Gueïrard, Lehnardt, Lutaud, Martel, Masurel, Nesteroff, Picard-Tarbouriech, Rivière, Steinberg, Tallobre.

REMERCIEMENTS

L'auteur est heureux d'exprimer sa gratitude aux personnes suivantes qui l'ont aidé à la réalisation de ces recherches :

Mmes Acquaviva, Froget, Martin et Weydert.

Melles Giroud d'Argoud et Quilicchini

MM. Chomel de Varagnes, Chambrette, Jeudy de Grissac et Martin.

-----  
Centre d'Océanologie et Centre Universitaire de Marseille-Luminy  
Laboratoire de Géologie marine et Sédimentologie appliquée  
13288 Marseille Cedex 2 - C.N.E.X.O contrat n°74/920.

(1) Recherches partiellement effectuées.