

IFREMER

ETUDE DE LA PROBLEMATIQUE
DES DISPOSITIFS
DE PROTECTION DU LITTORAL
A IMPACTS REDUITS
SUR L'ENVIRONNEMENT

RAPPORT GENERAL

5 1390

Octobre 1993

▼
S O G R E A H

INGENIERIE

IFREMER Bibliothèque de BREST



OEL08944

51315

M427-ETU-E

IFREMER

ETUDE DE LA PROBLEMATIQUE
DES DISPOSITIFS
DE PROTECTION DU LITTORAL
A IMPACTS REDUITS
SUR L'ENVIRONNEMENT

RAPPORT GENERAL

5 1390

Octobre 1993

▼
S O G R E A H

INGENIERIE

SOMMAIRE

PRESENTATION ET OBJET DES ETUDES	I
RESUME ET CONCLUSIONS	IV
CHAPITRE 1 - DONNEES GENERALES SUR LE LITTORAL FRANCAIS	1
1.1 Le littoral français : nature	1
1.2 Facteurs hydrodynamiques sur le littoral français	10
1.3 Facteurs d'équilibre du littoral	12
BIBLIOGRAPHIE	19
CHAPITRE 2 - METHODES DE PROTECTION EXISTANTES ET NOUVELLES	21
2.1 Actions sur l'énergie des vagues	26
2.2 Action sur la propagation des vagues	37
2.3 Actions sur les fonds	42
2.4 Actions par des ouvrages littoraux	45
2.5 Actions douces sur le littoral	48
2.6 Protection directe du littoral	57
2.7 Divers	61
BIBLIOGRAPHIE	62

CHAPITRE 3 - BILAN DES AMENAGEMENTS. COUTS. BESOINS ET SITES POTENTIELS D'ESSAIS	66
3.1 Bilan des aménagements	66
3.2 Coûts	68
3.3 Besoins	77
3.4 Sites potentiels d'essai de techniques nouvelles	88
3.5 Zones hors de France	92
 BIBLIOGRAPHIE	 94
 CHAPITRE 4 - CAHIERS DES CHARGES DES OUVRAGES	 95
4.1 Connaissance du régime de la côte	95
4.2 Cahier des charges	97
 BIBLIOGRAPHIE	 106
 CHAPITRE 5 - AXES DE DEVELOPPEMENT	 107
5.1 Connaître	108
5.2 Concevoir	110
5.3 Convaincre	114

PRESENTATION ET OBJET DES ETUDES

1. PRESENTATION

Domaine de transition originellement naturelle entre la Terre et la Mer, la zone côtière est devenue, en bien des secteurs, une limite tout ou en partie artificielle par suite des aménagements réalisés. Jusqu'à peu, beaucoup de ceux-ci n'ont guère pris en compte les problèmes liés à leurs impacts et à la gestion du littoral. Par ailleurs, les méthodes de défense étaient, le plus souvent, de type "durs" à savoir mettant en oeuvre des ouvrages s'opposant à la mer et ses effets mais ne cherchant pas à composer avec elle : perrés, digues, murs et, à un moindre degré, les épis.

Depuis deux à trois décennies, un nouvel esprit s'est développé quant à la protection du littoral : on cherche à composer avec la mer et non plus à s'y opposer et ce en cherchant à utiliser des méthodes "douces" telles que : rechargement, algues artificielles, traitement des dunes, etc. La finalité est d'obtenir une stabilisation satisfaisante du littoral en jeu tout en n'induisant pas d'impacts dommageables aux zones avoisinantes de celles concernées par les aménagements. Un tel objectif n'est, bien évidemment que louable. Deux questions se posent alors :

- . Pourquoi n'a-t-on pas cherché à l'atteindre dès lors que l'on a réalisé des aménagements ?
- . Pourquoi s'est-il développé depuis deux ou trois décennies, ce souci de respecter et de s'intégrer au mieux à l'environnement ?

La réponse à la première question apparaît tenir aux raisons suivantes :

- . Les premiers aménagements ont été réalisés pour résister aux attaques contre la mer de zones très sensibles tels que les polders (ex. îles de Noirmoutier, de Ré, d'Oléron ; baie de l'Aiguillon).

- . Une deuxième vague d'aménagements a répondu, au siècle dernier et au début de celui-ci, au développement d'activités touristiques avec l'apparition du Chemin de Fer. Ainsi, des fronts de mer ont été construits en bordure de toutes les grandes baies (ex. La Baule, Royan, Biarritz) et de bien d'autres plages balnéaires (ex. Châtelailon, Saint-Jean de Monts).
- . La troisième vague correspond à la réponse aux besoins nés du développement des vacances avec les congés payés et des moyens de transport. La Côte d'Azur a été tout d'abord particulièrement concernée.
- . Dans les trois cas de figures, on a répondu à des nécessités (défenses), des besoins (liés au développement des vacances) sans se soucier (ou peu) (travaillant en terrain "vierge") des impacts liés aux ouvrages.
- . Bien souvent les réalisations ont répondu à des problèmes ou souhaits locaux sans prendre en compte les impacts chez les voisins (on rejoint là la méconnaissance de la vie littorale).
- . Lorsque les impacts négatifs ont fait apparaître des situations difficiles, on a réagi, bien souvent, non pas en cherchant à "prévenir" mais en n'agissant que très tardivement lorsque l'on ne pouvait plus faire autrement. Les solutions dures étaient alors, dans bien des cas, la seule solution.

La réponse à la deuxième question (qui concerne le respect de l'environnement et l'intégration des aménagements à celui-ci) tient aux principales raisons suivantes :

- . En tout premier lieu, la connaissance des mécanismes sédimentaires littoraux (mouvements des sédiments, processus d'érosion ou de sédimentation, etc.) s'est développée.
- . La nature a pris sa revanche : les processus d'érosion dus aux divers aménagements se sont développés avec le temps et, bien souvent, selon un processus "boule de neige" : plus l'érosion se développe, plus la mer peut attaquer le littoral et les ouvrages, plus l'érosion se développe, etc. Ceci a conduit à la prise de conscience des problèmes d'impacts des aménagements littoraux et, ce, sous tous leurs aspects (évolution du littoral et des fonds, aspects paysagers, intégration à l'environnement, etc.). Cela a été de pair avec le développement des connaissances et, aussi, bien sûr, de l'écologie.
- . C'est ainsi que ces deux dernières décennies, de nombreuses attaques se sont développées contre les ouvrages "durs" (en particulier ceux en enrochements) alors qu'il était prôné l'utilisation de méthodes "douces" à impacts réduits sur l'environnement et qu'il était effectué, en ce sens, diverses recherches pour développer des méthodes nouvelles.

2. OBJET DES ETUDES

L'objet des études est :

- . de faire le point sur les diverses méthodes de protection du littoral tant existantes que nouvelles (à l'essai ou projetées),
- . d'établir un bilan des réalisations, de la situation et des besoins en France,
- . de proposer des sites potentiels d'essai pour les méthodes actuelles,
- . de donner un aperçu des problèmes dans des zones du monde a priori abordables par la France en tant que marché potentiel,
- . de dégager des axes de recherche,
- . d'établir une typologie des cas où les méthodes traditionnelles ne sont pas satisfaisantes,
- . de proposer des sites d'essais potentiels pour des méthodes nouvelles,
- . d'établir un cahier des charges auquel devrait répondre un ouvrage selon le type de problèmes posés.

Ces différents points sont abordés dans ce rapport sur la base de la bibliographie existante (dont une large part provient d'études de SOGREAH-LCHF) ainsi que de l'expérience acquise par SOGREAH-LCHF tant lors des études en nature qu'en modèle réduit.

Il convient de souligner que l'on a, dans toute la mesure du possible, cherché à prendre en compte les aspects "concrets" et "terrains" des procédés d'aménagements et non point tant les côtés "théoriques" exposés par les auteurs qui bien souvent ne permettent pas de se faire une idée précise de leur fonctionnement réel.

RESUME ET CONCLUSIONS

1. OBJET DES ETUDES

Les études réalisées par SOGREAH, à la demande d'IFREMER, concernaient l'étude de la problématique des dispositifs de protection du littoral à impacts réduits sur l'environnement. L'objet des études est :

- . de faire le point sur les diverses méthodes de protection du littoral tant existantes que nouvelles (à l'essai ou projetées),
- . d'établir un bilan des réalisations, de la situation et des besoins en France,
- . de proposer des sites potentiels d'essai pour les méthodes actuelles,
- . de donner un aperçu des problèmes dans des zones du monde a priori abordables par la France en tant que marché potentiel,
- . de dégager des axes de recherche,
- . d'établir une typologie des cas où les méthodes traditionnelles ne sont pas satisfaisantes,
- . de proposer des sites d'essais potentiels pour des méthodes nouvelles,
- . d'établir un cahier des charges auquel devrait répondre un ouvrage selon le type de problèmes posés.

2. PRINCIPAUX POINTS DES ETUDES

2.1 DONNEES GENERALES SUR LE LITTORAL FRANCAIS

Sur le littoral français, les côtes rocheuses représentent 41 % et les littoraux meubles 59 % (avec de fortes disparités : côtes rocheuses en Provence - Côte d'Azur : 73 % et en Aquitaine : 4 %).

L'évolution du littoral dépend de :

. Facteurs naturels :

- Nature du littoral (falaises dures, tendres ; côtes sableuses, vaseuses, etc.).
- Bathymétrie.
- Océanographie : vents (nombreuses formations dunaires) ; fluctuation de niveau (y compris la remontée du niveau marin), courants et, surtout, l'agitation (transit littoral, mouvements dans le profil).
- Sédimentologie : nature des sédiments (galets, sables etc.) et quantité disponible.
- Biologiques (principalement les herbiers du littoral méditerranéen).

. Facteurs humains :

- Réduction du stock sédimentaire (barrages, extractions).
- Ouvrages d'aménagements : fronts de mers (qui favorisent l'attaque des plages) ; épis, ouvrages portuaires (modifications du transit littoral).
- Dégradation des dunes.

Les littoraux meubles, qui sont ceux essentiellement concernés par les problèmes de protection, sont, globalement en érosion : 0,2 à 0,4 m/an en moyenne (avec des zones où l'érosion atteint plusieurs m/an : ex. : ancien delta du Rhône).

La pression touristique, à laquelle est liée pour une large part les besoins d'aménagements, est très forte dans les zones urbanisées denses (Côte d'Azur) et faible dans les zones peu urbanisées et avec peu d'aménagements littoraux (ex. : Côte d'Aquitaine).

2.2 METHODES DE PROTECTION EXISTANTES ET NOUVELLES

L'analyse des méthodes de protections existantes et nouvelles a été faite à partir d'une étude bibliographique concernant tant la France que l'étranger.

Une classification en sept thèmes a été proposée qui comprend :

Action sur l'énergie des vagues

- . Brise-lames émergents.
- . Brise-lames submersibles.
- . Brise-lames flottants.
- . Brise-lames pneumatiques.
- . Brise-lames divers.
- . Brise-clapots abattables.

Jusque lors, pour l'essentiel, on a utilisé (surtout dans les mers à faible marée) des brise-lames émergents (caractéristiques les plus fréquentes : longueur de 100 à 200 m ; implantation dans des fonds de - 2 à - 4 m ; distance à la côte : 100 à 200 m).

Action sur la propagation des vagues

- . Mur d'eau oscillant.
- . Cônes.
- . Système "Bragg".
- . Système "Cornic" C 1000.

Ces procédés sont expérimentaux et aucun n'a été utilisé concrètement en protection du littoral.

Action sur les fonds

- . Algues artificielles.
- . Plantation.
- . Drainage de la plage.

Il y a eu divers essais réalisés avec des algues artificielles ; les résultats sont, à ce jour, peu significatifs.

Les autres méthodes sont expérimentales.

Actions par des ouvrages littoraux

- . Ouvrages transversaux : épis.
- . Ouvrages longitudinaux : perrés, murs.

Jusque lors, les ouvrages littoraux, avec tous leurs avantages et inconvénients, ont été les moyens essentiellement utilisés dans la protection du littoral.

Actions douces

- . Restauration de dunes.
- . Rechargement.
- . By-passing.
- . Cordon littoral artificiel.
- . Recul accepté du littoral.

En France, les restaurations de dunes sont les moyens principalement mis en oeuvre. Les rechargements sont relativement peu utilisés (problèmes techniques et de coûts). Le by-passing n'a pas encore été mis en oeuvre (sauf à Saint-Denis d'Oléron).

Protection directe du littoral

- . Tapis en géotextile.
- . Ouvrages peu réfléchissants.
- . Revêtements en blocs artificiels.

On est là en limite des problèmes concernant la protection du littoral : les divers procédés "fixent" le littoral et, le trait de côte sans avoir pour souci le maintien ou le développement d'une plage.

Il y a eu beaucoup de déboires avec l'utilisation des tapis géotextiles.

Divers

- . Iles artificielles.
- . Récifs électrolytiques.

2.3 BILAN DES AMENAGEMENTS

Au total, il a été réalisé près de 1 300 ouvrages transversaux (longueur totale : 125 km) et 800 ouvrages longitudinaux (longueur totale : 375 km).

Sur la base de 10 millions de francs par km, le coût global des aménagements peut être évalué à 5 milliards de francs.

2.4 COUTS

Coûts unitaires d'aménagements

L'analyse des coûts par type d'ouvrages fait apparaître un large éventail lié aux conditions spécifiques des sites. Globalement, on retiendra :

- . Ouvrages "classiques" : 5 000 à 10 000 F/ml d'ouvrages.
- . Ouvrages "légers" : 1 000 à 4 000 F/ml d'ouvrages.
- . Ouvrages "lourds" : 10 000 à 50 000 F/ml d'ouvrages.

En moyenne, le coût du km de côte protégé varie entre 5000 et 30 000 ~~FR~~ F.

Dépense annuelle de protection de côtes

En France, le volume global des dépenses a été de 97 millions de Francs en 1986 et 118 millions en 1990.

2.5 TYPOLOGIE DES PROBLEMES D'AMENAGEMENTS LITTORAUX

Les problèmes d'aménagements littoraux ont été classés en cinq classes basées sur la nature des problèmes à résoudre :

- . Stabilisation et protection du littoral.
- . Erosion des fonds.
- . Création ou amélioration des plages.
- . Impacts d'aménagements portuaires ou d'endiguements.
- . Protection de plan d'eau (dans des zones déjà abritées naturellement sinon on se trouve dans le cas de ports traditionnels).

Ces problèmes sont liés à trois aspects du régime littoral :

- . Evolution naturelle.
- . Impacts d'aménagements.
- . Amélioration d'une situation existante (allant jusqu'à la création de littoraux).

Pour le littoral français, l'essentiel des réalisations concernent des aménagements avec des moyens "classiques" (ouvrages longitudinaux et transversaux) de plages.

Les by-passings et rechargements sont fort peu utilisés (alors ce sont des solutions douces et présentant des impacts minima).

2.6 BESOINS

Les besoins ont été considérés à l'échelle régionale :

Nord Picardie - Haute Normandie

Trois points se dégagent :

- . Protection du cordon littoral des Bas-Champs (entre Ault et Le Hourdel en bordure de la zone Sud du débouché de la Somme).
- . Stabilisation de plages de galets.
- . Création de plages sableuses.

Basse Normandie

Il y a certes, globalement, des tendances à l'érosion mais l'essentiel des problèmes est lié aux évolutions de débouchés des havres de la côte du Cotentin.

Bretagne

Les problèmes littoraux sont multiples mais localisés car concernant, pour l'essentiel, de petites baies (hormis la baie d'Audierne). Les dégradations des milieux dunaires sont fréquentes et interviennent pour beaucoup dans les processus d'érosion. Dans d'assez nombreux cas, il doit pouvoir être mis en oeuvre des aménagements "doux" : rechargements, aménagements de dunes.

Pays de Loire. Poitou - Charentes

On a une situation du même type qu'en Bretagne dans bien des cas.

Localement, la Pointe de La Coubre est soumise à des évolutions intenses entraînant de fortes érosions dans la zone de La Palmyre.

Aquitaine

On a essentiellement à faire à un vaste domaine dunaire. Il n'y a que fort peu d'aménagements littoraux. Seules les zones entre Soulac et le Verdon, le littoral de part et d'autre du bassin d'Arcachon et au Sud de l'Adour sont concernées par d'importants problèmes d'érosion.

Languedoc - Roussillon

L'essentiel des problèmes d'érosion concerne le secteur au Nord de l'Orb (Orb - Frontignan).

Provence - Côte d'Azur

Dans la partie à l'Ouest de Marseille, l'évolution du littoral est liée à l'histoire du delta du Rhône. Actuellement, c'est la zone des Saintes-Maries de La Mer qui est particulièrement concernée.

Entre Marseille et Menton, la pression touristique est énorme, les problèmes littoraux sont multiples liés, pour l'essentiel, aux aménagements réalisés. En général, on est en présence de baies d'importance limitée qui se sont développées à la faveur des découpes dans un littoral à dominante rocheuse.

Un problème particulier est à souligner : celui de la destruction des herbiers dues aux pollutions, ouvrages, érosion des fonds, ancrages, etc.

Corse

Les problèmes littoraux d'importance généralement limitée concernent principalement la côte Est (partie centrale). Sur la côte Ouest, le développement d'installations nautiques légères, adaptées aux situations locales, serait bienvenu.

DOM-TOM

Un important problème existe dans la majorité des DOM-TOM : celui des cyclones : comment s'en protéger ?

2.7 SITES POTENTIELS D'ESSAI

Les sites d'essais proposés sont :

Nord, Picardie, Haute-Normandie

- . Essais de création de plages aux débouchés d'une ou deux valliuses (brise-lames submersibles ?).

Bretagne

- . Rechargements associés à des traitements de dunes sur des cordons tels que Combrit ou Loctudy ou Moustierlin.

Loire - Poitou Charentes

- . Essai de traitement doux (rechargements, traitement de dunes, autres) entre Saint-Jean de Monts et Sion.
- . Restauration des écluses à poissons qui avaient été installées sur les larges platiers rocheux (îles d'Oléron et de Noirmoutier).

Aquitaine

- . By-passing à Hossegor - Cap Breton.

Marseille - Nice

Zone de la presqu'île de Giens et des deux golfes la bordant : Golfe de Giens et Hyères : il s'agit là d'un domaine favorable à des essais de différentes natures :

- . Mur d'eau oscillant.
- . Rechargements biphasiques (galets recouverts de sable).
- . Algues artificielles (toutefois peu crédibles à ce jour).
- . Divers.

2.8 ZONES HORS DE FRANCE

Dans les zones sous influence française, on trouve les principaux problèmes d'aménagements :

En Afrique du Nord, et particulièrement le long du littoral oriental de la Tunisie où il y a un fort développement des activités touristiques :

Les problèmes locaux liés à des aménagements sont multiples (avec beaucoup de cas liés à l'abaissement de plages dû aux ouvrages).

Dans le Golfe du Bénin

Les érosions (évolutions des deltas, impacts de ports) y sont parmi les plus intenses au monde (ainsi d'ailleurs que le transit littoral : 1 à 1,5 million de m³/an). Cette zone n'est guère favorable à la réalisation d'expérimentation avec des méthodes douces.

2.9 CAHIERS DES CHARGES

Des cahiers des charges spécifiques à chacune des grandes classes définies dans la typologie ont été proposés.

3. AXES DE DEVELOPPEMENT

Sur la base de l'analyse des données faites (moyens de protection, bilan et coûts des aménagements, besoins), il a été proposé les axes de recherches suivants dans ce que l'on pourrait appeler la règle des trois C : connaître, concevoir, convaincre.

a. Connaître : le régime du littoral

a1. Océanographie

L'essentiel des problèmes se pose dans la connaissance du régime de l'agitation (facteur fondamental de la dynamique sédimentaire) dès lors que l'on a à faire à des fonds et des côtes tourmentés.

a2. Sédimentologie

Les axes de recherches doivent porter :

- . sur la quantification des mouvements sédimentaires : connaissance fondamentale, développement des codes de calcul et des modèles numériques (avec une attention particulière à leurs validations), mesures in situ,
- . l'utilisation de la télédétection dans les évolutions du littoral,
- . la connaissance des mécanismes en jeu dans la "vie" des débris d'algues et de posidonies : mode, transport et d'accumulation.

b. Concevoir : quels aménagements ?

Avant d'aller plus avant, il faut souligner les points suivants :

- . Il y a un héritage du passé quasi incontournable : les aménagements existants.
- . Il n'y a pas une méthode d'aménagement universelle mais des méthodes adaptées à chaque cas.
- . Les méthodes expérimentées dans un passé récent n'ont guère donné de résultats satisfaisants.

b1. Stabilisation et protection du littoral

- . Possibilité d'utilisation des géotextiles en milieu marin.
- . Ouvrages longitudinaux : recherches vers des ouvrages peu réfléchissants, doux et piégeant des sédiments (en particulier en zone peu exposée).
- . Epis :
 - Optimisation du fonctionnement des épis (dimensionnement, implantation) en fonction des caractéristiques du transit littoral dans une zone donnée (l'analyse de cas existants montre que c'est beaucoup plus complexe que ne le laisse penser les règles "classiques").
 - Recherches sur des épis ajourés.
 - Recherches sur la lutte contre l'érosion à l'aval des épis.

. Brise-lames émergents :

Les brise-lames sont-ils efficaces en mer à marée ?

. Brise-lames submergés :

- En mer sans marée, étude de leur efficacité réelle in situ.
- En mer à marée, possibilité d'utiliser des brise-lames submergés (ou encore des écluses à poissons pour créer ou stabiliser des littoraux).

b2. Erosion des fonds

- . Rechargements : stabilisation des apports ?
- . Algues artificielles : peu de succès jusqu'à présent ; des axes de recherches porteraient sur les caractéristiques des algues, les surfaces et densité minima d'implantation.
- . Rides artificielles : n'y-a-t-il pas une voie ouverte à l'utilisation de géotextiles (comme des boudins).

b3. Création ou amélioration de plage

Création de plages dans des zones avec des fonds à fortes pentes.

b4. Impacts d'aménagements portuaires ou d'endiguement

Quelles peuvent être les applications des méthodes de fluidisation de dépôts piégés dans les chenaux portuaires ou encore dans les zones d'accumulation contre les ouvrages portuaires ?

b5. Divers

- . Cyclones : comment s'en protéger (important pour les DOM TOM).
- . Récifs artificiels électrolytiques (ou autres) : applications possibles (a priori dans des zones peu exposées).
- . Brise-lames flottants : applications à la protection du littoral ?

c. Convaincre

Apprendre à expliquer aux diverses entités concernées les pourquoi et comment des aménagements, en particulier dans des cas tels que : recul du littoral à accepter, travaux d'entretien nécessaires.

Chapitre 1

DONNEES GENERALES SUR LE LITTORAL FRANCAIS

Les impacts liés à l'aménagement du littoral, quelle que soit la nature de ceux-ci (protection, stabilisation, restauration, conquête, etc.), dépendent de ce que A. DE ROUVILLE a dénommé "le régime des côtes". Sous une appellation simple, il recouvre, en fait, des processus forts complexes résultant des interactions entre :

- . d'une part, des facteurs hydrodynamiques, moteur des divers mouvements sédimentaires : vents, marée, courants, agitation,
- . d'autre part, des facteurs sédimentologiques à savoir les matériaux offerts aux actions hydrodynamiques : falaises côtières, sédiments de l'estran, des fonds marins, en suspension.

Le littoral français présente de multiples facettes de ces facteurs. L'objet de ce premier chapitre est d'en souligner les principaux traits ainsi que les mécanismes en jeu dans la dynamique sédimentaire.

1.1 LE LITTORAL FRANCAIS : NATURE

Les tableaux 1.1 à 1.3 établis par le Ministère de la Qualité de la Vie [1] donnent par département et région :

- . le linéaire de côte,
- . la nature des côtes.

Tableau 1.1 - Linéaire de côtes

LINÉAIRE DES COTES					
<i>(en Km)</i>					
Départements	Continent + Iles = Façades maritimes + Estuaire			= Total	
Nord	37		37		37
Pas de Calais	100		100	12	112
Somme	83		83		83
Seine-Maritime	126		126	28	154
Eure				13	13
Calvados	99		99	17	116
Manche	268	3	271	84	355
Ile et Vilaine	79	1	80	37	117
Cotes du Nord	280	23	303	44	347
Finistère	458	112	570	225	795
Morbihan	288	89	377	136	513
Loire-Atlantique	125		125		125
Vendée	151	76	227	16	243
Charente-Maritime	155	168	323	41	364
Gironde	200		200	109	309
Landes	109		109		109
Pyrénées-Atlantiques	34		34	4	38
Pyrénées-Orientales	58		58		58
Aude	50		50		50
Hérault	87		87		87
Gard	19		19		19
Bouches du Rhône	230	23	253		253
Var	257	62	319		319
Alpes-Maritimes	105	10	115		115
Haute Corse	336		336		336
Corse du Sud	451	15	466		466

Tableau 1.1 (suite)

Régions ou ensembles	Continent + Iles = Façades Maritimes + Estuaires = Total				
Côte d'Opale	220		220	12	232
Haute-Normandie	126		126	41	167
Basse-Normandie	367	3	370	101	471
Bretagne	1 105	225	1 330	442	1 772
Centre Ouest-Atlantique	431	244	675	57	732
Aquitaine	343		343	113	456
FAÇADE OUEST :	2 592	472	3 064	766	3 830
Languedoc-Roussillon	214		214		214
Provence-Côte d'Azur	592	95	687		687
Corse	787	15	802		802
FAÇADE SUD	1 593	110	1 703		1 703
FRANCE	4 185	582	4 767	766	5 533

Tableau 1.2 - Nature des côtes par département

Départements	NATURE DES COTES (Littoral urbanisé inclus, longueur en Km)					Total
	Plages	Marais	Côtes Rocheuses		(1)+(2)	
	Sable et galets	Vases	Côtes découpées (1)	Falaises (2)		
Nord	37					37
Pas de Calais	83	5		24	24	112
Somme	33	44	1	5	6	83
Seine Maritime	18	30		106	106	154
Eure		13				13
Calvados	64	16	25	11	36	116
Manche	151	130	62	12	74	355
Ille et Vilaine	11	71	35		35	117
Côtes du Nord	66	144	137		137	347
Finistère	265	146	337	47	384	795
Morbihan	95	212	206		206	513
Loire Atlantique	73	12	35	5	40	125
Vendée	122	76	45		45	243
Charente-Maritime	163	134	67		67	364
Gironde	174	135				309
Landes	109					109
Pyrénées-Atlantiques	19		18	1	19	38
Pyrénées-Orientales	38		9	11	20	58
Aude	46			4		50
Hérault	83	4				87
Gard	19					19
Bouches du Rhône	76	63	55	59	114	253
Var	11	24	157	127	284	319
Alpes-Maritimes	4	8	85	18	103	115
Haute-Corse	115	18	120	83	203	336
Corse du Sud	73	31	154	208	362	466

Tableau 1.3 - Nature des côtes par régions

Zone littorale	Littoral meuble (km)			Côtes rocheuses (km)			Total général
	Plages	Marais (vase)	Total	Côtes découpées	Falaise	Total	
Côte d'Opale (Belgique-Somme)	153	49	202	1	29	30	232
Haute-Normandie (Somme-Seine)	18	43	61	-	106	106	167
Basse-Normandie (Seine, Mont-Saint-Michel)	215	146	361	87	23	110	471
Bretagne (Mont-Saint-Michel, Loire)	437	573	1010	715	47	762	1772
Centre Ouest Atlantique (Loire-Gironde)	358	222	580	147	5	152	732
Aquitaine	302	135	437	18	1	19	456
Total façade Ouest	1483	1168	2651	968	211	1179	3830
Languedoc-Roussillon	186	4	190	9	15	24	214
Provence Côte d'Azur	91	95	186	297	204	501	687
Total façade Sud	277	99	376	306	219	525	901
Corse	188	49	237	274	291	565	802
TOTAL (km)	1948	1316	3264	1548	721	2269	5533
TOTAL (%)	35,2	23,8	59	28,0	13,0	41,0	100

- . Figure 1.1 : appellations touristiques des différentes façades maritimes.
- . Figures 1.2 à 1.9 : cartes de la nature du littoral, des tendances évolutives et de la pression touristique par régions et par département.

Il ressort de ces tableaux les principaux points ci-après :

a. Le littoral

- . Globalement, les côtes rocheuses représentent 41 % du littoral et celles à littoral meuble 59 %.
- . Il y a de fortes disparités selon les régions :
 - Provence-Côte d'Azur : 73 % de côtes rocheuses
 - Haute Normandie : 63 % de côtes rocheuses
 - Aquitaine : 4 %
- . Plus en détail, il convient de distinguer :
 - côte rocheuse élevée sans secteur bas : ex. falaises du Pays de Caux,
 - côte rocheuse élevée avec secteur bas de matériaux meubles ; ex. : en Bretagne Nord : zone de Saint-Brieuc ; de Roscoff-Ploudalmézeau ; de Lorient-Vilaine,
 - côte basse de matériaux meubles à pointes rocheuses : ex. région de Quimper,
 - côte basse de matériaux meubles sans pointes rocheuses : ex. Aquitaine, Languedoc-Roussillon,
 - côte endiguée : ex. nombreuses baies : baie du Mont Saint-Michel, baie de l'Aiguillon, baie de Somme, littoral oriental de l'île de Noirmoutier.

b. Erosion - Engraissement

b1. Erosion :

Les érosions du littoral ont été classées par le BCEOM en cinq catégories :

- . Erosion très forte : > 1,5 à 2 m/an
- . Erosion forte : 0,4-0,7 à 1,5-2 m/an

- . Erosion sensible : 0,1-0,4 à 0,4-0,7 m/an
- . Erosion faible : < 0,1 m/an
- . Stable : ni érosion, ni sédimentation

La figure 1.10 donne une vue générale de l'érosion le long du littoral français.

Les commentaires sont :

1. Côtes à falaises

Les côtes à falaises tendres (formations calcaires ou marneuses) sont en érosion alors que les falaises dures (granite par exemple) évoluent peu :

- . Pays du Boulonnais (calcaire) : en moyenne 0,2 m/an (jusqu'à 0,5 m/an).
- . Pays de Caux (craie) : en moyenne de 0,2 à 0,3 m/an (jusqu'à 0,5 m/an).
- . Côte des Basques (marnes) : 0,5 à 0,6 m/an en certains points.

2. Côtes à plages de galets

Particulièrement développées entre Le Havre et la baie de Somme, les plages de galets occupent la partie haute de l'estran. Dans le secteur cité, l'érosion est généralisée et atteint dans certaines zones 0,5 à 1 m/an sur le cordon littoral des Bas-Champs (débouché de la Somme).

3. Plages sableuses

En règle générale, les plages sableuses sont en érosion. Les valeurs usuelles sont généralement comprises entre 0,2 à 1 m/an :

- . Plages du Nord de la Flandre et Picardie :
 - 1 m/an à l'Est de Dunkerque,
 - 1 m/an entre Calais et Gravelines,
 - 7 m/an en baie de Wissant de 1947 à 1977.

- . Plages du Calvados et du Cotentin :

Dans le Calvados, les érosions varient de 0,10 m/an à 1,5 m/an (Asnelles) et sont en moyenne de 0,5 m/an.

Sur le littoral Est du Cotentin, les érosions sont faibles mais sont fortes (plus de 1 m/an en de nombreuses zones du littoral Ouest).

. Bretagne :

On a souvent à faire à des plages "individuelles" et qui sont en érosion, les plus souvent provoquées par l'homme : dégradation des dunes, extraction.

. De la Loire à la Gironde :

La majorité des plages sont en érosion ; le plus souvent, celle-ci est liée aux actions humaines, et, en particulier, aux réalisations de fronts de mer (rupture des liaisons dunes-plages).

Les érosions les plus spectaculaires sont connues dans la zone de La Coubre (jusqu'à 10-15-20 m/an) ; elles sont naturelles.

. De la Gironde à l'Espagne :

L'érosion est généralisée. Devant le littoral Landais, elle est souvent d'au moins 1 m/an mais atteint 2 à 3 m/an dans la zone d'Hourtin.

L'érosion est très intense entre l'Adour et Biarritz : 5 m/an ; elle l'était aussi à Saint-Jean de Luz avant les travaux d'aménagements. Dans la zone d'Hendaye, elle est de 0,5 m/an.

. De l'Espagne à Sète :

Les érosions sont, en général, d'importances modérées : moins de 0,3 à 0,5 m/an.

. De Sète à Marseille :

Le littoral camarguais, très plat, est l'objet de reculs importants : souvent plusieurs m/an.

. De Marseille à l'Italie :

Les plages du littoral provençal sont, en général, soumises à l'érosion ; les actions humaines jouent un rôle important dans celles-ci.

b2. Engraissement :

Les zones en engraissement sont surtout les baies et les estuaires, où aux actions naturelles se sont ajoutées celles résultant des activités humaines : poldérisation, endiguement, aménagements de chenaux. La baie du Mont Saint-Michel illustre parfaitement ces doubles actions.

b3. Conclusions

Pour l'essentiel, le littoral est en érosion pour des raisons tant naturelles qu'humaines (voir en 1.4). Plus particulièrement, les plages représentent pour les Communes un capital essentiel qu'elles se doivent au minimum de conserver et, si possible, d'améliorer. Ceci fait ressortir, dès lors, le souci de protection et d'aménagements qui doit animer les Communes.

c. Pression touristique

L'aménagement du littoral, bien souvent cause principale d'érosion des plages (en particulier de celles de baies) est une réponse à la pression touristique : le vacancier "veut" pouvoir pratiquer des activités liées à la mer et, en particulier, celles concernant directement les plages. Cette pression touristique est exprimée par le produit P du nombre de lits N par km linéaire de côte au nombre de lits N par km² de surface du littoral directement concerné par les activités touristiques :

$$P = N/\text{km} \times N/\text{km}^2$$

avec :

N : nombre de lits de tourisme :

- . toujours très forte (> 1 500 000) dans les zones fortement urbanisées denses (ex. Côte d'Azur),
- . généralement forte (500 000 à 1 500 000) dans les zones urbanisées denses (ex. littoral vendéen en grande partie),
- . moyenne (150 000 à 500 000) dans les zones urbanisées avec ou sans front de mer,
- . généralement faible (50 000 à 150 000) dans les zones urbanisées denses sans front de mer (ex. Pas-de-Calais, une partie de la Seine Maritime),
- . toujours trop faible (15 000 à 50 000) dans les zones urbanisées sans front de mer (ex. Nord Finistère),
- . négligeable (moins de 15 000) dans les zones peu urbanisées (ex. la majorité du littoral Aquitain).

Bien sûr, du point de vue aménagement du littoral, les zones à forte pression touristique, sont les plus concernées.

1.2 FACTEURS HYDRODYNAMIQUES SUR LE LITTORAL FRANÇAIS

Les facteurs hydrodynamiques (vent, marée, courants, agitation) sont marqués par la prépondérance des actions liées à l'agitation. Les principaux points sont :

1.2.1 LE VENT

Sur bien des plages, le vent est un facteur important de pertes. Les transports deviennent significatifs dès lors que le vent dépasse 6 à 7 m/s. Pour fixer des ordres de grandeur, on retiendra les valeurs suivantes de transports :

- . plage à estran de largeur faible à moyenne : 2 à 10 m³/ml/an,
- . plage à large estran et très exposée au vent : 20 à 30 m³/ml/an (ex. Côte d'Aquitaine).

1.2.2 LA MAREE

Outre l'incidence de la remontée du niveau marin (voir en 1.4), les fluctuations de niveau influent sur les courants (surtout en estuaire) et les conditions de propagation de houles.

La marée est extrêmement variable le long du littoral français comme le montre la figure 1.11 :

- . En Méditerranée, elle est de l'ordre de 0,3 à 0,5 m (côte française).
- . En Atlantique, Manche et Mer du Nord elle est le plus souvent de l'ordre de 4 à 6 m. Elle atteint plus de 12 m dans la baie du Mont Saint-Michel.

Aux fluctuations de niveau dues à la marée astronomique, il faut ajouter celles dues aux conditions météorologiques (pression barométrique) et océanographiques (agitation). En particulier, elles induisent des surcotes (de l'ordre, fréquemment, de 0,3 à 0,5 m et, parfois, de plus de 1 m). C'est lorsqu'il y a conjugaison de marée de vive-eau et de surcote que les processus d'érosion du littoral sont les plus intenses.

1.2.3 AGITATION

L'agitation se présente sous trois formes :

- . Houle : formée sur des fetchs de plusieurs milliers de km, ses périodes sont supérieures à 10 s.
- . Mer de vent : formée par les vents régionaux sur des fetchs de 100 à 1000-2000 km, ses périodes sont de 5-6 s à 8-10 s.
- . Clapots : formés par les vents locaux sur des fetchs de quelques km à quelques dizaines de km, ses périodes sont de 2 à 4-5 s.

L'agitation est le moteur essentiel, dans bien des cas, de la dynamique sédimentaire. Si, certes, on connaît à peu près correctement l'agitation au large (voir figure 1.11) à partir des diverses observations, enregistrements et méthodes prévisionnelles, il en va tout autrement de l'agitation à l'échelle locale. En effet, les processus de propagation des vagues (réfraction, diffraction) sont complexes (figure 1.12), en particulier lorsque la bathymétrie est tourmentée. Aussi, la connaissance du climat local de l'agitation, pour fondamental qu'elle soit, est souvent difficile à atteindre.

C'est là un des points délicats du régime des côtes et, donc, aussi du fonctionnement des ouvrages.

1.2.4 LES COURANTS

Les courants⁽¹⁾ (figure 1.1.3) sont principalement liés à la marée sur la façade Atlantique, Manche, Mer du Nord et aux vents en Méditerranée.

Schématiquement, le rôle de courants est, du point de vue de la dynamique, sédimentaire :

- . faible dans les transports des sables, graviers, galets (il faut des courants d'au moins 0,5 m/s pour transport un sable de 0,2 mm),
- . importants pour les transports en suspension : MES, débris végétaux.

⁽¹⁾ Autres que ceux liés à l'agitation.

1.3 FACTEURS D'EQUILIBRE DU LITTORAL

Les facteurs intervenant dans l'équilibre du littoral sont résumés dans la figure 1.13a.
Les points importants sont :

1.3.1 FACTEURS NATURELS

a. Remontée du niveau marin

Actuellement, la remontée du niveau marin est de l'ordre de 1,5 mm/an. Elle induit des transferts vers le large (figure 1.1.4a) de l'ordre de 2 à 5 m³/ml/an (avec des estrans et fonds sableux). Il en résulte avec un estran "classique" et un littoral meuble, un recul du trait de côte de 0,1 à 0,2 m/an.

b. Facteurs hydrodynamiques (évoqués en 1.2 et 1.3)

b1. Vents

La déflation éolienne est de 2 à 5 m³/ml/an (zone à faible activité) à 20 à 30 m³/ml/an (zone à transport intense : ex. Côte d'Aquitaine).

b2. Marée

Elle intervient principalement (hors des estuaires et baies) pour les conditions de propagation des vagues et de l'action de celles-ci sur les fonds (mouvements dans le profil), tous deux facteurs dépendant de la hauteur d'eau.

b3. Agitation

L'agitation a un rôle fondamental dans le régime du littoral. Ses actions se manifestent sous deux formes (figures 1.1.4b et 1.1.4c) : mouvements dans le profil, transit littoral :

- . Mouvement dans le profil

Un profil de plage cherche, sans cesse, à s'adapter aux conditions d'agitation.
Ceci se traduit par deux formes fondamentales de profil :

- En période de beau temps, le profil est concave ; le haut et le moyen estran s'engraissent aux dépens du bas estran et des petits fonds.
- En période de mauvais temps, les processus sont inverses et le profil est de forme convexe.

L'intensité des mouvements dans le profil dépend d'une part des caractéristiques des vagues (hauteurs, périodes) et, d'autre part, de la hauteur d'eau. D'après les divers critères existants, on retiendra qu'une vague donnée agit sur des fonds jusqu'à environ 2,5 à 3 fois sa hauteur. Cela se traduit par :

- * des actions particulièrement importantes sur l'estran et les petits fonds (0 à -2 m),
- * peu d'action au-delà de, en général, -4 à -6 m.

Il faut souligner, le rôle essentiel des mouvements dans le profil dans l'érosion du littoral lorsqu'il est conjonction de fortes marées et de surcotes (associées, en pratique, à des dépressions atmosphériques et une forte agitation). Alors, la mer attaque très fortement le haut estran (en particulier si un ouvrage dur le borde) entraînant des érosions qui sont couramment de l'ordre de 1 m et plus.

Les mouvements sédimentaires sont importants et rapides (quelques heures) en tempête. Par contre, la reconstitution d'un profil après tempête est très lente : plusieurs semaines ou mois (sinon plus).

Au cours d'une année, entre le profil de tempête et celui de beau temps, les volumes en jeu sont de l'ordre de 50 à 100 m³ dans les zones peu exposées (ex. dans beaucoup de baies) et de 5 à 10 fois plus forts dans les zones exposées (ex. Côte d'Aquitaine).

Transit littoral

Une vague oblique au rivage engendre un courant parallèle à la côte. Celui-ci transporte les sables en suspension : c'est le transit littoral. Son intensité Q peut s'exprimer sous la forme :

$$Q) f(H, T, d, D)$$

avec :

H, T, d : Hauteur, période, obliquité des vagues
D : Diamètre des sédiments

Pour fixer quelques ordres de grandeur, on retiendra les valeurs suivantes :

- plus forts transits connus : 1 à 1,5 million de m³/an (Golfe du Bénin),
- transits forts : plusieurs centaines de milliers de m³/an (Côte d'Aquitaine),
- transits moyens : de l'ordre de 100 000 à 200 000 m³/an (ex. Pointe d'Arcay),
- transit faible : de 20 000 à 50 000 m³/an ; cas fréquent en particulier dans les baies en Méditerranée.

Le rôle du transit littoral est essentiel à considérer lorsqu'il est envisagé des ouvrages s'opposant, partiellement ou en totalité, à son cheminement.

b4. Courants

Ils interviennent surtout dans les transports en suspension (MES, débris végétaux).

c. Facteurs sédimentologiques

Ce sont :

- . Nature du littoral : falaises dures, tendres, hautes, basses, dunes, marais, etc.
- . Nature des sédiments : galets, graviers, sables, vase ou ... absence de sédiments (cas des platiers rocheux).
- . Quantité disponible (sensibilité des petites baies où le stock sédimentaire est faible).
- . Apports : cours d'eau, côte, production biologique (maerl, débris coquilliers).

d. Facteurs biologiques

- . Herbiers : ils ont un rôle essentiel pour de nombreuses zones du littoral méditerranéen.
- . Organismes lithophages : érosion des platiers.
- . Organismes producteurs de sédiments : végétaux (maerl) ou animaux (débris de coquilles).

e. Divers

- . Facteurs hydrologiques : circulation des eaux dans les roches (en particulier calcaire).
- . Facteurs physico-chimiques : action de dissolution des eaux météoriques et souterraines.
- . Facteurs météorologiques : action du gel sur les roches gélives.

1.3.2 FACTEURS HUMAINS

Pour l'essentiel, les facteurs humains ont un effet négatif (dégradation, érosion) sur le littoral.

1.3.2.1 FACTEURS HUMAINS NEGATIFS

a. Réductions des apports et du stock sédimentaire

Ces réductions sont liées à :

- . L'aménagement des bassins versants et, en particulier, la construction du barrage qui piège l'essentiel des galets, graviers et sables (ex. Rhône, apports de 30 millions de m³/an en l'état naturel ; 5 millions de m³/an actuellement), les sables constituant 10 à 15 %.
- . Les extractions dans les rivières et les fonds marins (ex. 100 millions de m³ de granulats extraits entre la Gironde et la frontière espagnole depuis le début du siècle). De même les dragages des chenaux de navigation des grands estuaires réduisent considérablement les apports sableux à la mer aux littoraux avoisinants.

b. Ouvrages d'aménagements (figures 1.14 à 1.16)

- . Les ouvrages transversaux (épis, jetée portuaire) induisent :
 - une accumulation au vent de l'ouvrage,
 - des érosions (dues à la sous-alimentation) sous le vent.

Le problème des ouvrages transversaux sur l'équilibre du littoral est un des points essentiels à considérer quant aux impacts. On ne compte plus les secteurs en érosion par suite de la réalisation d'épis. A une échelle régionale, l'érosion du cordon des Bas-Champs (à l'embouchure de la baie de Somme) est, en partie, liée à l'arrêt du transit par les grandes jetées des ports construits entre le Cap d'Antifer et la baie de Somme.

- . Les ouvrages longitudinaux (perré, mur)

Les ouvrages longitudinaux :

- ont rompu les liaisons dunes-plages et donc les fonctions régulatrices du régime du littoral,
- favorisé les actions d'érosion liées aux mouvements dans le profil dès lors que les vagues ont pu atteindre les ouvrages (ressac).

Cette action défavorable des ouvrages longitudinaux est à souligner. Les érosions constatées dans la majorité des baies françaises sont en relation avec la réalisation de fronts de mer en dur.

c. Dégradation des dunes

La dégradation des dunes sous les diverses actions humaines (camping, piétons, motos, auto, etc.) entraîne :

- . une destruction du couvert végétal,
- . des actions de déflation éolienne,
- . un affaiblissement de la tenue de la dune vis-à-vis de la mer.

d. Urbanisation

Elle a pour conséquence :

- . Une augmentation du ruissellement, une diminution des temps de concentration des eaux et, finalement, des crues plus rapides, plus fortes et donc plus érosives (en particulier, dans la zone des embouchures de torrent).
- . La destruction de nombreuses zones dunaires.

e. Evénements exceptionnels

La rupture du barrage de Malpasset a entraîné la destruction de la bordure dunaire Fréjus-Saint-Aygulf.

On peut aussi ranger dans cette catégorie, les cyclones qui entraînent des dégradations certes peu fréquentes mais très importantes dans de nombreux DOM-TOM (Antilles - La Réunion - Nouvelle Calédonie - Tahiti).

1.3.2.2 FACTEURS HUMAINS POSITIFS

Dans les facteurs humains positifs, on retiendra :

- . La création de plages artificielles (surtout en Méditerranée ; ex. Prado, Mourillon, Larvotto).
- . Les restaurations de dunes (ex. dunes de Saint-Gilles-Croix-de-Vie, du Veillon, de la Flèche de la Gracieuse, de nombreuses zones du Languedoc).
- . La défense organisée :

L'idée de défense organisée, c'est-à-dire ne concernant pas une zone particulière mais une "province sédimentologique" se développe. Elle se traduit par la conception de plans d'aménagements concertés (ex. Iles de Ré et de Noirmoutier), dont les objectifs principaux sont :

- définition des caractéristiques du régime du littoral,
- bilan des aménagements déjà réalisés et de leurs impacts,
- problèmes existant et hiérarchisation,
- établissement de plans d'aménagement prenant en compte les points précédents et cherchant à valoriser le littoral avec des impacts minima.

1.3.3 CONCLUSIONS

L'évolution du littoral est liée à des facteurs tant naturels qu'humains. Globalement, les littoraux à falaises évoluent principalement sous les actions naturelles et, en particulier, de l'agitation pour la mer et des eaux météoriques (circulation en surface et souterraine) pour la terre.

Sur les littoraux sableux où la pression touristique est forte, bien souvent, les activités humaines ont un rôle important dans les processus évolutifs (où l'érosion est largement prédominante) : fronts de mer (rupture des liaisons dunes-plages, effets du ressac) ; érosion à l'aval des épis, dégradations des dunes (qui engendrent la déflation éolienne). Il s'y ajoute les actions naturelles et, principalement celles de l'agitation (transit littoral, mouvement dans le profil).

Il convient de souligner les efforts qui se sont développés récemment, dans certaines régions pour élaborer des plans d'aménagements concertés basés sur la connaissance du régime du littoral, les besoins et la recherche d'impacts minimaux (voir le chapitre 4 cahier des charges des ouvrages).

oOo

BIBLIOGRAPHIE

BCEOM - Le littoral français. Dommages côtiers. Ouvrages de défense - 1980 - Document établi pour le Ministère de l'Équipement et de l'Aménagement du territoire.

ASTEOM - Erosion et défense des côtes. Journées d'information des 26 et 27 janvier 1983.

A. GUILCHER - Les côtes atlantiques de l'Europe. Evolution aménagement, protection. CNEXO - Actes de Colloque - 1979.

P. BRUUN - Sea level rise as a cause of erosion. Journal of the waterways and harbors divisions. American Society of Civil Engineers. Vol. WW1. February 1962, pp. 117-133.

LCHF - Aménagement du littoral. Régime des plages varoises - 1983.

MINISTERE DE LA QUALITE DE LA VIE. SEATL - Quelques données sur le littoral - 1980.

LCHF - Ouvrages de protection d'un littoral sableux. Enquête sur les ouvrages existants le long des côtes françaises, 1986. Etude réalisée pour le Secrétariat d'Etat à la Mer. Service Technique Central des Ports Maritimes et des Voies Navigables.

LCHF - LNH - SOGREAH - Catalogues sédimentologiques des Côtes Françaises - 3 tomes, 1984, 1986, 1987. Etudes réalisées pour le Secrétariat d'Etat à la Mer. Service Technique et des Voies Navigables.

J. LORIN, C. MIGNIOT - Evolution du littoral de la côte des Landes et du Pays Basque au cours des dernières années. Houille Blanche n° 415 - 1979 - 267-279.

R. BONNEFILLE - Cours d'Hydraulique maritime. Editeur Masson - Paris - 1976.

CHAPON - Régime et défense des côtes. Editeur Eyrolles - 1978 - 156 à 188.

J. LARRAS - Cours d'Hydraulique maritime et de travaux maritimes. Editeur Dunod - 1961.

(D.) LAVAL - Cours de Travaux Maritimes ENPC - 1963-1964.

LCHF - Action simultanée de la houle et des courants sur les mouvements sédimentaires - 1984.

LCHF - Action de la houle sur les sédiments. Etude réalisée pour le CNEXO - 1970.

C. MIGNIOT - Erosion et sédimentation en mer, les causes et les moyens d'action. Formation continue Ecole Nationale des Ponts et Chaussées - Juin 1981.

C. MIGNIOT - Etude de la dynamique sédimentaire marine, fluviale et estuarienne. These de Doctorat es Sciences Université de Paris - 1982.

C. MIGNIOT - Importance des érosions des littoraux. Cas des côtes françaises, côtes à falaises, côtes de galets, plages de sables. Journée d'information érosion et défense des côtes ASTEO - 26-27 janvier 1983.

J.A. SITARZ - Contribution à l'étude des plages à partir de la connaissance des profils d'équilibre CREO - 1963.

US ARMY Coastal Engineering Research - Shore protection manual - 1982.

oOo

Chapitre 2

METHODES DE PROTECTION EXISTANTES ET NOUVELLES

Les méthodes de protection existantes et nouvelles du littoral ont été classées selon 7 thèmes qui sont :

1. Action sur l'énergie des vagues
2. Action sur la propagation des vagues
3. Action sur les fonds
4. Action par des ouvrages littoraux
5. Action douce sur le littoral
6. Protection directe du littoral
7. Divers

Les tableaux 2.1 à 2.7 donnent une présentation générale des différents systèmes selon les thèmes. Pour l'ensemble, ces données proviennent d'une étude réalisée par SOGREAH pour le STCPMVN [3]. Elles ont été adaptées et actualisées pour cette étude.

En l'état actuel de connaissances et des données disponibles, il apparaît que la plupart des procédés nouveaux de défense sont encore au stade expérimental. Aussi, le plus souvent, les résultats n'ont-ils qu'un caractère provisoire et est-il parfois délicat de donner un avis précis sur les systèmes présentés et, ce, tant du point de vue technique que du point de vue économique.

Il faut ajouter aux difficultés d'exploitation des données liées à ce caractère expérimental celles liées aux présentations généralement très "avantageuses" que font, de leurs procédés, les inventeurs.

Tableaux 2.1 à 2.7

1 - ACTION SUR L'ENERGIE DES VAGUES					
	NOM	MODE D'ACTION	PROBLÈMES	REMARQUES	IMPACTS ENVIRONNEMENT
PROCEDES DEJA MIS EN OEUVRE POUR LA PROTECTION DU LITTORAL	<i>Brise-lames émergents</i>	Briser la houle et provoquer la sédimentation à terre du brise-lames	. Dimensionnement pour optimiser leur action . Circulation des eaux	Surtout utilisés en mer sans marée	. Intégration paysagère ? . Dépôts fréquents de débris végétaux
	<i>Brise-lames submersibles</i>	Idem brise-lames émergents	Efficacité réelle encore mal connue (mais beaucoup d'essais en modèle)	Idem brise-lames émergents	Pas de problème paysager
	<i>Brise-lames flottants (divers)</i>	Brise une partie de l'énergie de la houle	Inefficace avec des périodes > à 5-6 s	Surtout utilisé pour la protection des plans d'eau	Peu de problème paysager
	<i>Brise-lames cylindriques</i>	Briser en partie la houle	Adaptés aux mers à faible marée		Recherche d'une adaptation à l'environnement
PROCEDES NON ENCORE UTILISES DANS LA PROTECTION DU LITTORAL	<i>Brise-lames pneumatiques</i>	Rideau de bulle d'air "cassant" la houle		Utilisé contre la pollution saline	
	<i>Brise-lames "rideau de fer"</i>	"Rideau de fer" fixé sur pieux		Utilisé pour la protection de plan d'eau ou de structures	
	<i>Brise-lames abattables</i>	Brise-lames fixés sur des bras mobiles qui peuvent s'abattre à partir d'un certain seuil d'agitation	Non adapté à des sites exposés	Utilisable pour la protection de plan d'eau	Pas de problèmes

Tableaux 2.1 à 2.7 (suite)

2 - ACTION SUR LA PROPAGATION DES VAGUES					
	<i>NOM</i>	<i>MODE D'ACTION</i>	<i>PROBLÈMES</i>	<i>REMARQUES</i>	<i>IMPACTS ENVIRONNEMENT</i>
PROCEDES DEJA UTILISES	<i>Mur d'eau oscillant</i>	Recomposition d'ondes après création d'un déphasage	<ul style="list-style-type: none"> . Le niveau d'eau doit être peu variable . Efficacité dépendant des périodes 	<ul style="list-style-type: none"> . 1 seule réalisation pour la protection d'un émissaire . Application à la protection du littoral . Coût 	Pas de problème paysager
PROCEDES ETUDIES MAIS NON ENCORE UTILISES	<i>Cônes</i>	Diffraction des vagues autour de structures coniques	Adapté aux mers à faible marée	N'ont été étudiés qu'en modèle	
	<i>Système "BRAGG"</i>	Réflexion de vagues sur un système de barres en géotextiles		<ul style="list-style-type: none"> . Etudes en modèle numérique . Essais en modèle physique . Un essai en nature non concluant (destruction des "barres") 	
	<i>Procédé CORNIC C°1000°</i>	Système de bras métalliques mobiles et d'aïeron entraînant "la transformation de mouvements orbitaires de la houle en clapotis ascensionnels"		<ul style="list-style-type: none"> . A l'état de projet ; ni essais, ni réalisation . Utopique ? 	

3 - ACTION SUR LES FONDS					
	<i>NOM</i>	<i>MODE D'ACTION</i>	<i>PROBLÈMES</i>	<i>REMARQUES</i>	<i>IMPACTS ENVIRONNEMENT</i>
PROCEDES DEJA UTILISES	<i>Algues artificielles</i>	"Freinage" des vagues et protection des fonds	<ul style="list-style-type: none"> . Tenue des algues artificielles (flottaison) . Fixation sur les fonds 	L'efficacité des algues artificielles semble faible dans les essais faits à ce jour. Certainement une voie à explorer	Pas de problème
	<i>Plantation posidonies</i>	Idem algues artificielles	<ul style="list-style-type: none"> . Lenteur de la pousse . Travail important pour avoir une densité satisfaisante 		Pas de problème
PROCEDES NON UTILISES OU EXPERIMENTAUX	<i>Drainage de la plage</i>	On favorise la percolation des eaux par un système de drainage. Les sables sont alors moins "mobiles"		A l'état expérimental	

Tableaux 2.1 à 2.7 (suite)

4 - ACTION PAR DES OUVRAGES LITTORAUX					
	NOM	MODE D'ACTION	PROBLÈMES	REMARQUES	IMPACTS ENVIRONNEMENT
PROCEDES DEJA UTILISES	<i>Epis</i>	Arrêt partiel ou total du transit littoral	Dimensionnement, implantation		Erosion à l'aval des épis
	<i>Perrés, murs</i>	Fixe le trait de côte			Erosion des plages devant les ouvrages

5 - ACTION DOUCE SUR LE LITTORAL					
	NOM	MODE D'ACTION	PROBLÈMES	REMARQUES	IMPACTS ENVIRONNEMENT
PROCEDES DEJA UTILISES	<i>Création de cordons artificiels</i>	Protection de zones basses par des cordons littoraux artificiels	Non adapté à des zones fortement agitées	Suivi et entretien nécessaires	Bien adapté
	<i>Restauration des dunes</i>	. Renforce le haut de plage . Lutte contre l'érosion éolienne	Adapté à des zones peu agitées mais non à des zones exposées	Suivi et entretien nécessaires	Très adapté à l'environnement
	<i>Rechargement de plages</i>	Compensation du déficit sédimentaire	Trouver les sables adéquats (granulométrie, volume)	Entretien nécessaire	Très adapté à l'environnement
	<i>By-passing</i>	Restauration d'un transit interrompu par un ouvrage	. Coût . Entretien	. Non utilisé en France à ce jour . Sûrement une voie à explorer	Pas de problème
	<i>Végétalisation de digue argileuse</i>	Confortement de digue argileuse	N'est applicable que dans des zones très protégées		Bien adapté
PROCEDES NON UTILISES OU EXPERIMENTAUX	<i>Recul accepté du littoral</i>	On "compose" avec la mer en acceptant le recul	. N'est qu'assez rarement envisageable . Aspect psychologique difficile	Sûrement un axe à développer	On cherche à composer avec l'environnement

Tableaux 2.1 à 2.7 (fin)

6 - PROTECTION DIRECTE DU LITTORAL					
	NOM	MODE D'ACTION	PROBLÈMES	REMARQUES	IMPACTS ENVIRONNEMENT
PROCEDES DEJA UTILISES	<i>Ouvrages divers en géotextiles recouvrant la plage :</i> Longard Sandtex Robcastt Armoflex etc.	Protection de la plage par des "tapis" de nature diverses	<ul style="list-style-type: none"> . Non adapté à des zones agitées . Fixation de tapis . Dégradation des géotextiles . Beaucoup de déboires 	Fiabilité très incertaine	La plage "disparaît" sous le tapis
	<i>Ouvrages peu réfléchissants divers</i> Caisson Jarland Block Igloo Chambre Arc etc.	Atténuation de l'énergie des vagues grâce à des structures peu réfléchissantes	<ul style="list-style-type: none"> . Fixe le trait de côte . Mais ne conduit pas à des restaurations significatives de l'estran 		Adéquation souvent difficile avec l'environnement

7 - DIVERS					
	NOM	MODE D'ACTION	PROBLÈMES	REMARQUES	IMPACTS ENVIRONNEMENT
IL S'AGIT LÀ D'IDEES OU DE PROJETS MAIS SANS REALISATION CONCRETE	<i>Iles artificielles associées à des plages artificielles</i>	Création en mer de nouveaux linéaires de littoral et de plages (projet japonais)			Les projets peuvent donner lieu à des réalisations très écologiques
	<i>Récifs électrolytiques artificiels</i>	Création de "brise-lames"		En cours d'étude à l'E.D.F.	

2.1 ACTIONS SUR L'ENERGIE DES VAGUES

2.1.1 PROCEDES DEJA MIS EN OEUVRE

2.1.1.1 BRISE-LAMES EMERGEANTS

a. Principe - Mode d'actions

Les brise-lames émergents (exemple de réalisation à La Grande Motte (figures 2.1 et 2.2) ont déjà une longue histoire et ont été particulièrement utilisés au Japon.

Dans le principe, les brise-lames émergents agissent de deux manières :

- . en brisant l'agitation parvenant directement sur le brise-lames et en atténuant sinon annulant les mouvements sédimentaires côté terre du brise-lames,
- . en créant des diffractions des vagues autour des musoirs qui d'une part, induisent une atténuation de l'énergie de la houle et, d'autre part, favorisent la formation d'une plage (tombolo) en arrière du brise-lames.

b. Utilisation

L'efficacité d'un brise-lames semble d'autant plus importante que les fluctuations de niveau sont faibles, aussi sont-ils essentiellement utilisés dans les mers à faible marée :

- . pour la protection du littoral dans les zones où les mouvements dans le profil sont prépondérants (ex. La Grande Motte, Palavas, Fréjus),
- . pour la création de plages artificielles (Prado, Mourillon, Larvotto).

Généralement, la réalisation de brise-lames est accompagnée d'un apport en sable pour que le tombolo ne se forme pas au dépens des plages avoisinants.

c. Problèmes

Bien qu'utilisés depuis fort longtemps et qu'il ait été formulé des règles générales de dimensionnement, il s'avère assez souvent délicat d'avoir un bon fonctionnement. Il intervient dans celui-ci : la distance à la côte, la profondeur d'implantation, la longueur et l'espacement des brise-lames, le climat d'agitation. La marge est relativement étroite entre un trop bon fonctionnement où l'on accumule "tout" (avec un brise-lames trop près) et un fonctionnement insuffisant (avec un brise-lames trop loin).

Deux problèmes sont liés à ceux du fonctionnement :

- . la circulation des eaux,
- . les accumulations de débris végétaux comme, par exemple en Méditerranée, ceux issus des Posidonies.

En conclusion, si certes l'on peut prévoir des schémas d'aménagements de brise-lames basés sur les principes généraux connus, il convient de faire des adaptations en fonction des conditions locales et des exemples éventuels de réalisations proches.

d. Impacts. Environnement

En ce qui concerne les impacts négatifs, il faut citer :

- . la circulation des eaux,
- . les accumulations diverses à l'abri des brise-lames,
- . les possibles érosions du littoral de part et d'autre de la zone d'ombre créée par le ou les brise-lames, d'où la nécessité d'un apport de sables,
- . la destruction des herbiers dans leur zone d'implantation.

Du point de vue de l'environnement, le point essentiel concerne les problèmes d'intégration paysagère. Ceci a conduit à réaliser à la Grande Motte un brise-lames paysager (figure 2.2) dont le coût a été environ 1,5 fois celui d'un brise-lames classique.

e. Conclusions

Méthode "dure" classique, les brise-lames émergents, lorsqu'ils sont bien dimensionnés, sont un outil de protection performant avec des impacts physiques sur le littoral d'importance limitée et auxquels on peut généralement remédier généralement sans problèmes notables.

Ils apparaissent surtout utilisables en mer à faible marée (mais on ne peut être absolument catégorique sur ce point).

Du point de vue de leurs impacts, on doit considérer les problèmes de circulation d'eau, d'accumulations diverses (en particulier de débris végétaux) et de leur intégration paysagère.

2.1.1.2 BRISE-LAMES SUBMERGES

a. Principe. Mode d'action

Dans le principe, on cherche, comme avec des brise-lames émergents une atténuation de l'énergie des vagues mais avec un ouvrage immergé. Diverses études en laboratoire ont analysé l'efficacité des brise-lames en fonction des paramètres suivants (figure 2.3) et [4] :

B Largeur du brise-lames (0,8 ou 1,2 m).

F Hauteur d'eau.

H_r , H_i Hauteur de la houle transmise, incidente, réfléchi.

Coefficient de transmission $C_t : H_r/H_i$

Coefficient de réflexion $C_r : H_r/H_i$

Set-up : η

Set-up relatif : η/H_i

Paramètre d'Iribaren $I_r = \tan \alpha / (H/gT)^{1/2}$

α : Pente de la plage.

Les essais ont été réalisés avec des périodes comprises entre 7,5 et 3,5 s.

2.1.1.3 BRISE-LAMES FLOTTANTS

Les brise-lames flottants ont fait l'objet de diverses études dont SOGREAH a fait une synthèse [6]. Ils ont surtout été utilisés, jusque lors, pour assurer la protection de plans d'eau soumis aux clapots.

a. Principe. Mode d'actions

Les brise-lames se classent en trois catégories :

- . Les systèmes réflecteurs.
- . Les systèmes dissipateurs d'énergie.
- . Les systèmes dynamiques.

Les systèmes réflecteurs sont des ouvrages rigides avec un tirant d'eau leur permettant d'intercepter un certain pourcentage de l'énergie incidente qu'ils réfléchissent en grande partie. Pour être efficaces, ces systèmes doivent très peu bouger, ce qui, en pratique, est réalisé en augmentant le plus possible les périodes propres de roulis et de pilonnement. De plus, il faut prévoir un système d'ancrage résistant car les efforts sont importants.

On peut les regrouper en quatre familles principales :

- . Les pontons rectangulaires : ex. pontons flottants en béton du Moulin Neuf (Brest) (figures 2.4 et 2.5).
- . Les pontons Alaska qui sont des caissons assemblés formant un cadre largement alvéolés.
- . Cadres en A : paroi verticale, stabilisée par des flotteurs.
- . Divers : Système Lassale (brise-clapots formés de deux flotteurs cylindriques) ; ponton incliné Raichlen (barges lestées en sorte qu'une extrémité repose sur le fond et l'autre sort de l'eau) ; brise-lames BS 107C (constitué par un ensemble de modules ; chacun de ceux-ci étant formé de trois cylindres de 2 m de diamètre, 7 m de long et espacés de 3,8 m).

Les systèmes dissipateurs d'énergie peuvent être rigides ou flexibles. Leur but est de désorganiser en surface le mouvement des particules fluides. Cette désorganisation se répercute dans la masse du fluide en augmentant le niveau de turbulence génératrice de pertes d'énergie pouvant être importantes. Ils nécessitent une grande largeur. Les forces d'ancrage sont peu importantes.

Ce sont (pour les principaux) :

- Les brise-lames en pneu (figure 2.6) :

Des expériences faites sur l'influence du rapport L/B (L : longueur d'onde des vagues ; B : largeur du brise-lames) sur le coefficient de transmission C_E (rapport de la hauteur de la houle transmise à la hauteur de la houle incidente) conduisent au tableau suivant (avec des rapports de la hauteur des vagues H à la longueur d'onde L de l'ordre de 0,04 à 0,1) :

L/B	C_E
0,4	0,2
0,8	0,4
1	0,6
1,2	0,7
1,6	0,8

Il faut donc que L/B soit $< 0,85$ pour l'on ait au moins 50 % d'atténuation (soit encore $B = 1,2 L$).

- Les brise-lames Harris (figure 2.7) constitués de cinq plaques rectangulaires , chaque plaque étant formée de quatre planches s'appuyant sur une poutre à l'avant et à l'arrière.
- Les brise-lames La Perrière (figure 2.8) : ils sont formés par la juxtaposition d'éléments standards de 12 m de long d'alliage aluminium.

Les systèmes dynamiques, à l'inverse des systèmes réflecteurs, cherchent à provoquer les mouvements des ouvrages permettant de générer une houle en opposition de phase avec la houle incidente grâce à des répartitions de masse adéquates. La somme des deux ondes donne une houle amortie. Lorsque l'ancrage se situe près du centre de rotation, les efforts peuvent être assez faibles.

Le brise-lames SOGREAH (figure 2.9) est constitué par un ensemble de flotteurs dimensionnés de façon à favoriser les mouvements de roulis en opposition de phase avec la houle incidente. Il n'y a pas eu de réalisation en nature.

b. Utilisation. Problèmes

A ce jour, les brise-lames flottants ont été utilisés pour la protection de plans d'eau mais non pour la protection du littoral. Certes, ils ne sont pas utilisables dès lors que la période dépasse de l'ordre de 5 à 6 s mais ils pourraient répondre à différents cas de zones qui seraient principalement exposées à des clapots (par exemple certaines baies ou parties d'estuaire) et nécessiteraient un "à point" de protection.

c. Impacts. Environnement

Les brise-lames flottants sont peu émergents et ont donc une intégration paysagère aisée. Leurs impacts sur l'environnement sont, a priori, faibles.

2.1.1.4 BRISE-LAMES CYLINDRIQUES

Avec le souci de rechercher d'une part des ouvrages les moins agressifs possibles pour l'environnement paysager et, d'autre part, gênant le moins possible les échanges d'eau, SOGREAH a imaginé des épis et brise-lames constitués de cylindres non jointifs de l'ordre de 7 à 12 m de diamètre à axe vertical posé sur le fond (figures 2.10 et 2.11). Leur usage serait surtout adapté à des mers sans marée. Une réalisation récente existe à Cannes. Il convient de noter que ce type d'ouvrage peut-être adapté à des activités balnéaires (solarium, plongeoir, accostage de petits bateaux en période estivale, etc.).

NB

Des épis en cylindres jointifs ont été réalisés à Bali (peu de marée et zone peu agitée).

2.1.2 PROCÉDES NON ENCORE UTILISÉS DANS LA PROTECTION DU LITTORAL

2.1.2.1 BRISE-LAMES PNEUMATIQUES

a. Principe. Mode d'action

Il s'agit d'une protection modulée suivant l'agitation et par mer calme. On envoie, par l'intermédiaire d'une conduite sous-marine perforée, un débit d'air variable sous une pression à peine supérieure à la profondeur d'immersion du tube (figure 2.12).

L'air comprimé sort sous forme de bulles qui s'expansent en montant à la surface et forment une intumescence dont la position varie sans cesse.

- . L'intumescence génère des petites vagues de très courte période, de part et d'autre du rideau de bulle ; sa mobilité fait perdre à la houle incidente son caractère périodique.
- . L'ascension des bulles d'air crée deux courants de convection ascensionnels et divergents.

Dans une certaine mesure, l'amortissement varie avec le débit. Plus le creux augmente à longueur d'onde constante ou réciproquement et plus le fond descend, plus l'amortissement est difficile.

Ces systèmes n'ont pas dépassé le stade expérimental. Les principaux essais ont été réalisés en Mer Noire et en Grande Bretagne à Douvres. Pour des creux moyens de courte période, l'amortissement peut dépasser 90 %. Ce genre d'installation, peu onéreuse à l'installation, l'est en fonctionnement.

b. Utilisation

L'utilisation des brise-lames pneumatiques a été envisagée pour créer des barrages antisel ou anti-sédimentation (lutte contre les apports de vase).

c. Variante

Sur le même principe que l'utilisation d'air comprimé, il a été étudié (en laboratoire) des brise-lames hydrauliques utilisant l'injection d'eau sous-pression dans un tuyau percé. Les puissances nécessaires à un fonctionnement efficace sont très importantes et donc le système très coûteux.

2.1.2.2 BRISE-LAMES RIDEAU DE FER. BRISE-LAMES DISCONTINUS SUR PIEUX. MUR D'EAU FIXE. DISPOSITIF SOGREAH A DOUBLE LIGNE D'ATTENUATION DE HOULES

a. Brise-lames rideau de fer

Une étude a été faite au Japon d'un brise-lames "rideau de fer" ("curtain-wall" type breakwater). L'objectif de tels ouvrages est, fondamentalement, d'assurer des protections de structure de centrale thermique ou nucléaire et, aussi, de protéger des bateaux amarrés. Un schéma de principe est donné sur la figure 2.13.

Peut-être pourrait-on envisager une utilisation d'un tel système dans la protection du littoral (en particulier, si les conditions d'agitation sont faibles).

b. Mur d'eau fixe

Sur le même principe, BOUYGUES a inventé le mur d'eau fixe qui est constitué par un brise-lames vertical sur pieux auquel on a associé une plaque horizontale à la partie inférieure.

c. Brise-lames discontinus sur pieux

Ce type d'ouvrages (figure 2.14) fréquemment utilisé en URSS est basé sur le fait que la majeure partie de l'énergie de la houle est concentrée en surface. Il est d'autant plus efficace que la longueur d'onde est plus courte. Il est constitué par des parois caractérisées par :

- . leur inclinaison,
- . leur hauteur au-dessus du niveau de repos,
- . leur profondeur au-dessous du niveau de repos.

Cette paroi peut être unique ou élément d'un caisson, la fondation étant faite sur pieux. On peut en mettre 2 ou même 3.

Si H est la hauteur des vagues, l'ouvrage doit descendre de $1,5 H$ et sa largeur être de $3 H$.

d. Dispositif SOGREAH à double ligne d'atténuation de houles

Le dispositif breveté SOGREAH à double ligne d'atténuation de houle (figure 2.15) a pour but :

- . d'assurer une bonne protection contre la houle tout en limitant les efforts exercés par la houle sur la structure brise-lames,
- . d'avoir des caractéristiques peu influencées par la nature des fonds marins,
- . de pouvoir être aménagé sur des fonds supérieurs à une dizaine de mètres.

Il comprend :

- . Une première structure horizontale brise-lames maintenue sous le niveau de la mer qui a pour objet de transférer l'énergie d'une onde de houle incidente vers des ondes plus courtes.
- . Une seconde structure, verticale, stoppant la majeure partie des harmoniques de l'onde incidente créée par la première structure.

2.1.2.3 BRISE-LAMES SUBMERGES FLOTTANTS

Afin d'essayer de trouver une solution aux divers problèmes liés aux brise-lames classiques (circulation d'eau, difficultés pour la navigation, impacts sur l'environnement, etc.), il a été testé au Japon des structures flottantes submergées (dites SMFS = submerged moored-floating breakwater).

La figure 2.16 illustre les résultats obtenus lors d'essais en canal (1,5 m de hauteur, 1 m de large, 5 m de long) ainsi que le dispositif expérimental et les notations utilisées sont :

D, B, A Hauteur, largeur, longueur de la structure.

h Hauteur d'eau à l'emplacement du SMFS.

lx Distance du SMFS à la côte.

L Longueur d'onde des vagues.

d_{50} Diamètre moyen des grains.

Les conclusions des essais sont :

- . Une plage en situation d'érosion peut devenir stable ou même en sédimentation en choisissant une position adéquate du SMFS (figure 2.16).
- . Le profil de plage dépend de :

I_x/A
 D/H
 L_x/L
 d_{50}/L

On peut obtenir en fonction de ces paramètres, des plages à 1, 2 ou 3 festons ("peaked cusped spit", figures C et D).

- . Le SMFS a un rôle important dans la circulation des eaux.

Les résultats obtenus apparaissent encourageants.

Il n'y a pas, semble-t-il, de réalisation en nature. On peut s'attendre à quelques problèmes tels que mise au point d'une telle structure flottante, tenue aux vagues (en particulier, s'il y a des risques de déferlement, ancrage).

Par ailleurs, la performance du SMFS paraît répondre pour une structure définie à des conditions données d'agitation et de position. Il se pose alors le problème de son efficacité résultante en nature où les conditions océanographiques sont très variables (même problème que pour le mur oscillant).

2.1.2.4 BRISE-CLAPOTS ABATTABLES

Le brise-clapot abattable (figures 2.17 et 2.18) est un brevet SOGREAH. Il a pour objet de protéger les aménagements contre une agitation relativement modérée de l'eau (moins de 1,5 m de hauteur). Il comprend un écran articulé à un support solidaire du fond de l'eau, l'axe d'articulation étant sensiblement horizontal. Le brise-clapot comprend un dispositif maintenant l'écran en position verticale et autorisant la rotation de l'écran autour de l'axe si la force exercée sur l'écran dépasse une valeur prédéterminée.

Ce brise-clapot :

- . agit peu sur les courants,
- . ne pose pas de problèmes d'intégration à l'environnement,
- . est aisément démontable et extensible,
- . est peu coûteux.

2.1.3 CONCLUSIONS

Les avantages et inconvénients des brise-lames émergents, qui sont utilisés depuis fort longtemps en protection du littoral en mer à faible marée, sont connus mais pas toujours aisés à résoudre (en particulier en ce qui concerne les accumulations "indésirables" telles que les débris végétaux). On peut dire, en résumé, que l'on arrive à des protections satisfaisantes mais avec des impacts pour l'environnement non négligeables (en particulier, aspect paysager, destruction des herbiers dans leur emprise).

Les autres types de brise-lames (submersibles, flottants, pneumatiques, submergés, abattables) ont été peu ou pas utilisés à ce jour en tant que protection du littoral. Il y a là sûrement des voies de recherches en particulier en tant que moyens de base ou complémentaires de protection dans des zones de faible agitation.

2.2 ACTION SUR LA PROPAGATION DES VAGUES

2.2.1 PROCÉDES DÉJÀ UTILISÉS : MUR D'EAU OSCILLANT

a. Principe. Mode d'action

Le mur d'eau oscillant a été mis au point par la société PRINCIPIA en collaboration avec le Service des Travaux Publics de la Principauté de Monaco.

Dans le principe, l'ouvrage (figures 2.19 à 2.21) constitué par une plaque rectangulaire métallique sur pieux, a pour but de provoquer une atténuation des effets de la houle en vue de la protection d'ouvrages ou d'installation côtière ou off-shore. Le procédé est caractérisé en ce qu'il consiste à créer, à partir de la houle incidente, un phénomène de nature ondulatoire qui se matérialise sous la forme "d'un mur d'eau oscillant" en générant un système d'onde de radiations dont la composition avec l'onde diffractée en aval du mur oscillant donne une résultante nulle ou de faible amplitude.

Le rendement d'une plaque dépend :

- . de la hauteur d'eau,
- . de la distance entre la plaque et le fond,
- . de la hauteur des vagues,
- . de la superficie et de l'épaisseur de la plaque.

D'après les essais en modèle réduit :

- . En houle moyenne :
 - les optima de fonctionnement se situent autour de 6 à 7 s,
 - ces optima se déplacent vers les périodes longues lorsque la largeur de la plaque augmente,
 - une largeur de 16 m semble optimale.
- . En houle forte :
 - les optima sont décalés vers les houles courtes (5 à 6 s),
 - la largeur optimale serait de 24 m.

Les résultats obtenus correspondent à une situation bien définie pour les paramètres tant de l'ouvrage que bathymétrique et océanographique. Pour une situation donnée, le spectre de période pour lequel l'atténuateur est efficace est très étroit : de l'ordre de 2 s.

Aussi, se pose le problème des possibilités d'utilisation du procédé :

- . en mer à marée,
- . avec les conditions d'agitation très variables.

b. Réalisation. Utilisation

Jusque lors, la seule réalisation existante est celle pour la Vila Olympica (Barcelone - Figure 2.22) pour protéger la sortie d'un émissaire.

Les atténuateurs ont été conçus pour avoir un rendement de 80 % (soit une hauteur transmise de 44 %) et une gamme de fonctionnement comprise entre 6 et 10 s. Ils ont été implantés dans des fonds de - 8,5 m. La houle maximale annuelle au large est de 11 m (T = 12,6 s).

Pour les données, les caractéristiques des deux atténuateurs sont :

- . Largeur : 16 m.
- . Longueur : 24 m.
- . Epaisseur : 2 m.

- . Espacement : 60 m.
- . Immersion de la face supérieure : 1,5 m sous le niveau moyen des marées (marnage inférieur à 0,5 m).

Les dalles sont montées sur quatre piles.

A notre connaissance, il n'a pas été publié à ce jour de résultats quant au fonctionnement de l'ouvrage.

Divers projets de réalisation pour la protection du littoral ont été envisagés (par exemple pour la protection du littoral oriental du golfe de Giens) mais ils ont été sans suite.

c. Impacts. Environnement

Il n'existe qu'une seule réalisation et l'on ne dispose pas de données publiées quant à son fonctionnement. On ne peut donc se prononcer sur les impacts de cet ouvrage. A priori, il respecte au mieux les fonds marins et ne constitue pas un obstacle significatif à la circulation des eaux. Il ne pose pas de problème d'intégration à l'environnement terrestre. Il reste à voir, comme pour les brise-lames submergés, les problèmes qu'il pourrait poser pour les diverses activités nautiques.

2.2.2 PROCÉDES ETUDIÉS MAIS NON ENCORE UTILISÉS

2.2.2.1 CONES

a. Principe. Mode de fonctionnement

Ce projet "cônes" a été étudié dans le cadre de l'aménagement d'une plage artificielle du Larvotto. La marée est inférieure à 0,5 m. Les courants sont négligeables. La houle du Sud peut atteindre 6 à 7 m.

L'ouvrage, défini à partir d'essais en modèle réduit comprenait (figure 2.22) :

- . Un remblaiement des fonds marins entre 0 et - 7,5 m.
- . Une butée de pied constituée par une digue dans les fonds de - 7,5 m.

- . Des cônes reposant sur la digue dont les dimensions étaient, selon les essais, de 30 m, 20 m et 14 m et les cotes d'arase entre + 3 m et + 4,4 m ; les angles au sommet des cônes ont varié entre 71° et 63° ; leurs espacements ont été de 60 m (cône de 30 m) à 30 m (cône de 14 m).

L'expérience montre que les ondes élémentaires cheminant vers la plage ont pour centre soit le milieu des ouvertures, soit les cônes selon que l'écartement des cônes d est $<$ ou $>$ à la $1/2$ longueur d'onde incidente. Ces ondes élémentaires seraient passibles, selon les caractéristiques et l'orientation de la houle incidente, soit de régimes d'interférences à directions diverses préférentielles (phénomène de Bragg⁽¹⁾ avec $d > \lambda/2$) soit de régime d'ondes diffractées classiques sensiblement semi-circulaires ayant leur centre au milieu des intervalles des cônes ($d < \lambda/2$). Dans tous les cas, les ondes se propagent vers la plage sensiblement parallèlement à celle-ci et il n'y a donc pas de possibilité de transit littoral.

b. Réalisation

Le projet n'a pas été réalisé.

2.2.2.2 SYSTEME "BRAGG"

a. Principe. Mode de fonctionnement

Les études (modèle numérique, cuve à houles) du Naval Civil Engineering Laboratory (USA) sur les barres ont montré que :

- . Une série d'ondulations périodiques de faible hauteur (barres) pouvait entraîner d'importantes réflexion des vagues. La réponse est bi-modale : un pic de réflexion à la fréquence fondamentale de Bragg, un autre pic à la première sous harmonique.
- . Une augmentation de l'importance de la barre entraîne celle de la réflexion du premier pic.
- . Une augmentation de la hauteur de la barre accroît la largeur du spectre du pic.
- . La présence d'un champ de barres réduit l'érosion de la plage proportionnellement à deux fois la valeur du coefficient de réflexion.

^(*) Loi de Bragg : définit les conditions de propagation des ondes lumineuses selon les longueurs d'onde et l'indice de réfraction du milieu.

b. Réalisation

Sur la base des résultats des études précédentes, des essais en nature ont été réalisés au Cap Canaveral (climat d'agitation généralement < à 0,5 m).

Le système comprenait :

- . 3 barres de 90 m de long constituées par des tubes en géotextile de 0,7 m de diamètre.
- . Un espacement des barres de 7 m.
- . Une implantation vers le zéro hydrographique.

Une tempête (a priori peu probable à la période des essais) a mis prématurément fin à l'expérience : tubes arrachés.

2.2.2.3 SYSTEM CORNIC C "1000"

a. Principe. Mode d'action

Le système C.1000 (figure 2.23) inventé par Cornic (inventeur indépendant - France - 1989) est présenté comme suit par l'auteur :

"Il est conçu pour protéger le littoral. Cet appareil dont les dimensions sont adaptées en fonction du site à traiter transforme les mouvements orbitaires de la houle en clapotis ascensionnels.

Il est constitué de puissants bras métalliques ou composites ancrés sur un corps mort de béton dont le poids est approprié à la traction de l'appareil en action.

Le C.1000 se positionne automatiquement suivant l'orientation de la houle. Les bras maintiennent tout un ensemble d'ailerons et plates-formes qui oblige les forces hydrauliques à se contre-carrer et donc quasiment d'annuler leurs forces naturelles. La houle est donc freinée, ce qui évite son agression sur le littoral".

Cornic propose diverses utilisations du C.1000 :

- . Transiteur⁽¹⁾ de sédiment : accouplement d'une pompe au C.1000 permettant de faire du by-passing.
- . Sédimenteur⁽¹⁾ de plage : idem ci-dessus, sauf que l'on aspire au large et on rejette sur la plage.

⁽¹⁾ Terminologie de CORNIC.

- . Réoxygénateur de mer : la pompe associée au C.1000 permet d'insuffler de l'air dans des réseaux de fond.
- . Producteur d'électricité : accouplement du C.1000 à une génératrice ; la production pourrait atteindre 120 kWh.

b. Réalisation

A ce jour, C.1000 n'existe que sur le papier. On peut d'ailleurs se poser quelques questions sur la tenue d'un tel système au milieu des vagues et le réel fonctionnement du système proposé, tant en ce qui le concerne lui-même que pour les diverses pompes qui lui seraient associées.

2.3 ACTIONS SUR LES FONDS

Les actions sur les fonds comprennent deux domaines :

- . Action sur les fonds sous-marins par revégétalisation naturelle et/ou artificielle (procédés déjà utilisés).
- . Action sur l'estran par drainage (stade expérimental).

2.3.1 PROCÉDES DÉJÀ UTILISÉS

2.3.1.1 ALGUES ARTIFICIELLES

a. Principe. Mode d'action

On a remarqué qu'en nature, sur les zones à vastes herbiers (comme, par exemple, les champs de posidonies en Méditerranée), l'agitation s'amortissait sous l'action "frein" exercée par les végétaux sur les orbites des "particules" d'eau.

Par ailleurs, les végétaux constituent un piège pour les particules sédimentaires et favorisent ainsi la sédimentation.

A titre d'exemple, on a attribué (à tort, au moins en partie) l'érosion du littoral oriental du Golfe de Giens à la dégradation du champ de posidonies sous l'influence des rejets en mer d'un émissaire.

b. Réalisation. Synthèse des résultats

Réalisation

Diverses réalisations ont été faites tant en France (aux Saintes Maries de la Mer, figure 2.24) que dans d'autres parties du monde comme au Portugal (Monte Estoril, figures 2.25 à 2.27) et aux Etats Unis (figures 2.28 à 2.31).

Des expériences récentes ont été menées par le CETE d'Aix en Provence sur les caractéristiques des algues artificielles, leur ancrage et leur implantation (figures 2.32 à 2.34).

Synthèse

Si dans le principe l'utilisation d'algues artificielles apparaît fort séduisante, les résultats obtenus sont peu probants. En particulier, une étude de synthèse de Rogers [7] a conclu que :

- . Les algues artificielles pouvaient être utilisées pour réduire l'action des courants dans certaines conditions : fort ancrage, forte densité (voir figures 2.29 à 2.31 : protection des pipelines).
- . A ce jour, les algues artificielles n'ont pas donné de résultats significatifs quant à la protection du littoral. Cet insuccès est dû à plusieurs causes : densité, ancrage, comportement (flottabilité) des algues non satisfaisants.

Il convient de souligner qu'en nature, on a affaire à de véritables "tapis" de végétaux sur les fonds et ce sur de très grandes surfaces. On est loin de telles conditions avec les expériences d'algues artificielles dans des conditions réalistes et économiques.

En conclusion, à ce jour, il ne semble pas y avoir d'espérances fortes quant aux résultats pouvant être obtenus avec les algues artificielles.

c. Impacts. Environnement

Il est certain que les algues artificielles sont particulièrement séduisantes sous l'angle de leurs impacts et leur intégration à l'environnement. Encore faut-il qu'elles donnent un résultat significatif (voir en b.).

2.3.1.2 PLANTATIONS

En France des essais de plantation de posidonies sont en cours (A. Meinesz). Après quelques déboires (infections des implants par des bactéries entraînant une forte mortalité), on obtient de bons résultats.

Toutefois, l'application à la protection du littoral à partir de plantation n'est pas du tout évidente du fait :

- . de la forte densité d'implants nécessaire,
- . de la très faible vitesse de croissance des posidonies.

Des essais de plantation de Zoostères sont en cours en Angleterre et en Hollande.

2.3.2 PROCÉDES NON UTILISÉS : DRAINAGE DE LA PLAGE (Stabeach system)

a. Principe. Mode d'actions

Le principe du Stabeach system (figures 2.35 et 2.36) est basé sur l'augmentation de la percolation des eaux apportées sur l'estran par le swash : alors le backwash (qui entraîne les sables vers le bas de l'estran) sera moins énergétique et l'engraissement de la plage sera favorisé.

Pour augmenter la percolation, on crée un réseau de drains reliés au collecteur lui-même relié à une station de pompage.

Les paramètres à considérer sont :

- . Pente de la plage.
- . Perméabilité des sables.
- . Conditions océanographiques.
- . Mouvements sédimentaires.

b. Réalisation

A ce jour, seules ont été mis en oeuvre des réalisations expérimentales au Danemark et en Floride (figure 2.37). Il semblerait que l'on obtienne des résultats positifs significatifs. Mais les informations sont, à ce jour, trop partielles pour porter un jugement objectif.

c. Impacts. Environnement

A priori, le Stabeach system a des impacts minima et ne pose pas de problèmes quant à son intégration dans l'environnement.

2.4 ACTIONS PAR DES OUVRAGES LITTORAUX

Les ouvrages littoraux (figures 1.14 à 1.16) considérés sont ceux utilisés depuis fort longtemps et sont qualifiés de "durs" : ouvrages transversaux (épis), ouvrages longitudinaux (murs, perrés).

2.4.1 OUVRAGES TRANSVERSAUX. EPIS

a. Principe. Modes d'action

Lorsqu'il existe un transit littoral, un ouvrage perpendiculaire au littoral captera tout ou partie de celui-ci provoquant un engraissement de la face au vent "amont" de l'épi. L'épi a alors un rôle "accumulation".

L'épi est aussi utilisé en tant qu'ouvrage de "contention" en particulier pour limiter les dispersions latérales de rechargements (entre autres, cas de plages artificielles).

b. Réalisations

Les épis sont un "classique" de l'aménagement du littoral. De longueurs le plus souvent comprises entre 50 et 150 m, de hauteur de l'ordre de 1,5 à 3 m, ils ont été réalisés selon de multiples moyens : bois, palplanches, enrochements, maçonnerie, béton etc. Le tableau 2.8 donne les règles générales de dimensionnement des épis (établies par Y. Lalau). Le bilan français est donné dans le chapitre 3.

Réalisation ne signifie pas efficacité : c'est le cas d'épis dans des zones à faible transit et à mouvements dans le profil dominant (ex. zone Saint-Jean de Monts - Saint-Gilles Croix de Vie).

c. Impacts. Environnement

Les impacts des épis sont doubles :

- . Positif au vent (à l'amont) de l'épi : le littoral s'engraisse.
- . Négatif sous le vent (à l'aval) de l'épi, sous-alimenté en sédiments.

L'aspect négatif à ce jour est fort mal résolu :

On ne sait que fort mal résoudre le problème de l'érosion. Dans le principe, la réalisation d'épis en "remontant" le transit littoral (de l'aval vers l'amont) devrait apporter une réponse satisfaisante (pour autant que l'on suive avec attention un plan prenant en compte l'accumulation contre chaque épi construit).

L'intégration à l'environnement des épis pose souvent problèmes en particulier lorsqu'ils sont réalisés en enrochements.

2.4.2 OUVRAGES LONGITUDINAUX : MURS - PERRE

a. Principe. Modes d'action

Comme il l'a été indiqué dans le chapitre 1, les ouvrages longitudinaux ont tout d'abord été réalisés pour assurer la protection de zones menacées par la mer ou pour assurer des gains sur la mer : polders, zones de saliculture, zones basses.

Dans un deuxième temps, les ouvrages longitudinaux ont été utilisés pour la création de fronts de mer le long du littoral, en particulier le long des grandes baies.

Les ouvrages longitudinaux fixent le trait de côte mais n'ont pas d'autres modes d'action positifs (voir en c.).

Tableau 2.8 - DIMENSIONNEMENT DES EPIS

Paramètres	Règles de dimensionnement	Observations
- LONGUEUR	<p>1 - Mers à faible marnage (<1m):</p> <p>L_{mini} = 60 m pour 0,15 < D₅₀ < 0,25 mm = 50 m pour des sables grossiers L = 100 à 120 m (Musoir à (-2) CM environ)</p> <p>2 - Mers à marée moyenne (4 à 7m):</p> <p>L_{mini} = 50 à 60 m L = 100 à 120 m "Plongeant" L = 100 à 120 m "arasé à la cote de PM" ou L > 150 m "Plongeant" (Musoir à (-1) ou (-2) CM) }</p> <p>3 - Mers à forte marée (> 7m):</p> <p>L_{mini} = 70 m</p>	<p>Epis à cote constante émergée.</p> <p>Confortement du haut de plage</p> <p>Pour un arrêt significatif du transit littoral</p> <p>Augmente avec la largeur de l'estran</p> <p>Ne permet de stopper qu'une faible part de transit littoral</p> <p>Permettent de stopper une quantité significative du transit d'estran.</p> <p>Grandes largeurs d'estran</p>
- HAUTEUR	<p>1 - Mers à faible marnage (<1m):</p> <p>A terre : cote des PHE + 0,3 à 0,5 m En mer : cote ≤ (+1) CM</p> <p>2 - Mers à marée (> 4m):</p> <p>En haut de plage : Cote des PHE + 0,3 à 0,5 m En section Intermédiaire : Profil "plongeant" 1m à 1,5 m maxi au-dessus du niveau moyen de la plage pour des transits faibles jusqu'à 1,5 m à 2 m pour des transits forts</p> <p>En section "terminale": Profil "constant" variant de : P.M pour L = 100 m à B.M pour des épis longs (musoir à (-2) CM environ). Profil "plongeant" en continuité de la section intermédiaire.</p>	<p>D'autant plus basse que l'ouvrage est imperméable et réfléchissant.</p> <p>Réduction de 0,5 m dans le cas d'ouvrages réfléchissants.</p> <p>Dimensionnement fonction de "l'état" sédimentologique de la plage et des variations de niveau saisonnières.</p> <p>Epis "longs" et "bas" à préférer pour des zones à faible transit.</p>
- ESPACEMENT	<p>1 - Mers à faible marnage (<1m)</p> <p>Pour 3 < H_{maxi} an < 6m: 1,6 < E/L < 2,5</p> <p>Pour H_{maxi} an > 6m : E/L = 1,2 (Faible transit < 50.000 m³/an) E/L = 1,5 (Transit moyen = 100.000 m³/an) E/L = 2,5 (Fort transit > 200.000 m³/an)</p> <p>2 - Mers à marée (> 4 m):</p> <p>Pour 0,15 < D₅₀ < 0,25 mm : 1,2 < E/L < 2 Pour 0,5 < D₅₀ < 1mm : 2 < E/L < 4 Pour des transits de 20 à 50.000 m³/an</p>	<p>Valeur de E/L variant proportionnellement à l'importance du transit et à la granulométrie des sédiments.</p> <p>Pour des incidences normales (15 à 25°) $E = (L-a)(1-Tg^2\alpha)/Tg\alpha$</p> <p>Pour de fortes incidences, E/L se rapproche de 1</p> <p>Pour de faibles incidences, E/L peut être multiplié par 2 ou 3 selon l'importance du transit.</p> <p>Influence du transit et de l'incidence de la houle dans le même sens qu'en mer sans marée, mais à préciser.</p>
- STRUCTURE	<p>La moins réfléchissante possible, d'autant moins que l'ouvrage est haut et le transit faible.</p> <p>Structures "perméables" possibles en zones à faible transit.</p>	<p>Critère très important au musoir.</p> <p>Efficacité limitée au haut de plage.</p>
- ORIENTATION des épis	<p>Si l'incidence de la houle est "constante", orientation préférable des épis dans le sens opposé à la provenance de la houle.</p> <p>SAUF pour marquer le rivage par des alvéoles décalées.</p> <p>Sur longueur à prévoir à l'enracinement.</p>	
- SENS de CONSTRUCTION	<p>Construction progressive de l'aval vers l'amont du transit souhaitable :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pour adapter la cadence de construction ou l'espacement des épis à la réponse du littoral. - Avec des transits faibles ou des ouvrages "hauts" ou "longs". 	<p>Alternative possible par un approvisionnement en matériaux initial (rechargement).</p>
- DISPOSITIF de TRANSITION	<p>Intérêt montré en mer à faible marnage d'un dispositif de transition avec épis de longueur et d'espacements variables, pour réduire les érosions à l'aval.</p>	<p>Suppose des épis ne stoppant pas la totalité du transit, et donc ni trop "hauts", ni trop "longs".</p>

REMARQUES GÉNÉRALES:

- Efficacité des épis influencée par la présence d'un ouvrage de haute plage, surtout s'il est trop réfléchissant, ou trop avancé sur le rivage.
- Nécessité d'une bonne connaissance des évolutions de plage, dans le profil notamment, et du transit littoral.

b. Réalisation

Le bilan des réalisations est donné dans le chapitre 3. Les types de réalisation sont, comme pour les épis, multiples : maçonnerie, béton, enrochements.

Le tableau 2.9 donne le tableau récapitulatif du dimensionnement des ouvrages.

c. Impacts. Environnement

Les ouvrages longitudinaux, particulièrement visés dans les problèmes d'environnement ont trois impacts négatifs majeurs :

- . Ils interrompent les liaisons dunes-plages existantes et l'effet "tampon" de celles-ci sur le régime du littoral : en période de mauvaises conditions océanographiques, la dune alimente la plage ; en période de beau temps, les processus sont inverses.
- . Ils induisent une érosion du profil transversal de la plage (perpendiculairement à l'ouvrage) du fait des réflexions des vagues sur l'ouvrage (formation de ressac induisant des affouillements en pied d'ouvrage).
- . Ils introduisent une discontinuité dans le profil longitudinal côtier en constituant un point dur.

Cela étant, on ne saurait systématiquement "jeter la pierre" aux ouvrages longitudinaux ; ils sont, dans divers cas, le moyen ultime pour défendre des aménagements importants.

Leur intégration à l'environnement, en particulier, du point de vue paysager est souvent délicate (surtout lorsqu'ils sont en enrochements).

2.5 ACTIONS DOUCES SUR LE LITTORAL

Avec les actions "douces" sur le littoral, on aborde un domaine d'actualité, mis en avant par la majorité des défenseurs de l'environnement. Si, certes, il y a des aspects très positifs dans les méthodes douces, il y a aussi des problèmes. On s'est efforcé de faire une présentation objective de l'ensemble des données concernant chacun des procédés évoqués.

Tableau 2.9 - DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES DE HAUTE PLAGE

Paramètres	Règles de dimensionnement	Observations
- <u>COEFFICIENT DE REFLEXION</u>	Pente maximale 2 à 3 de base pour 1 de hauteur avec une structure la plus absorbante possible (type enrochements).	A réduire au maximum impérativement. Son importance varie également en fonction d'autres critères (exposition, position).
- <u>PROTECTION contre les AFFOUILLEMENTS</u>	Rideau parafouille ou bêche en enrochements à dimensionner vis à vis du phénomène de renard solide.	Rideaux verticaux à éviter si sa cote est trop élevée. Importance de la connaissance des variations saisonnières du niveau des profils de plage et du recul de cote à prévoir.
- <u>ROLE DE FILTRE</u>	Filtre naturel : respect des règles de TERZAGHI Filtre géotextile : Suivre les recommandations du CFGG et du STCPMVN	Élément structural indispensable à la pérennité de la protection, le filtre n'est pas un complément de "contour". A prévoir également en fondation sur du sable pour éviter l'ensouille-ment des protections (enrochements).
- <u>ROLE DE SOUTÈNEMENT</u>	Vérification à faire vis à vis de la résistance aux efforts éventuels de poussée des terres et de poussée hydraulique.	
- <u>DIMENSIONNEMENT GENERAL</u>	Détermination de la crête de l'ouvrage : En première approximation : $Z = 1,25 H^{1/10}$ (Z comprise au-dessus des PHE avec surcotes) ou : calcul du "Run-up".	Cote de crête et dispositions de protection de la crête contre les franchissements (dégradations par action mécanique ou par infiltrations dans le corps de "remblai" à l'amère de l'ouvrage). (Voir en annexe).
- <u>STRUCTURE des OUVRAGES</u>	Résistance globale de la structure vis à vis des actions hydrodynamiques. Résistance intrinsèque des matériaux employés.	Importance du filtre - Dégradations et mode de rupture de l'ouvrage fonction de sa structure. Nécessité d'entreprises qualifiées pour leur réalisation. UV - action physico-chimique de l'eau de mer, tarrets. Mauvaise tenue des ouvrages dits "légers" (gabions métalliques...)
- <u>IMPLANTATION par rapport au RIVAGE</u>	Position à déterminer pour des conditions hydrodynamiques de période de retour annuelle ou bi-annuelles. Prise en compte du recul prévisible sur la durée de vie de l'ouvrage et du nouveau profil de plage après recul. (Méthode CERC par ex.)	Éviter l'effet de "point dur" provoqué par un ouvrage trop avancé par rapport au rivage.

REMARQUES GÉNÉRALES :

- Nécessité d'une bonne connaissance des variations saisonnières des profils de plage, y compris action du vent.
- Ouvrages désstabilisateurs au plan sédimentologique pour lesquels on doit rechercher à minimiser les impacts négatifs.

2.5.1 PROCÉDES DÉJÀ UTILISÉS

2.5.1.1 CREATION DE CORDONS ARTIFICIELS

a. Principe. Mode d'actions

A Villeneuve Les Maguelonne (figures 2.38 à 2.40), une partie du lido était régulièrement envahie par la mer lors des périodes de mauvais temps et, aussi, il y avait alors des apports de sable dans l'étang.

Aussi est née l'idée (SMLR - SOGREAH) de réaliser en retrait de la ligne de rivage un cordon littoral constituant une protection de l'arrière-pays contre la mer dès lors que celle-ci avançait sur la terre sans, toutefois, être directement exposé à son action.

b. Réalisation. Fonctionnement

Le cordon est constitué :

- . par une dune de sables de 200 m arasée à + 4 m NGF située à 60 m de la ligne de rivage,
- . une carapace de galets recouvrant la dune côté mer (pente 4/1).

Des ganivelles ont été mises en place et une végétalisation faite.

Les résultats ont été très positifs. Depuis des essais en canal ont été effectués à SOGREAH pour optimiser le dimensionnement.

c. Impacts. Environnement

L'aménagement du cordon (ganivelles, végétalisation) a permis son intégration correcte à l'environnement.

2.5.1.2 RESTAURATION DES DUNES

a. Principe. Mode d'action

Les dunes constituent un élément essentiel du littoral français. Certes, elles sont plus ou moins développés selon les zones et l'on ne saurait comparer les dunes d'Aquitaine à celles bordant une petite baie bretonne. Mais, sauf dans des zones à falaises vives bordant la mer, elles sont quasiment toujours présentes (lorsque l'urbanisation ne les a pas fait disparaître : ex. La Baule, Royan !).

Pour leur malheur, les dunes sont un élément attractif pour beaucoup : camping, moto ou autocross, fréquentation sauvage, etc. Il en résulte une dégradation se traduisant par :

- . la destruction de couvert végétal,
- . la formation de secteurs d'intense activité éolienne (les sifflets),
- . une déflation éolienne généralisée,
- . une diminution de la "tenue" vis-à-vis de la mer.

Ceci a conduit à établir dans de nombreuses zones des schémas de restauration comprenant :

- . des remodelages de dunes,
- . des ouvrages de cloisonnement pour lutter contre l'érosion éolienne,
- . des revégétalisations,
- . des chemins incitatifs,
- . des aires de stationnement,
- . une information des usagers,
- . etc.

b. Réalisation

La prise de conscience du problème "dunes" fait que de nombreuses réalisations sont en cours telles que par exemple, à La Flèche de La Gracieuse (Fos - figures 2.41 et 2.42). Il faut avoir conscience que la restauration des dunes nécessite, outre des travaux initiaux, un entretien permanent.

c. Réflexions sur les relations restaurations de dunes - protection du littoral

Il est certain que la recherche d'une protection du littoral basée sur le principe de relations "normales" dunes-plages est particulièrement satisfaisante vis-à-vis des problèmes d'environnement.

Est-ce pour autant que l'on peut espérer des résultats significatifs en toute circonstance. La réponse dépend de plusieurs facteurs conditionnant l'évolution du littoral :

- . Dans des zones exposées à de fortes actions océaniques, il serait illusoire de baser la stabilisation d'un littoral dunaire sur celui des dunes : ex. côte landaise.
- . Il en est de même pour des zones fortement évolutives : ex. Pointe de la Coubre.
- . De nombreuses plages de baies sont en déséquilibre à la suite d'actions humaines (urbanisation, front de mer). Alors, bien souvent, on ne peut espérer compenser ce déséquilibre par un traitement de dunes : "le rapport des forces" est trop inégal. Exemple : plage de Sables d'Or-les-Pins (Côte d'Armor).
- . En fait, on ne peut vraiment espérer une bonne efficacité que dans des secteurs peu exposés et où les dégradations sont restées faibles. C'est le cas d'un bon nombre de petites baies bretonnes comme la baie de Goulven.
- . En conclusion, bien souvent, l'aménagement de dune sera un complément (nécessaire) à d'autres mesures mais ne pourra être considéré comme la solution de base, en particulier si on est en présence de dunes élevées fortement attaquées.

d. Cas particulier : stabilisation de dunes par un gel

La division chimique de Pfizer a développé un gel polymère biodégradable qui permet d'obtenir un composé sable eau (97 %) - gel (3 %) cohésif mais aussi élastique.

Le gel est appliqué sur la dune grâce à un canon. Des essais ont été réalisés à Anastasia (Côte Est des Etats Unis). Les résultats sembleraient satisfaisants. Il est à noter que le polymère n'a une durée de vie que de 3 à 5 ans.

2.5.1.3 RECHARGEMENT DE PLAGES

Le rechargement de plages est encore peu usuel en France. Ainsi, sur la façade Ouest de la France, le seul rechargement massif ayant conduit à une restauration de plages significatives est celui de Chatellaillon. En Méditerranée, les rechargements, plus nombreux ont généralement été associés à la création de plages artificielles.

a. Principe

Le principe du rechargement est simple :

- . On détermine le régime du littoral et la nature des matériaux naturels.
- . On fait des apports initiaux :
 - dont le volume correspond au projet établi,
 - dont la granulométrie est la plus proche possible du matériau naturel.
- . On prévoit des apports d'entretiens périodiques correspondant aux pertes permanentes (vent, dispersion dans le profil, transit littoral).
- . Eventuellement, on prévoit des ouvrages de contention des apports (épis et/ou brise-lames).

b. Réalisation. Problèmes

Réalisations

Comme il a déjà été indiqué, le rechargement est peu usité sur la façade Ouest. Parmi les rechargements les plus importants, on peut citer :

- . La plage de la Noveillard, associée au nouveau port de Pornic (matériau issu du dragage du port).
- . La plage de Chatellaillon (Charente-Maritime) (300 000 m³ au total, refoulés depuis le large).
- . La plage de la Barre de Monts (Vendée), 50 000 m³ par moyens terrestres.
- . Le cordon des Bas-champs où des apports réguliers (20 000 à 30 000 m³/an) sont faits pour conforter le littoral (mais sont toutefois insuffisants).

En Méditerranée, les rechargements les plus importants concernent les grandes plages artificielles : Pardo - Nourillon - Larvotto.

Problèmes

Pour séduisant qu'il soit, le rechargement de plage ne va pas sans poser de problèmes importants :

- . Trouver la quantité nécessaire d'une granulométrie adéquate. On est là devant un point souvent délicat à résoudre du fait de l'épuisement des ressources dans le domaine terrestre (en particulier dans les lits des cours d'eau actuels ou anciens) et de sources marines adéquates dont les conditions d'exploitations sont souvent peu aisées.
- . Faire accepter par les Autorités concernées la notion de rechargements d'entretien : celle-ci est généralement mal perçue et admise.
- . Les coûts sont notables : de l'ordre de 40 à 50 F/m³ (mais pouvant atteindre 100 à 200 F/m³).

La mise en place de rechargements ne doit être envisagée qu'après une analyse précise du régime sédimentologique sous peine de pertes importantes. Il faut souligner que des rechargements de zones littorales particulières appartenant à un ensemble beaucoup plus vaste (ex. un site donnée du littoral aquitain) sont voués à l'inefficacité car les dispersions longitudinales et transversales sont trop intenses. A priori, les rechargements ne sont à envisager que lorsqu'on peut assurer leur contention (naturelle ou artificielle).

c. Divers : Remodelage de plage. Rechargement "double"

Remodelage

Diverses communes pratiquent le remodelage de plage : à la fin de la période estivale, elles remontent le sable à terre de la limite atteinte par la mer afin d'éviter (ou en tout cas de limiter) les pertes en hiver ; au début de la période estivale, par contre le sable est ramené sur la plage.

Rechargement "double" (diphase)

Sur les plages de Cavalaire et du Lavandou, il est fait, tout d'abord, un rechargement en galets et en graviers. Puis, un apport de sable les recouvre. En hiver, les graviers et galets protègent le littoral et en été la mer ramène le sable (avec une aide "humaine" éventuelle).

2.5.1.4 BY-PASSING

a. Principe

Le by-passing (figures 2.43 à 2.45) rétablit un transit littoral interrompu par un obstacle (en particulier une jetée portuaire : ou un endiguement de débouché).

Les méthodes vont du simple transfert par camions à celui réalisé par pompage (à point fixe, mobile ou semi-mobile).

Une technologie nouvelle a été proposée par Lack dans le cas de chenaux piégeant les sables du transit : la fluidisation des sables par des jets d'eau provenant de tuyaux ensouillés : les sables sont alors plus aisément entraînés par les courants du chenal et "remis dans le circuit" sédimentologique.

b. Réalisation. Problèmes

Réalisation

Il n'y a qu'un seul aménagement en France qui ait été conçu pour réaliser un by-passing : à Saint-Denis d'Oléron, le port a été conçu avec des accès aux deux épis ancrés sur la digue pour éviter les apports dans la passe d'entrée. Lorsque les épis sont saturés, des extractions sont faites et les sables transférés par camion à l'aval du port.

Problèmes

Le bon fonctionnement d'un by-passing implique le respect de divers critères qui sont :

- . Capacité de prélèvement et de refoulement adaptée au transit littoral.
- . Maîtrise du prélèvement en toute circonstance.
- . Continuité de fonctionnement.
- . Faible vulnérabilité des installations à l'agitation.
- . Fiabilité.
- . Peu d'entretien.
- . Faibles sujétions d'exploitation.
- . Bon rendement.

La figure 2.45 donne l'exemple d'un projet envisagé à Cap Breton (Landes) où le transit est de l'ordre de 50 000 m³/an.

On peut indiquer, comme ordre de grandeur de coûts, 3 à 4 millions de francs d'installation et 10 à 15 F du m³ by-passés.

c. Impacts. Environnement

Le by-passing a un côté très positif puisqu'il rétablit un équilibre détruit.

2.5.1.5 VEGETALISATION DE LA TERRE ARGILEUSE

a. Principe

Dans le principe, on conforte une digue argileuse (donc située dans des zones à faible agitation) en utilisant :

- . un paillage plastique,
- . des plantations adaptées.

b. Réalisation

Des résultats satisfaisants ont été obtenus dans le marais de Brouage.

2.5.2 PROCÉDES NON ENCORE UTILISÉS : REcul ACCEPTÉ DU LITTORAL

La notion de recul du littoral n'est pas évidente à accepter pour une Commune, ne serait-ce que sur un plan psychologique. Pourtant, dans certains cas, elle apparaît comme une solution techniquement et économiquement envisageable. De manière concrète, cela suppose :

- . une arrière-plage en solution de continuité avec le littoral existant (afin que le recul s'intègre au mieux au contexte naturel),
- . l'absence d'intérêts économiques importants (forte urbanisation ou constructions),
- . la possibilité de maîtriser techniquement le recul.

A une échelle régionale, on peut dire, par exemple, que le littoral dunaire landais répond à des conditions acceptables de recul.

A un échelon local, une étude récente a été faite à Criel (Seine Maritime) (figure 2.46). La plage, longue de 1 km, est située au débouché de l'Yères et est constituée par un cordon littoral de sables et galets. La sous-alimentation en galets a conduit à une érosion de la plage. On y a remédié jusque lors par des aménagements divers comprenant : des rechargements, des épis, un perré sur une partie de la plage. Il a été étudié (LNH) des solutions telles que : recul contrôlé, réestuarisation (avec donc abandon du cordon à la mer). Un récent référendum a refusé la solution "réestuarisation" qui consistait en un retour à l'état naturel, c'est-à-dire en laissant la mer agir à sa guise.

2.6 PROTECTION DIRECTE DU LITTORAL

La protection directe du littoral comprend deux types d'aménagements qui ont pour principal objet d'assurer une ligne de rivage stable mais ne considère que peu ou pas le problème "plage" (sauf quelque cas). Ce sont :

- . les ouvrages en géotextile,
- . les ouvrages "durs" peu réfléchissants,
- . les revêtements de plages en blocs artificiels.

2.6.1 LES OUVRAGES EN GEOTEXTILE

Les ouvrages en géotextiles présentent deux aspects :

- . les tapis,
- . les ouvrages proprement dits (ex. épi).

2.6.1.1 LES TAPIS

a. Principes

La quasi-totalité des tapis géotextiles que l'on a cherchés à utiliser en maritime proviennent, en fait, du domaine fluvial ou lacustre : ils ont pour objet de protéger les berges par des recouvrements divers (voir réalisations).

On évoque là une des principales raisons de l'échec quasi-généralisé des "tapis" utilisés dans le domaine maritime : la mer impose des contraintes beaucoup plus dures que les cours d'eau, en particulier quant aux fluctuations de niveau et, surtout quant à l'agitation.

b. Réalisations. Problèmes

Réalisations

Les principaux tapis essayés sont :

- . Procédé Cornic (figures 2.47 et 2.48)

Il cherche à assurer la protection du haut de plage et de la zone dunaire qui leur fait suite. Il a été utilisé à Combrit (Finistère).

- . Armorflex (figure 2.49)

C'est un revêtement cellulaire perméable. Il a été utilisé, sans succès (destruction lors d'une tempête) à Barneville.

- . Nioplast (figures 2.50 et 2.51)

Il se présente comme une structure alvéolaire en nid d'abeilles. Il a été utilisé à Merville (Calvados) et détruit lors d'une tempête.

- . Enkamat (figure 2.52)

Enkamat est une nappe souple constituée par un enchevêtrement de polyamide thermo-soudé : Il a été utilisé à Certes (bassin d'Arcachon) pour protéger une digue en terre et servir de support à la végétalisation. Les résultats semblent favorables (sous réserve que l'agitation reste faible).

b. Problèmes

Les problèmes ont été évoqués en a. : les tapis en géotextile n'ont guère la vocation maritime car conçu pour le domaine fluviale. Il en résulte d'importants problèmes de tenues et d'ancrage.

2.6.1.2 LES OUVRAGES EN GEOTEXTILE

a. Principe

Parmi les principaux ouvrages en géotextile, on peut citer :

- . Le procédé Longard (figures 2.53 à 2.54) : tubes de 1 à 1,8 m de diamètres remplis de sable et reposant sur un tapis filtre. Leur usage est varié : épis, brise-lames, protection frontale.

- . Le procédé Robusta (figure 2.55) : il s'agit aussi d'un tube de 1,5 m de diamètre.
- . Le procédé Sandtex (figure 2.56) : il s'agit là d'un "sac" que l'on remplit de sable.

b. Réalisation

Il n'apparaît pas exister de réalisation en milieu marin exposé.

c. Problèmes

Les principaux problèmes concernent :

- . l'ancrage des ouvrages,
- . leur comportement dans l'agitation,
- . les dégradations : UV et actions humaines (coups de couteau).

2.6.2 LES OUVRAGES PEU REFLECHISSANTS

a. Principe

Les digues verticales engendrent par réflexion des clapots qui sont à l'origine d'érosion en pied de plages.

Pour lutter contre ces processus, on a réalisé des ouvrages perforés absorbant, pour une part significative, l'énergie incidente de la houle.

En règle générale, ces ouvrages sont sélectifs vis-à-vis des périodes de houles et leur dimensionnement ressort d'études en laboratoire.

On peut retenir les ordres de grandeur suivants :

- . Surface d'ouverture : 25 à 35 % de la surface totale.
- . Largeur de chambre : 1/10 de la longueur d'onde de la houle.

b. Réalisation

- . Caisson Jarland (figure 2.58)

C'est un caisson à perforation circulaire (trou de 80 cm) dans une paroi de 1 m d'épaisseur. La chambre a 10 à 15 m. Exemples de réalisations : Granville - Roscoff.

- . Chambre anti-réflexion arc (brevet SOGREAH - figures 2.59 et 2.60)

Le schéma de base du principe consiste en une paroi verticale et continue devant laquelle sont disposés des écrans verticaux parallèles à la première paroi. La paroi verticale et les écrans peuvent être reliés par des cloisons verticales perpendiculaires situées dans l'axe de l'écran. On détermine ainsi des chambres dites chambres anti-réflexion. Exemple de réalisation : Palais des Congrès à Monte-Carlo.

- . Bloc Igloo (figures 2.61 et 2.62)

Ce sont des blocs empilés en quinconce. L'ensemble constitue une structure alvéolaire. Son fonctionnement est proche de celui de l'Arc. Exemples de réalisation : au Japon (pays de création du bloc).

- . Dignes Delta (brevet Berger-Jtaempfli (figure 2.63)

La digue est formée de deux voiles en béton armé. Le voile arrière est vertical. Le voile avant a un fruit de 3 pour 5 et porte des redans (freins pour la houle). Des ouvertures en communication avec la chambre de tranquillisation permettent de transformer et de dissiper l'énergie de la houle. Exemple de réalisation : Versoix (Genève).

- . Divers : Développement de brise-lames caissons avec agréments

Les Japonais [11] ont en projet le projet de brise-lames caissons auxquels on a cherché à associer des fonctions "agréments" telles que : port, front de mer agréable (promenade, vue sur la mer, etc.). Les réalisations sont à venir.

2.6.3 REVETEMENTS DE PLAGES EN BLOCS ARTIFICIELS

a. Principe

Les revêtements de plage en blocs artificiels "figent" la plage en la "carapaçonnant" et ils fixent donc ainsi la ligne de rivage.

b. Réalisation

Les figures 2.64 et 2.65 donnent des exemples de différents types de revêtements. Il n'y a guère d'exemples de réalisation en France.

2.7 DIVERS

2.7.1 ILES ARTIFICIELLES

Diverses idées d'îles artificielles ont été émises incluant généralement des plages artificielles, des plans d'eaux portuaires et d'activités nautiques.

Par exemple, le projet ISOLA "Monaco" développé par JP. Zoppini consiste en une île artificielle flottante de l'ordre de 250 m de diamètre et de 15 m de hauteur. La surface commercialisable serait de 100 000 m². L'île pourrait accueillir 3 000 personnes. Un tel projet coûterait de 3 à 4 milliards.

Le Japon est particulièrement intéressé par ce concept d'îles artificielles du fait de son exigüité.

2.7.2 RECIFS ELECTROLYTIQUES ARTIFICIELS

Diverses expérimentations ont été faites ou sont en cours (EDF) pour examiner la possibilité de réaliser une roche électrolytique à partir de l'électrolyse de l'eau de mer.

La figure 2.66 illustre le principe de la formation d'une roche électrolytique d'après la Société "La Mer Construit".

Dans ce domaine, on en est au stade expérimental.

oOo

BIBLIOGRAPHIE

-

1. OUVRAGES GENERAUX

SOGREAH - Recherche de solutions de protection du littoral d'un nouveau type. Etude pour le STCPMVN - 1990.

LCHF - Etude bibliographique sur les ouvrages de protection d'un littoral sableux - Mai 1983.

LCHF - Enquête sur les ouvrages de protection d'un littoral sableux existants le long des côtes françaises - Décembre 1986.

2. ACTION SUR L'ENERGIE DES VAGUES ET LEUR PROPAGATION

Pierre GUEVEL et al - La récupération de l'énergie des vagues, "Sciences et Techniques de l'Armement", 60, 1er fascicule - 1986.

P. GUEVEL, E. LANDEL, R. BOUCHET, JM. MANZONE, ATMA - Le phénomène d'un mur d'eau oscillant et son application pour protéger un site côtier soumis à l'action de la houle - 1985.

E. LANDEL - Etude de deux dispositifs hydrodynamiques : générateur de houle résonant et atténuateur de houle mettant en profit le phénomène du mur d'eau oscillant. These du Docteur-Ingénieur, Université de Nantes - Novembre 1986.

A. DROUIN - Etude expérimentale des plaques mobiles utilisées comme moyen de protection contre la houle. Mémoire de maîtrise, Université de Laval, Département de Génie Civil, Québec - Mai 1988.

Jean-François COUDERT - Les atténuateurs de houle PRINCIPIA-MONACO, Licence CFEM, Application au site de la Ville Olympique de Barcelone, Journées d'Etudes "Techniques Nouvelles de Travaux Maritimes, Fluviaux et Offshores" organisées par le CEIFICI, 6 rue Vital, 75116 Paris - 18 au 30 octobre 1988.

J. BOUGIS, JF. COUDERT, E. LANDEL - Nouveaux concepts d'ouvrages côtiers face à la réglementation sur la protection du littoral. Principia Recherche Développement. Symposium "Littoral 1990". Association EUROCOAST - Marseille - 1990.

SOGREAH - Brise-lames à plaques. Essais en canal à houle. Etudes réalisées pour la Principauté de Monaco. R 45 0046 - 1984.

R. BOUCHET, JM. MANZONE, IPCN - Le mur d'eau. Dispositif nouveau de brise-houle en eau profonde. Bulletin 1986 n° 52.

S. TSUNEHIRO, K. KOSUUE, O. TETSUNORI - Wave force on a curtain-wall-type breakwater due to Obliquely Incident Waves. Coastal Engineering - 1988.

Etude sur modèle réduite de l'aménagement de l'Anse du Larvotto. LCHF - 1955.

R. NECE, E. NELSON, BISHOP - Breakwaters Some North American experiences with floating breakwaters - 1988.

Expériences et travaux du Service Maritime et de Navigation du Languedoc-Roussillon. Conférence sur la défense des côtes. Nantes - 1988.

N. SHIMODA, M. MURAKAMI, K. IWATA - Beach erosion control by submerged floating structure. Symposium "littoral 1990". Association Eurocoast. Marseille - 1990.

G. GOMEZ PINA, JM. VALDES FERNANDEZ DE ALCARON - Experiments on coastal protection by submerged breakwater: a way to look on the results. Symposium "littoral 1990". Association Eurocoast. Marseille - 1990.

A. DAVIES, GHEATHERSHAW - Surface-wave propagation over sinusoidal varying topography. J. Fluid: Mech. No. 144 - 1984.

J. SEIJFFRET, L. PHILIPSE - Resistance of grassmat to wave attract. Coastal engineering. Delft - 1990.

J. BAILARD, J. DEVRIES, J. KIRBY, R. GUZA. BRAGG reflection bars: a new shore protection concept? Coastal Engineering, DELFT - 1990.

J. KIRBY - A general wave equation for waves over rippled bed. J. Fluid Mech., No. 162 - 1986.

3. UTILISATION DE GEOTEXTILE

B. HALLEGOUET, MA. BOUROULLEC, Paul GUENNOC - Introduction de géotextiles dans les ouvrages de protection du littoral contre l'érosion marine. Centre de géomorphologie de Caen, n0 36 - 1989.

BRGM - Résultats du suivi d'un nouveau système de protection souple des littoraux sableux. Le procédé CORNIC à Combrit (Sud Finistère).

DDA - Conservatoire de l'espace et du littoral - CEMAGREF - Domaine de Certes. Protection des digues à la mer - 1987-1988.

Ole LARSEN - Development of a low-cost system for non disfiguring large scale coastal protection - Seditech - Littoral 1990, Marseille.

C. LEIDERDORF, PE. GADD, WG MAC DOUGALL - Articulated concrete mat slope protection. Coastal engineering - 1988.

4. DEFENSES DOUCES

MH. AUERBACH, G. BORDEN, B. EDGEOUNE - Stabilisation with a sand-gel composite system. Coastal engineering - 1988, p. 1589-1601.

JP. LONGE - Réhabilitation de la Flèche de la Gracieuse. Littoral 1990, Marseille.

Port Autonome de Marseille. Flèche de la Gracieuse. Ouvrage expérimental pour la fermeture du fond de plage. Etude réalisée par le CEPREL (Montpellier) - 1989.

J. SORNIN - Les reconstitutions de plage : une technique douce d'aménagements du littoral ; un exemple sur le littoral atlantique français : Chatellaillon plage, littoral 1990, Marseille.

Secrétariat d'Etat à la mer - Service technique central des ports maritimes et des voies navigables. Etude bibliographique sur le rechargement des plages par les produits de dragages, avril 1990. Etude réalisée par SOGREAH.

C. TEISSON - Erosion du littoral "Reculer pour mieux sauter" - CEIFICI - Octobre 1990.

5. ALGUES ARTIFICIELLES

GEOMIDI, Saintes-Maries-de-la-Mer - Protection contre l'érosion littorale par des algues artificielles - 1978.

Ministère de l'Environnement - Conseil régional PACA - Société Rhône-Poulenc - Mise au point d'un système léger de protection des littoraux sableux soumis à l'érosion. CETE Méditerranée - 1990.

M. SOERO - Une nouvelle méthode dans la lutte contre l'érosion côtière. Les algues artificielles. Observations effectuées pendant la première année de leur installation à Monte-Estoril - 1989.

SM. ROGERS - Artificial seaweed for erosion control. Shore and beach No. 55 - 1987.

A. MEISNESZ, G. CAYE, FL. LOQUES, S. MACAUX - Analyse bibliographique sur la culture des phanérogames marines.

Y. NAGAO, Y. KOW - Coastal protection in Japan and methods for solution. Littoral 1990, Marseille.

Stabeach system. Literature for the regional coastal management. Seminar VI, HUTCHINSON Island, Jensen beach - December 1988.

Y. TURPAUD - Technique de fixation des digues construites sur la façade atlantique. Revue horticole - 1986, n° 266.

oOo

Chapitre 3

BILAN DES AMENAGEMENTS. COUTS. BESOINS ET SITES POTENTIELS D'ESSAIS

3.1 BILAN DES AMENAGEMENTS

A partir des études LCHF [8] et LCHF-LNH-SOGREAH [9], on peut établir la figure 3.1 donnant la répartition des ouvrages de défenses le long du littoral français par département et le tableau 3.1 donnant les résultats par régions.

On retiendra que :

- . Au total, il a été réalisé près de 1 300 ouvrages transversaux représentant environ 125 km et environ 800 ouvrages longitudinaux représentant 375 km.
- . La densité des ouvrages est maximale dans les lignes à littoral meuble dominant et fort développement balnéaire : 175 m/km en Basse-Normandie, 155 m/km en Languedoc Roussillon et Centre Ouest Normandie.
- . Elle est minimale dans les zones à littoral meuble, relativement peu urbanisée 85 m/km en Aquitaine et en Bretagne (63 m/km) où le littoral découpé à roches dures favorise la stabilité des plages.
- . En Provence où le littoral est à dominante roche dure (près de 75 %), la densité de 100 m/km correspond pour une part notable à la création de plages sur ce littoral particulièrement balnéaire.

. ...

Tableau 3.1 - BILAN DES REALISATIONS LE LONG DU LITTORAL FRANCAIS

	LINÉAIRE DE CÔTE (KM)	LONGUEUR D'OUVRAGES (KM)	LONGUEUR D'OUVRAGE PAR KM (M/KM)	DOMINANTE DU LITTORAL
<i>Côte d'Opale - Haute-Normandie</i>	399	47	120	Littoral meuble (65 %) Falaise tendre (35 %)
<i>Basse-Normandie</i>	471	82	175	Littoral meuble (75 %)
<i>Bretagne</i>	1 772	115	65	Côtes rocheuses (45 %) Littoral meuble (55 %)
<i>Centre-Ouest Atlantique</i>	732	88	155	Littoral meuble (80 %)
<i>Aquitaine</i>	456	38	85	Littoral meuble (96 %)
<i>Languedoc-Roussillon</i>	214	36	155	Littoral meuble (89 %)
<i>Provence</i>	687	68	100	Côtes rocheuses (73 %)
TOTAL	4 731	474	100	

3.2 COUTS

3.2.1 COUTS UNITAIRES DES AMENAGEMENTS

Les données de coûts disponibles concernent essentiellement les ouvrages conventionnels. Les méthodes "nouvelles", expérimentales pour la plupart, ne sont que rarement chiffrées par leurs inventeurs.

3.2.1.1 COUTS PAR TYPES D'OUVRAGES

Les coûts unitaires d'aménagements sont très variables avec les conditions locales et en particulier les conditions océanographiques (marée, agitation) comme l'a montré l'étude du LCHF pour le Secrétariat d'Etat à la Mer [8]. Aussi, une analyse a-t-elle été faite par type d'ouvrages à partir d'une classification donnée dans le tableau 3.2 basé sur trois types de marée : sans marée, marée de 4 à 7 m et marée > 7 m et deux hauteurs d'agitation 2 à 6 m et > 6 m.

Les données obtenues sont les suivantes :

a. Murs quasi verticaux en béton et/ou maçonnerie

Au niveau des coûts, ce type d'ouvrage n'est pratiquement rencontré que dans les classes correspondant aux marées moyennes (classes IIC et IID).

Le coût moyen de ce type d'ouvrage en classe IIC est sensiblement plus faible que dans la classe IID, ce qui peut être expliqué théoriquement par la différence de structure due à la force des houles rencontrées.

Le coût moyen actualisé pour ce type d'ouvrage s'élève à environ 7 200 F/mlo⁽¹⁾.

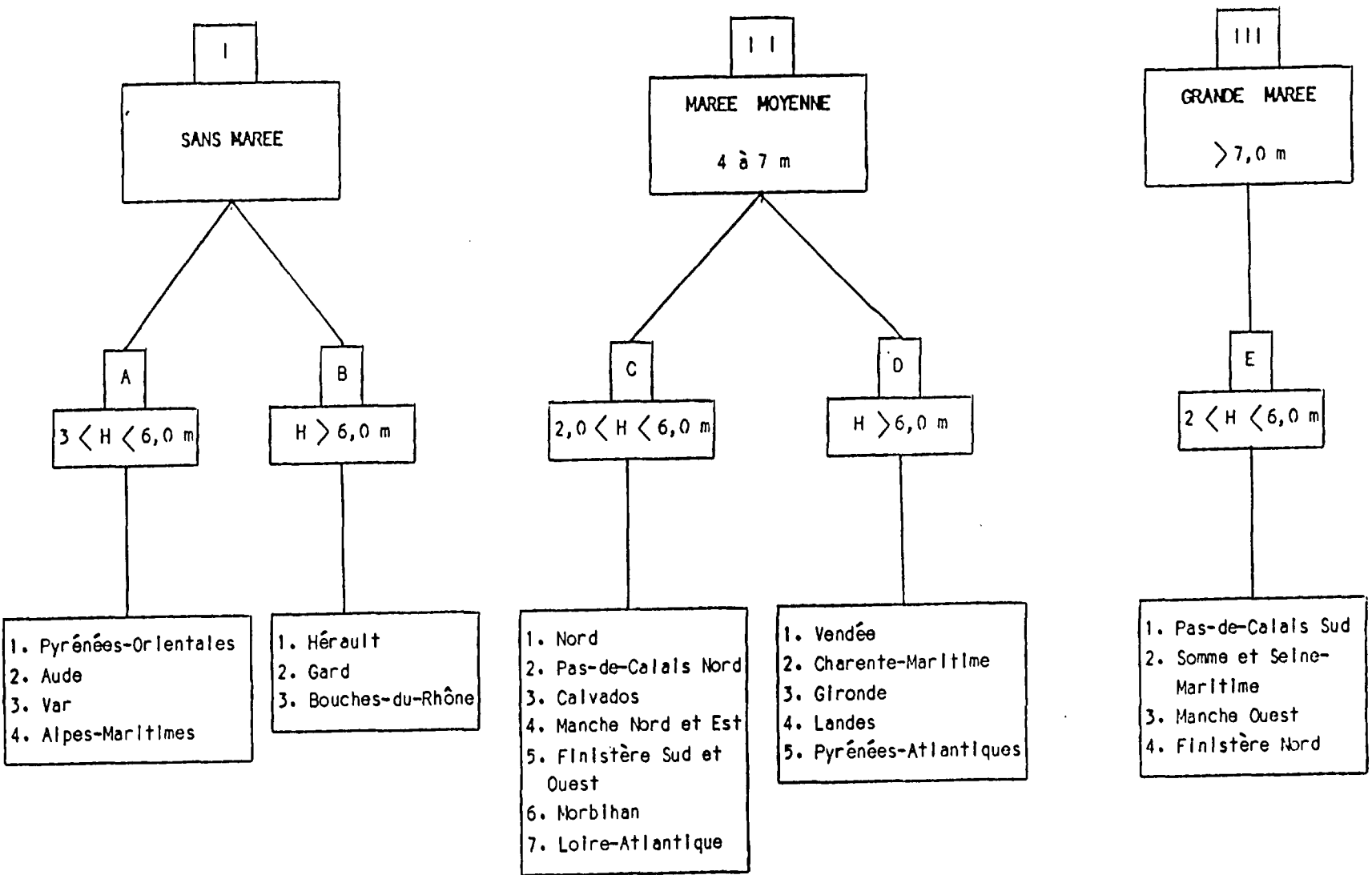
b. Perrés inclinés en béton et/ou maçonnerie

Le coût moyen actualisé est influencé par le marnage en classes IIC et IID. Il est d'environ 9 000 F/mlo tandis qu'il se monte à environ 13 000 F/mlo en classe III.

Le coût moyen actualisé global est alors d'environ 10 000 F/mlo.

⁽¹⁾ mlo, mlc : mètre linéaire d'ouvrage, de côte.

Tableau 3.2 - CLASSIFICATION DES OUVRAGES SELON LA MAREE ET L'AGITATION



Légende :

- Les valeurs figurant en I, II et III sont les hauteurs en mètre de marée de coefficient de V.E.M.
- Les valeurs figurant en A, B, C et D sont les hauteurs maximales en mètre de la houle annuelle.

c. Perrés en enrochements

Ce type d'ouvrage, au niveau des coûts se rencontre dans toutes les tranches de marée.

Pour ce type d'ouvrage également, on peut noter l'influence du marnage, les coûts moyens actualisés variant de :

- . 2 200 F/mlo en classe IA,
- . 4 300 F/mlo en classe IIC,
- . 6 000 F/mlo en classe IID (3 500 F/mlo en exceptant les ouvrages d'Anglet, 64),
- . 4 700 F/mlo en classe III.

L'influence du prix unitaire des enrochements suivant les régions ne doit cependant pas être négligé.

D'autre part, comme d'ailleurs pour tous les ouvrages longitudinaux de haut de plage, l'implantation de l'ouvrage par rapport à la laisse de pleine mer aura une influence sur le coût de celui-ci.

d. Cordons en enrochements

La notion de cordon d'enrochements étant relativement vague, la différence de constitution des ouvrages entrant dans cette sous-classe ne permet pas de distinguer l'existence d'une influence des conditions hydrodynamiques.

Les coûts sont cependant assez homogènes et le coût moyen actualisé global s'élève à environ 1 600 F/mlo.

e. Ouvrages longitudinaux divers

Les seuls éléments de coût dans cette sous-classe sortent de la classe IIC, le coût moyen actualisé s'élevant à 1 200 F/mlo.

f. Brise-lames

Pour les mers sans marée, ce type d'ouvrage s'intègre le plus souvent dans des aménagements d'ensemble pour lesquels les éléments de coût ne permettent pas de faire ressortir le coût propre des ouvrages. Toutefois, on peut retenir comme ordre de grandeur : 20 000 F/mlo.

Par ailleurs, les brise-lames rencontrés dans les mers à marée (cas rares) sont très différents de par leur constitution, leur fonctionnement et leur réalisation. Leur coût moyen actualisé est relativement élevé, tant au mlo (environ 50 000 F) qu'au mlc (environ 10 à 20 000 F).

g. Epis en béton et/ou maçonnerie

Ici encore, les deux exemples d'ouvrages pour lesquels des données de coût ont pu être recueillies sont sensiblement différents de par leur constitution. Par ailleurs, s'agissant d'ouvrages anciens, l'actualisation de leur coût est aléatoire.

L'utilisation des coûts non actualisés n'est également pas réaliste dans le cadre d'une comparaison.

A titre tout à fait indicatif, on peut donner le coût moyen global actualisé qui est d'environ 50 000 F/mlo.

h. Epis courts en enrochements

Comme dans le cas des perrés, on trouve dans cette sous-classe une influence des conditions de marée sur le coût de ces ouvrages.

Cependant, la nécessité d'ériger des épis à cote constante dans les mers sans marée fait augmenter sensiblement le coût de ces ouvrages.

Les coûts moyens actualisés sont de :

- . 10 000 F/mlo en classe IA) Influence de la complexité de l'ouvrage
- . 2 300 F/mlo en classe IB) et de la pente des fonds

- . 2 700 F/mlo en classe IIC

- . 7 100 F/mlo en classe IID

- . 5 900 F/mlo en classe III

Le coût moyen actualisé en classe IID est pénalisé par la prise en compte d'ouvrages pour lesquels les conditions d'accès peuvent être difficiles (Pyla-sur-mer, 33).

Le coût moyen actualisé global qui ressort de ces chiffres est d'environ 7 100 F/mlo.

i. Epis longs en enrochements

Contrairement au cas des épis courts, on ne retrouve pas l'influence des conditions de marée dans l'analyse des coûts des épis longs dans les classes IB et IID, les coûts moyens actualisés dans ces deux classes étant de :

- . 4 400 F/mlo en classe IB
- . 20 400 F/mlo en classe IID.

Cependant, si l'on excepte les ouvrages à cote constante de la côte d'Anglet (64), le coût moyen actualisé est de 13 600 F/mlo et le rapport des deux chiffres, de la classe IID et de la classe IB est identique à celui calculé pour les épis courts.

La différence des coûts observés en classe IID et en classe IB peut provenir en partie de la variation des prix unitaires d'enrochements pour les divers ouvrages concernés.

L'actualisation des coûts peut également avoir une influence, tous les ouvrages de la classe IB étant récents, alors que ceux de la classe IID sont relativement anciens.

Le coût moyen actualisé global pour la sous-classe des épis longs en enrochements s'élève à environ 17 900 F/mlo.

j. Epis en T (Brise-lames + épis)

Seule la classe IB comporte, au niveau des coûts, des ouvrages de ce type. Le coût moyen actualisé est de 6 700 F/mlo.

k. Epis en bois

Le coût de ce type d'ouvrage peut être très variable suivant sa constitution et suivant la qualité du bois employé. Sur les deux classes IIC et IID, relativement proches au niveau des conditions hydrodynamiques, les coûts actualisés s'échelonnent de 200 F/mlo à 19 000 F/mlo.

Le coût moyen actualisé global pour ces deux classes s'élève à environ 6 800 F/mlo, soit sensiblement celui des épis courts en enrochements.

l. Epis divers

Le seul ouvrage connu de cette sous-classe est disponible est l'épi formé par d'anciennes péniches au They de la Gracieuse (13). Son coût dépend du prix des épaves et est donc très variable.

m. Rechargements

Selon les possibilités d'approvisionnement, le coût des rechargements est de l'ordre de 30 à 110 F/m³ avec une valeur usuelle de 40 à 60 F/m³ dans le cas de rechargements par voie maritime à partir d'un gisement situé à 10 à 20 km. Ce coût peut descendre exceptionnellement à 8 à 10 F/m³ (cas de la Barre de Monts) ou le sable d'apport était prélevé à 2 km par moyens terrestres (camions).

n. Défense douce

En prenant en compte les ganivelles et pieux, la restauration d'une dune est de l'ordre de 1 000 à 2 000 F/ml de côte.

o. Brise-lames flottants : de l'ordre de 3 000 à 5 000 F/ml.

3.2.1.2 ANALYSE GLOBALE

L'analyse par type d'ouvrage a fait apparaître des coûts moyens actualisés qui varient assez largement. Bien que tous ces résultats soient à exploiter avec prudence, on peut, d'une manière générale, distinguer trois catégories d'ouvrages en fonction de leur coût.

a. Les ouvrages classiques : perrés, épis courts qui offrent un coût variant de 5 000 à 10 000 F/mlo en moyenne.

b. Les ouvrages "légers" constitués de types d'ouvrages divers et des cordons en enrochements qui présentent un coût moyen de 1 000 à 4 000 F/mlo.

- c. **Les ouvrages importants**, de structure plus complexe dont les coûts augmentent très rapidement et peuvent varier entre 10 000 et 50 000 F/mlo.

Très globalement, le coût moyen des ouvrages de défense de côte sur le littoral français s'élève à environ :

- . 10 000 F/ml d'ouvrage.
- . 8 500 F/ml de côte protégée.

3.2.2 DEPENSE ANNUELLE DE PROTECTION DE COTE EN FRANCE

Une étude de l'IFREMER (1992) a évalué, d'après les données de l'INSEE, les dépenses annuelles de protection du littoral français.

a. Littoral méditerranéen

Le tableau 3.3 résume les données qu'illustrent la figure 3.2 pour le littoral méditerranéen.

Tableau 3.3

DEPENSES DE PROTECTION DU LITTORAL MEDITERRANEEN		
Département	1986	1990
Pyrénées Orientales	387 000	798 000
Aude	3 922 000	37 000
Hérault	4 377 000	5 152 000
Gard	648 000	2 902 000
Bouches du Rhône	7 936 000	2 592 000
Var	1 668 000	1 485 000
Alpes Maritimes	300 000	17 000
Total Méditerranée	19 238 000	12 983 000

Les dépenses de protection du littoral méditerranéen se sont élevées à 19,2 millions de francs en 1986 et à 13 millions en 1990.

Ces totaux représentent respectivement 19,8 % et 10,9 % du total français de ces années.

b. Littoral Atlantique

Le tableau 3.4 et la figure 3.3 donnent les résultats.

Tableau 3.4

DEPENSES DE PROTECTION DU LITTORAL ATLANTIQUE		
Département	1986	1990
Finistère	7 599 000	7 717 000
Morbihan	5 843 000	10 875 000
Loire-Atlantique	7 883 000	5 023 000
Vendée	7 877 000	7 835 000
Charente-Maritime	11 236 000	10 894 000
Gironde	2 315 000	4 515 000
Landes	1 009 000	7 163 000
Pyrénées Atlantiques	43 000	9 233 000
Total Atlantique	43 805 000	62 805 000

Les remarques formulées au sujet de la Méditerranée restent pertinentes ici : le volume est relativement variable (bien que moins nettement). On observe cependant que :

- La Charente Maritime est le département qui dépense le plus pour la protection de ses côtes, en 1986 et 1990 en Atlantique, la Gironde est parmi ceux qui dépensent le moins.
- Les dépenses des départements bretons et des Pays de Loire restent soutenues sur les deux années représentées.
- Le volume global est bien supérieur à celui de la Méditerranée, ce qui s'explique bien entendu par la nature des littoraux, leur linéaire, et notamment par la présence de marées.

En 1986, les dépenses totales sur ce littoral représentent 43 millions, soit 44 % du total français. En 1990, les 63 millions dépensés représentent 53 % du total national.

c. Manche

Le tableau 3.5 résume les données qu'illustre la figure 3.4

Tableau 3.5

DEPENSES DE PROTECTION POUR LA MANCHE		
Département	1986	1990
Nord	668 000	1 662 000
Pas-de-Calais	1 031 000	4 501 000
Somme	6 706 000	9 403 000
Seine-Maritime	9 043 000	609 000
Eure	16 000	0
Calvados	8 664 000	7 987 000
Manche	4 812 000	15 660 000
Ile-et-Vilaine	2 178 000	986 000
Côtes d'Armor	512 000	1 479 000
Total Manche	33 630 000	42 287 000

Là encore, la variabilité du secteur apparaît nettement. Le littoral de la Manche réalise, en 1986, 35 % des dépenses de protection du littoral en France, et 36 % en 1990.

La Manche, la Somme, le Calvados et la Seine-Maritime figurent parmi les départements les plus représentés dans le total.

d. Récapitulatif

Le volume global des dépenses a été de 97 millions en 1986 et 118 millions en 1990 (francs courants).

Sur ce total, les dépenses d'entretien représenteraient de l'ordre de 7 à 8 %.

3.3 BESOINS

3.3.1 AMENAGEMENTS : DES REPONSES A QUELLES DEMANDES

Les aménagements du littoral apportent des réponses à quatre formes de besoins :

1. Prévention des risques

Un exemple type est celui de l'aménagement des falaises crayeuses d'Ault (Seine-Maritime) qui reculaient de 1 m/an entraînant des menaces pour des maisons réalisées à 100 m de la côte lors du siècle dernier. On peut aussi citer les falaises schisteuses de la zone de Biarritz ou encore l'érosion du littoral de La Palmyre liée à l'évolution des risques.

Sur le littoral méditerranéen, la Camargue est une zone particulièrement exposée aux actions de la mer.

2. Protection de l'environnement

Dans cette catégorie, on peut ranger les aménagements concernant les zones dunaires bien souvent fortement soumises aux dégradations humaines (ex. en Bretagne) et les zones humides des marais et estuaires très riches quant à leur écologie (ex. en Seine et en Loire).

3. Amélioration et protection d'aménagements existants

Dans cette catégorie, rentrent essentiellement les plages balnéaires, qui pour la plupart, sont soumises actuellement à l'érosion.

La plage de Chatellaillon est un exemple d'aménagements (rechargement) ayant conduit à une restauration spectaculaire.

La plage de La Baule - Pornichet est entretenue par des apports et transfert réguliers de sables (à l'opposé de Chatellaillon où l'on a fait une restauration massive).

4. Créations de zones aménagées

Ces créations répondent le plus souvent à des besoins de communes à forte pression touristique et où les plages naturelles sont insuffisamment développées. Cela est en particulier le cas sur le littoral provençal. La réponse y est apportée par la réalisation de plages artificielles (ex. Larvotto à Monaco ; Mourillon à Toulon ; Prado à Marseille).

Les Communes sont en tout premier lieu concernées par les aménagements locaux. Les préventions des risques et protection de l'environnement ressortent non seulement des Communes mais aussi des départements et régions (ex. littoral Haut-Normand qui s'étend sur 150 km entre Le Havre et la Somme et concerne les départements de la Seine-Maritime et de la Somme ainsi que les régions de Normandie et d'Artois-Picardie).

3.3.2 ETABLISSEMENT D'UNE TYPOLOGIE DES PROBLEMES D'AMENAGEMENTS DU LITTORAL

Pour évaluer les besoins, il a été préalablement établi une typologie des problèmes d'aménagements du littoral. Elle est donnée dans le tableau 3.6. La classification est basée sur la nature des problèmes d'aménagements à résoudre et comprend cinq classes :

- . Stabilisation et protection du littoral.
- . Erosion des fonds.
- . Création ou amélioration des plages.
- . Impacts d'aménagements portuaires ou d'endiguement.
- . Protection de plan d'eau pour des activités nautiques.

La classification proposée appelle les commentaires suivants :

3.3.2.1 PROBLEMES D'AMENAGEMENTS ET REGIME DU LITTORAL

Les problèmes de protection du littoral sont en liaison avec trois aspects touchant le régime de la côte :

- . Evolutions naturelles.
- . Impacts de réalisations humaines.
- . Amélioration de la situation existante. Souhaits d'aménagement.

Tableau 3.6 - TYPOLOGIE DES PROBLEMES D'AMENAGEMENT DU LITTORAL

PROBLÈMES	EXEMPLES	PRINCIPALES SOLUTIONS ENVISAGEABLES
<p>1. STABILISATION ET PROTECTION DU LITTORAL</p> <p>1.1 Falaises</p> <p>1.2 Dunes</p> <p>1.3 Plages</p> <ul style="list-style-type: none"> . Baies . Plages "ouvertes" <ul style="list-style-type: none"> - peu exposées - exposées . à transit littoral dominant . à mouvements dans profil dominant <p>1.4 Evolution naturelle du littoral</p>	<p>Littoral Haut-Normand</p> <p>- Littoral Aquitain - Nombreuses dunes littorales</p> <p>La Baule, Royan, Sables d'Olonne</p> <p>Côtes orientales des Iles de Ré, d'Oléron, de Noirmoutier</p> <p>Côtes occidentales des Iles de Ré, d'Oléron et de Noirmoutier</p> <p>Côte Aquitaine (Sud)</p> <p>- Littoral de la Coubre - Débouchés en mer de cours d'eau (barres-chenaux)</p>	<ul style="list-style-type: none"> . Protection du pied (perré) . Traitement géotechnique de la falaise (consolidation, drainage) . Méthodes douces : restauration, aménagements . Rechargement (ouvrages : épis), remodelage . Méthodes douces : rechargement ; ouvrages (épis) . Ouvrages : épis ; (rechargement) ; By-passing (si blocage du transit) . Action sur l'hydraulique : <ul style="list-style-type: none"> - énergie des vagues : brise-lames - propagation des vagues : mur d'eau ? cônes ? . Ouvrages de stabilisation et/ou de guidage (épis, digues)
<p>2. EROSION DES FONDS</p>	<p>- Destruction d'herbiers : presqu'île de Giens</p> <p>- Répercussions d'aménagements ou d'évolution : Adour</p>	<ul style="list-style-type: none"> . Algues artificielles ? . Replantation ? . Rechargement périodiques (apports de dragages) . Ouvrages (brise-lame, épis)
<p>3. CREATION OU AMELIORATION DE PLAGES</p>	<p>Plages artificielles du Pardo, du Mounillon (surtout Méditerranée)</p>	<ul style="list-style-type: none"> . Rechargements + ouvrages (brise-lames, épis) . Importance de l'intégration paysagère
<p>4. IMPACTS D'AMENAGEMENTS PORTUAIRES OU D'ENDIGUEMENTS</p> <ul style="list-style-type: none"> . Interruption du transit . Modification de l'équilibre d'une plage 	<p>Ports du littoral Haut-Normand</p> <p>Bornes les Mimosas, Pornichet</p>	<ul style="list-style-type: none"> . By-passing . Rechargement . Remodelage périodique de la plage . Rechargement
<p>5. PROTECTION DE PLAN D'EAU POUR DES ACTIVITES NAUTIQUES (Hors Ports)</p>		<p>Actions sur l'hydraulique :</p> <ul style="list-style-type: none"> . Brise-lames flottants (éventuellement abattables) . Mur d'eau ?

a. Evolutions naturelles

Dans cette catégorie entrent (voir chapitre 1) :

- . La remontée du niveau marin (1,5 mm/an) : elle concerne l'ensemble du littoral français et plus particulièrement les zones de marais protégées par des cordons littoraux bas et qui sont souvent poldérisées. Pour une plage "classique", cette remontée induit un recul de la limite "terre-mer" de l'ordre de 0,1 m/an, valeur non négligeable du tout dès lors que l'on raisonne à moyen ou long terme (quelques dizaines d'années).
- . L'érosion de falaises (en particulier celles constituées en matériaux tendres) et de dunes comme, par exemple :
 - les falaises crayeuses du Pays de Caux,
 - les falaises marneuses du Calvados (Villers sur Mer) ou de la Côte des Basques,
 - les falaises marno-calcaires d'une bonne part du littoral Charentais,
 - les formations dunaires du littoral Aquitain.
- . L'évolution de flèches littorales telles que celles de La Coubre ou La Pointe d'Arçay.
- . Les débouchés en mer : havres du Cotentin, embouchures des cours d'eau méditerranéens (fermés en période d'étiage, s'ouvrant brutalement en crues).

b. Impacts de réalisations humaines

Les impacts liés aux réalisations humaines sont multiples et, dans bien des régions, prédominants sur les problèmes liés aux actions naturelles.

Ils sont à l'échelle :

Régionale

Ex. : L'évolution des plages du littoral Haut-Normand, entre Antifer et la Baie de Somme, a été fortement influencée par les aménagements portuaires et les extractions de galets.

Locale

C'est le cas le plus fréquent et qui "mobilise", pour l'essentiel, l'attention des Communes, Départements, Régions, Etat. Plus particulièrement, on trouve deux grands types de problèmes :

- . Ceux liés à la réalisation d'ouvrages longitudinaux en bordure de mer (cas de la quasi-totalité des grandes baies) auxquels sont liés, très souvent, la disparition des liaisons dunes-plage et des fonctions régulatrices associées à celle-ci, ainsi que les dégradations de l'estran (en premier lieu du haut estran) dues aux réflexions des vagues sur les ouvrages trop proches de la mer.
- . Il convient d'insister sur les réalisations existantes qui constituent un "héritage" dont on ne peut, le plus souvent, s'abstraire même si elles présentent des aspects négatifs marqués. C'est, par exemple, le cas de nombreux fronts de mer en "dur" construits trop près de la ligne de rivage (quand ils n'ont pas empiété sur celle-ci). Il faut "faire avec" et cela ne va pas sans poser d'importants problèmes.

c. Améliorations et souhaits

Dans la catégorie des "souhaits", on peut ranger les aménagements littoraux ne répondant pas, dans le principe, à des problèmes de protection et de stabilisation du littoral mais cherchant à en améliorer la qualité ou encore s'intégrant à de plus vastes réalisations. Ainsi, on peut, par exemple, mettre dans cette catégorie :

- . Un grand nombre de plages artificielles méditerranéennes (ex. : celle du Prado à Marseille).
- . Des aménagements adaptés à l'environnement et/ou cherchant à le mettre en valeur (ex. : Pointe du Plomb, au Nord de La Rochelle).
- . Des plans d'eau balnéaires (ex. : La Bernerie en Loire-Atlantique).

3.3.2.2 REALISATIONS SELON LES PROBLEMES

Le bilan des réalisations le long du littoral français a été donné en 3.1. Si l'on analyse la corrélation réalisations-problèmes, on conclut que :

- . L'essentiel des aménagements concernent la classe 1.3 (plages) avec des moyens "classiques" : ouvrages longitudinaux et transversaux.
- . Sur la façade méditerranéenne s'y ajoute la classe 3 Création ou amélioration de plages.

- . Sur la façade Atlantique, on a aussi à prendre en compte la classe 1.2 Dunes.

Globalement, il y a fort peu de réalisations concernant la classe 1.1 (falaises) : on laisse le plus souvent faire la nature.

En classe 2 (érosion des fonds), il y a eu quelques tentatives (infructueuses) d'utilisation d'algues artificielles en Méditerranée. Les seuls rechargements de fonds significatifs concernent la zone Adour-Biarritz.

Pour la classe 4 (Impacts d'aménagements portuaires ou d'endiguements) :

- . Le by-passing n'est pas pratiqué en France (seule exception Saint-Denis d'Oléron).
- . Les remodelages périodiques de plages soumises à l'influence de port (ex. : La Baule-Pornichet, Bormes les Mimosas) sont plus usuels mais souvent mal perçus par les Communes (qui "aiment" peu les travaux d'entretien).

En classe 5 (protection du plan d'eau), les utilisations de brise-lames flottants sont limitées (du fait de la spécificité de leur fonctionnement).

3.3.3 BESOINS

Besoins est pris dans le sens d'aménagements répondant à des demandes de Communes, départements etc. sans pour autant qu'il y ait toujours nécessité.

Une étude exhaustive des besoins et problèmes n'était pas du ressort de cette étude. Il en est donné ci-après une synthèse en considérant comme cadre les régions. Elle a été établie sur la base des documents généraux existants (issus, pour l'essentiel, des études du LCHF, de SOGREAH, du LNH et du BCEOM [2] [8] [9]) et de l'expérience de SOGREAH.

On se référera aux figures 1.2 à 1.9 pour les plans de situation des diverses zones.

3.3.3.1 FACADE OUEST (Mer du Nord, Manche, Atlantique)

a. Nord, Picardie, Haute Normandie (figure 1.2)

Dans cette région, six grands types de problèmes se posent :

- . La stabilisation des deux grands domaines dunaires : zone de Dunkerque au Nord, zone des estuaires picards (Canche, Authie, Somme) entre Boulogne et la Somme.

- . Colmatage des estuaires picards (en relation d'une part avec les processus naturels et, d'autre part, avec les facteurs humains : poldérisation, endiguements.
- . Evolution aux débouchés des estuaires picards avec, en particulier, les processus d'érosion des faces Nord sous la poussée des flèches littorales venant du Sud et barrant les estuaires.
- . Erosion du cordon littoral des Bas-Champs (18 km) due, pour l'essentiel, aux extractions et aux réalisations portuaires (blocage du transit).
- . Erosion des falaises crayeuses du littoral Haut-Normand (recul moyen de l'ordre de 0,2 à 0,3 m/an) ; on ne voit pas comment lutter contre (raisonnablement).
- . Erosion de la majorité des plages aux débouchés des valleuses du littoral Haut-Normand (sous alimentation - extraction).

En termes de besoins, trois points semblent particulièrement se dégager :

- . Le cordon littoral des Bas-Champs : plusieurs solutions de base sont envisageables : "dur" (enrochements protégeant le cordon), "mi-dur" (rechargements + confortement arrière + épis), "doux" (rechargements massifs) ou encore recul accepté ?
- . Développements et/ou créations de plages sableuses aux débouchés des valleuses du littoral Haut-Normand : les platiers et galets sont largement prépondérants à ces débouchés et, aux fins d'améliorer les qualités balnéaires des plages, il est souhaité trouver des solutions provoquant des dépôts sableux. Les brise-lames classiques ne sont pas adaptés à des mers à marée et il y a là un axe de recherche.
- . La restauration des plages de galets du littoral Haut-Normand : rechargements et épis ? A Criel, la solution recul acceptée et la solution réestuarisation ont été envisagées (Cette dernière a été refusée par référendum). Les solutions classiques (front de mer, rechargements) impliquent un entretien permanent.
- . Un quatrième point est à évoquer : le rétablissement d'un transfert des galets entre Antifer et la baie de Somme : les ouvrages portuaires bloquent le transit. Une telle opération de by-passing (moyens : camions) serait bénéfique pour l'ensemble de cette zone et, en particulier, les plages des valleuses.

b. Basse-Normandie (figure 1.3)

En baie de Seine (de Saint-Vaast La Hougue à l'estuaire de la Seine), le littoral est composé d'une majorité de plages et une très grande partie du littoral est aménagée et défendue (d'autant plus que la pression touristique est forte) : ouvrages longitudinaux et épis. L'érosion des plages est quasi générale, et l'on se trouve dans bien des cas confrontés aux problèmes le plus fréquemment rencontrés en France : comment lutter contre l'érosion d'une plage aménagée.

L'érosion des falaises (55 km sur 160 km de côtes) est quasi générale (0,3 à 0,4 m/an).

Entre Barfleur et La Hague, les évolutions du littoral sont faibles et il n'apparaît pas de problèmes particuliers.

Du cap de La Hague au Mont Saint-Michel (côte Est du Golfe Normand-Breton), les problèmes littoraux sont, pour une large part, liés à la dynamique des débouchés des havres à laquelle est liée :

- . le déplacement de chenaux,
- . des tendances à l'érosion des bords Sud des débouchés (cas 1.4 de la typologie - Evolution naturelle des débouchés en mer).

Il y a de plus, une tendance généralisée à l'évolution du littoral.

Le traitement de ce secteur doit être envisagé globalement car on a là une province sédimentologique dont il convient de conserver au mieux l'unité.

c. Bretagne (figure 1.4)

La Bretagne est caractérisée par la multitude de ses baies accompagnée du développement fréquent de cordons littoraux de faible extension, souvent modelés en dunes, protégeant des formations basses marécageuses (voir par exemple la côte entre Lorient et la Vilaine ou entre Saint-Pol-de-Léon et l'Aber Wrac'h.

En fait, on trouve là les conditions réunies pour :

- . l'existence de petites unités sédimentologiques vivant en autarcie,
- . une forte sensibilité de ces mêmes unités aux diverses actions humaines (du fait justement de cette autarcie) et en particulier, les dégradations dunaires.

Finalement, les problèmes littoraux sont multiples et nombreux (surtout en Bretagne Nord et Sud) mais concernent des zones d'extension limitée. Les procédés "doux" (restauration dunaire, rechargements) apparaissent, dans bien des cas, sinon des solutions de base, tout du moins des solutions complémentaires efficaces. Un problème particulier important concerne le cordon littoral d'Audierne en érosion sous l'effet des extractions (en particulier lors de la dernière guerre). Sur le plan nautique, les rias apparaissent des sites favorables à des aménagements nautiques légers (mouillages avec des brise-lames flottants, abattables ?) compte tenu des abris qu'il offrent généralement contre les fortes agitations du large.

De manière générale, on trouve souvent des situations locales relativement calmes (car abritées dans des baies) a priori favorables aux essais de méthodes nouvelles et douces.

d. Pays de Loire - Poitou - Charentes (figure 1.5)

De manière très générale, la pression touristique est forte dans cette zone tant pour le continent que pour les îles (Noirmoutier - Ré - Oléron) et a entraîné le développement de très nombreux aménagements littoraux (en particulier de fronts de mer) et, aussi, des dégradations fréquentes de zones dunaires. Il en résulte, toujours considéré globalement, des problèmes d'érosion littorale multiples avec toutefois des intensités limitées.

Il y a dans cette zone des besoins de stabilisation du littoral. Ceci n'est guère facile à résoudre compte tenu de l'"héritage" des aménagements existants et de la forte urbanisation littorale. Ce pourrait être, il est vrai et dans bien des cas, le domaine de la solution "rechargement" et aménagement de dunes (en particulier dans les zones abritées (par exemple face Est des îles).

Localement, l'évolution de la Pointe de La Coubre conduit à d'importants problèmes d'érosion dans le secteur de La Palmyre.

e. Aquitaine (figure 1.6)

De la Gironde à l'Adour, c'est là le domaine des grandes dunes. Peut-on parler de besoins en termes d'aménagements littoraux : non compte tenu de l'étendue des plages existantes et du recul du littoral pouvant être accepté sur la plus grande partie de celui-ci. Toutefois, trois points sont à considérer :

- . Le traitement nécessaire des dunes.
- . Le problème des baïnes : chenaux d'écoulement sur l'estran où les courants sont dangereux pour les baigneurs.

- . Les transferts de sables de part et d'autre des endiguements des courants⁽¹⁾ (ex. à Cap Breton).

Au Sud de l'Adour, deux zones sont soumises à de fortes érosions posant d'importants problèmes pour les résoudre : le littoral sableux Adour-Biarritz et la Côte des Basques (au Sud de Biarritz).

En résumé, en termes de besoins d'aménagements, on peut les considérer comme faibles sur le littoral aquitain. On retiendra deux points particuliers : les baïnes, les transferts de part et d'autre des endiguements.

3.3.3.2 MEDITERRANEE

a. Languedoc - Roussillon (jusqu'à la Grande Motte, figure 1.7)

Les grandes tendances évolutives du littoral sont :

- . Au Sud de l'Orb, le littoral est stable.
- . Au Nord de l'Orb, le littoral est globalement en érosion (La Tamarissière, Sète, Frontignan en particulier). Les aménagements ont surtout consisté en la réalisation d'épis et à, un moindre degré, de brise-lames.
- . Les ouvrages portuaires, récents pour la plupart, n'ont pas modifié significativement le régime naturel.
- . Le Service Maritime et de Navigation du Languedoc-Roussillon (SMNLR) fait d'importants efforts dans le domaine de la restauration dunaire et l'on a là un champ favorable à l'expérimentation.

A priori, pour cette zone littorale, on ne peut parler de besoins en termes d'aménagements du littoral, en particulier pour la zone Sud de l'Orb. La partie Nord doit être défendue : le SMNLR apporte une attention toute particulière aux méthodes douces : ex. : restauration de dunes, cordon artificiel de Maguelone (voir chapitre 2).

⁽¹⁾ Courants : chenaux de sortie en mer des lacs.

b. Provence - Côte d'Azur

La zone La Grande Motte - Fos correspond au delta du Rhône : ancien et actuel. Les évolutions y sont importantes marquées par des érosions dans l'ancien delta (en particulier aux Saintes-Maries-de-la-Mer) mais aussi le développement de flèches sableuses telles que celle de Beauduc ou du They de la Gracieuse (qui avance vers le Golfe de Fos tout en reculant vers la terre). On a là un domaine fortement évolutif (phénomènes naturels mais aussi humains : barrages sur le Rhône) où la stabilisation du littoral est délicate compte tenu de l'importance des processus et de la sensibilité de la côte (très plate).

Le Port Autonome de Marseille a entrepris d'importants efforts de stabilisation de la Flèche de la Gracieuse : "bateaux-épis", défense douce : fixation des sables par des ganivelles et revégétalisation.

Entre Marseille et Menton, la pression touristique est énorme et les aménagements balnéaires et nautiques de cette côte à dominante rocheuse sont multiples. C'est aussi le secteur où les besoins ont induit la création de plages artificielles (exemple : Prado, Mourillon, Larvotto).

Finalement, on a un rivage largement artificiel où les impacts négatifs sont importants : tendance quasi générale à l'érosion des plages et, aussi des fonds (avec, en particulier, des dégradations d'herbiers). Il convient de souligner le problème "Posidonies". Outre leur destruction, l'accumulation de leurs débris est souvent nuisible. C'est certainement le secteur qui se prête le mieux à des essais de solutions nouvelles : on a le plus souvent affaire à des domaines sédimentologiques d'extension limitées.

c. Corse (figure 1.9)

La côte Ouest est essentiellement rocheuse et ne présente pas de problèmes importants. Les activités nautiques sont intenses en été et le développement d'installations légères serait le bienvenu dans de nombreuses zones.

La côte Est est rocheuse aux deux extrémités et basse, sableuse au milieu. Dans cette dernière zone, on a des problèmes d'érosion mais d'importance limitée. Le problème des débris de posidonies est fréquent dès lors qu'il y a des zones pièges (comme les ports).

3.3.3.3 DOM-TOM

Dans les DOM-TOM, un important problème commun (du fait de leur situation en zone tropicale) est à souligner : les cyclones. Ceux-ci, certes, sont rares (ordre de grandeur pour une zone donnée : tous les deux ou trois ans) mais entraînent de très forts dégâts aux côtes. Il en résulte que si l'on veut des protections efficaces, il faut faire des ouvrages très coûteux et très surdimensionnés par rapport aux conditions océanographiques usuelles.

Dans les Antilles, il y a une forte pression touristique conduisant à des besoins locaux d'aménagements balnéaires.

3.3.3.4 SYNTHÈSE DES BESOINS

Les principaux besoins répondent, pour l'essentiel, aux soucis des Communes de développer, améliorer ou encore créer des plages de préférence sableuses, qui, en apportant les agréments nécessaires aux vacanciers et touristes, favorisent les activités économiques locales.

Les méthodes classiques d'aménagements apportent certes, souvent, des solutions aux problèmes posés mais elles nécessitent généralement des actions d'entretien mal perçues par les Communes et peuvent se révéler agressives vis-à-vis de l'environnement tant sous des aspects biologiques (ex. destruction d'herbier à Posidonies par des brise-lames) que paysagers (intégration d'un épi ou d'un brise-lames). Par ailleurs, des réponses techniques ne sont pas apportées de manière satisfaisante dans certains cas (ex. création d'une plage sableuse sur un platier dans une mer à marée).

Ceci montre qu'il y a un large champ ouvert aux techniques nouvelles comme il l'est évoqué dans le paragraphe suivant.

3.4 SITES POTENTIELS D'ESSAI DE TECHNIQUES NOUVELLES

3.4.1 RAPPEL QUANT AUX RESULTATS DES TECHNIQUES NOUVELLES A IMPACTS REDUITS. REMARQUES DIVERSES

L'analyse des méthodes de protection du littoral (chapitre 2) conduit à souligner les points suivants :

- . Jusqu'à un passé récent, on a surtout fait appel à des méthodes statiques "dures" : ouvrages longitudinaux (perrés, murs) et transversaux (épis) qui cherchent surtout à s'opposer à la mer et non à composer avec elle. Il a eu de fréquents impacts négatifs nés de la méconnaissance des processus de fonctionnement des ouvrages et du littoral ainsi que de mises en oeuvre souvent dictées par l'urgence et la nécessité et non pas par le souci des impacts.
- . Il n'existe pas de remèdes universels : les cas sont multiples selon les conditions géographiques, géologiques, océanographiques, sédimentologiques ainsi que celles concernant les diverses facettes de l'aménagement du littoral.
- . Les méthodes "douces" (en particulier rechargements, aménagements dunaires) ont été utilisées, jusque lors, modérément. Les raisons en sont :
 - Elles ne sont pas forcément le remède (surtout si l'on a un régime littoral très actif).
 - Les rechargements impliquent la disponibilité de matériaux adéquats en quantité suffisante ; ceci est un problème dans bien des cas.
 - Les méthodes douces doivent, en général, être accompagnées de suivis et d'entretiens mal acceptés par les communes (les investissements sont la plupart du temps subventionnés, les entretiens ne le sont pas).
- . Beaucoup de méthodes nouvelles n'en sont qu'au stade expérimental et, jusque lors, il y a peu de résultats probants.
- . On ne peut s'abstraire de l'héritage des aménagements existants. C'est là un point qui apporte, dans bien des cas, des contraintes incontournables.
- . La protection de zones économiquement importantes (routes urbanisation, etc.) impliquent parfois l'utilisation obligatoire de méthodes "dures" (en particulier des ouvrages longitudinaux).
- . La notion de recul accepté du littoral doit être "maniée" avec précaution : les contraintes liées aux aménagements existants limitent ses possibilités d'emploi ; elle "passe" généralement mal auprès des communes concernées (abandon de terrains).

3.4.2 SITES POTENTIELS D'ESSAIS

Les sites potentiels proposés l'ont été en prenant en compte l'analyse de la situation région par région.

3.4.2.1 ATLANTIQUE - MANCHE - MER DU NORD

a. Nord, Picardie, Haute Normandie

En Haute Normandie, la demande de développement et/ou de création de plages devant les débouchés de valleuses est importante. Une solution pourrait être la réalisation sur l'estran de petits brise-lames submersibles (à la manière des écluses à poissons connues sur le littoral Vendée-Charente).

La restauration des hauts de plage de ces mêmes valleuses, constitués pour l'essentiel par des galets, serait, dans l'idéal, à envisager avec des rechargements. Reste à trouver le moyen de les stabiliser sans induire d'impacts négatifs à l'aval des aménagements. Comme on l'a vu, le site de Criel se prêterait à un recul contrôlé.

b. Bretagne

En Bretagne Nord et Sud, de nombreuses baies apparaissent susceptibles de stabilisation basée sur l'emploi de méthodes douces : rechargements et traitement de dunes (classiques ou autres). On pourrait ainsi envisager des actions sur les cordons tels que Combrit, Loctudy, Moustierlin ou encore la baie de Goulven.

Les rias sont des sites favorables à des aménagements nautiques en particulier "légers" compte tenu de la qualité de l'environnement. Ils pourraient être le lieu d'expérimentation quant à des installations telles que des brise-lames flottants ou encore abattables.

c. Pays de Loire - Poitou Charentes

C'est une zone où, comme on l'a vu, les problèmes d'érosion sont multiples mais généralement d'importance limitée. Les expériences et sites proposés sont :

Zone entre Saint-Jean de Monts - Sion sur l'Océan

Stabilisation du littoral à partir du traitement des formations dunaires et, probablement, de rechargements.

Ce secteur sans ouvrages longitudinaux mais avec de nombreux épis (qui apparaissent peu efficaces) est en érosion lente et a un milieu dunaire fortement dégradé. Dans cette zone, il avait été envisagé la réalisation d'un brise-lames expérimental à mi-estran ; il aurait été le premier sur la façade Atlantique (projet sans suite car il y a eu une opposition des Associations de défense de l'Environnement).

Dans les zones à larges platiers rocheux (par exemple sur les îles d'Oléron et de Noirmoutier), il avait été aménagé des écluses à poissons qui jouaient aussi le rôle des petits brise-lames et de pièges à sable. Il y a là une voie qui semble intéressante à prospecter. On rejoint une idée déjà évoquée pour le littoral haut-normand.

Les côtes orientales des îles, bien abritées pour l'essentiel, sont des sites a priori favorables à l'expérimentation de méthodes pour la stabilisation de l'estran et des dunes.

d. Aquitaine

Sur le littoral aquitain, on doit chercher à gérer au mieux son recul par un aménagement de dunes. Il y a là un vaste champ ouvert à l'expérience.

Parmi les méthodes nouvelles (au moins en France), on pourrait envisager la mise en oeuvre de by-passing pour résoudre les problèmes d'accumulation - érosion de part d'autre du débouché en mer du port de Capbreton.

3.4.2.2 MEDITERRANEE

L'essentiel des problèmes d'aménagements littoraux se situe entre Marseille et Nice.

Une zone apparaît particulièrement propice aux expérimentations compte tenu de la diversité des problèmes qui s'y posent et des conditions physiques variables : il s'agit de la presqu'île de Giens et des deux golfes qui la bordent : Golfe de Giens à l'Ouest et Golfe de Hyères à l'Est. A priori, il s'agit-là d'un domaine favorable aux essais :

- . de protection liée aux actions sur l'hydraulique : par exemple mur d'eau oscillant (en particulier dans le Golfe de Giens),
- . de rechargements de plages biphasiques (sables en surface, galets en dessous),

- . d'algues artificielles (avec cependant toutes les réserves, qu'à ce jour, on peut mettre sur leur fonctionnement (Golfe de Giens),
- . de géotextiles divers aux fins de conforter l'estran (haut estran et la zone de liaison avec les dunes).

Il est aussi suggéré d'engager une recherche quant aux problèmes de l'accumulation des débris de posidonies à l'abri des ouvrages tels que les brise-lames ou les ports. En fait, on connaît mal les mécanismes en nature d'où des risques importants de fonctionnement incorrect des ouvrages vis-à-vis des débris de posidonies.

Des études fondamentales dans ce domaine permettraient peut-être de réduire ces impacts négatifs.

3.4.2.3 DOM-TOM

Comment lutter contre les effets cyclones ? : ouvrages sûrs mais coûteux ou ouvrages moins sûrs et moins coûteux avec acceptation de dégradations périodiques ?

3.5 ZONES HORS DE FRANCE

Dans les zones sous influence française directe, on trouve les principaux problèmes d'aménagement littoraux en Afrique du Nord et dans le Golfe du Bénin.

a. Afrique du Nord

Avec le développement des activités touristiques et balnéaires, de nombreux aménagements littoraux ont été réalisés, en particulier liés à l'implantation d'hôtels.

Ces ouvrages ont été souvent construits trop près de la mer. Il en est résulté de multiples problèmes d'érosion dans les zones d'aménagements et leurs abords. La situation est fréquemment délicate à résoudre car les aménagements se retrouvent en "saillie" sur le littoral et deviennent une cible préférentielle pour la mer. Il devient alors difficile d'envisager un recul contrôlé de ce seul fait alors que l'on disposait initialement de vastes espaces. La Tunisie, pays hautement porté vers le tourisme balnéaire, offre un champ d'investigation important dans ce domaine de protection du littoral (à noter : d'importants problèmes de dépôts de débris végétaux).

b. Golfe du Bénin

Dans le Golfe du Bénin, les problèmes d'érosion côtière sont parmi les plus intenses connus au monde. Ils sont liés à des évolutions de deltas (Volta au Ghana), Niger au Nigéria ou aux impacts d'ouvrages portuaires (Lomé au Togo, Cotonou au Bénin) sur le transit littoral (1 à 1,5 million de m³/an à Lomé et Cotonou, débouché de la lagune d'Abidjan).

Jusque lors, les solutions de défense mises en oeuvre ou envisagées ont principalement fait appel à des épis. Les solutions by-passing à l'aval des ports, qui, a priori, sont celles à envisager, n'ont pas été retenues à ce jour en particulier du fait de leur coût (d'exploitation notamment).

L'importance des problèmes, d'une part, et les conditions océanographiques d'autre part (houles longues tout au long de l'année) réduisent considérablement le champ d'utilisation des méthodes de protection et n'apparaissent guère favorables à la mise en oeuvre d'expérimentations.

oOo

BIBLIOGRAPHIE

BCEOM - Le littoral français, Dommages côtiers - 1980.

LCHF - Ouvrages de protection d'un littoral français. Enquête sur les ouvrages existants le long des côtes françaises - 1986.

LCHF - LNH - SOGREAH - Catalogues sédimentologiques des côtes françaises - 3 tomes : 1984-1986-1987. STCPMVN.

T. LESTOILLE - Le prix des ouvrages de protection. Journées "Erosion et défenses des côtes" ASTEO.

ORGANISATION ET ENVIRONNEMENT - Etude des impacts socio-économiques concernant les technologies de l'aménagement du littoral. Etude pour IFREMER - 1992.

oOo

Chapitre 4

CAHIERS DES CHARGES DES OUVRAGES

-

Dans ce chapitre, on s'est efforcé d'établir pour chaque cas type "un cahier des charges" que devraient satisfaire les divers ouvrages et solutions d'aménagement du littoral en recherchant à concilier efficacité et impacts minima sur l'environnement. Il a été suivi la classification proposée dans la typologie du tableau 3.6.

Avant d'aborder chacun des cas, il a été évoqué ce qu'il convient de connaître pour s'orienter vers la (ou les) solution(s) a priori souhaitable(s) à savoir le régime de la côte.

4.1 CONNAISSANCE DU REGIME DE LA COTE

Dans le principe, les solutions d'aménagements doivent chercher à composer au mieux avec la nature, en l'occurrence le régime de la côte, pour avoir les meilleures chances d'avoir des impacts minima.

Il est clair que chaque site doit faire l'objet d'un cahier des charges spécifique adapté à son cas. Le cadre de ce cahier des charges est défini ci-après.

4.1.1 MILIEU PHYSIQUE

- a. Géographie, géologie et géomorphologie : quel type de littoral ?
- b. Bathymétrie : de la côte jusqu'à des fonds le plus souvent de l'ordre de - 5 à 10 m.

c. Océanographie

- . Vents.
- . Fluctuation de niveau : marée astronomique, surcote (en particulier en Méditerranée).
- . Courants : courants de marée, liés aux vents, généraux etc.
- . Agitation : régime de l'agitation au cours d'une année typique et fluctuations autour de celle-ci (aux fins de situer au mieux les observations d'une période donnée).

d. Sédimentologie

- . Nature et origine des sédiments.
- . Mouvements des sédiments :
 - Transports éoliens.
 - Mouvements dans le profil.
 - Transit littoral.
 - Matières en suspension.
 - Cas particulier : les débris végétaux.

Il convient de souligner l'importance de la connaissance des mouvements sédimentaires non seulement sur un plan qualitatif mais aussi quantitatif.

e. Evolution du littoral et des fonds

- . Facteurs en jeu : naturels, humains.
- . Importance.
- . Historique.

Cette phase "évolution" est essentielle : on a là des données issues d'un "laboratoire naturel" et donc très réalistes.

4.1.2 MILIEU BIOLOGIQUE

- . Vie terrestre et aquatique : faune, flore (attention particulière aux herbiers en Méditerranée).

4.1.3 SOCIO-ECONOMIE

- . Urbanisation, aménagements existants.
- . Valeur des zones à défendre.
- . Activités professionnelles : pêche, conchyliculture, nautisme, etc..

4.1.4 ENVIRONNEMENT

- . Conditions générales d'environnement : aspects paysagers, urbanisation, etc.
- . Impacts à envisager lors des travaux (circulation, bruit, turbidité etc.).

4.2 CAHIER DES CHARGES

Les cahiers des charges sont examinés pour chaque solution mais certains points sont communs. On se référera en ce cas au cahier des charges de la première solution examinée : stabilisation et protection du littoral.

4.2.1 STABILISATION ET PROTECTION DU LITTORAL

4.2.1.1 OBJECTIF. FONCTIONNEMENT

Dans le principe, l'objectif de l'aménagement envisagé est clair : assurer l'équilibre du littoral concerné sans pour autant nuire à ceux des zones avoisinantes. Cela veut dire que le fonctionnement de l'ouvrage doit être tel qu'il ne piège pas, tout au moins après une phase de mise en équilibre ("aidée" ou non par des apports artificiels), les matériaux transitant le long du littoral (sinon, on retrouve le problème lié aux épis).

Traduit en d'autres termes, il doit y avoir équilibre entre les volumes entrant et sortant du domaine concerné par l'ouvrage. Cela n'est pas une condition aisée à remplir : dans l'idéal, on demande à l'ouvrage d'agir sur la vie du littoral sans perturber les mouvements sédimentaires généraux.

Bien évidemment, l'efficacité des ouvrages aura été évaluée lors d'études préalables : sur plan, en modèle physiques et/ou numériques, lors de réalisation en nature.

On évaluera aussi les entretiens à envisager dans le cadre du fonctionnement des ouvrages (court terme à long terme).

4.2.1.2 CONSTITUTION

La constitution de l'ouvrage doit être telle qu'elle assure un comportement correct vis-à-vis des divers facteurs pouvant jouer sur la tenue de l'ouvrage : agitation (facteur primordial), courants, fluctuation de niveau, vents. On peut souligner, dans ce domaine les nombreux déboires liés à l'utilisation de géotextiles : ancrage, fragilité, problèmes des fluctuations de pression liées aux vagues et à la marée, etc.

4.2.1.3 INTEGRATION A L'ENVIRONNEMENT

Dès lors qu'il s'agit d'ouvrages émergents, on doit rechercher à utiliser des matériaux s'intégrant à l'environnement. Un exemple classique de mauvaise adéquation matériaux-environnement est celui des diorites (roches noires) dans les Charentes Maritimes où dominant les marno-calcaires blancs⁽¹⁾.

Par ailleurs, on recherchera des constitutions d'ouvrages favorisant leur intégration à l'environnement.

4.2.1.4 IMPACTS

a. Sur le littoral

Les impacts des ouvrages sur le littoral seront évalués. Les éventuelles mesures compensatoires ou accompagnatrices seront définies.

b. Sur la vie biologique

Les aménagements devront chercher à respecter au mieux la vie biologique. Deux points importants sont à souligner dans ce domaine : en tout premier lieu, les herbiers en Méditerranée (posidonies en particulier) et les zones conchylicoles (fréquentes dans les zones à platiers rocheux développés et les estuaires).

⁽¹⁾ Objectivement, il faut considérer les problèmes techniques et économiques : les contraintes océanographiques (agitation) imposent des catégories données d'enrochements : dans certains cas, compte tenu des aspects économiques, on est conduit à utiliser un type d'enrochements donné.

c. Pendant les travaux

La réalisation de travaux d'aménagements littoraux doit prendre en compte :

- . la saison (travaux souvent exclus en période estivale),
- . les problèmes de circulations des camions et engins,
- . les pollutions pouvant être liées au chantier : bruit, turbidité des eaux.

4.2.1.5 COUTS

L'évaluation économique des aménagements comprend :

- . l'investissement initial,
- . les coûts d'entretien,
- . le rapport coût des aménagements/valeurs protégées (terrains, constructions diverses, routes, aménagements existants etc.) ; cette analyse peut conduire à suggérer l'emploi d'autres méthodes ou même de conseiller l'acceptation d'un recul contrôlé.

4.2.1.6 SUIVI

Un programme de suivi régulier du littoral concerné par les aménagements et des domaines avoisinants est à assurer.

4.2.2 EROSION DES FONDS

4.2.2.1 OBJECTIF. FONCTIONNEMENT

La reconstitution des fonds ou leur protection a pour objectif d'induire une stabilisation du profil général de la plage et des fonds marins en "fixant" ces derniers. Cette action sur le profil de plage est complétée par une atténuation de l'énergie arrivant au littoral, les fonds étant plus hauts.

Les différents cas envisageables sont :

a. Rechargements directs

Le rechargement direct des fonds est, le plus souvent, peu aisé à mettre en oeuvre (problème technique de rejets de dragages dans les fonds).

On doit reconstituer les fonds avec des sédiments d'une granulométrie dont les caractéristiques sont aussi proches que possibles de celles du matériau naturel, et, en toute hypothèse, au moins aussi forte.

Il devra être défini :

- . La faisabilité de la solution (problèmes, en particulier, de la possibilité de remontée des matériaux vers la plage).
- . Les volumes d'entretien.
- . Les zones d'emprunt et les méthodes d'apport au site de dépôts.

b. Algues artificielles

En l'état actuel de l'art, on ne peut qu'être très réservé vis-à-vis de cette technique. Il conviendra que les preuves de l'efficacité de solutions de cette nature soient dûment prouvées avant de s'engager dans des réalisations importantes.

c. Replantation

Cette technique est à ce jour expérimentale et ne peut être encore envisagée comme solution ayant fait ses preuves.

d. Ouvrages

La restauration de fonds à partir d'ouvrages correspond principalement à l'utilisation de brise-lames (émergents ou submersibles). On retrouve alors les problèmes d'objectif et de fonctionnement définis en 4.2.1.

4.2.2.2 CONSTITUTION DES OUVRAGES

a. Rechargements : hors sujet.

b. Ouvrages : voir en 4.2.1.

4.2.2.3 IMPACTS

a. Sur le littoral

- . Rechargements : a priori essentiellement positifs.
- . Ouvrages : voir en 4.2.1.

b. Sur la vie biologique

Les rechargements et ouvrages devront ne pas conduire à la destruction (enfouissement) des herbiers, de frayères et de zones d'activités conchyliques (ou autres).

c. Pendant les travaux

- . Voir en 4.2.1.
- . A souligner : les problèmes de turbidité s'il y a des rechargements contenant des matières fines en pourcentage significatif.

4.2.2.4 COUTS - SUIVI

Voir en 4.2.1.

4.2.3 CREATION OU AMELIORATION DE PLAGES

4.2.3.1 OBJECTIF. FONCTIONNEMENT

La création et/ou l'amélioration de plages (autre que la stabilisation et la protection du littoral) ressortent du domaine des plages artificielles.

En ce qui concerne le littoral français, ce type d'aménagements a essentiellement été mis en oeuvre en Méditerranée sur le littoral Marseille - Menton d'une part soumis à une forte pression touristique et, d'autre part, ayant un linéaire de plages limitées du fait de la dominante des formations rocheuses en bordure du littoral.

L'objectif est de réaliser un gain de linéaire et de surface de plages. Ceci est obtenu à partir de rechargements et d'ouvrages de contention et de protection de ces derniers (épis, brise-lames).

Les points suivants sont à respecter :

a. Rechargements

- . Apports d'une granulométrie adéquate et répondant aux qualités usuelles d'une plage balnéaire (pas de matériaux trop grossiers : si possible moins de 2 à 3 mm).
- . Evaluations des volumes d'apports initiaux et d'entretien.

b. Ouvrages

Mise en oeuvre d'ouvrages :

- . assurant la stabilité longitudinale (épis) et transversale (ou encore dans le profil : brise-lames, butée de pied) des rechargements,
- . s'intégrant au mieux à l'environnement (en particulier du point de vue paysager).

4.2.3.2 CONSTITUTION, IMPACTS, COUTS, SUIVIS

Voir en 4.2.1.

4.2.4 IMPACTS D'AMENAGEMENTS PORTUAIRES OU D'ENDIGUEMENT

4.2.4.1 OBJECTIFS. FONCTIONNEMENT

Les impacts fondamentaux liés aux aménagements portuaires et aux endiguements sont comme on l'a vu :

a. Interruption totale ou partielle du transit littoral

- . Accumulations de matériaux du côté amont (au vent) des ouvrages.
- . Erosions du littoral à l'aval (sous le vent) des ouvrages.

b. Modification de l'équilibre d'une plage (cas typiques : baie où a été réalisée un port : ex. : Pornichet, Bormes-les-Mimosas, Tanger).

- . Sédimentation à l'abri du port d'une partie des matériaux de la plage.
- . Erosion de la plage hors zone d'influence du port.

L'objectif des aménagements est de rétablir une situation naturelle du régime littoral en rétablissant artificiellement celle-ci.

c. Interruption totale ou partielle du transit littoral

Dans le principe, une solution by-passing est la mieux adaptée. Les deux principaux moyens sont :

- . Par pompage dans la zone d'accumulation et rejet dans la zone sous-alimentée, dans le cas de volumes importants (au moins 50 000 à 100 000 m³/an).
- . Par transfert mécanique (grues, camions) dans le cas de volumes faibles (ex. : Saint-Denis d'Oléron).

Les moyens mis en oeuvre dans le by-passing :

- . doivent être adaptés au transit littoral,
- . susceptibles d'être mise en oeuvre en toute circonstance (continuité de fonctionnement),
- . fiables,
- . avoir un bon rendement.

d. Modification de l'équilibre d'une plage

En ce cas, la solution la mieux adaptée est celle du transfert mécanique des sables de la zone d'accumulation de la plage vers la zone en érosion accompagné d'un remodelage de la plage.

Les moyens doivent :

- . être adoptés aux volumes en jeu (généralement de l'ordre de 10 000 à 30 000 m³/an),

- . pratiqués régulièrement (annuellement),
- . être complétés d'éventuels apports extérieurs pour compenser les pertes.

4.2.4.2 IMPACTS, COUTS, SUIVIS

Voir en 4.2.1.

4.2.5 PROTECTION DE PLAN D'EAU POUR DES ACTIVITES NAUTIQUES

4.2.5.1 OBJECTIF. FONCTIONNEMENT

Si l'on s'en tient à des moyens légers tels que des brise-lames flottants (quelle que soit leur constitution) ou abattables (en projet mais non réalisés), les aménagements concernent des zones peu exposées, en particulier aux agitations du large (houles, mers de vent dont les périodes sont trop longues pour que le fonctionnement des brise-lames envisagés soit satisfaisant). Ces brise-lames doivent :

- . avoir un fonctionnement correct pour des périodes pouvant atteindre jusqu'à 4 à 6 s (agitation transmise d'une hauteur inférieure à 0,4 à 0,5 m),
- . avoir une structure adaptée aux efforts prévus (clapots pouvant atteindre 1,5 à 2 m).

Les brise-lames "lourds" (ex. : mur d'eau fixe, brise-lames, rideau de fer ; voir chapitre 2) (qui sont seulement, pour beaucoup d'entre eux, à l'état de projet).

Ces projets posent quant à leur mise en oeuvre de tous autres problèmes (en particulier concernant les efforts à supporter). Dans le principe, ils ne sont pas conçus pour des objectifs tels que la protection du littoral.

4.2.5.2 IMPACTS

Les brise-lames flottants n'ont que de faibles impacts sur l'environnement. En particulier, ils apportent une gêne réduite à la circulation des eaux.

A priori, donc, les impacts liés aux brise-lames flottants sont faibles tant du point de vue hydraulique que sédimentologique.

Sortant peu de l'eau, leur intégration à l'environnement n'apparaît pas poser de problèmes notables.

4.2.5.2 COUTS. SUIVI

Voir en 4.2.1.

oOo

BIBLIOGRAPHIE

US ARMY Coastal Engineering Research - Shore protection manual - 1982.

CARRAS - Cours d'Hydraulique Maritime et de travaux maritimes - 1961.

W.T. BALKER - S.K. WRIJLING - Probabilistic design of sea defenses. Comptes rendus du 17e Coastal Engineering Conf. SYDNEY - 1980.

B. BELLESSORT - Aménagement et gestion de la zone côtière - BORDOMER 1992.

B. BELLESSORT - Principes généraux d'aménagement du littoral. Cours ENSTA - Octobre 1976.

B. BELLESSORT - J. VIGUIER - Les aménagements du littoral français. Bilan - philosophie - futur : EUROCOAST, Marseille - 1990.

B. BELLESSORT - L'ingénieur et les études d'aménagements du littoral. Les moyens d'études de la nature aux modèles physiques et numériques. Colloque. Défense du littoral, Nantes - 1991.

R. BONNEFILLE - Ouvrages de protection des côtes. Cours d'hydraulique maritime de ENSTA - Editeur Masson - 1980.

Protection du littoral à Problèmes posés - Moyens d'étude et ouvrages de défense - J-P. LEPETIT (LNH) - Rapport HC042/72222 - 1972.

C. MIGNIOT - P. PRUDHOMME - Effets des aménagements côtiers. OTH informations - Décembre 1975.

Per BRUUN - History and philosophy of coastal protection. 13e Coastal Engineering Conf. Vancouver V.3 - 1972.

Chapitre 5

AXES DE DEVELOPPEMENT

L'analyse faite dans ce rapport a concerné, dans le domaine de la protection du littoral, les points suivants :

- . Moyens classiques, expérimentaux et en projet de protection du littoral.
- . Bilan des aménagements réalisés.
- . Coût des aménagements.
- . Besoins.

L'analyse de ces données montre que l'on est loin d'avoir résolu les problèmes, et ce dans les divers domaines intéressés :

- . Connaissance des phénomènes.
- . Conception et fonctionnement des ouvrages.
- . Et, aussi, "communication" : expliquer aux Communes, au public et aux diverses entités concernées les choix des conceptions et les contraintes pouvant leur être liées.

Ces trois points constituent ce que l'on peut appeler la règle des 3 C à respecter en aménagement du littoral : connaître, concevoir, convaincre.

Il est proposé ci-après, dans les différents domaines, des axes de recherches mis en évidence à la suite de l'analyse faite, et ce particulièrement dans le domaine maritime qui est celui du champ d'intervention d'Ifremer.

5.1 CONNAITRE

La conception d'un aménagement de protection du littoral et/ou de sa gestion implique de connaître le régime du littoral (voir chapitre 4) : processus en jeu, mouvements sédimentaires (sens, intensité), évolutions du littoral et des fonds passées, actuelles et à venir.

Les trois domaines concernés sont :

- . Océanographie.
- . Sédimentologie.
- . Divers.

5.1.1 OCEANOGRAPHIE

Dans le domaine de l'océanographie, la connaissance des vents, fluctuations de niveau et courants ne posent pas de problèmes importants (en ce qui concerne l'aménagement du littoral).

Il en va tout autrement avec l'agitation, facteur essentiel de la dynamique sédimentaire. Les axes de recherche seraient :

- . Agitation au large : méthodes prévisionnelles, exploitation des données des satellites (ERS1) et mesures in situ.
- . Agitation à la côte : c'est celle qui concerne l'aménageur. Si, lorsque les fonds sont réguliers, le transfert de l'agitation du large à la côte se fait généralement aisément (modèles numériques), il en va tout autrement avec des fonds tourmentés (comme par exemple la Côte du Cotentin entre le Cap de la Hague et Grandville). Les axes de recherches pourraient être :
 - Méthodes de mesures in situ :
 - + bouées,
 - + système radar,
 - + photos aériennes locales,
 - + etc.
 - Exploitation des données : le régime de l'agitation variant tant au cours d'une année qu'entre années, il est important de développer des systèmes d'exploitation des données en terme de probabilité permettant, ensuite, de préciser les limites des variations quantitatives des mouvements sédimentaires.

5.1.2 SEDIMENTOLOGIE

En ce qui concerne la sédimentologie, on peut admettre que l'on maîtrise correctement les aspects suivants :

- . Nature et origine des sédiments.
- . Facteurs en jeu.

L'essentiel des problèmes réside dans l'évaluation quantitative des mouvements sédimentaires : transit littoral, mouvements dans le profil. En l'état actuel de l'art, les évaluations restent très approximatives : des rapports de 1 à 3 (ou plus) selon les formules utilisées et les valeurs introduites des paramètres sont usuelles. Les axes de recherches sont :

- . Connaissance fondamentale des mécanismes (importants programmes en cours : MAST, SISYPHE).
- . Développement des codes de calculs et modèles numériques.

Dans ce domaine, il apparaît un point essentiel à souligner : celui de leur validation. On rencontre là, très fréquemment, le problème du passage des données issues de mesures en modèle physique (qui, le plus souvent, ont servi à l'établissement des formules de transport) à des données "nature".

- . Mesures in situ : développement d'appareil de mesures et de méthodes expérimentales (telles que épis expérimentaux, souilles, traceurs).

Dans le domaine des évolutions du littoral, l'axe de recherche doit porter sur la télédétection. Un point délicat est celui de la précision de la résolution des images : les évolutions du littoral sont, souvent, de faible importance (moins de 0,5 m/an) et donc difficiles à évaluer à partir des images (ou photos) actuellement disponibles.

5.1.3 DIVERS

En Méditerranée, le problème de l'accumulation des débris d'algues et de posidonies est souvent important dans les zones abritées.

La connaissance des mécanismes en jeu pourrait conduire à des conceptions de solutions actuellement non existantes.

5.2 CONCEVOIR

Dans le domaine de la conception et du fonctionnement des ouvrages, il convient de souligner les points suivants :

- . Il existe un héritage du passé (aménagements existants) qui, dans bien des cas, limite considérablement les possibilités d'actions du concepteur.
- . Comme on l'a vu dans le chapitre 2, il y eu de nombreuses expérimentations de méthodes nouvelles. Jusque lors, il n'y a guère de résultats probants.
- . On ne peut faire abstraction des coûts dans la conception des ouvrages.
- . Il faut se garder de privilégier une solution sous le seul prétexte qu'elle ne se "voit" pas et est donc sans problème d'intégration à l'environnement (cas typique : les brise-lames submergés). En tout premier lieu, une solution se doit d'être efficace.
- . Enfin (et surtout !), chaque site a sa spécificité et il n'y a pas de solution unique. Certes, pour chaque type de problèmes, on peut dire qu'il y a un type de solution mais il faut faire une adaptation à chaque cas (exemple type : le dimensionnement des épis).

5.2.1 STABILISATION ET PROTECTION DU LITTORAL

a. Utilisation des géotextiles en milieu marin

Jusque lors, on a surtout voulu transposer des techniques fluviales au milieu marin ; les échecs ont été nombreux. Il y a des recherches à faire pour utiliser des géotextiles en milieu marin.

b. Ouvrages longitudinaux

Jusque lors, on a surtout réalisé des ouvrages fixant le littoral avec ou sans atténuation des réflexions.

Peut-être y-a-t-il un axe de recherches dans des structures "douces" (quant à leurs formes) et "piégeantes". A priori, elles seraient bien adaptées dans des zones peu exposées. Les géotextiles pourraient peut-être apporter des solutions satisfaisantes dans un certain nombre de cas (sous réserve de résoudre des problèmes tels que leur tenue aux vagues).

c. Epis

Certes, il existe des normes "classiques" pour le dimensionnement et l'implantation des épis. Toutefois, l'analyse du fonctionnement de nombreux cas montre qu'il existe des problèmes mal connus et mal résolus :

- . Le fonctionnement d'un épi dépend non seulement de la résultante des deux transits opposés qui existent en un site donné (par exemple la différence entre un transit Nord et un transit Sud) mais aussi des valeurs absolues de Nord et Sud et encore du rapport Nord-Sud. Ce dernier point ne semble guère avoir été considéré : or, il joue considérablement sur l'implantation et le dimensionnement des épis.
- . On ne sait pas résoudre correctement le problème de l'érosion à l'aval d'un système d'épis.
- . Epis interrompus (ou encore ajourés) : on connaît fort mal (il y a eu quelques essais en nature et en modèle réduit) le fonctionnement d'un tel système (qui serait peut-être une solution aux problèmes d'érosion à l'aval des épis.
- . Structure des épis : il n'existe pas de données quant aux relations fonctionnement-structure des épis (en bois, en enrochements, en blocs artificiels, etc.).

d. Brise-lames émergents

Les conditions et possibilités d'utilisation des brise-lames émergents en mer à marée sont mal connues. S'ils s'avéraient "faisables" (au moins dans certains cas), ils pourraient être une alternative intéressante à des ouvrages longitudinaux.

Il convient toutefois de souligner les difficultés d'intégration à l'environnement.

Peut-être pourrait-on rechercher des ouvrages associant à la fonction "protection du littoral" une fonction "nautique" telle qu'un abri (au moins temporaire) pour des embarcations légères ou des planches à voile, etc.

Les problèmes des dépôts algues-positonies à l'abri des brise-lames sont totalement à résoudre.

e. Brise-lames submergés

- . En mer sans marée, ils sont souvent évoqués car ne se voyant pas. Mais, il ne semble pas exister, en nature, de données quant à leur dimensionnement et fonctionnement. Il y a là un champ d'investigation intéressant.

- . En mer à marée, des brise-lames submergés temporairement sur l'estran pourraient peut-être apporter des améliorations à la tenue de plage. On a un exemple de réalisations, abandonnées, avec les écluses à poissons sur les platiers des îles de Vendée et Charente-Maritime.

Il y a là un domaine intéressant à explorer.

f. Brise-lames sur pieux

Ils n'ont pas été utilisés jusque lors en défense du littoral, ni d'ailleurs été conçus pour cela. C'est une voie à explorer.

g. Mur d'eau oscillant (ou principes voisins)

Avant de s'engager plus loin, il conviendrait de faire le point technique et économique de ce qui a été étudié et réalisé à ce jour.

5.2.2 EROSION DES FONDS

a. Rechargements

Cette méthode "classique" mais peu utilisée en France pose, en autres problèmes, celui de la stabilisation des rechargements aux fins de limiter les travaux d'entretien toujours mal perçus par les communes.

En autres solutions (ouvrage tel qu'épi), des recherches pourraient s'orienter vers la mise au point de rechargements diphasiques (par exemple galets + sable, voir Lavandou).

b. Algues artificielles

Il n'y a pas de résultats significatifs jusque lors. Des recherches devraient porter sur :

- . Caractéristiques des "algues".
- . Surface et densité minima d'implantation (une des raisons des échecs n'est-elle pas dans l'insuffisance de celles-ci ?).

c. Rides artificielles (système BRAGG)

Il s'agirait de recherches dans la voie d'actions sur la rugosité des fonds et la propagation d'ondes. Ce peut être une voie à l'utilisation de tubes en géotextiles (en particulier dans des zones peu exposées).

5.2.3 CREATION OU AMELIORATION DE PLAGES

Dans le domaine, des exemples de réalisation tels que le Prado à Marseille montrent que l'on sait faire des aménagements satisfaisants tant du point de vue technique que paysager.

Un problème important dans les zones à littoraux rocheux est la création de plages artificielles avec des fonds à forte pente : optimisation des systèmes basés sur les butées de pied ? Autres ?

5.2.4 IMPACTS D'AMENAGEMENTS PORTUAIRES OU D'ENDIGUEMENT

Outre les remodelages de plages aux abords des ports, c'est le domaine du by-passing, fort peu utilisé en France à ce jour (toutefois, il y a peu de situations qui s'y prêtent).

Des recherches s'orientent vers la fluidisation des sables pour faciliter leur mobilité par des moyens tels que des injections d'eau. C'est certainement une voie intéressante en ce qui concerne les dépôts piégés dans les chenaux.

5.2.5 DIVERS

a. Combinaisons d'aménagements

La combinaison de solutions est certainement une alternative intéressante dans le cas de zones peu ou moyennement exposées avec un littoral dunaire attaqué. En effet, le seul aménagement de dune ne suffira généralement pas à stabiliser le littoral. Alors, la mise en oeuvre de moyens complémentaires légers apporterait-elle, dans un certain nombre de cas, des solutions satisfaisantes.

Encore, convient-il de les définir et de les mettre au point.

b. Brise-lames flottants

Jusque lors, ils ont été utilisés pour la protection de plans d'eau nautiques soumis à des actions de clapots.

Un axe de recherches serait leur application à la protection du littoral (surtout dans des zones peu exposées).

c. Protection contre les cyclones

C'est une voie de recherches qui concerne la majeure partie des DOM-TOM qui, du fait de leur position géographique, sont exposés au cyclone (c'est un souci des japonais).

d. Récifs artificiels électrolytiques (ou autres)

On rejoint là la notion de brise-lames.

Certainement une voie de recherche intéressante (en particulier en zone à faible marée et peu exposée).

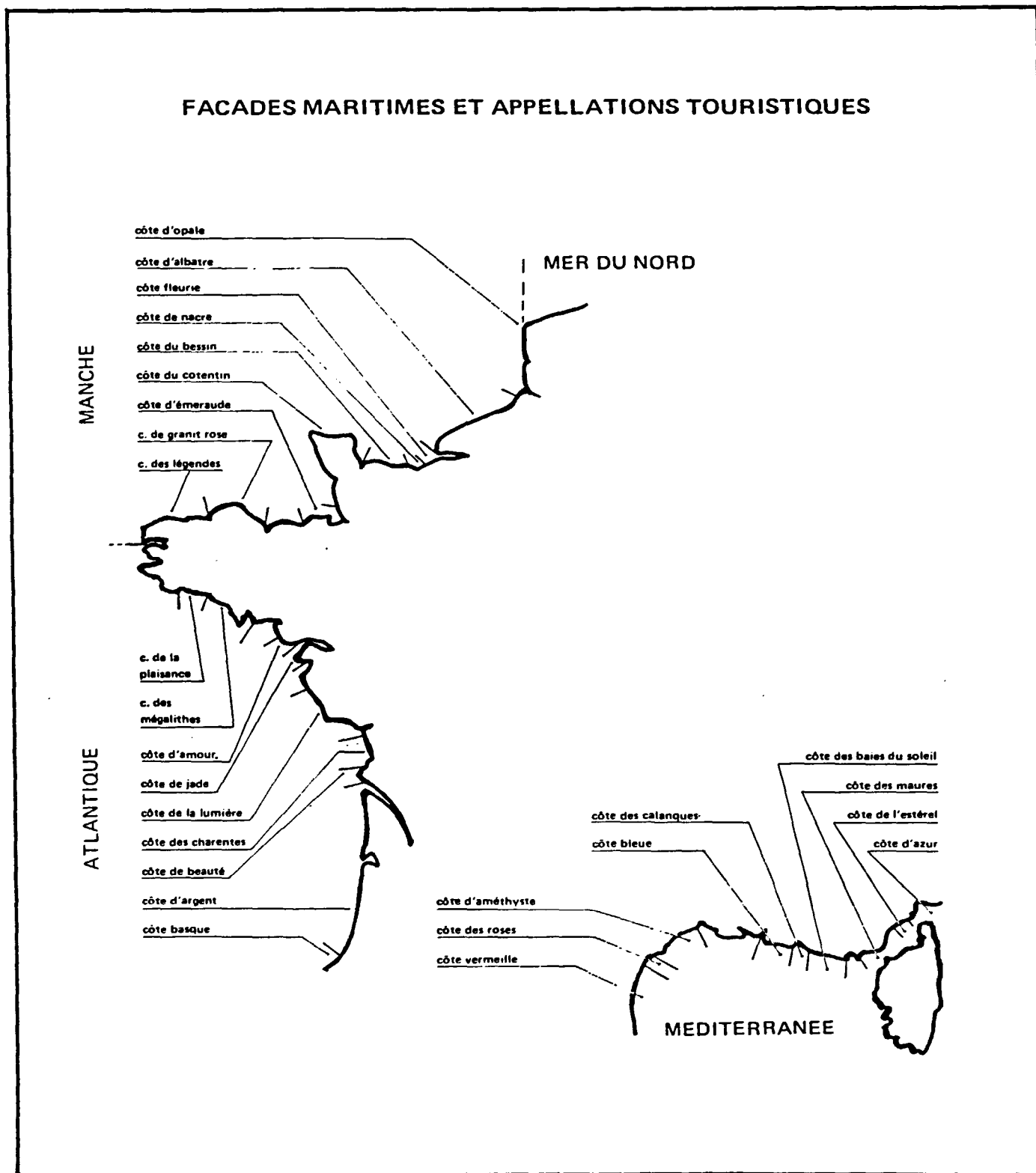
5.3 CONVAINCRE

Le volet "convaincre" n'est pas du ressort de cette étude pour Ifremer dont l'objet concerne les méthodes de défense du littoral. Il n'en demeure pas moins qu'il existe des aspects psychologiques importants tels que faire admettre :

- . les solutions d'aménagement aux diverses entités concernées (c'est loin d'être évident quand elles ne répondent pas à des espérances souvent subjectives desdites entités),
- . un recul du littoral,
- . des travaux d'entretien (ex. avec les rechargements).

FIGURES

FACADES MARITIMES ET APPELLATIONS TOURISTIQUES



mai 1993

PROTECTION LITTORALE : PROBLEMATIQUE

Ech : 1/

▼
SOGREAH
INGENIERIE

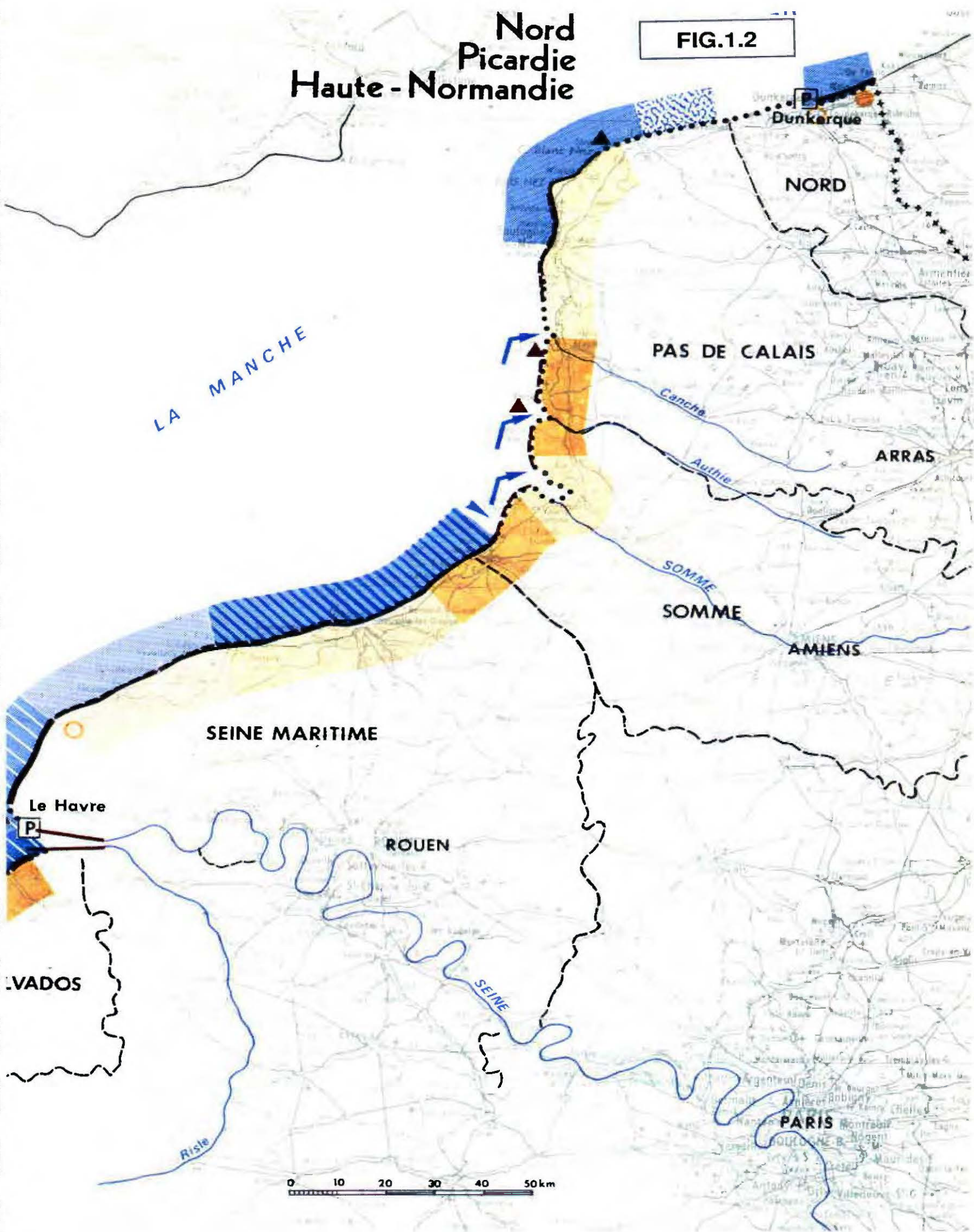
LE LITTORAL FRANCAIS
APPELLATIONS DES LITTORAUX

5.1390

Fig. 1.1

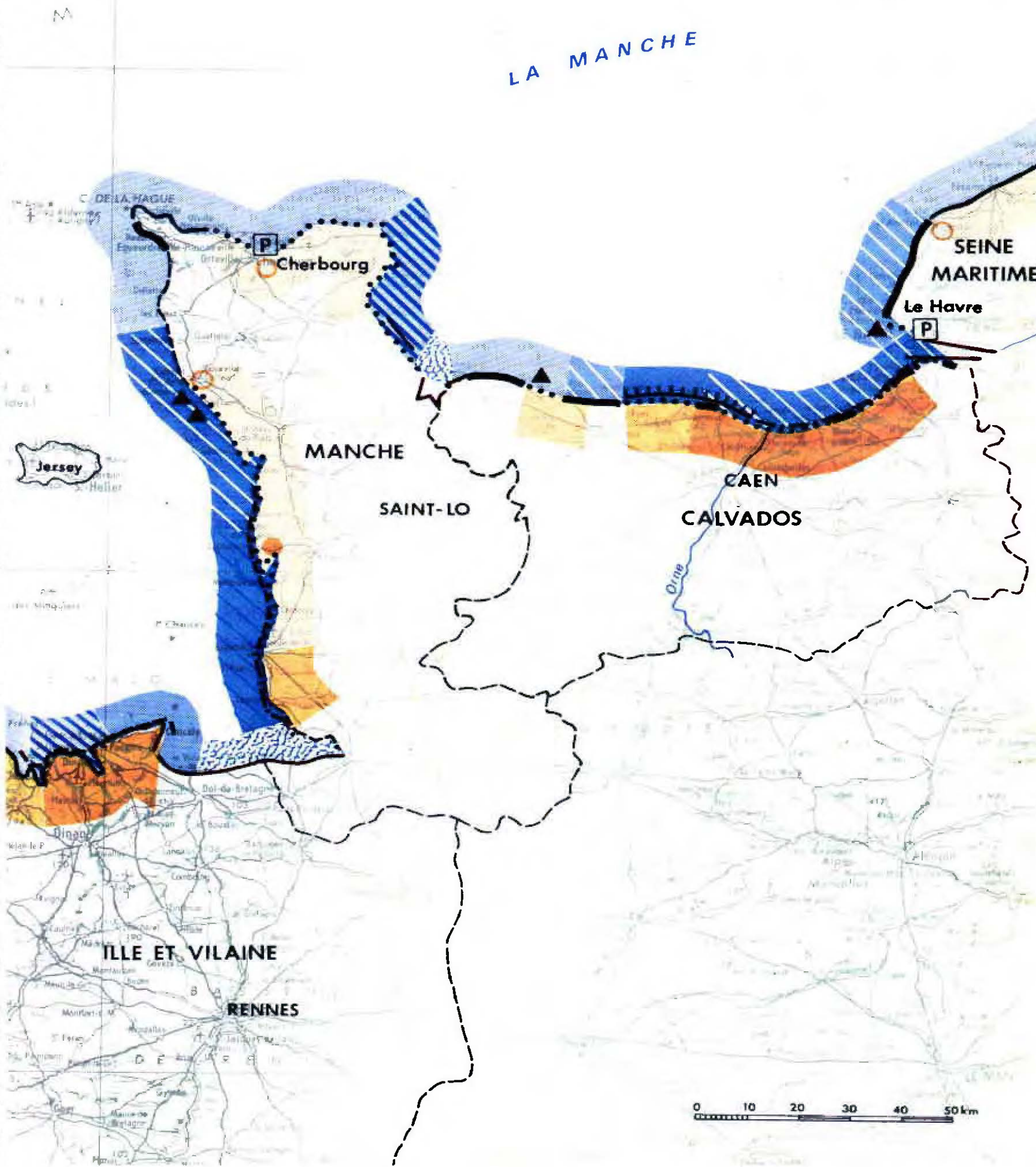
Nord
Picardie
Haute - Normandie

FIG.1.2



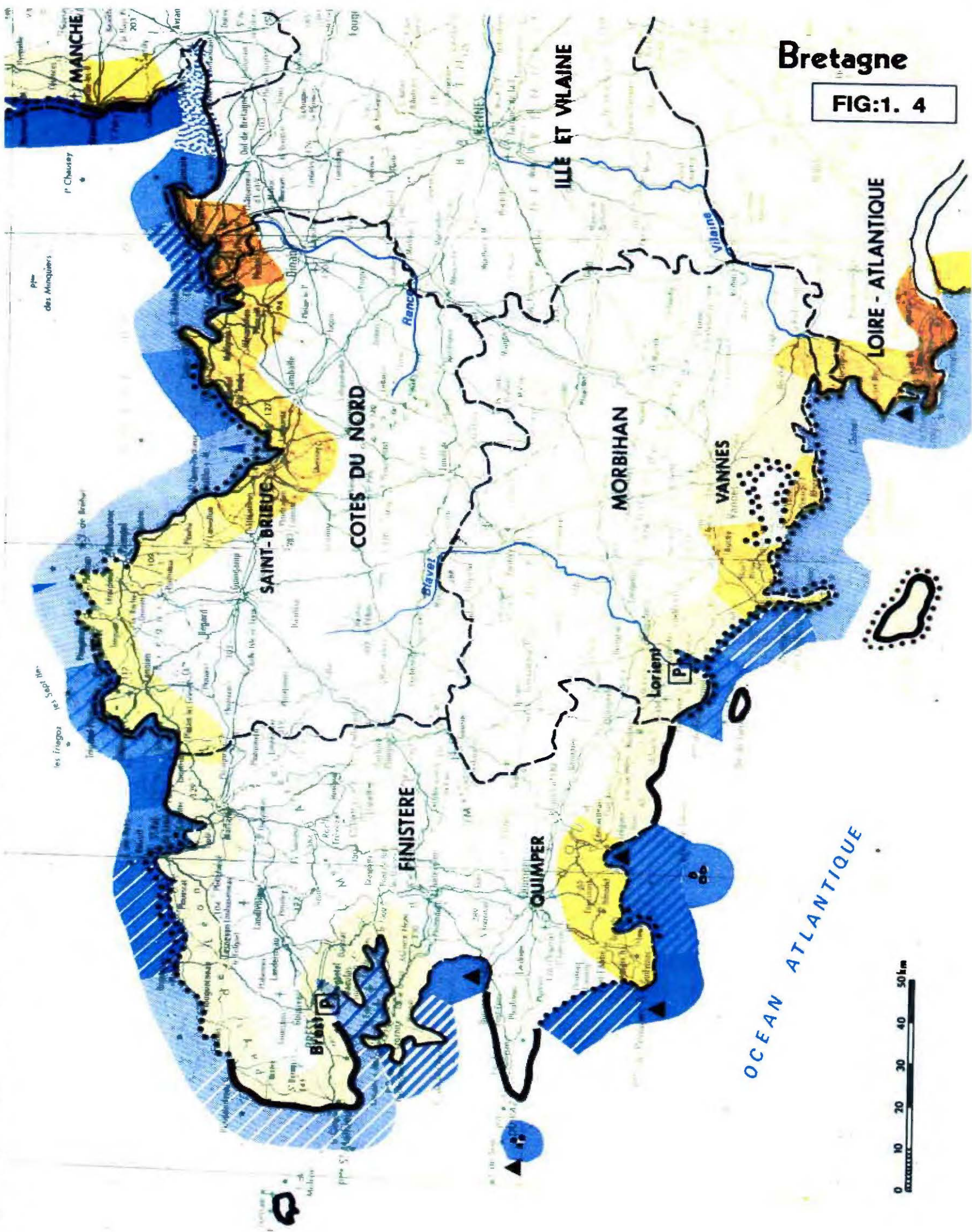
Basse - Normandie

FIG.1.3



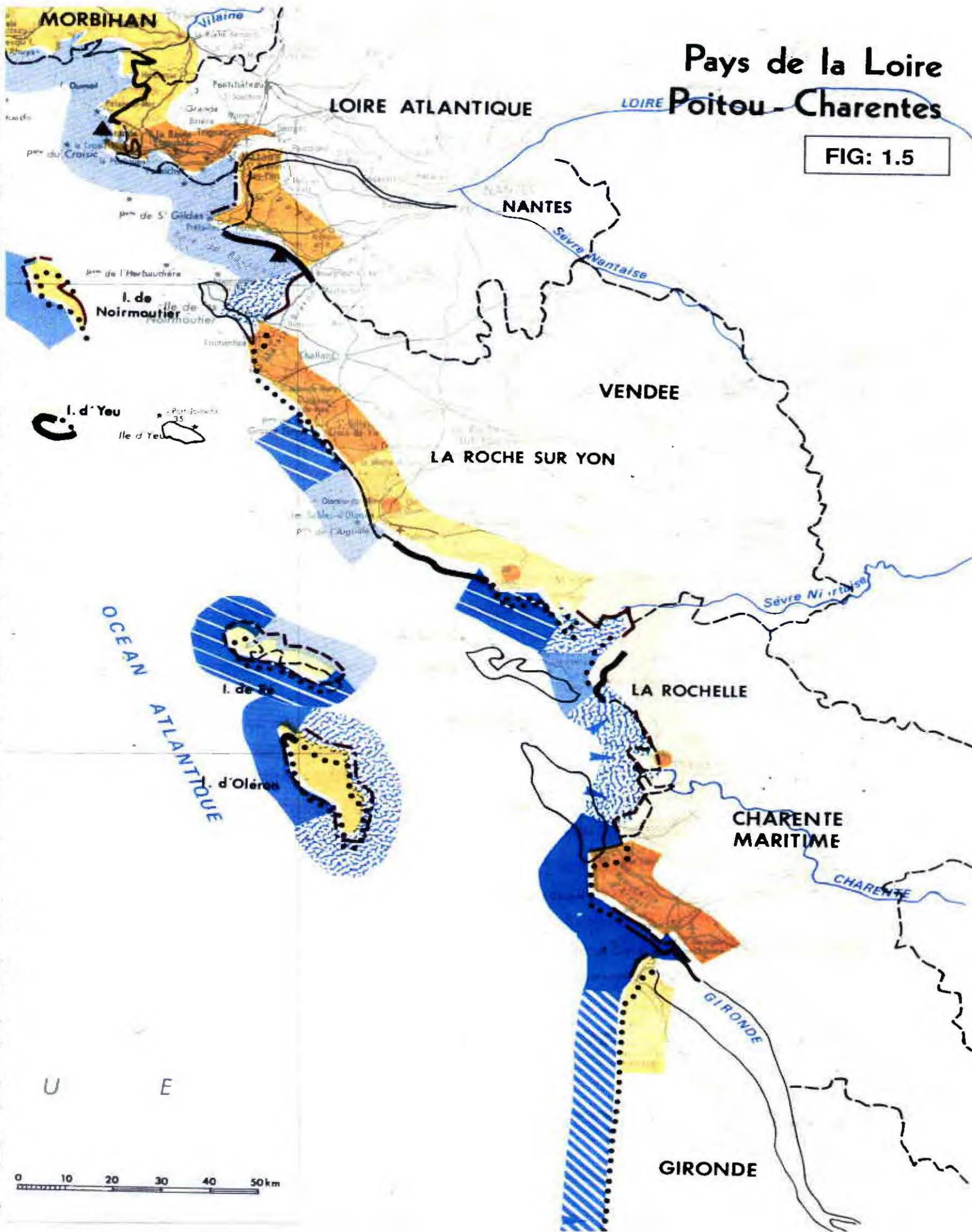
Bretagne

FIG:1. 4



Pays de la Loire Poitou-Charentes

FIG: 1.5



OCEAN ATLANTIQUE

Aquitaine

CHARENTE MARITIME

FIG: 1.6

GIRONDE

BORDEAUX

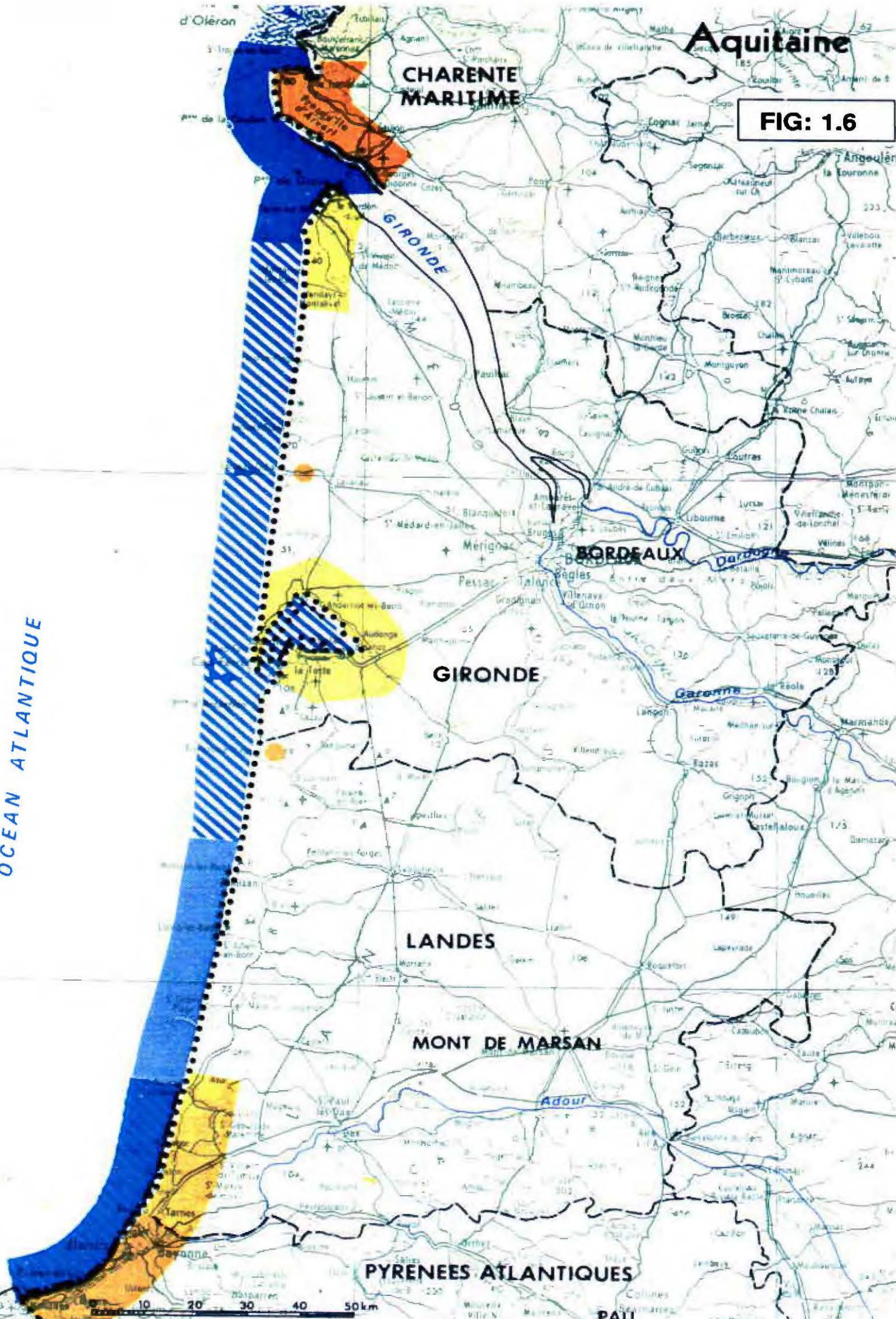
GIRONDE

LANDES

MONT DE MARSAN

PYRENEES ATLANTIQUES

PAU



SEBASTIAN

10 20 30 40 50km

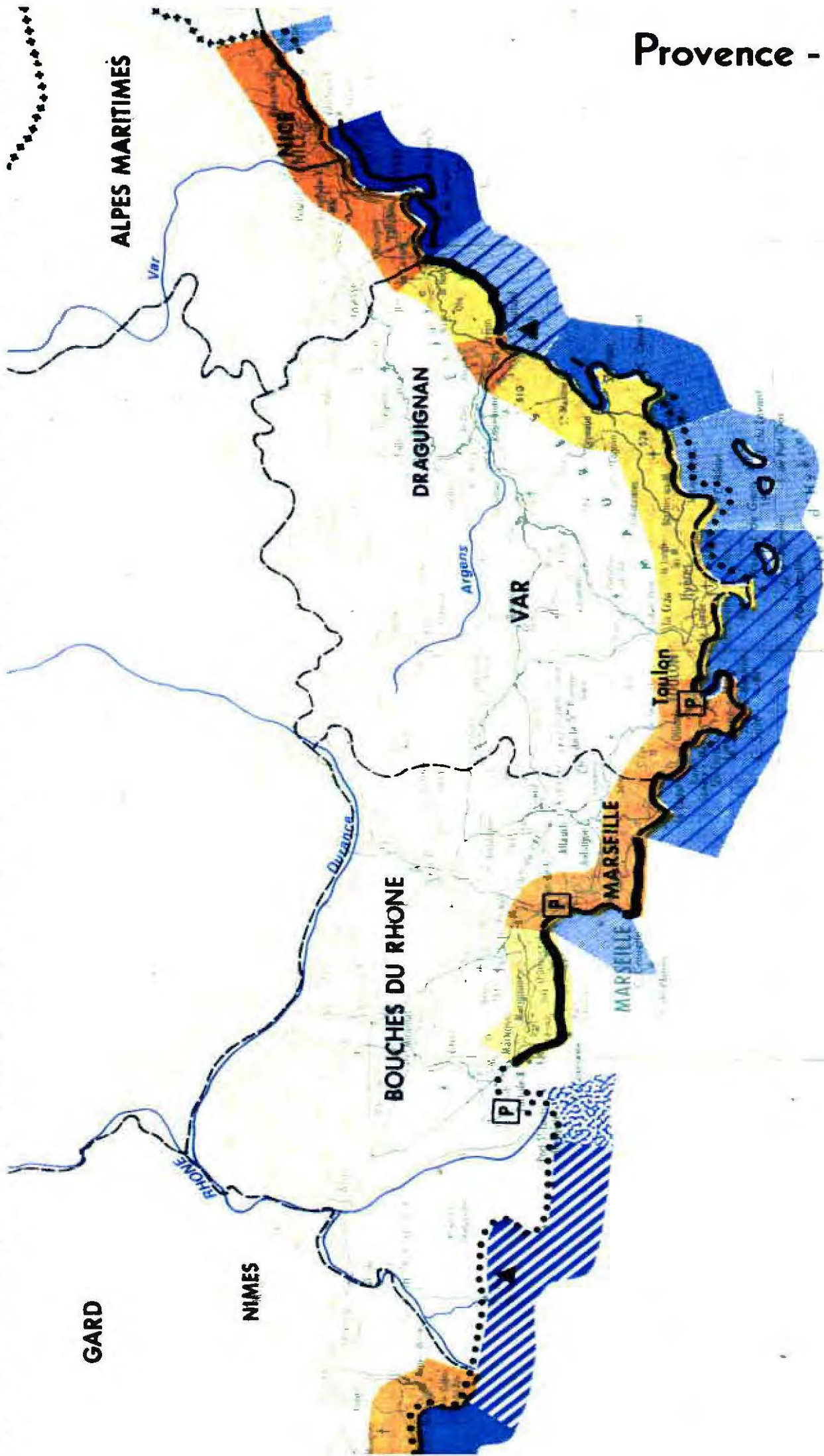
Languedoc - Roussillon

FIG: 1.7



Provence - Côte d'Azur

FIG: 1.8

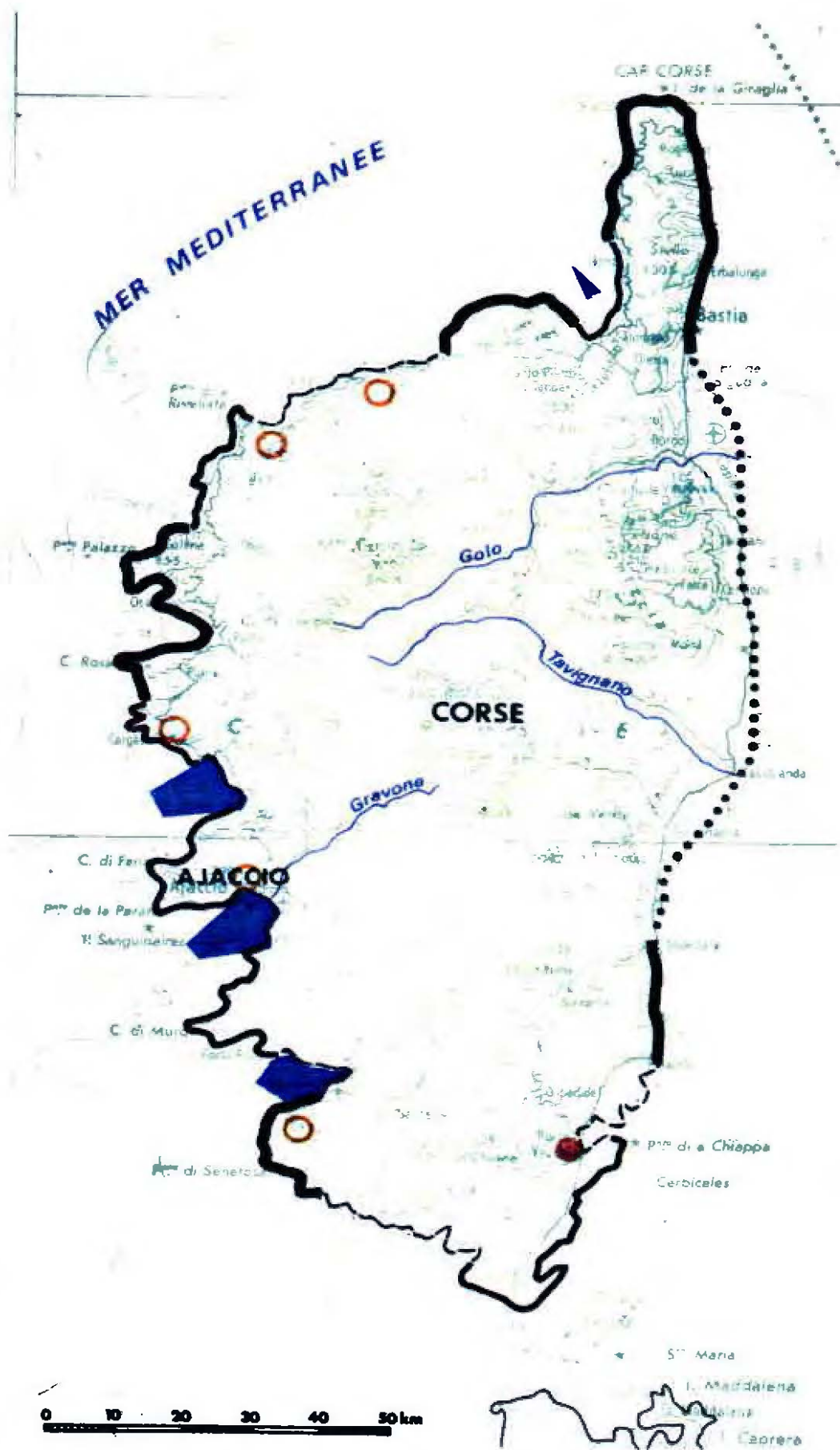


M E R M E D I T E R R A N E E









Corse

FIG: 1.9






Morpho-lithologie du trait de côte







-  Côte rocheuse élevée sans secteurs bas
-  Côte rocheuse élevée avec secteurs bas de matériaux meubles
-  Côte basse de matériaux meubles à pointes rocheuses
-  Côte basse de matériaux meubles sans pointes rocheuses
-  Côte constituée par une digue
-  Ensemble portuaire étendu

Erosion et dommages



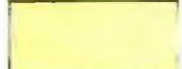





	Importance des dommages				
	beaucoup moins forte	moins forte	egale	plus forte	beaucoup plus forte
Erosion très forte					
Erosion forte					
Erosion sensible					
Erosion faible					
Stabilité					
Engraissement					

-  Erosion et ou dommages ponctuels importants
-  Engraissement ponctuel important
-  Allongement de flèche et érosion consécutive importants (phénomène de poulier et musoir)

Ouvrages

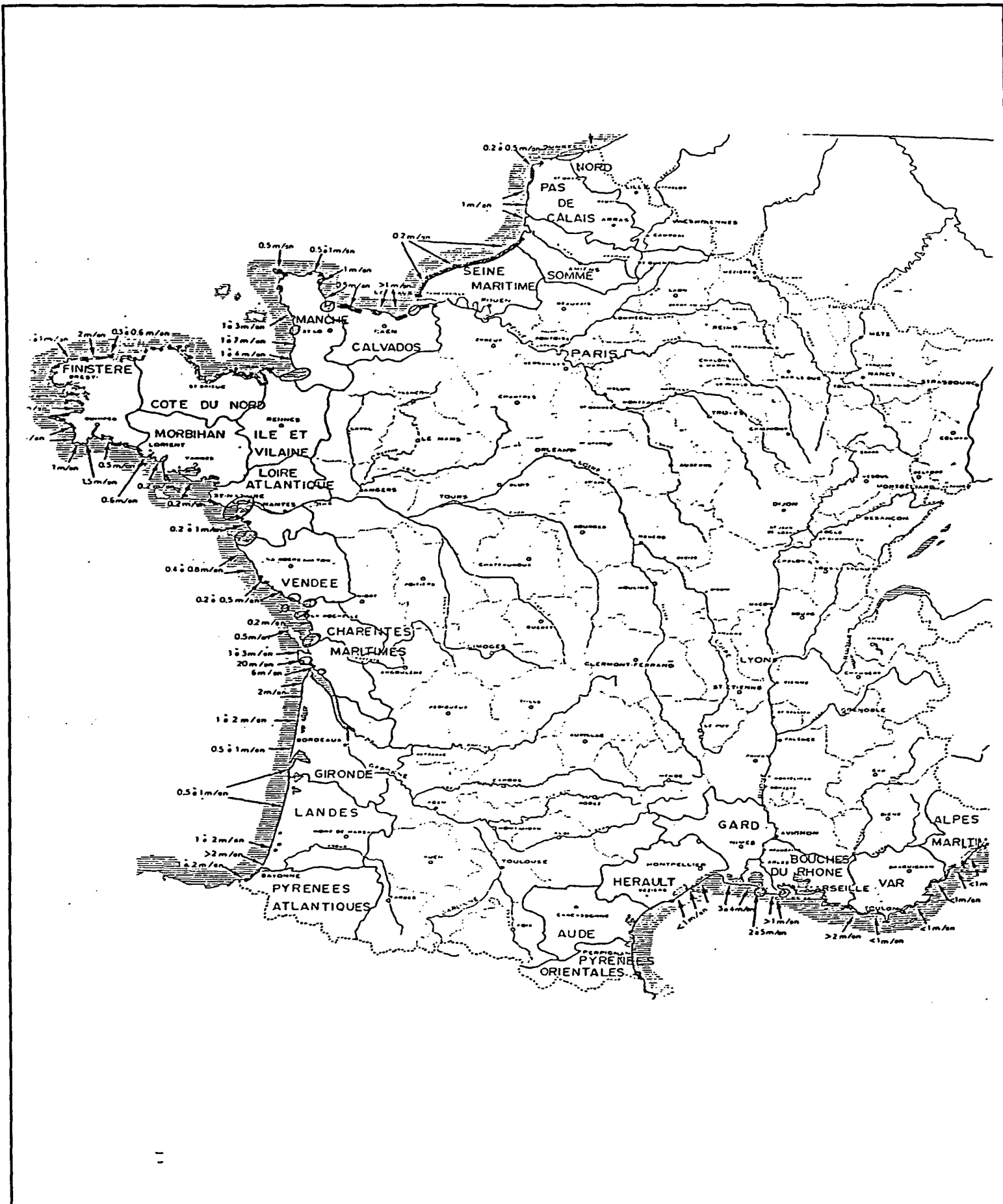
- densité en m/km
- 1 000 et plus  Protection totale
 - 500 à 1000  Protection très dense
 - 200 à 500  Protection dense
 - 100 à 200  Protection peu dense
 - 30 à 100  Protection très peu dense
 - 0 à 30  Protection nulle ou négligeable
 -  Série d'ouvrages ou grand ouvrage isolés et importants


Pression touristique

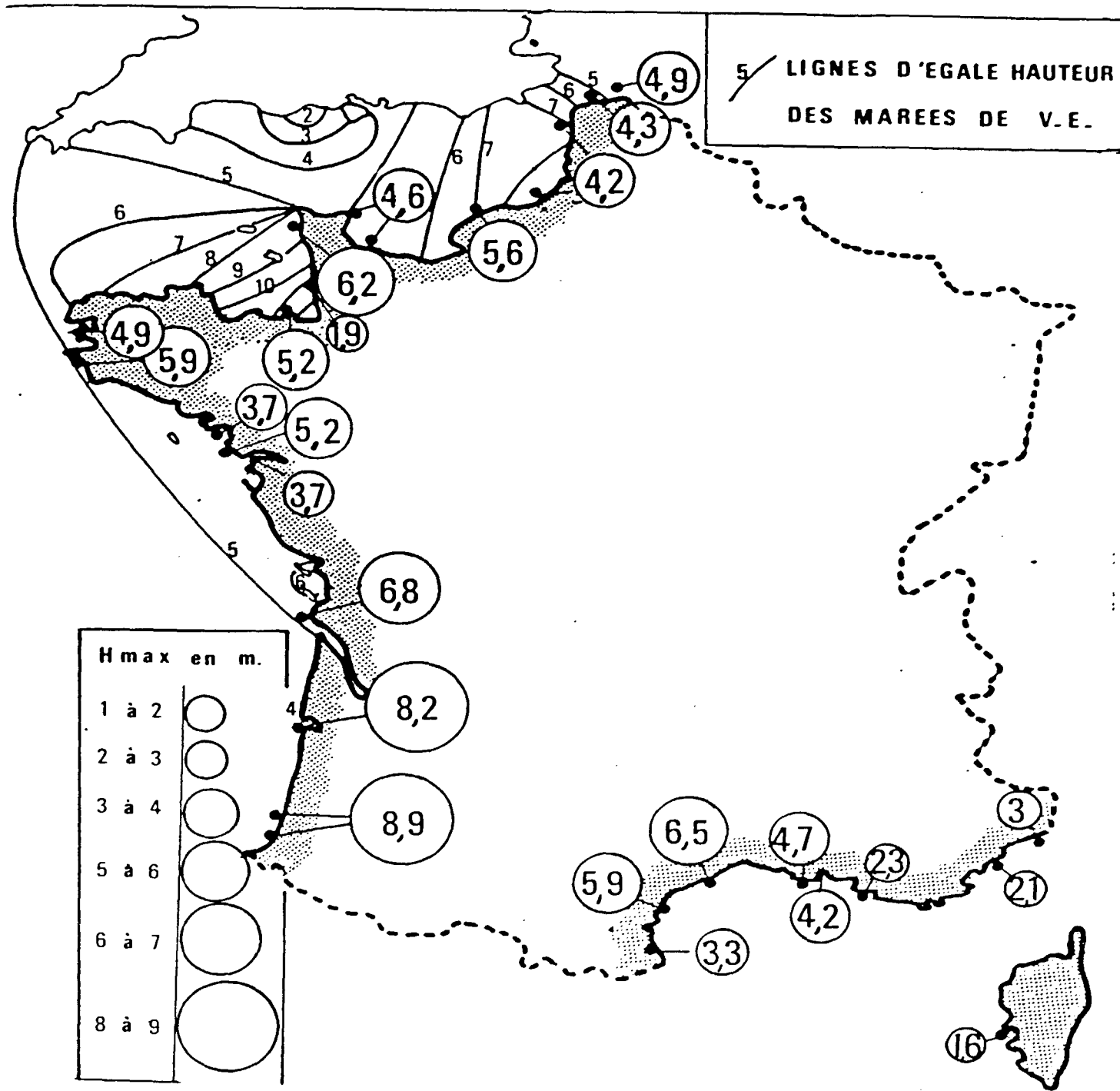
- $\frac{N}{km}$ < $\frac{N}{km^2}$
-  Pression très forte
 -  Pression forte
 -  Pression moyenne
 -  Pression faible
 -  Pression très faible
 -  Pression nulle
- généralement avec fronts de mer urbanisés denses
avec ou sans fronts de mer urbanisés denses
généralement sans fronts de mer urbanisés denses
-  Station balnéaire isolée de plus de 10 000 lits touristiques
 -  Station balnéaire isolée de moins de 10 000 lits touristiques

Divers

-  Limite de département
- MANCHE** Département
- SAINT-LO** Chef-lieu de département
- Cherbourg** Autre localité importante



mai 1993	PROTECTION LITTORALE : PROBLEMATIQUE	Ech : 1/
	LE LITTORAL FRANCAIS TAUX D'EROSION	5.1390 Fig. 1.10



mai 1993

PROTECTION LITTORALE : PROBLEMATIQUE

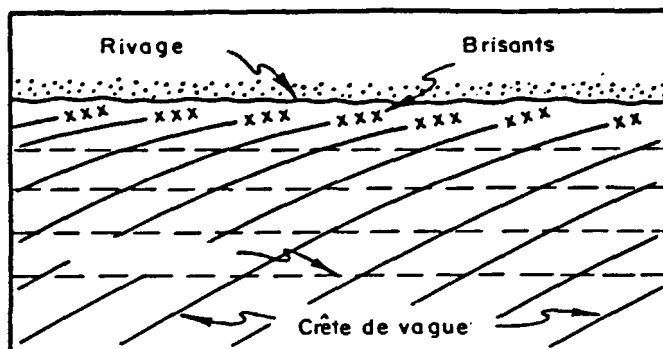
Ech : 1/

▼
SOGREAH
INGENIERIE

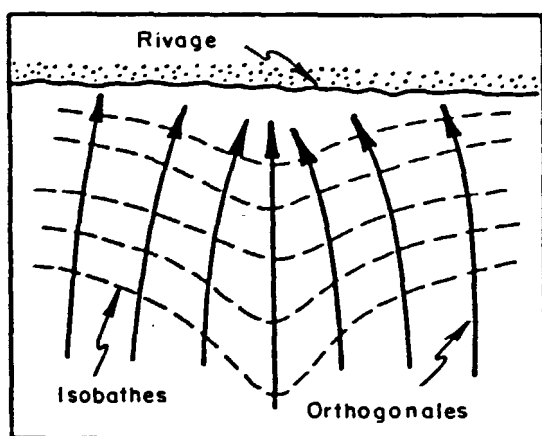
LE LITTORAL FRANCAIS
MAREE ET AGITATION

5.1390

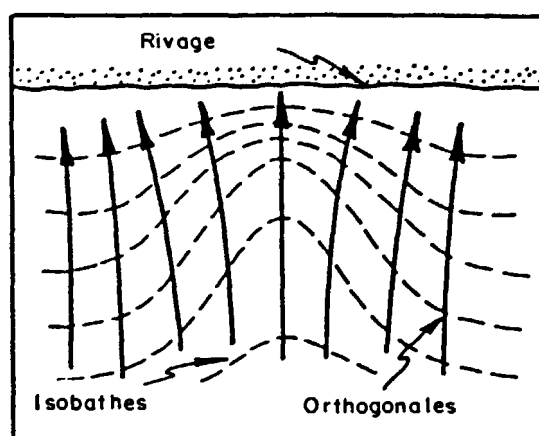
Fig. 1.11



(A) Cote droite - Isobathes parallèles



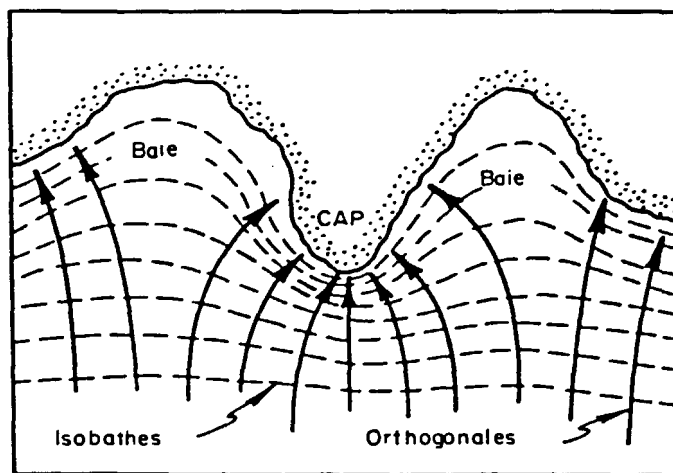
(a)



(b)

(B) Cas d'un haut fond

(C) Cas d'un canyon



(D) Rivages et isobathes irreguliers.

mai 1993

PROTECTION LITTORALE : PROBLEMATIQUE

Ech : 1/

▼
SOGREAH
INGENIERIE

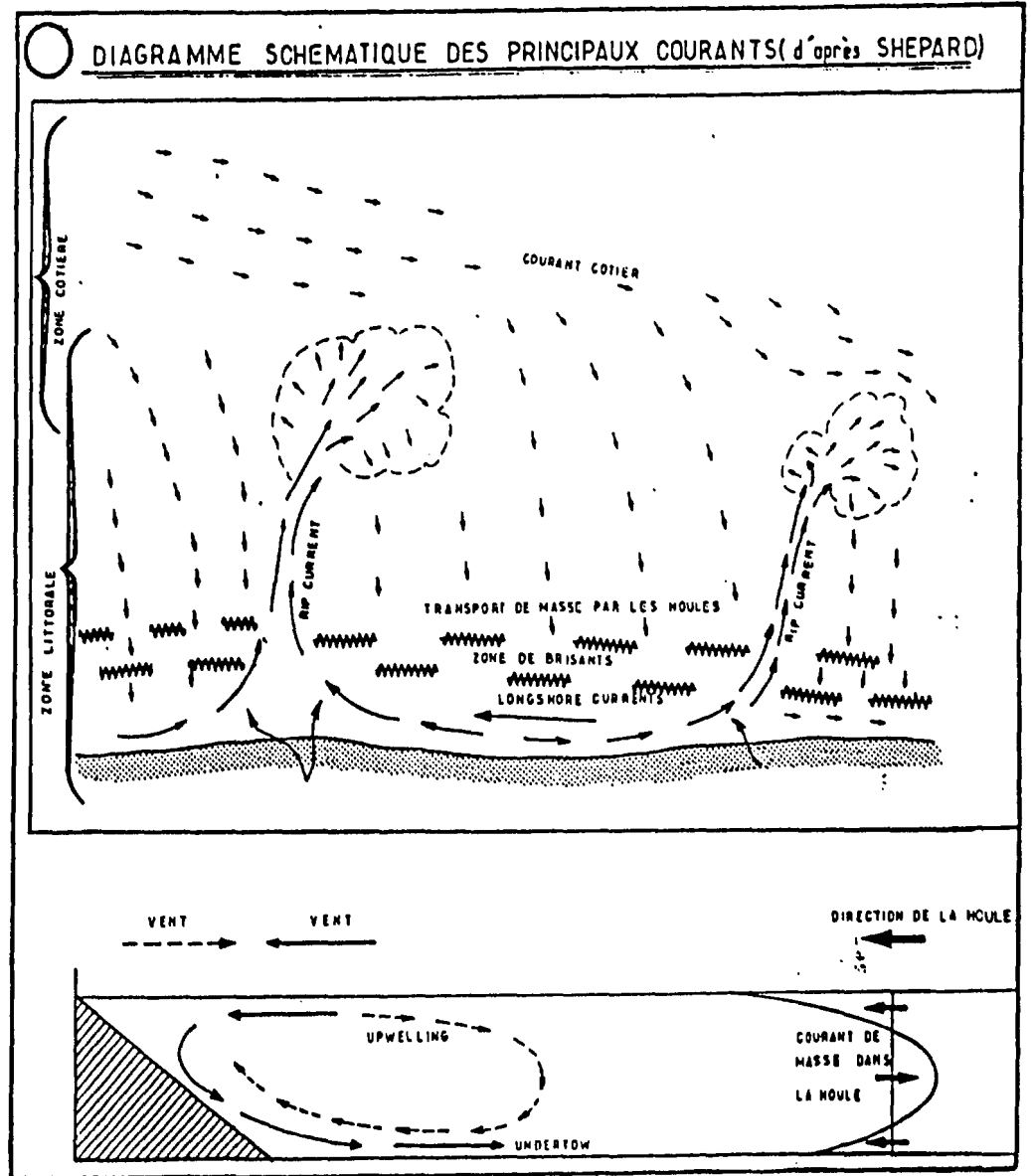
EXEMPLES DE REFRACTION DE HOULES

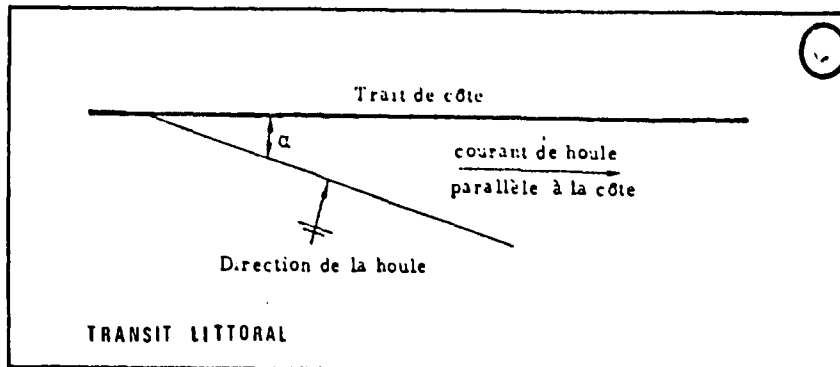
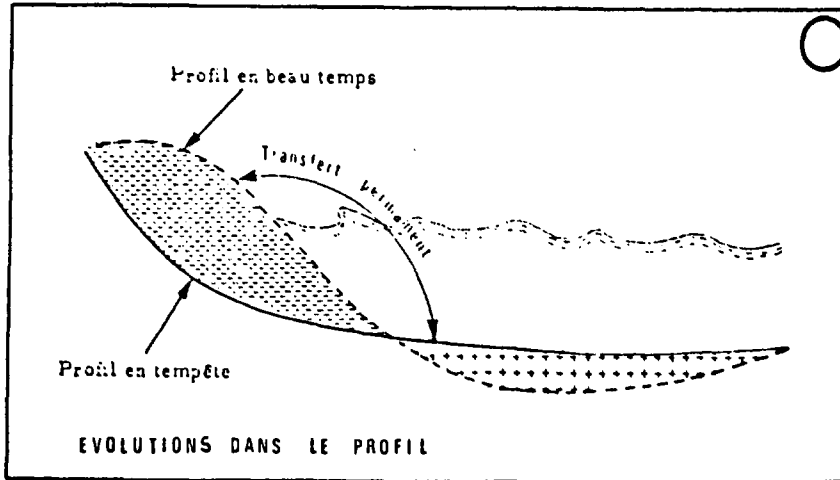
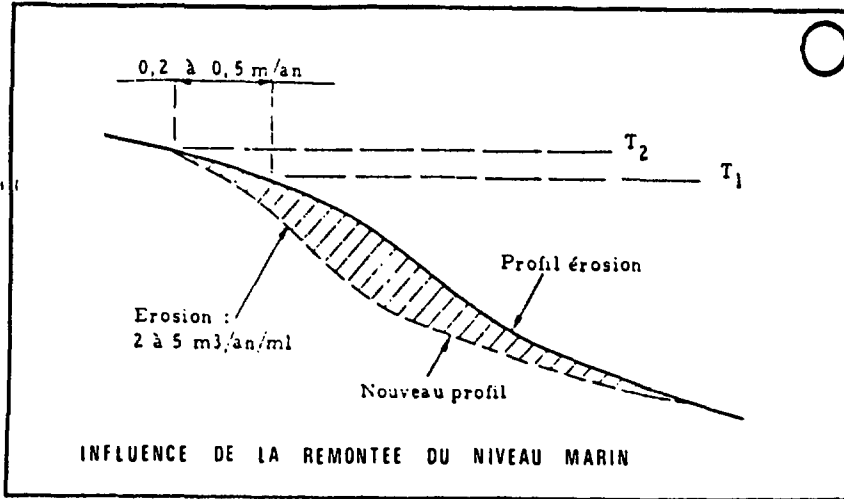
5.1390

Fig. 1.12

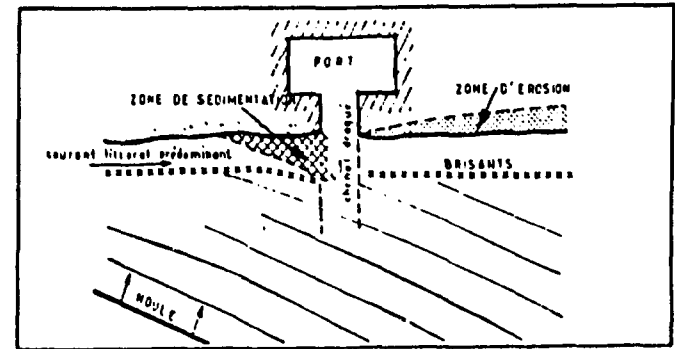
○ FACTEURS D'EQUILIBRE DU LITTORAL

1 NATURELS	1.1 Remontée du niveau marin
	1.2 Hydrodynamiques <ul style="list-style-type: none"> 1.2.1 Marée 1.2.2 Houle 1.2.3 Courant 1.2.4 Vents 1.2.5 Cours d'eau
	1.3 Sédimentologiques <ul style="list-style-type: none"> 1.3.1 Apports mer 1.3.2 Apports rivières 1.3.3 Erosion du littoral
	1.4 Biologiques (Herbiers)
2 HUMAINS	2.1 Humains négatifs <ul style="list-style-type: none"> 2.1.1 Ouvrages portuaires 2.1.2 Fronts de mer 2.1.3 Emissaires 2.1.4 Extractions 2.1.5 Fréquentation humaine dunes 2.1.6 Activité maritime 2.1.7 Urbanisation 2.1.8 Exceptionnel (Malpasset)
	2.2 Humains positifs <ul style="list-style-type: none"> 2.2.1 Défense organisée 2.2.2 Plages artificielles 2.2.3 Aménagements dunes

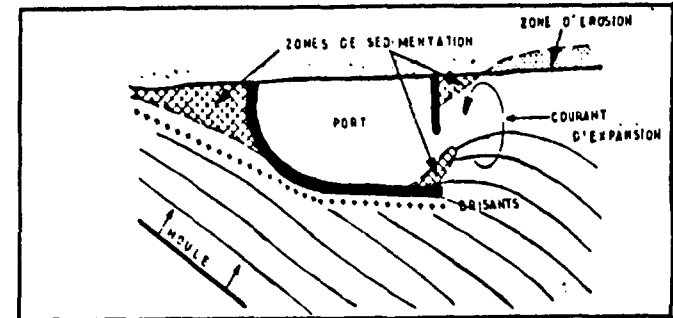




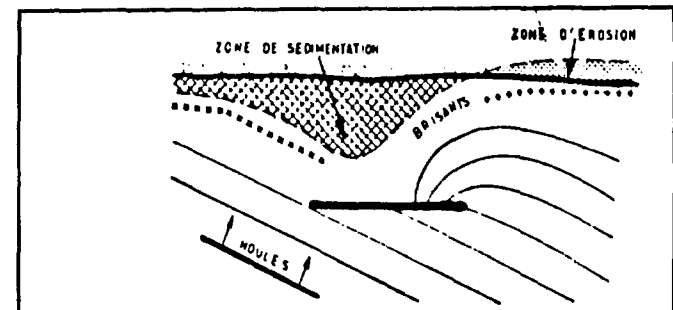
INFLUENCE DES OUVRAGES SUR LA SEDIMENTATION



CHENAL DRAGUE DANS LA ZONE LITTORALE



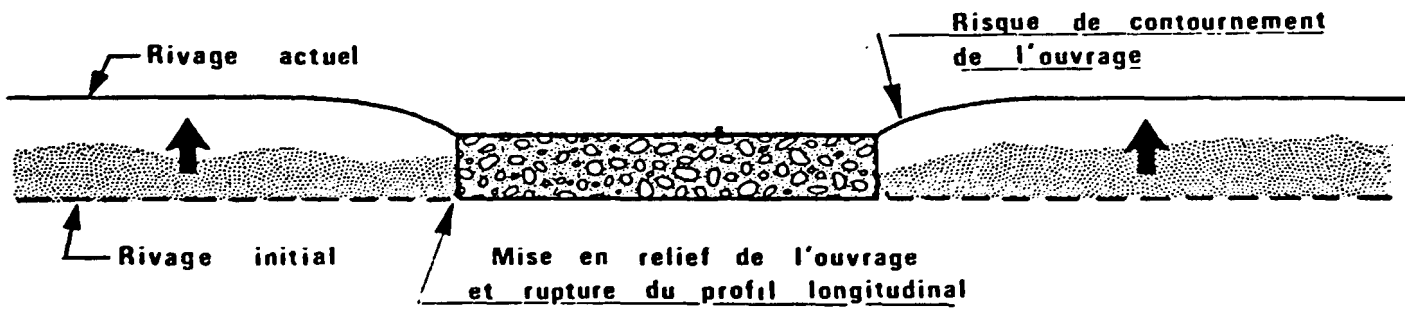
DIGUES ET JETEEES



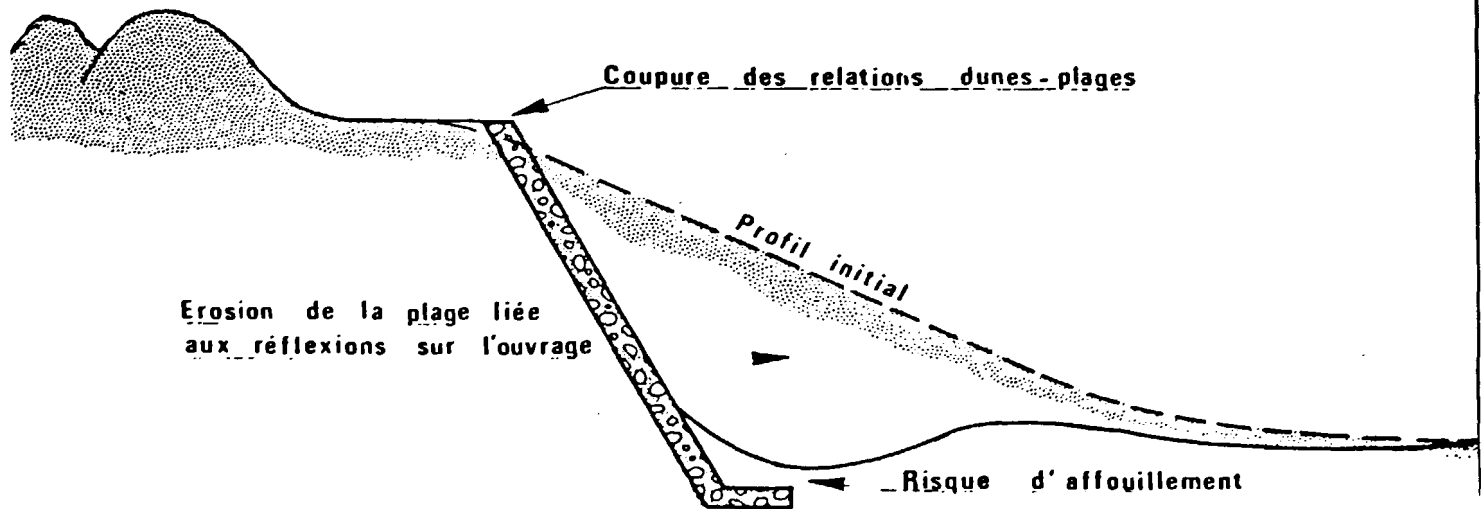
BRISE-LAME ISOLE

**ACTIONS DES OUVRAGES LONGITUDINAUX
SUR L'EVOLUTION DU LITTORAL**

(A) PROFIL LONGITUDINAL DE LA PLAGE

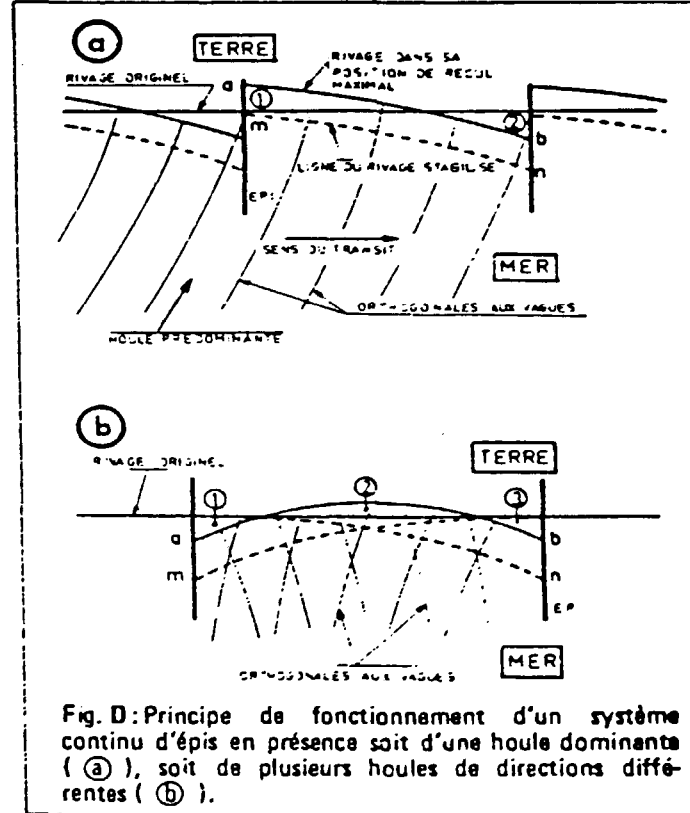
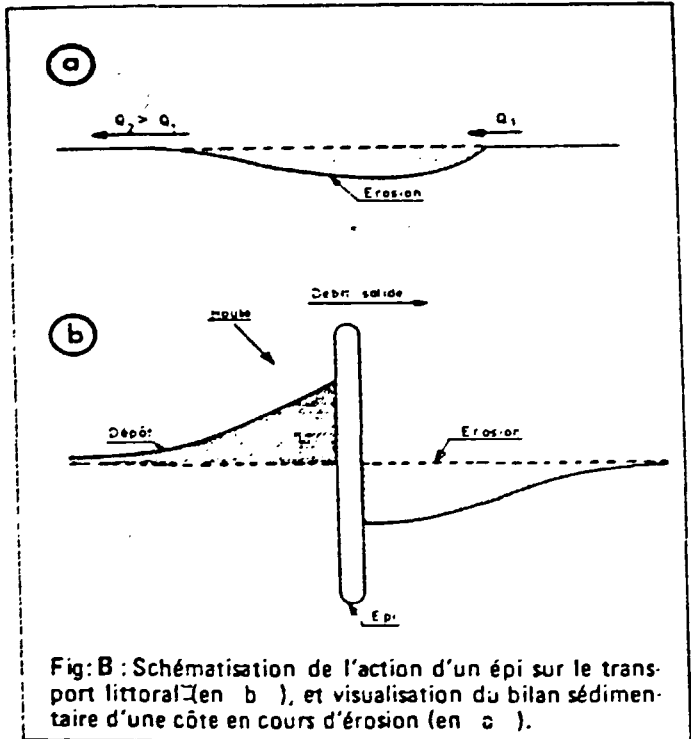
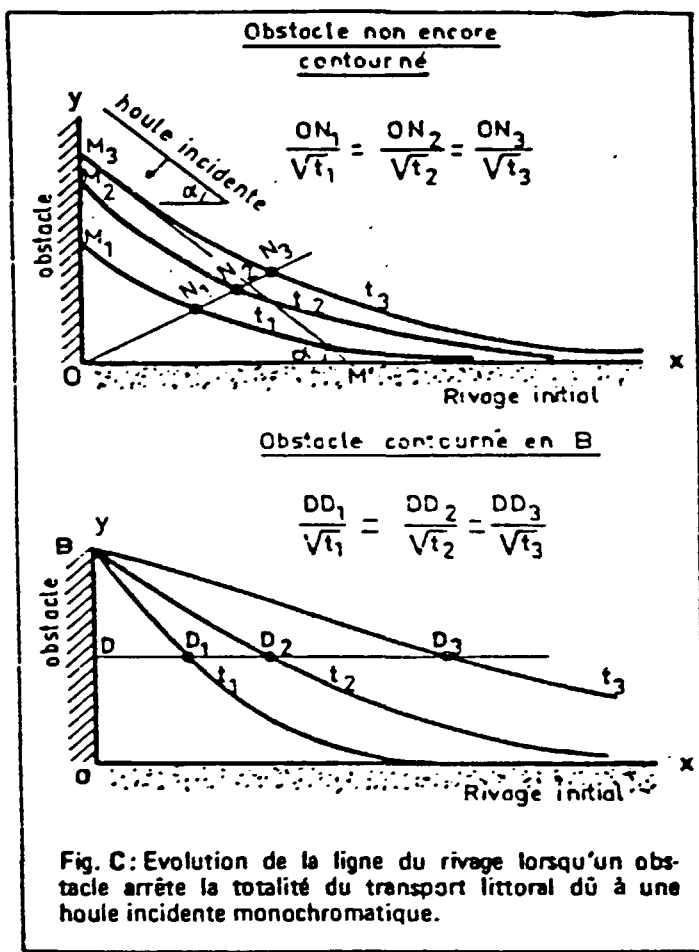
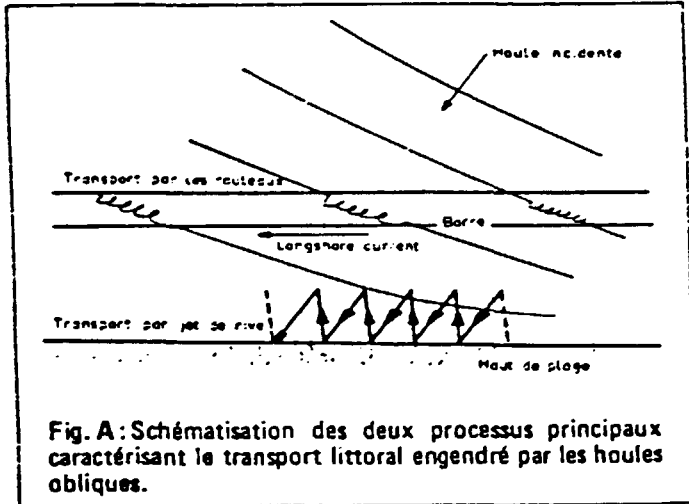


(B) PROFIL TRANSVERSAL



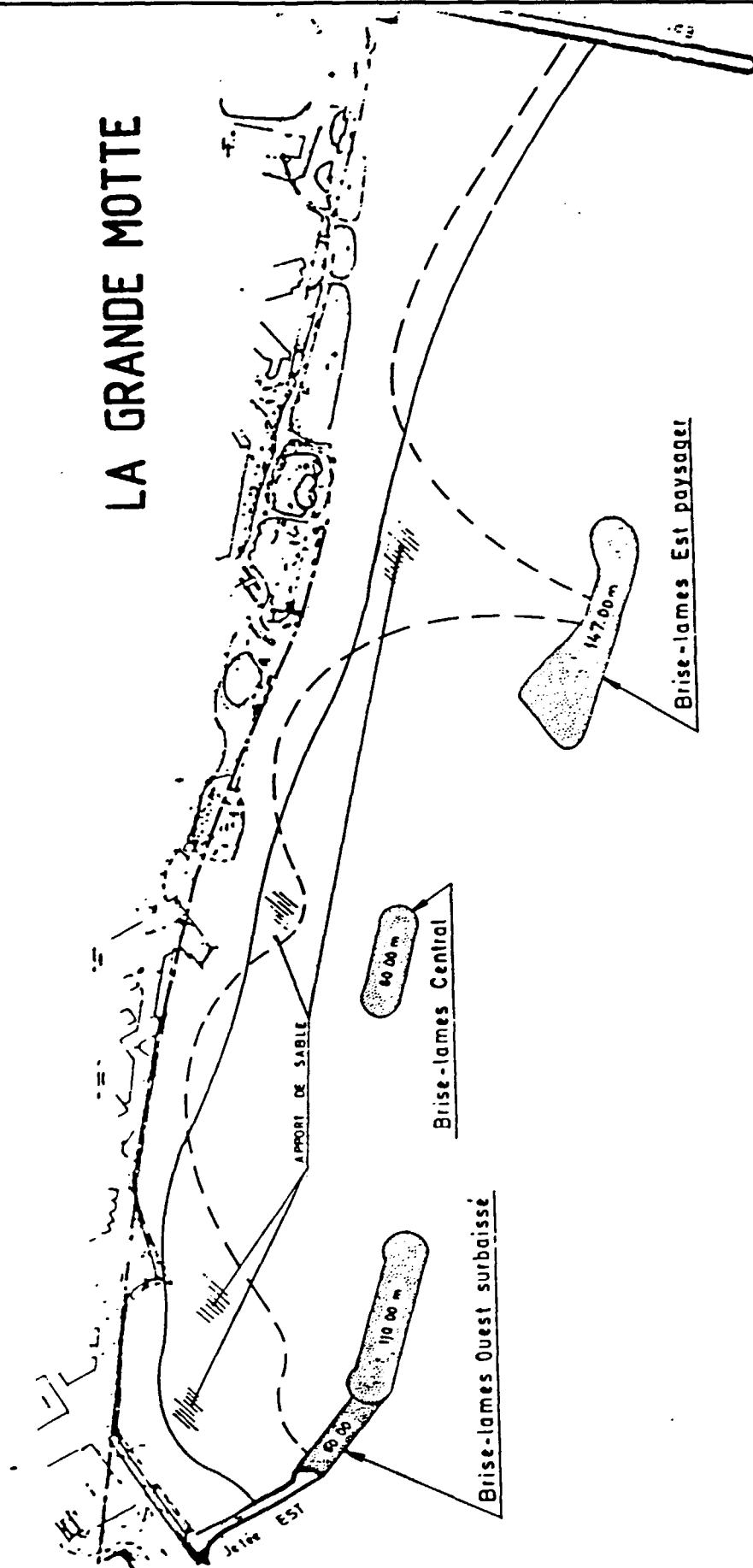
mai 1993	PROTECTION LITTORALE : PROBLEMATIQUE	Ech : 1/
SOGREAH INGENIERIE	ACTIONS DES OUVRAGES LONGITUDINAUX SUR L'EVOLUTION DU LITTORAL	5.1390
		Fig. 1.15

PRINCIPES DE FONCTIONNEMENT DES EPIS



PRESENTATION TECHNIQUE DU PROJET

LA GRANDE MOTTE



— Laisse avant travaux - Mars 1987
 - - - Laisse après travaux - Juin 1988

mai 1993

PROTECTION LITTORALE : PROBLEMATIQUE
 BRISE-LAMES PAYSAGER DE LA GRANDE MOTTE
 IMPLANTATION

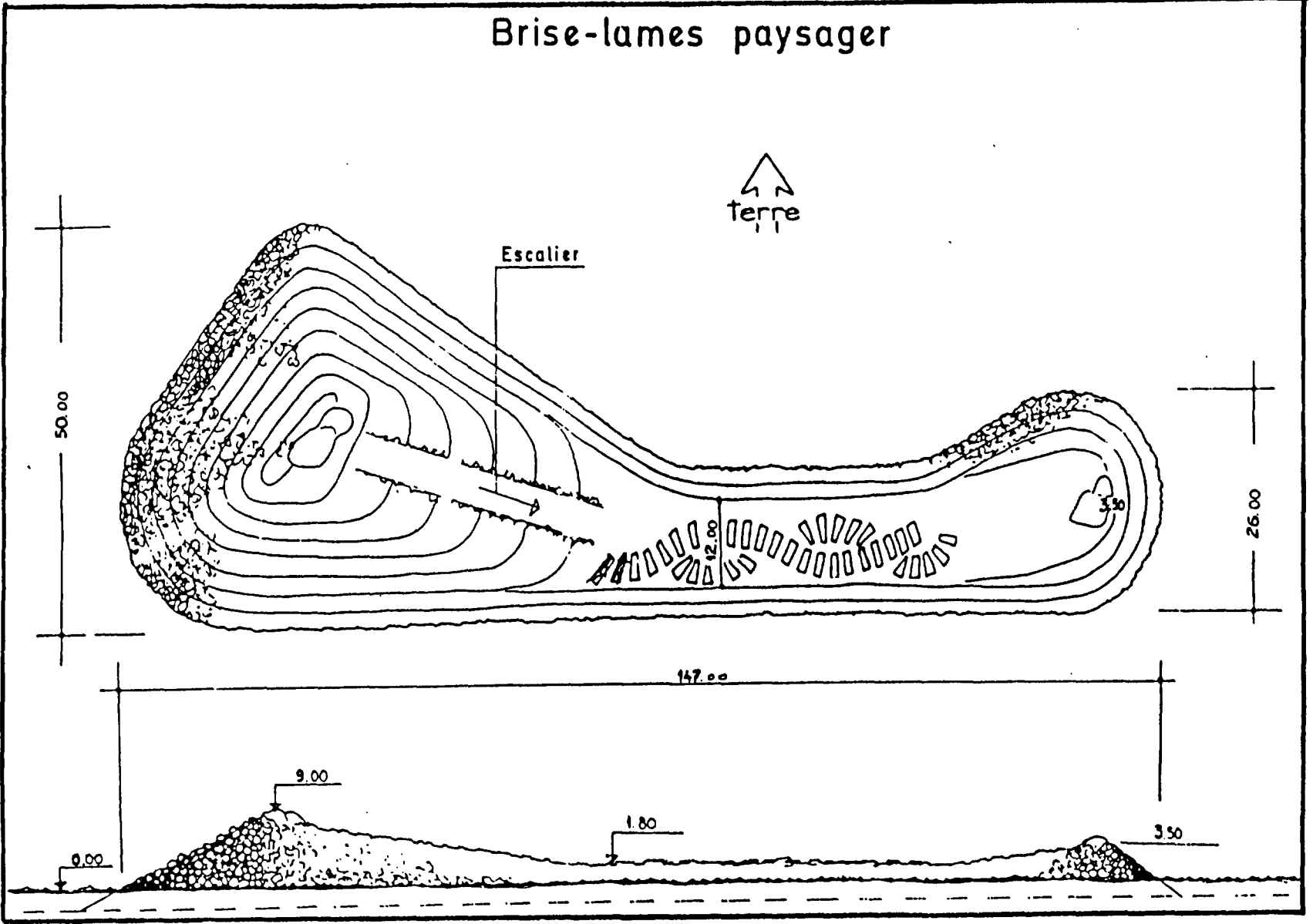
Ech : 1/

5.1390

Fig. 2.1

▼
SOGREAH
 INGENIERIE

Brise-lames paysager



mai 1993
SOGREAH
INGENIERIE

PROTECTION LITORALE : PROBLEMATIQUE
BRISE-LAMES PAYSAGER DE LA GRANDE MOTTE
Coupes du Brise-lames

Ech : 1/
5.1390
Fig. 2.2

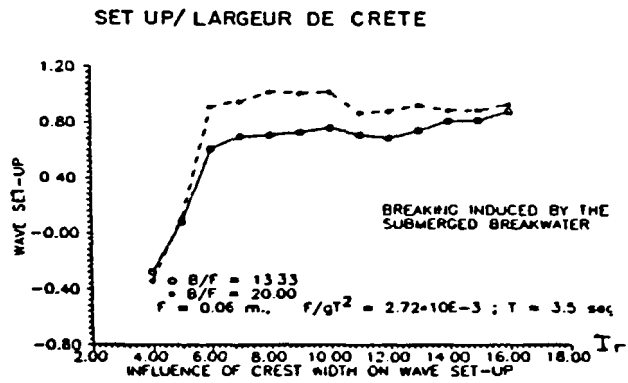


FIG. 1

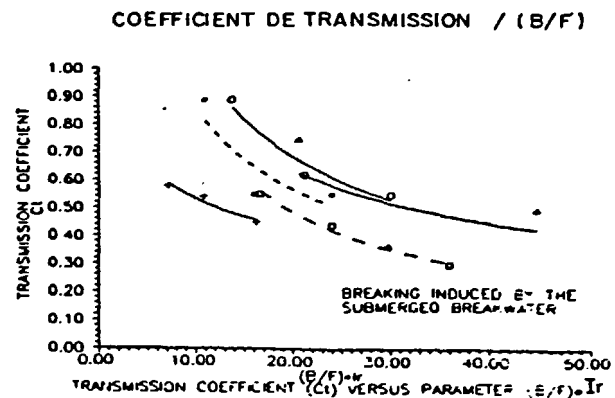


FIG. 4

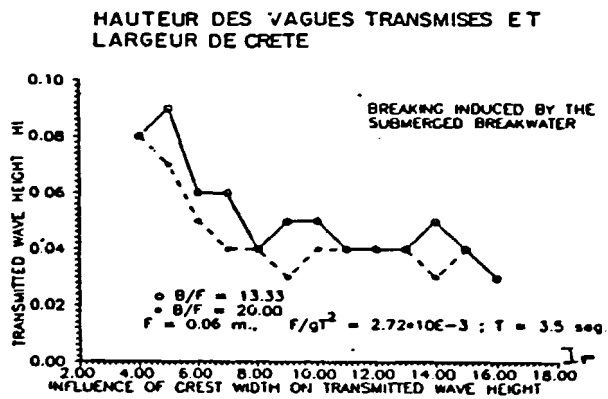


FIG. 2

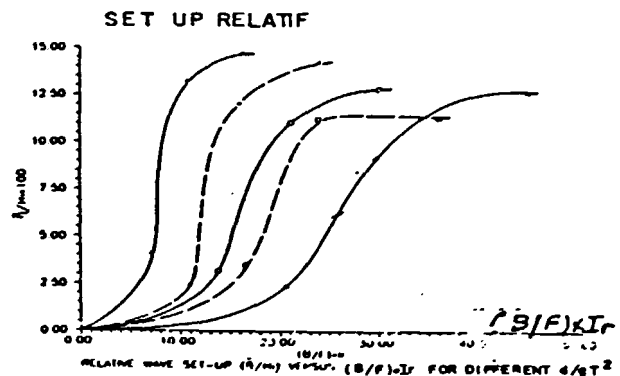


FIG. 5

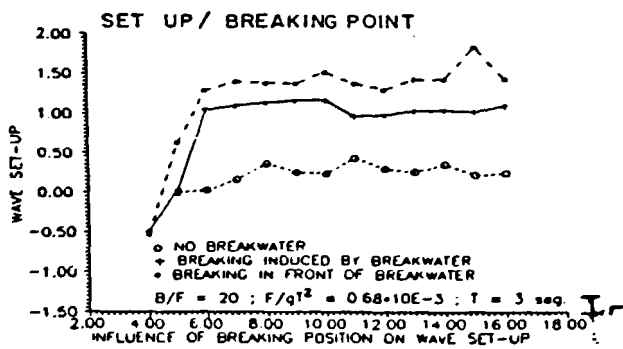


FIG. 3

LEGENDE FIGE

$d/qT^2 \cdot 10E-3$	LEGEND	T (seg)
9.06	\bullet	1.5
5.09	\cdot	2.0
3.26	\circ	2.5
2.26	\square	3.0
1.66	Δ	3.5

mai 1993

PROTECTION LITTORALE : PROBLEMATIQUE

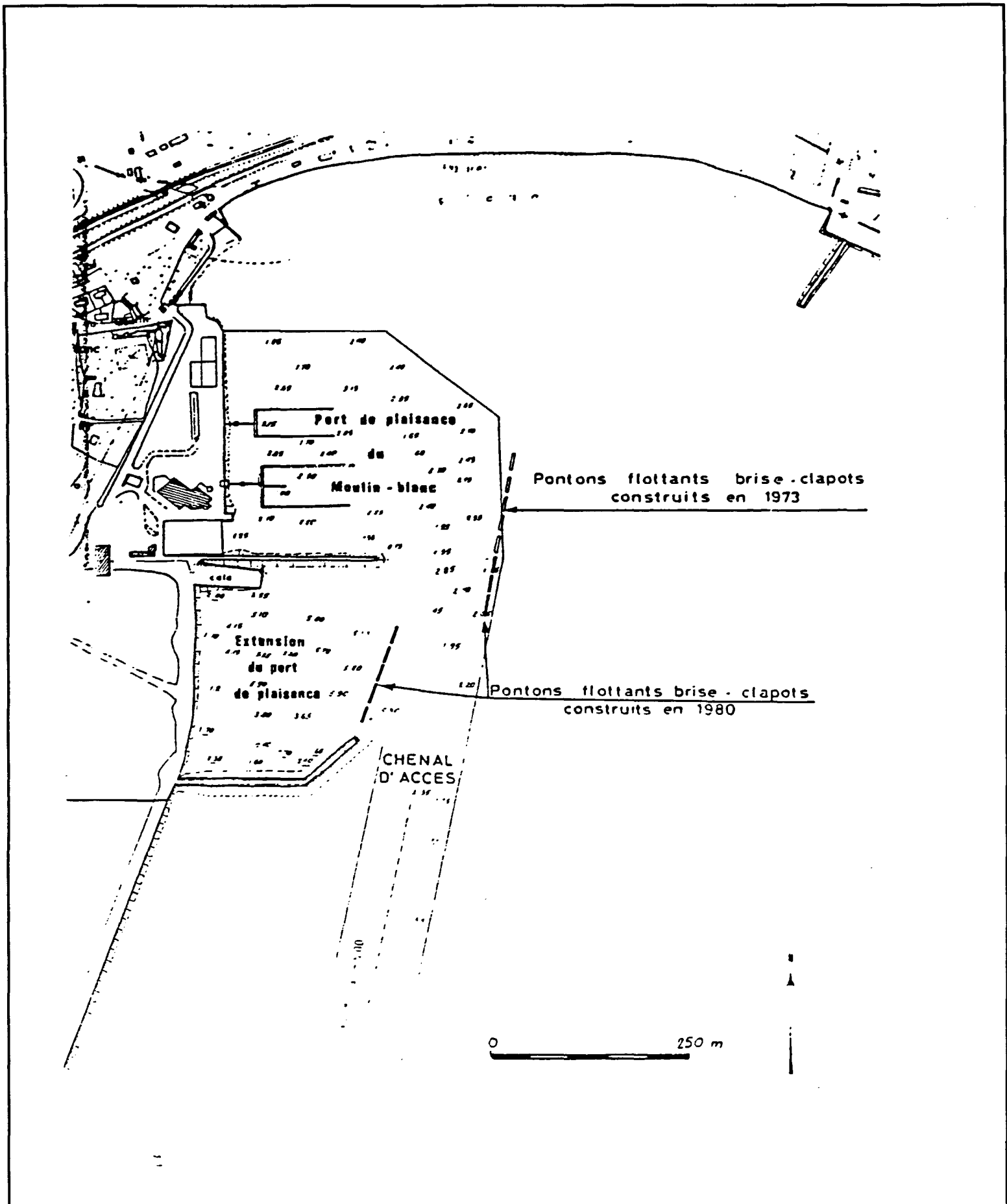
Ech : 1/

▼
SOGREAH
INGENIERIE

BRISE-LAMES SUBMERGES

5.1390

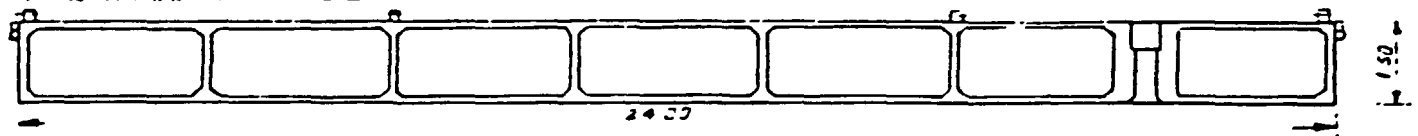
Fig. 2.3



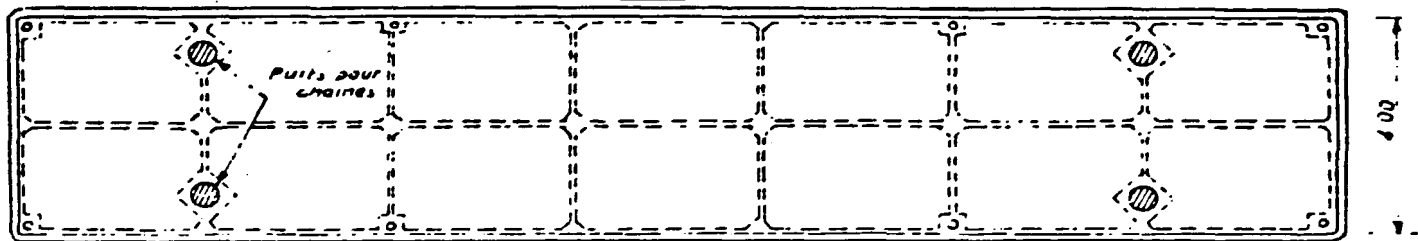
mai 1993	PROTECTION LITTORALE : PROBLEMATIQUE	Ech : 1/
 SOGREAH INGENIERIE	BRISE-LAMES FLOTTANTS DU MOULIN BLANC (BREST)	5.1390 Fig. 2.4

PONTONS DE PROTECTION DE L'ANCIEN PORT (1973)

COUPE LONGITUDINALE

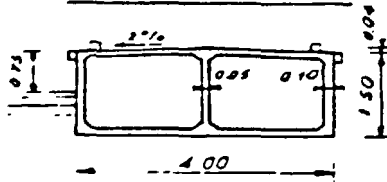


PLAN



Tuyau plastique pour cable électrique Ø 22 mm

COUPE TRANSVERSALE



mai 1993

PROTECTION LITTORALE : PROBLEMATIQUE

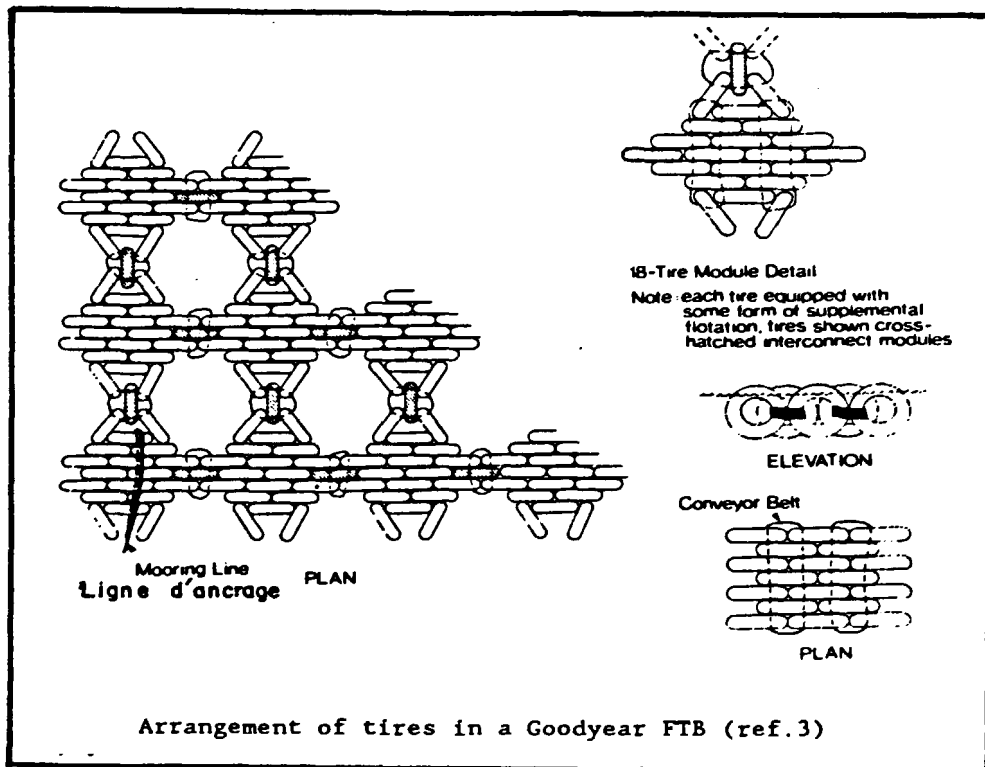
Ech : 1/

SOGREAH
INGENIERIE


**BRISE-LAMES FLOTTANTS DU
MOULIN BLANC (BREST)
COUPES DES OUVRAGES**

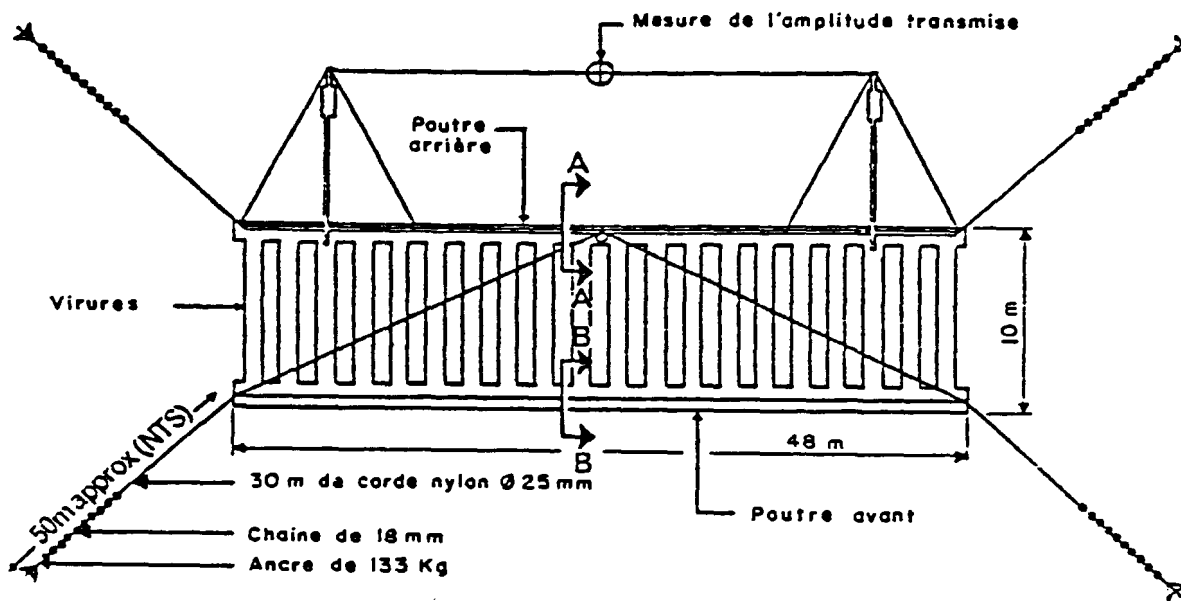
5.1390

Fig. 2.5

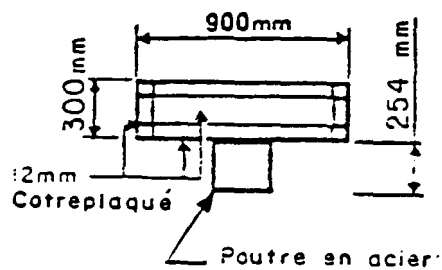


DISPOSITION DES PNEUS

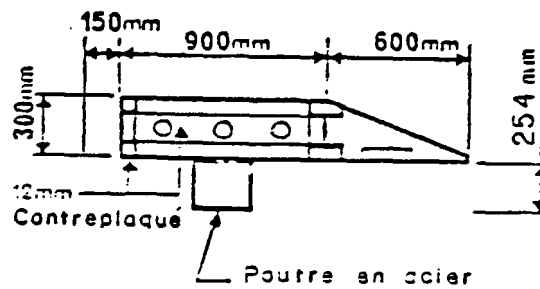
mai 1993	PROTECTION LITTORALE : PROBLEMATIQUE	Ech : 1/
 SOGREAH INGENIERIE	BRISE-LAMES FLOTTANTS EN PNEUS	5.1390 Fig. 2.6



Section A - A



Section B - B



mai 1993

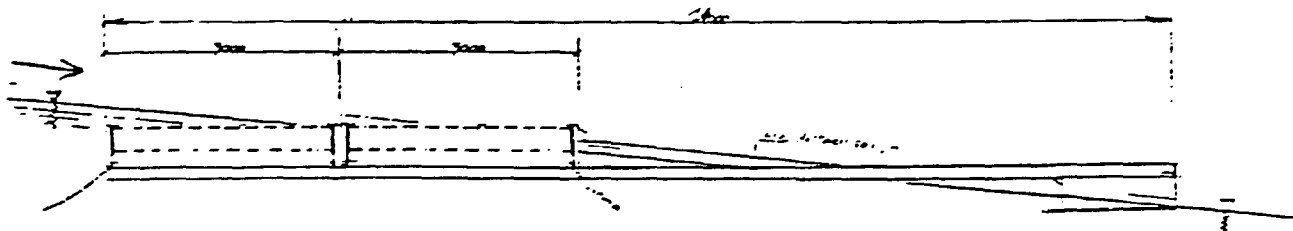
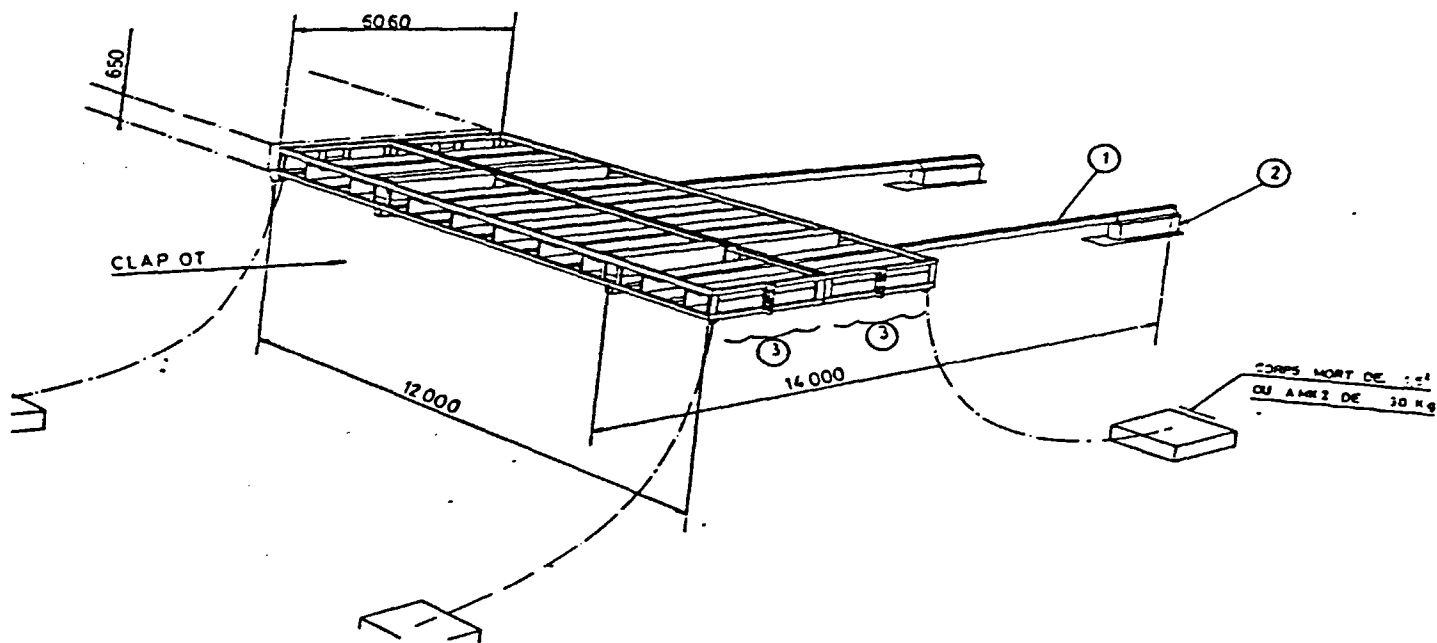
PROTECTION LITTORALE : PROBLEMATIQUE
BRISE-LAMES FLOTTANTS HARRIS

Ech : 1/

SOGREAH
 INGENIERIE

5.1390

Fig. 2.7



mai 1993

PROTECTION LITTORALE : PROBLEMATIQUE

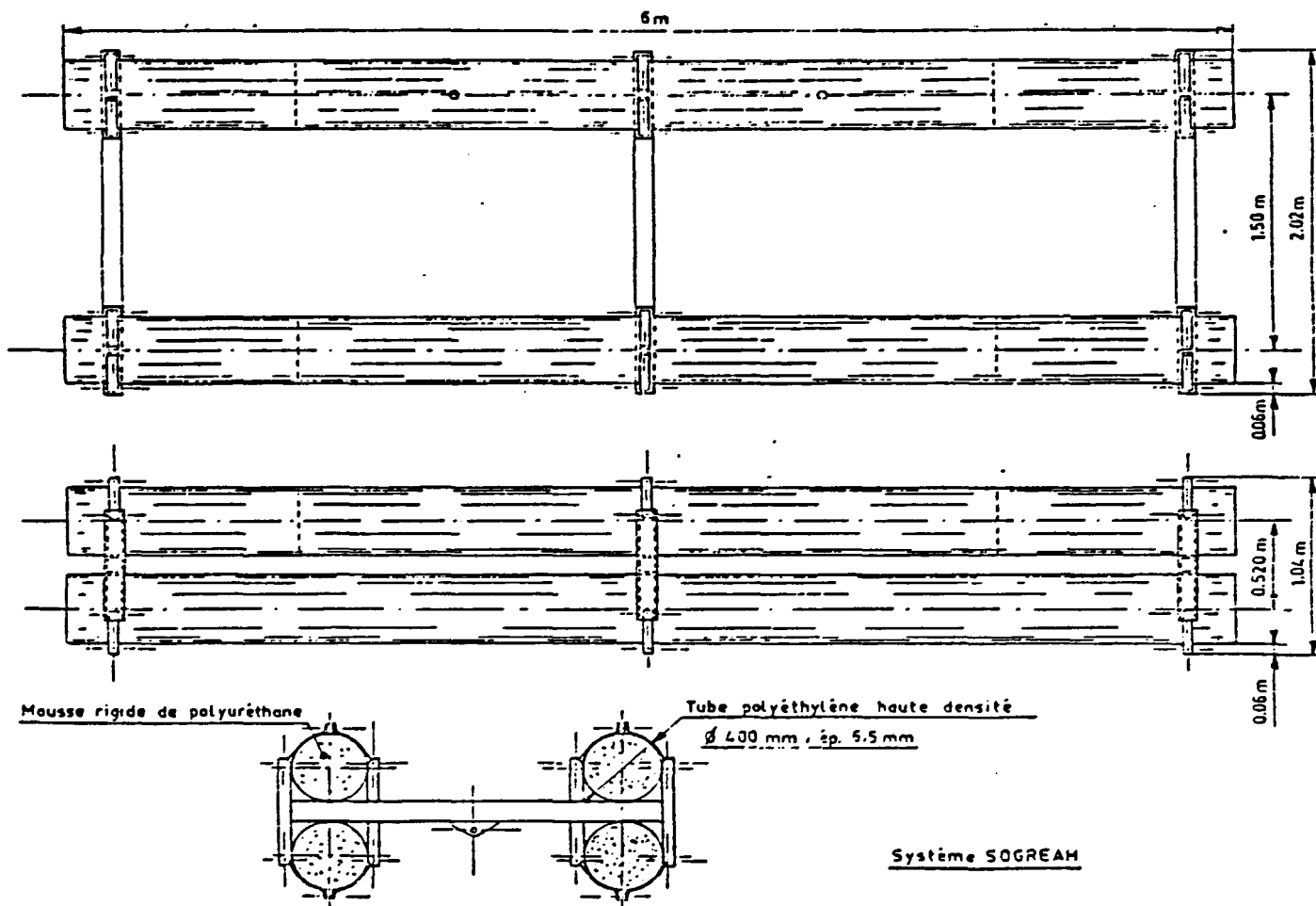
Ech : 1/

BRISE-LAMES FLOTTANTS LA PERRIERE

5.1390

▼
SOGREAH
INGENIERIE

Fig. 2.8



mai 1993

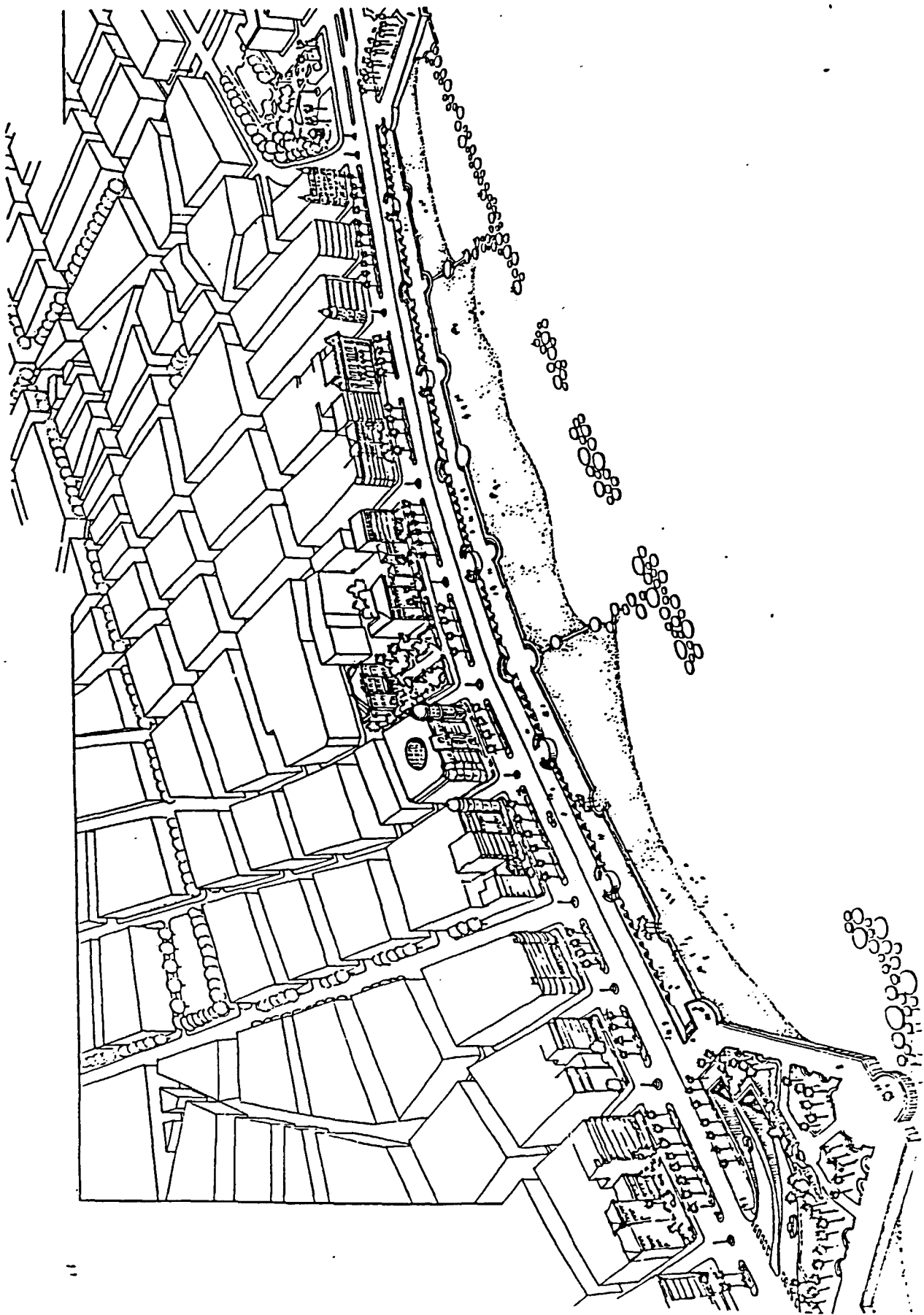
PROTECTION LITTORALE : PROBLEMATIQUE
BRISE-LAMES FLOTTANTS SOGREAH

Ech : 1/

5.1390

Fig. 2.9

▼
SOGREAH
INGENIERIE



mai 1993

PROTECTION LITTORALE : PROBLEMATIQUE

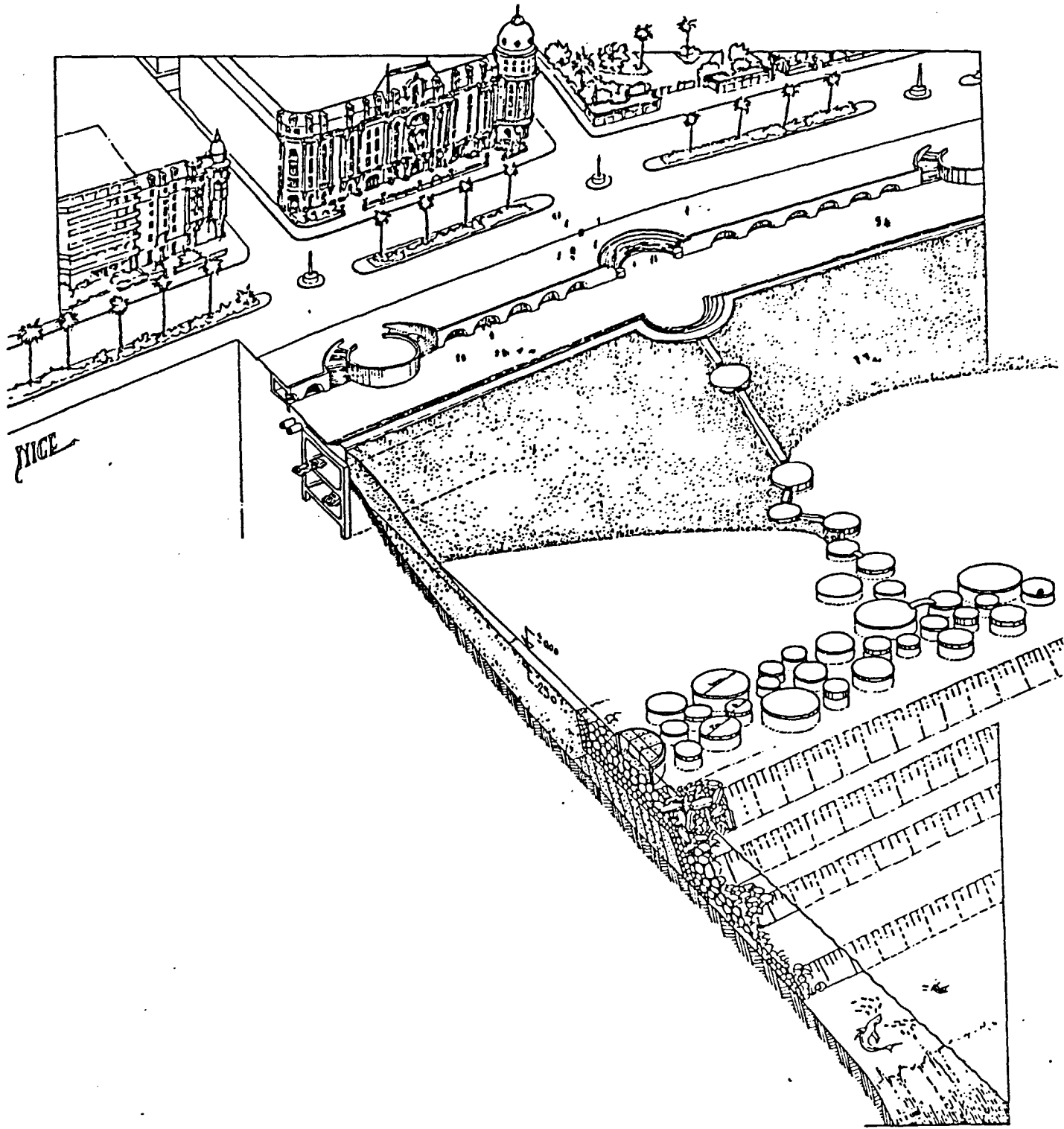
Ech : 1/ :

▼
SOGREAH
INGENIERIE

**BRISE-LAMES ET EPIS
CYLINDRIQUES SOGREAH
VUE GENERALE**

5.1390

Fig. 2.10



mai 1993

PROTECTION LITTORALE : PROBLEMATIQUE

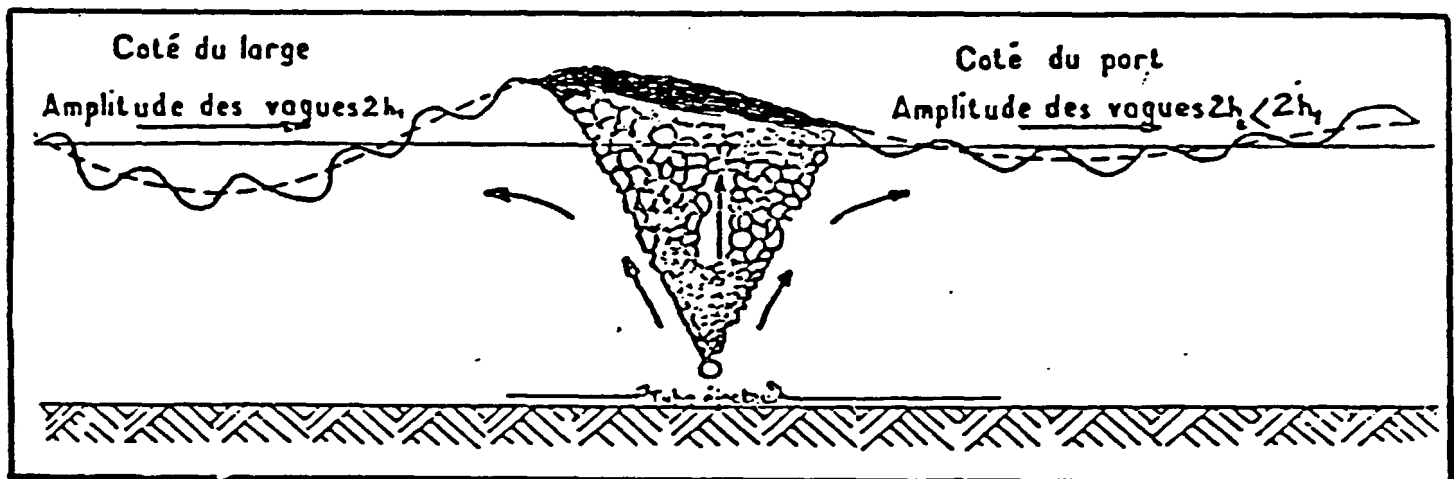
Ech : 1/

▼
SOGREAH
INGENERIE

**BRISE-LAMES ET EPIS
CYLINDRIQUES SOGREAH
VUE DE DETAIL**

5.1390

Fig. 2.11



mai 1993

PROTECTION LITTORALE : PROBLEMATIQUE

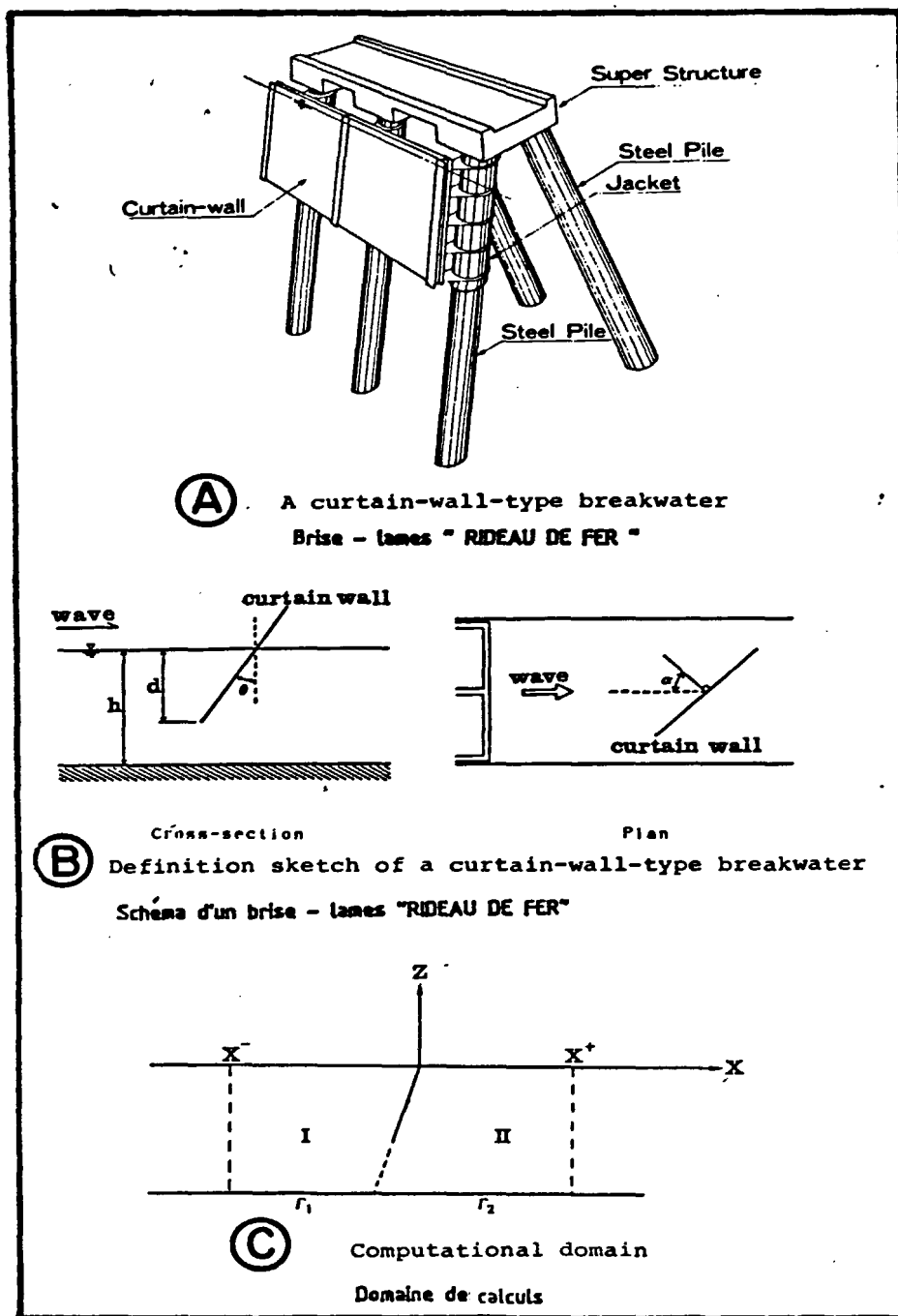
Ech : 1/

▼
SOGREAH
INGENIERIE

BRISE-LAMES PNEUMATIQUE

5.1390

Fig. 2.12



mai 1993

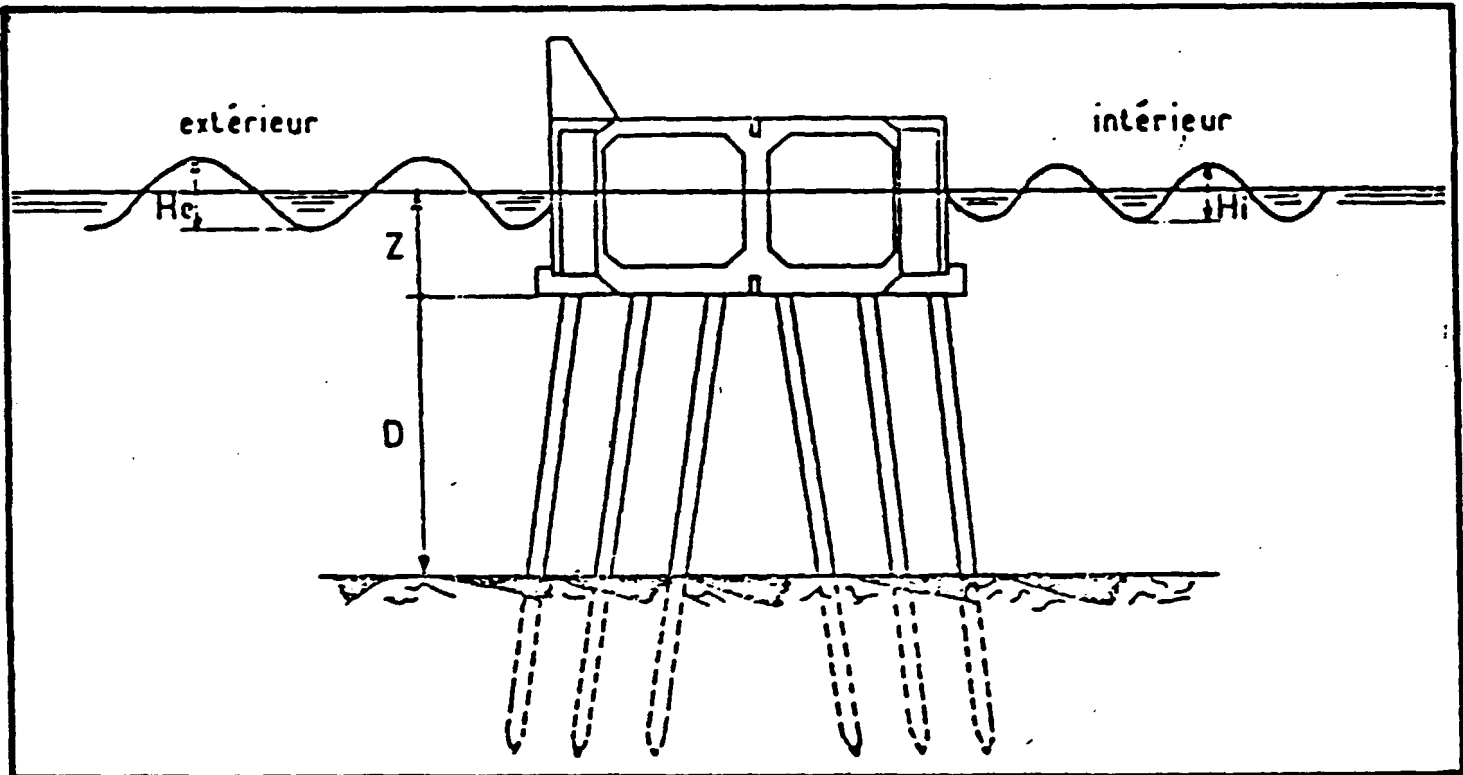
▼
SOGREAH
INGENIERIE

PROTECTION LITTORALE : PROBLEMATIQUE
BRISE-LAMES "RIDEAU DE FER"

Ech : 1/

5.1390

Fig. 2.13



mai 1993

PROTECTION LITTORALE : PROBLEMATIQUE
BRISE-LAMES DISCONTINU SUR PIEUX

Ech : 1/

5.1390

▼
SOGREAH
 INGENIERIE

Fig. 2.14

FIG.1

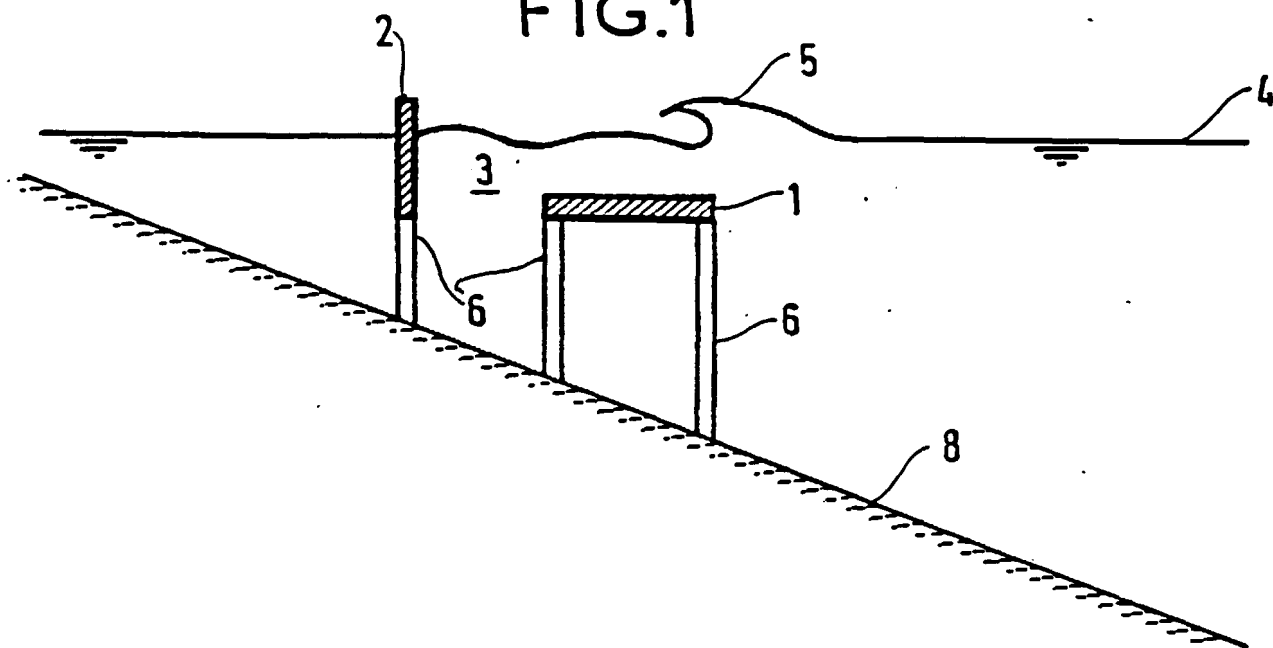
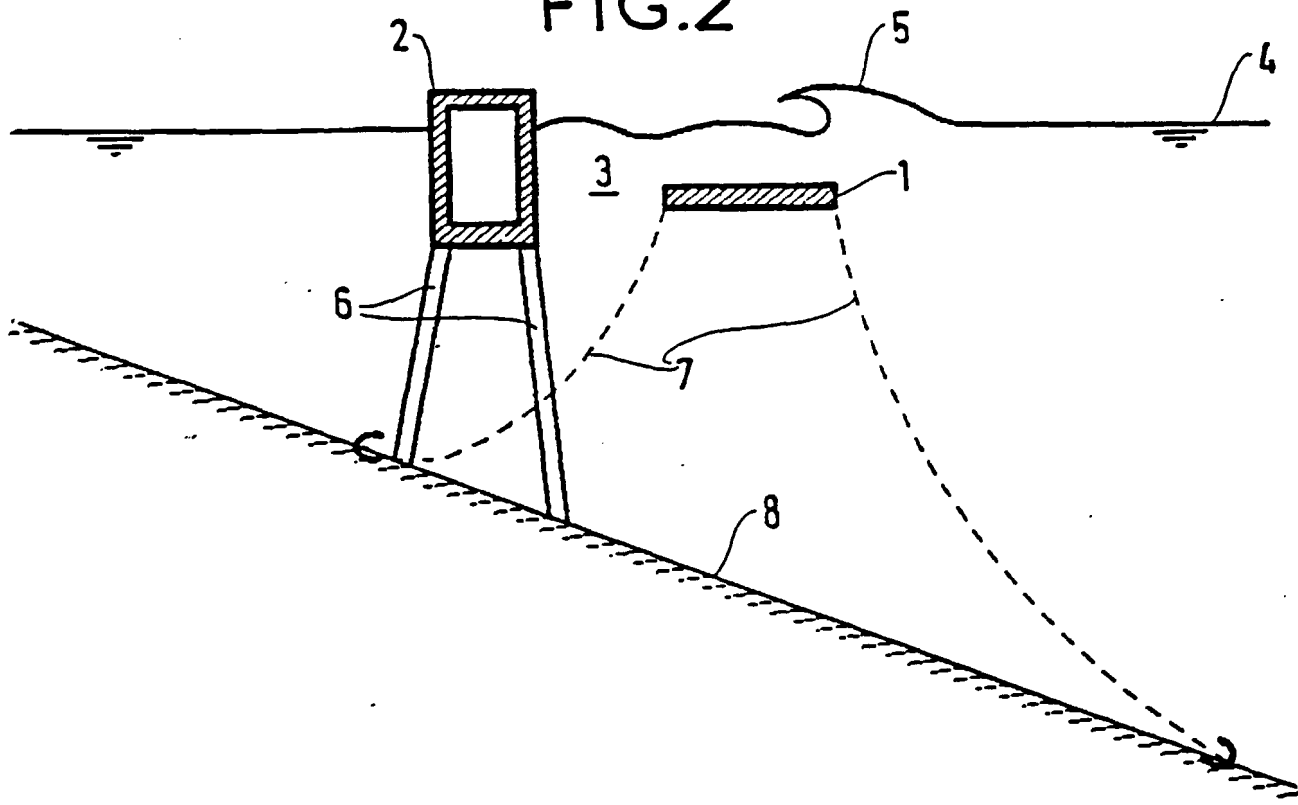


FIG.2



mai 1993	PROTECTION LITTORALE : PROBLEMATIQUE	Ech : 1/
▼ SOGREAH INGENIERIE	DISPOSITIF SOGREAH A DOUBLE LIGNE D'ACTION	5.1390
		Fig. 2.15

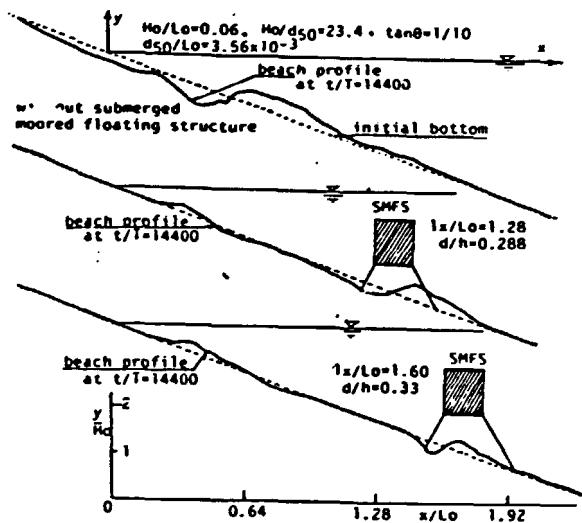


Fig. 1 Beach profile changes due to submerged moored floating breakwater (two-dimensional experiment)

ACTION SUR LE PROFIL

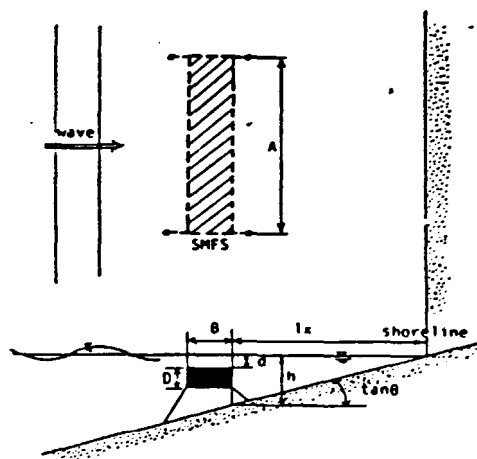
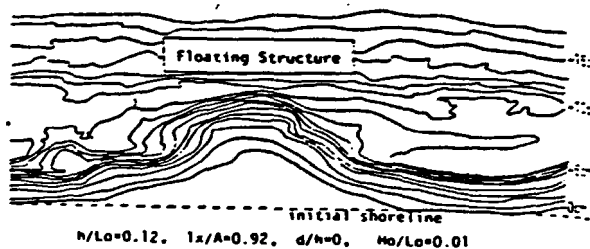
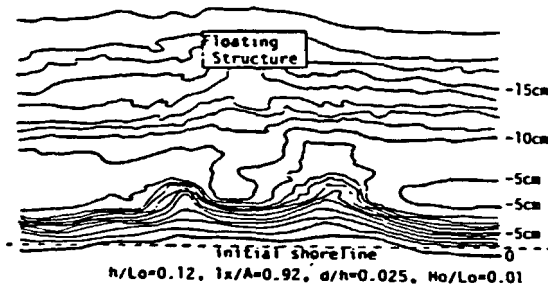


Fig. 2 Schematic illustration of symbols and outline of three-dimensional experimental setup

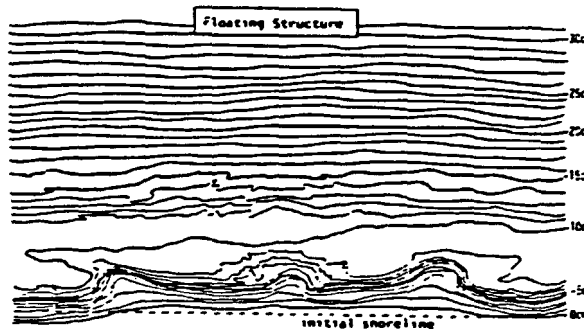
NOTATIONS



(a) single-peaked cusped spit



(b) double-peaked cusped spit



(c) triple-peaked cusped spit

Fig. 3 Typical examples of beach profile changes due to submerged moored floating structure (three-dimensional experiment)

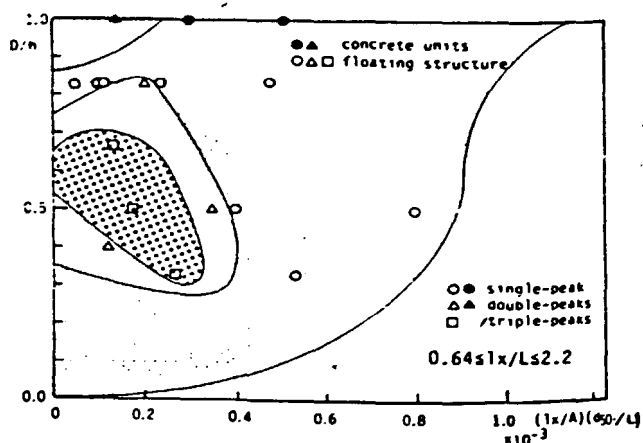
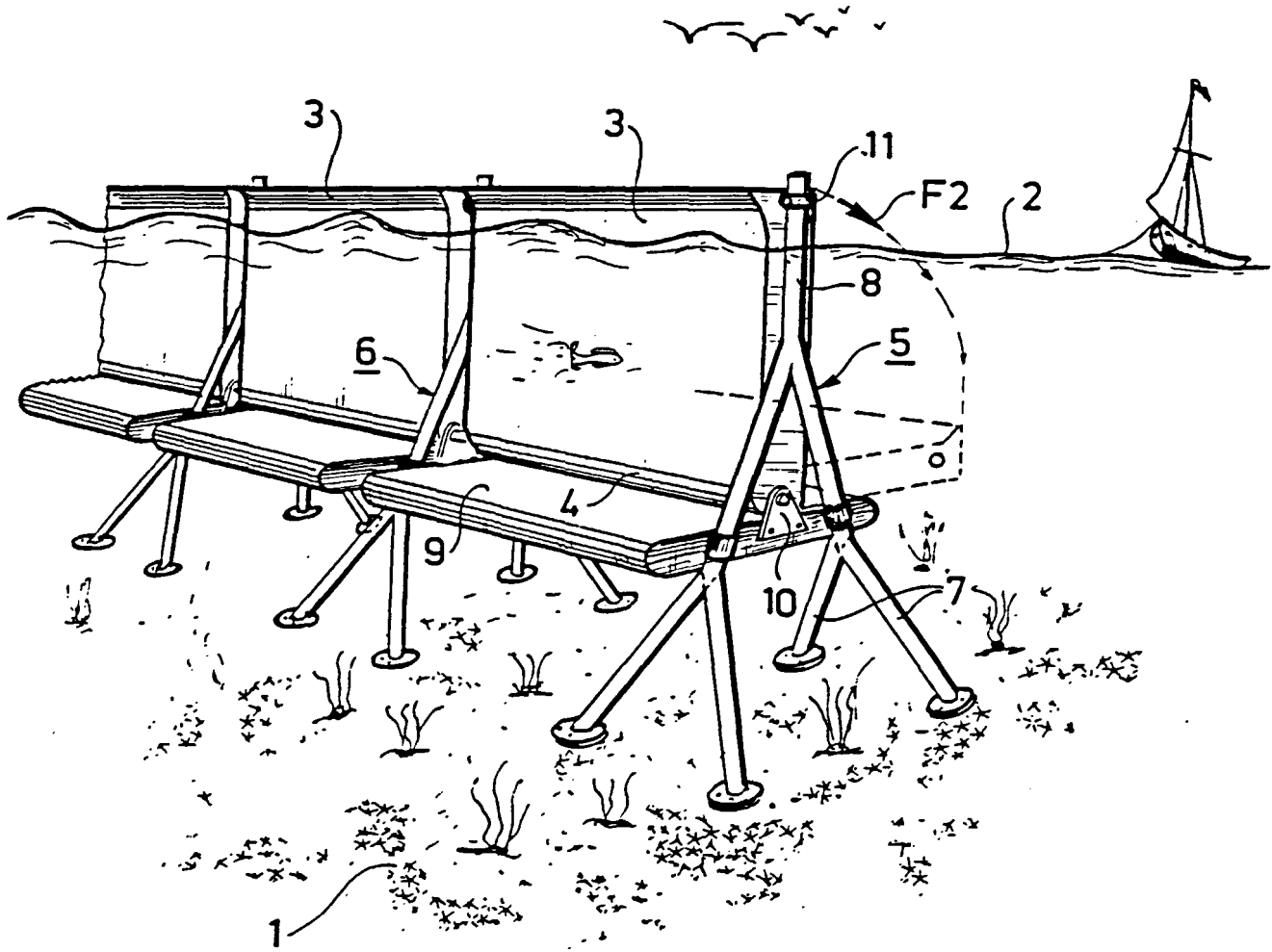


Fig. 4 Occurrence region of single-, double- and triple-peaked cusped spits (in case of $d/h=0$)
 $0.64 \leq 1x/L \leq 2.2$
FESTONS \backslash (1x/A) (d50/L)

FIG. 1



mai 1993	PROTECTION LITTORALE : PROBLEMATIQUE	Ech : 1/
<p style="text-align: center;">▼</p> <p>SOGREAH</p> <p>INGENERIE</p>	<p>BRISE-LAMES ABATTABLES</p> <p>SCHEMA GENERAL</p>	<p style="text-align: center;">5.1390</p> <hr/> <p style="text-align: center;">Fig. 2.17</p>

FIG. 2

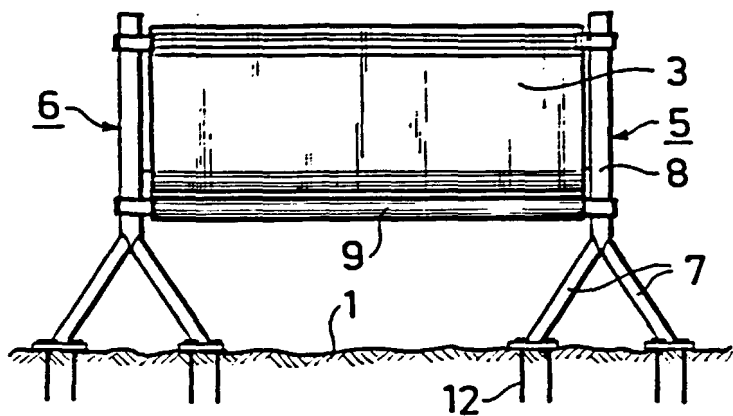


FIG. 3

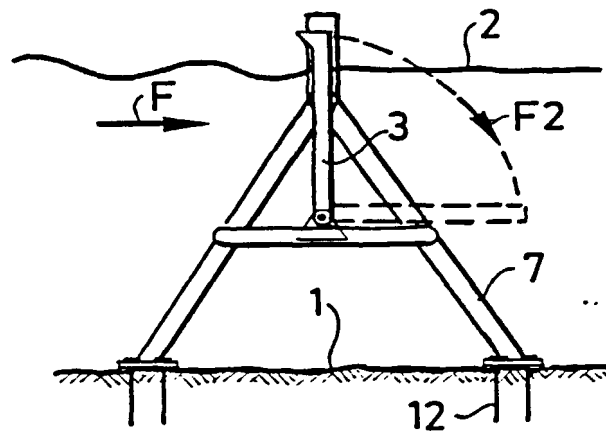


FIG. 4

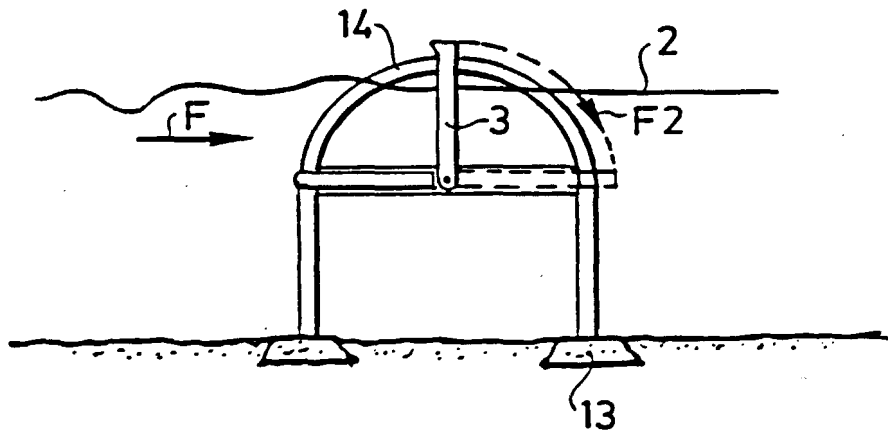


FIG. 5

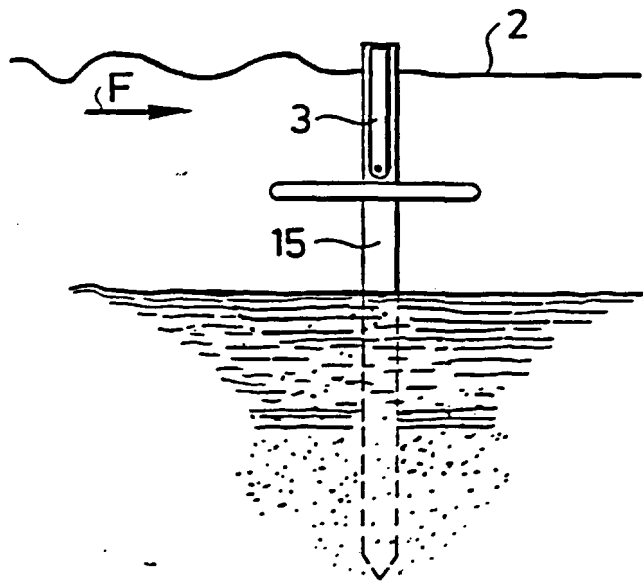
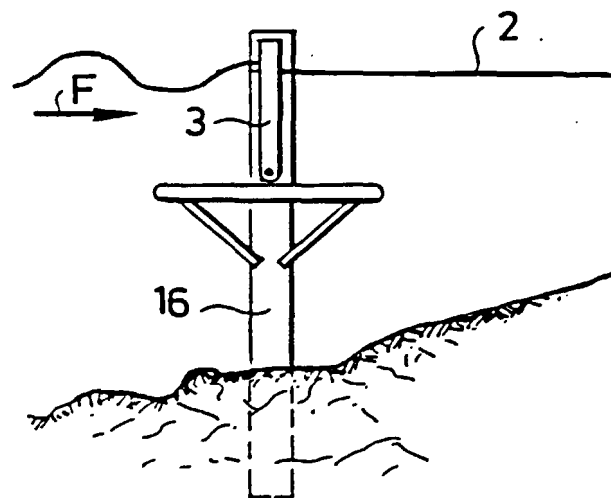


FIG. 6



mai 1993

PROTECTION LITTORALE : PROBLEMATIQUE

Ech : 1/

▼
SOGREAH
INGENIERIE

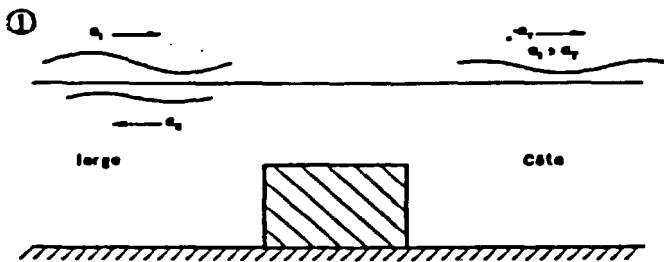
**BRISE-LAMES ABATTABLES
COUPES DES OUVRAGES**

5.1390

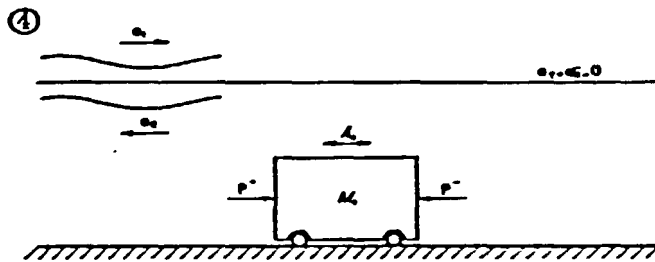
Fig. 2.18

Brevet mur d'eau oscillant PRINCIPIA MONACO

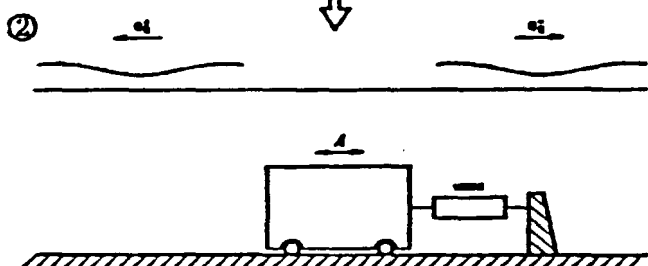
PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT



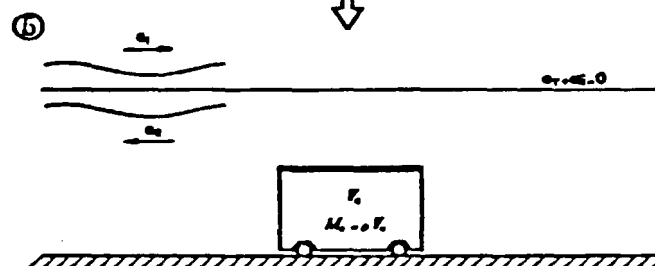
La houle se réfléchit sur les obstacles qu'elle rencontre (rochers, digues, navires...)
 Par exemple, si l'on pose un coisson rectangulaire sur le fond, la plus grande de ses dimensions étant parallèle aux ondes, une partie de la houle en large a_1 est renvoyée vers la large a_2 , et l'autre partie a_1 est transmise vers la côte.



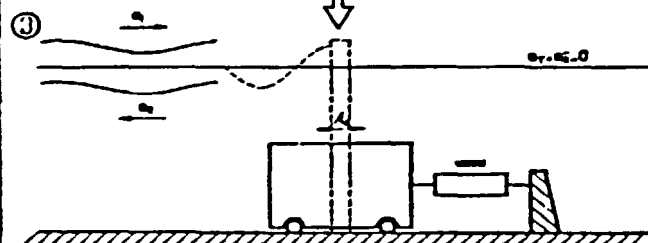
Pour une masse M , du coisson, le mouvement A se crée naturellement par la différence entre les pressions P^+ et P^- . L'aide d'un écriin est alors inutile.



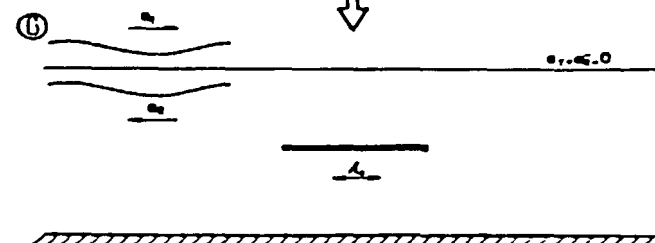
En l'absence de houle en large, si l'on anime ce même coisson d'un mouvement oscillatoire horizontal A , il génère de la houle qui se propage vers la large a_1 et vers la côte a_2 .



La masse du coisson étant M , on peut déterminer son volume V , pour que sa densité soit égale à celle de l'eau.



En superposant les deux cas précédents, on trouve pour deux périodes de houle différentes, un mouvement A , tel que la houle se propageant vers la côte a_1+a_2 soit nulle. Le coisson animé du mouvement A se comporte alors comme un mur vertical. Dans ces conditions la houle se propageant vers la côte est très faible sur une large bande encadrant ces périodes.



Il est alors possible de supprimer les parois latérales et le fond du coisson et de ne conserver que sa face supérieure qui est alors une simple plaque, l'eau étant en dessous oscillant naturellement comme le coisson de même masse.

C'est le "Mur d'Eau Oscillant", Brevet PRINCIPIA MONACO

mai 1993

PROTECTION LITTORALE : PROBLEMATIQUE

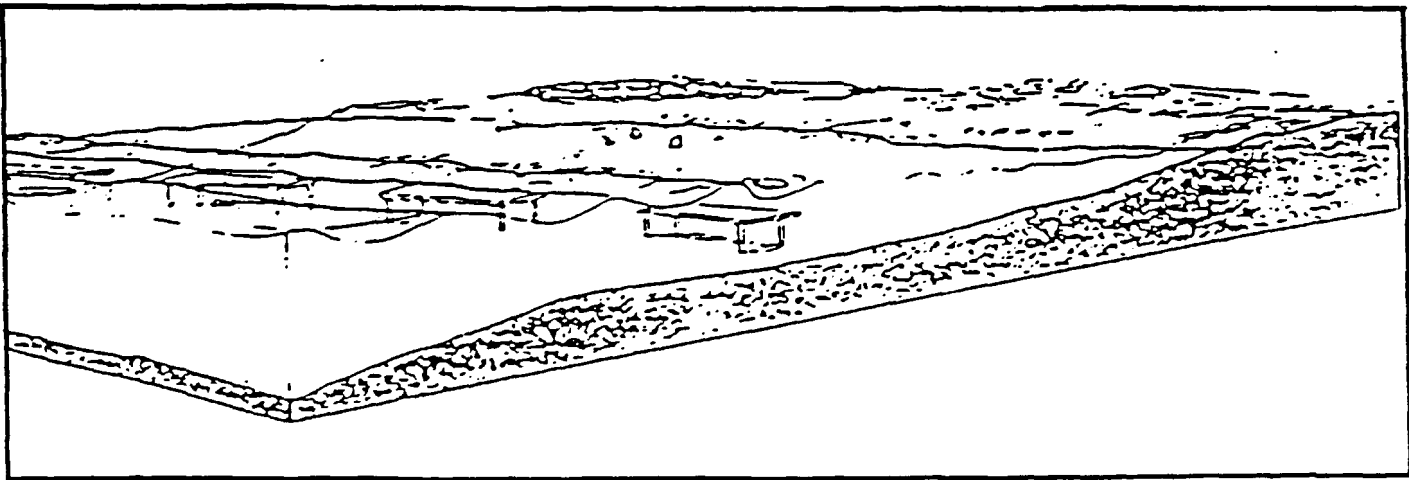
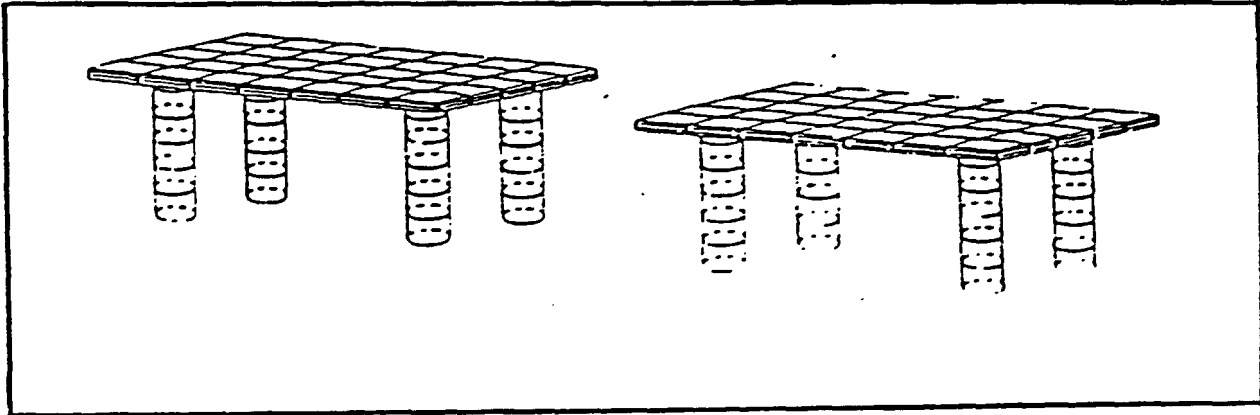
Ech : 1/

▼
SOGREAH
 INGENIERIE


MUR D'EAU OSCILLANT
 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

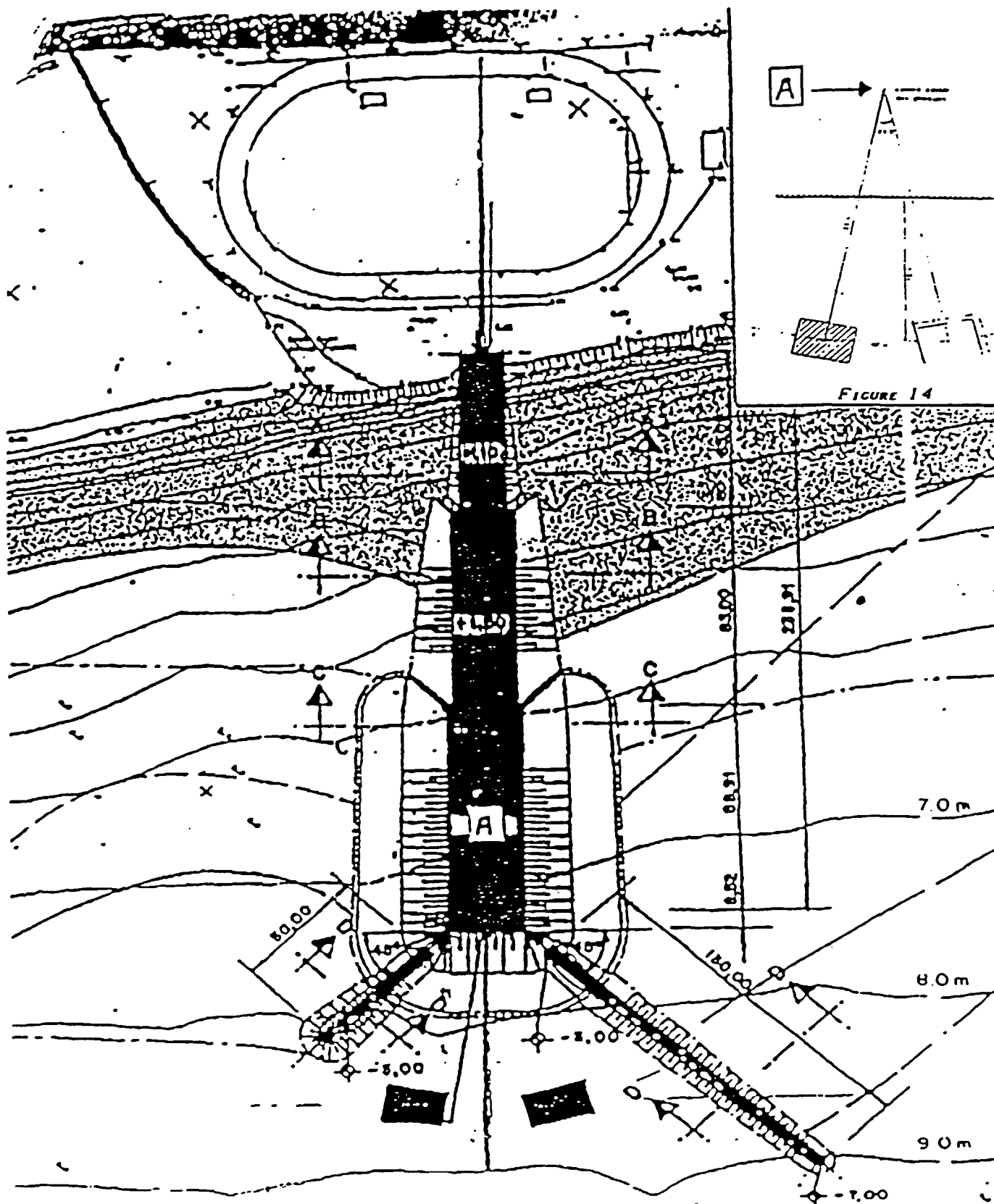
5.1390

Fig. 2.19



FILE D'ATTENUATEURS DE HOULE

mai 1993	PROTECTION LITTORALE : PROBLEMATIQUE	Ech : 1/
 SOGREAH INGENIERIE	MUR D'EAU OSCILLANT SCHEMA D'INSTALLATION	5.1390 Fig. 2.20



mai 1993

▼
SOGREAH
 INGENIERIE

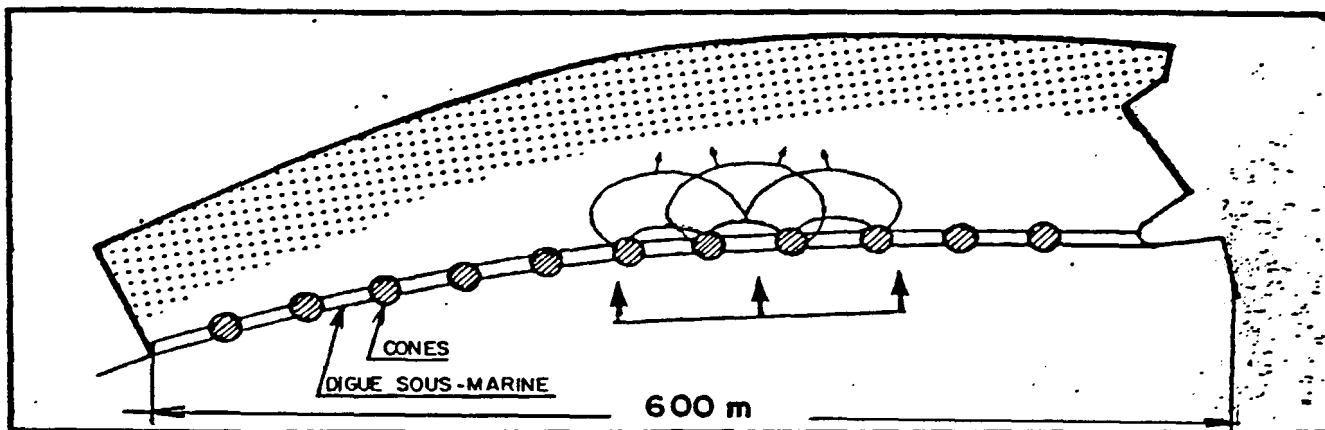
PROTECTION LITTORALE : PROBLEMATIQUE

MUR D'EAU OSCILLANT
REALISATION DE BARCELONE

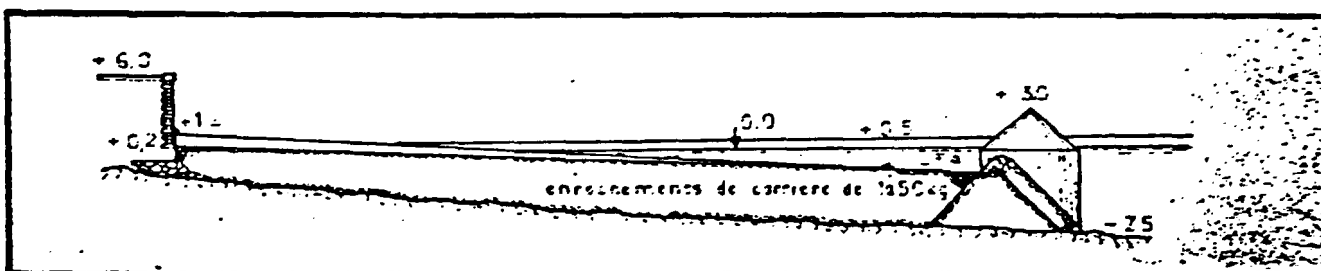
Ech : 1/

5.1390

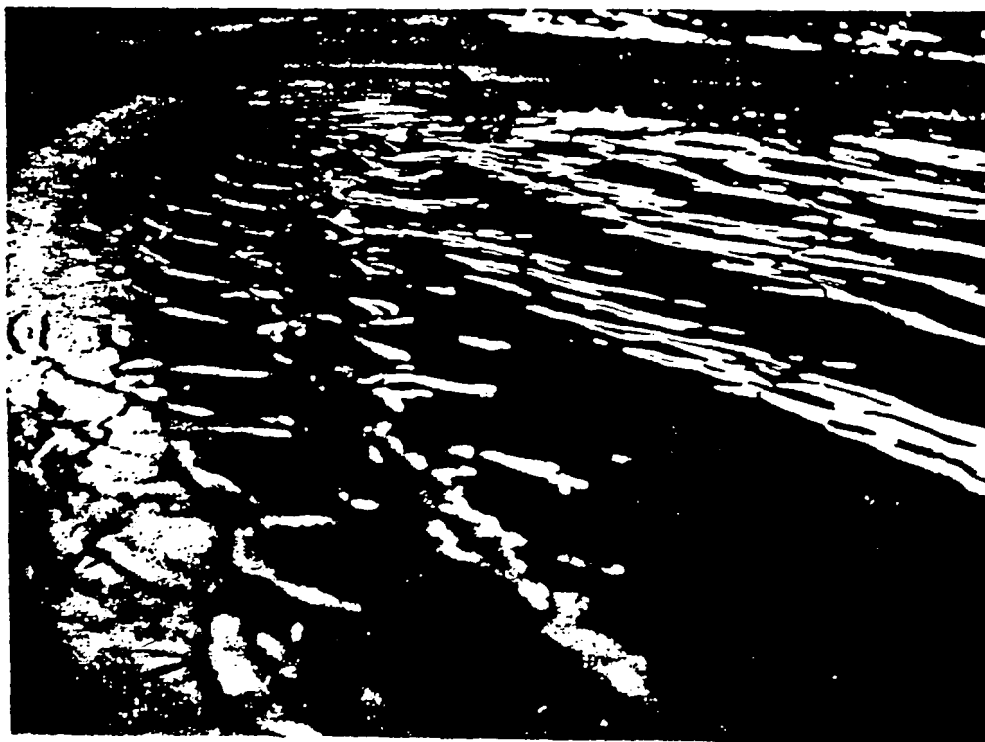
Fig. 2.21



COUPE TRANSVERSALE



ESSAI SUR MODÈLE



mai 1993

PROTECTION LITTORALE : PROBLEMATIQUE

Ech : 1/

▼
SOGREAH
INGENIERIE

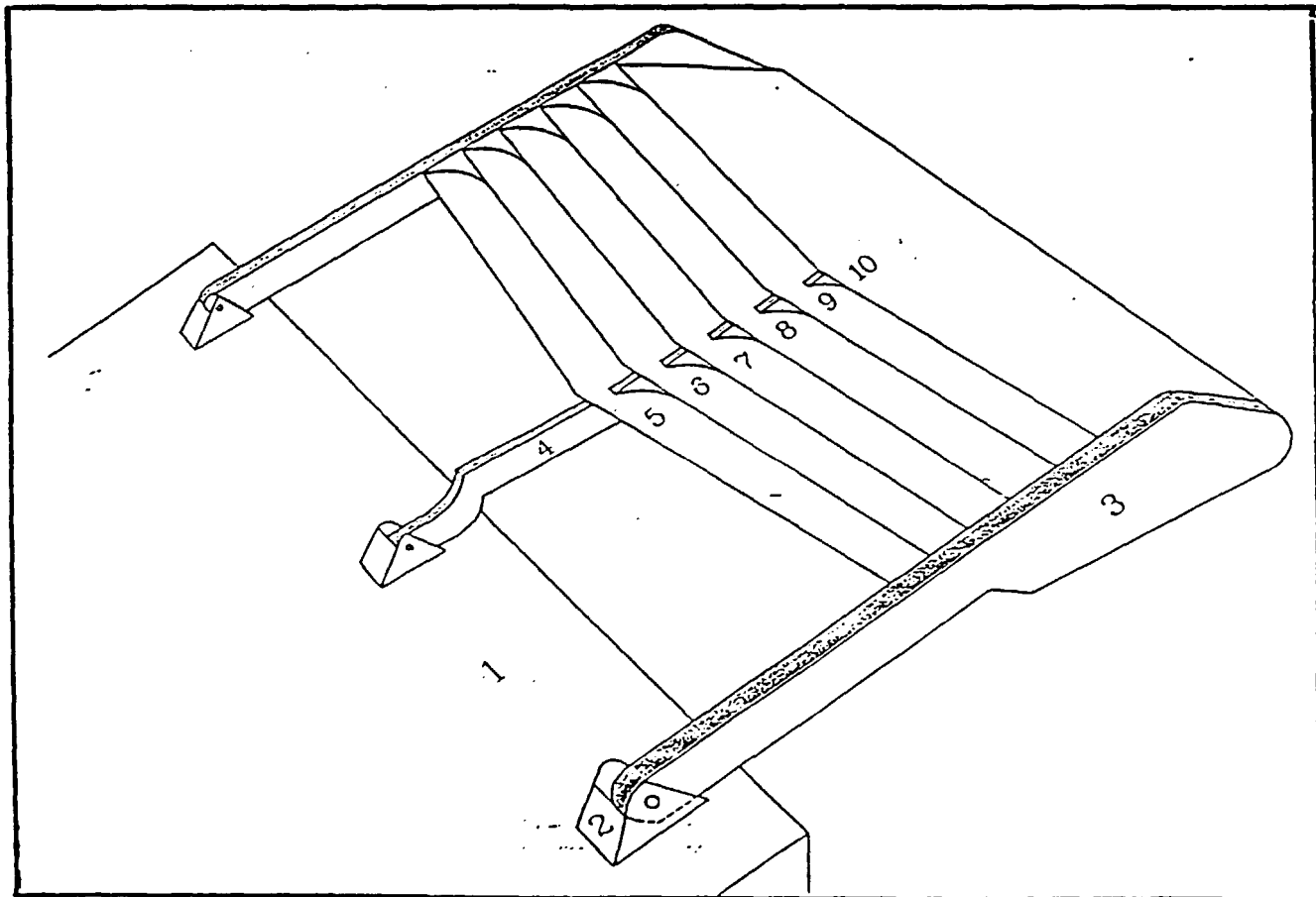
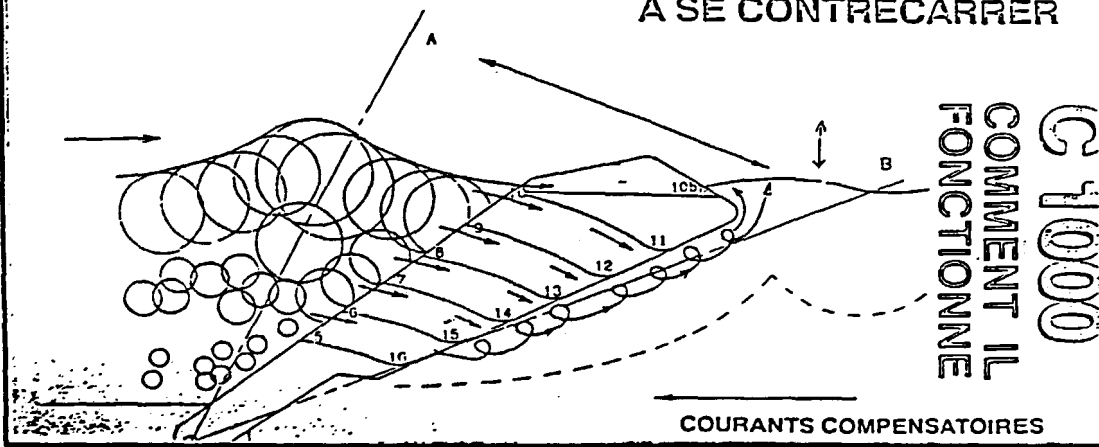
PLAGES ARTIFICIELLES
PROTECTION PAR CONES

5.1390

Fig. 2.22

LE C 1000 TRANSFORME LES MOUVEMENTS ORBITAIRES
 DE LA HOULE EN CLAPOTIS ASCENSIONNELS
 IL OBLIGE LES FORCES HYDRAULIQUES

A SE CONTRECARRER



mai 1993

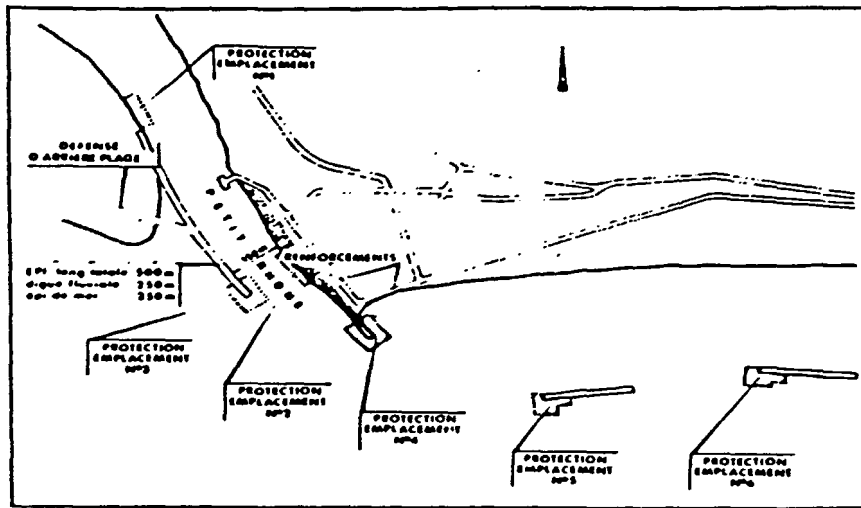
PROTECTION LITTORALE : PROBLEMATIQUE
 SYSTEME CORNIC C1000

Ech : 1/

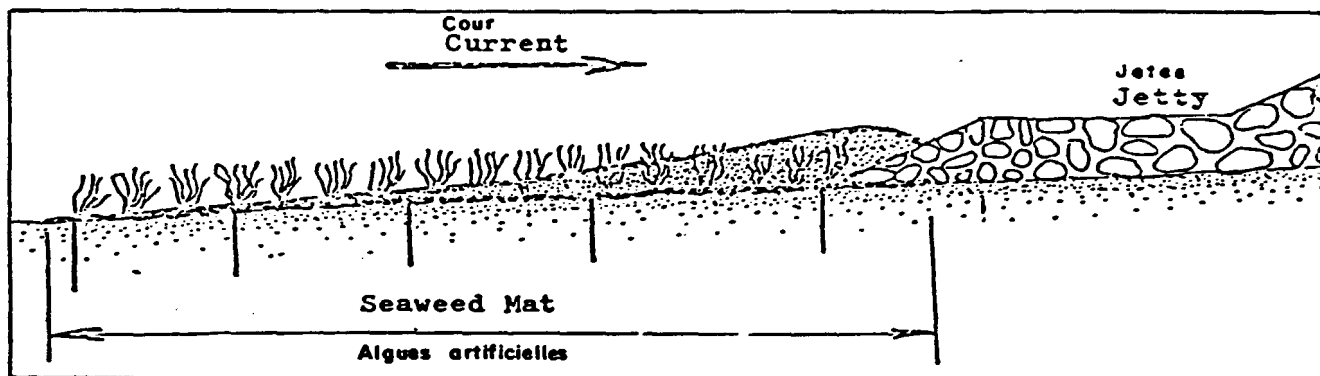
5.1390

Fig. 2.23

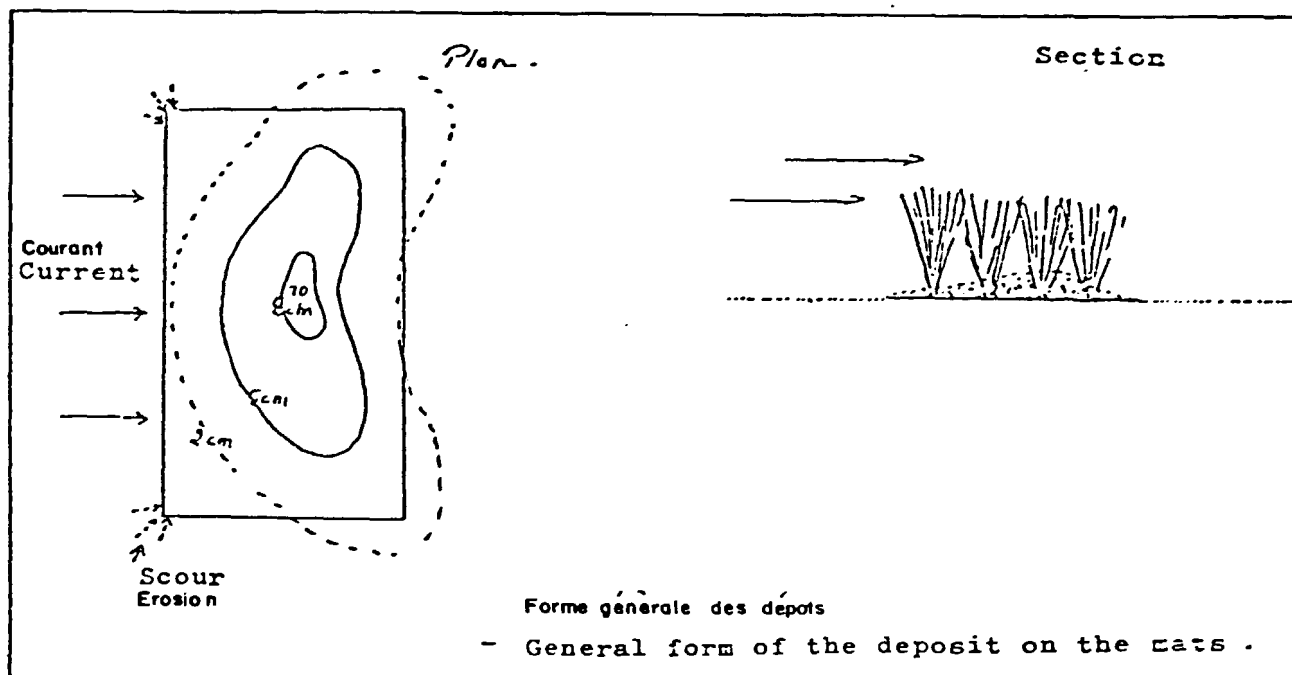
▼
SOGREAH
 INGENIERIE



(A) PLAN DE SITUATION



(B) PRINCIPE GENERAL



(C) RESULTATS

mai 1993

PROTECTION LITTORALE : PROBLEMATIQUE

Ech : 1/

▼
SOGREAH
INGENIERIE

ALGUES ARTIFICIELLES
EXPERIENCES DES SAINTES MARIE DE LA MER

5.1390

Fig. 2.24

FIG. 1
HAUTEURS MOYENNES DE SABLE PAR CELLULE

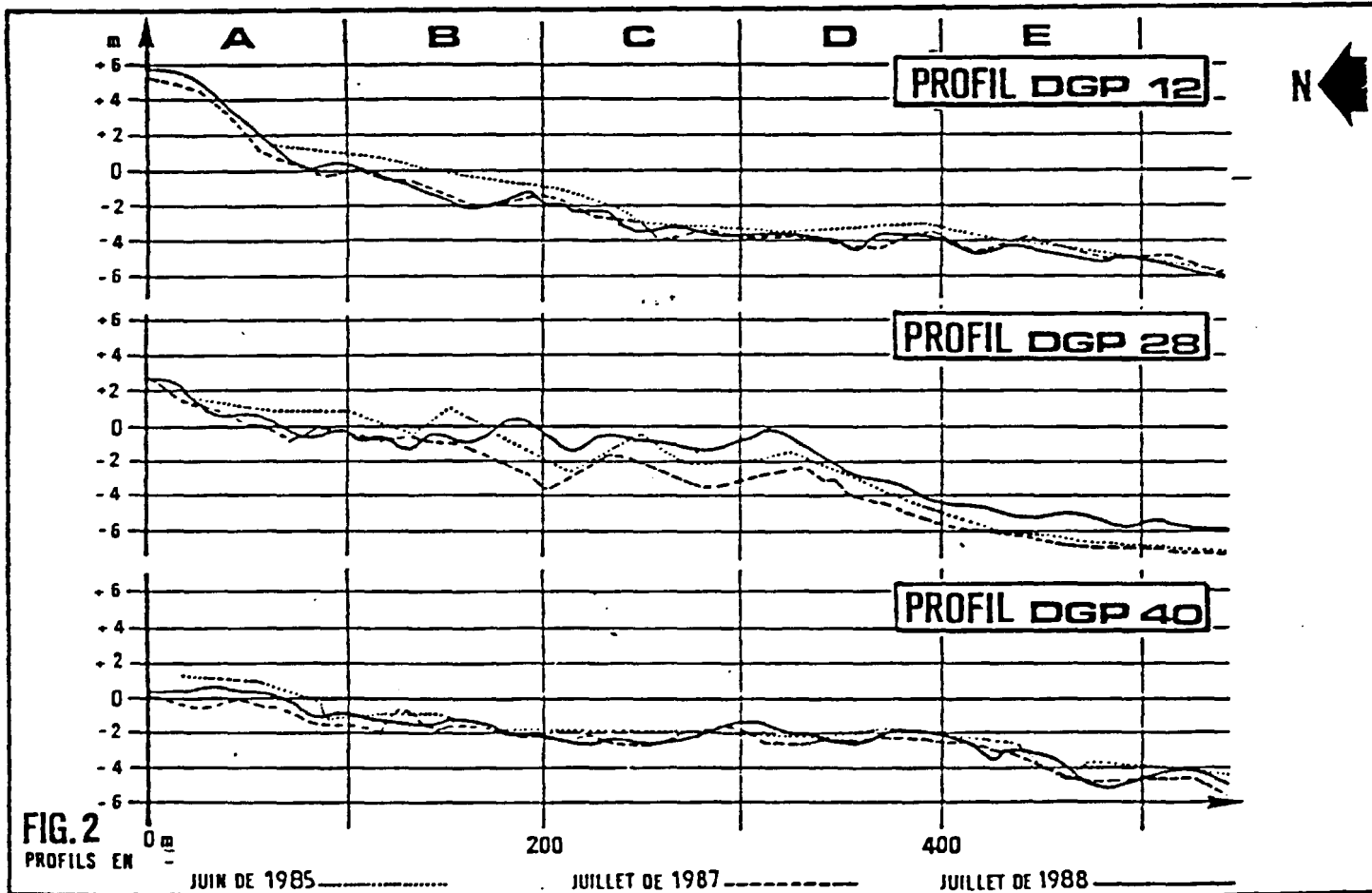
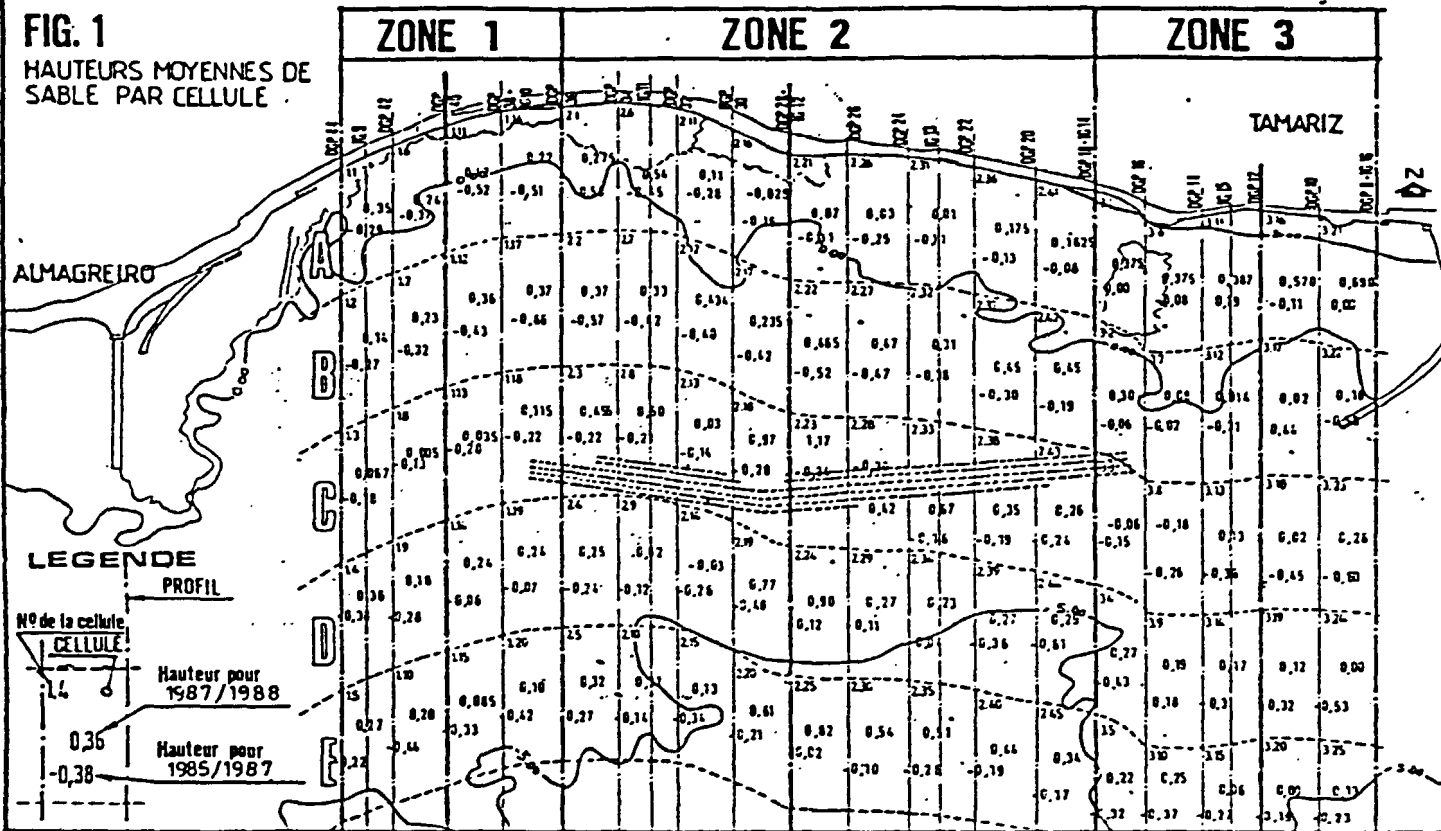
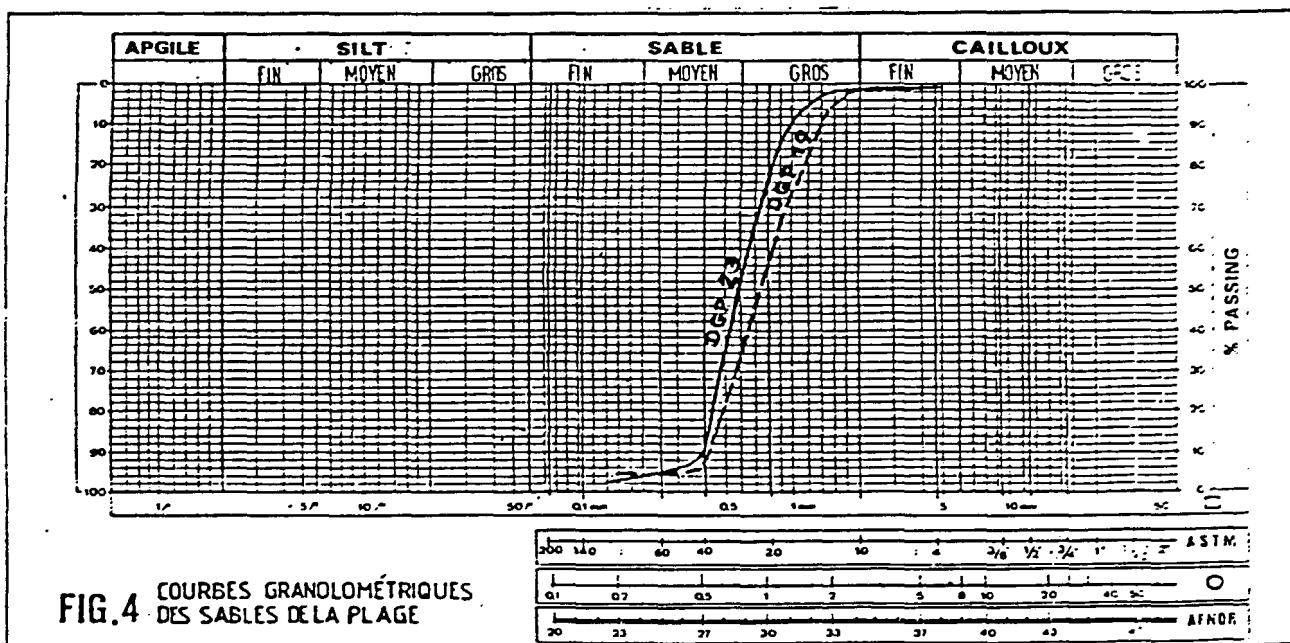
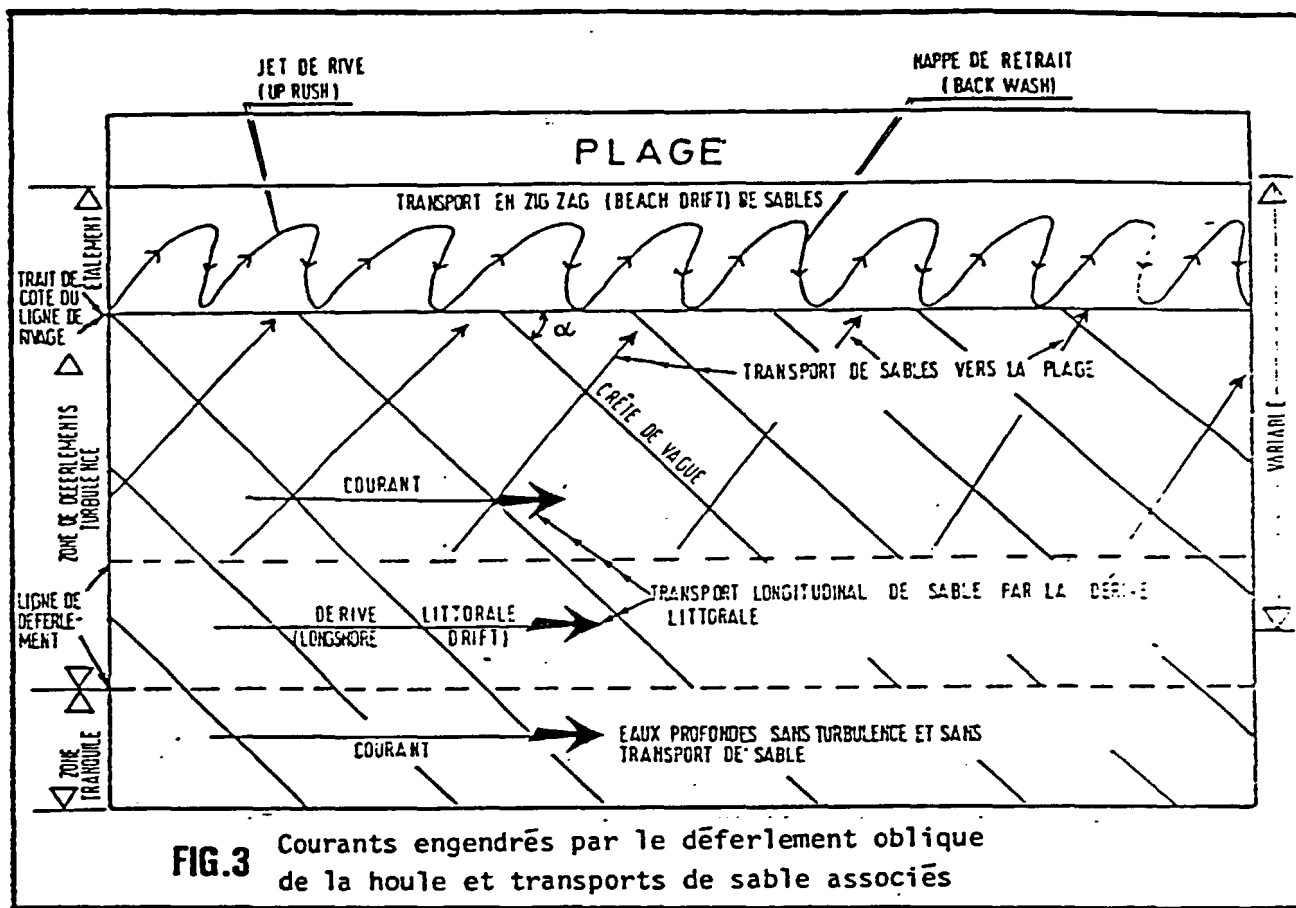
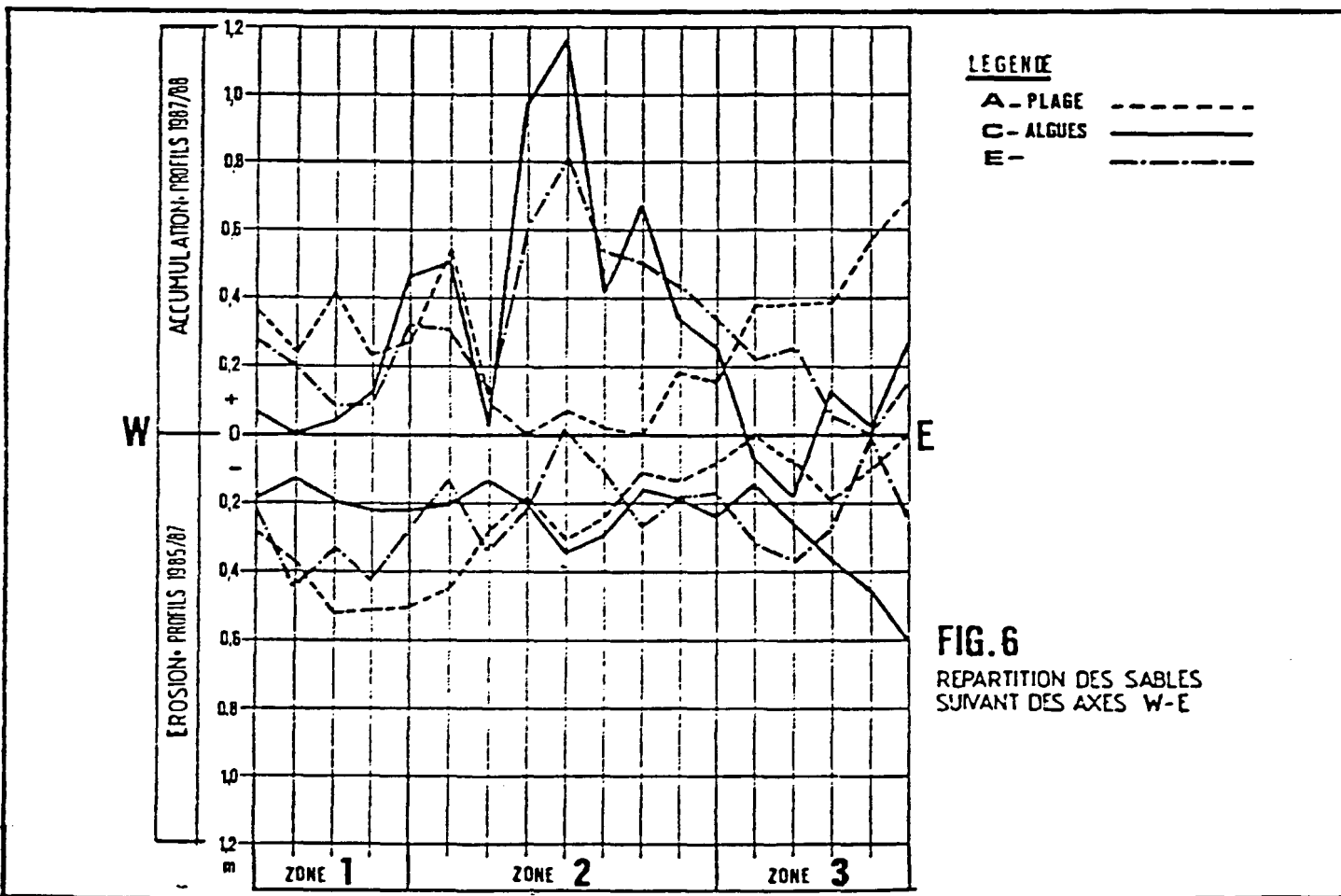
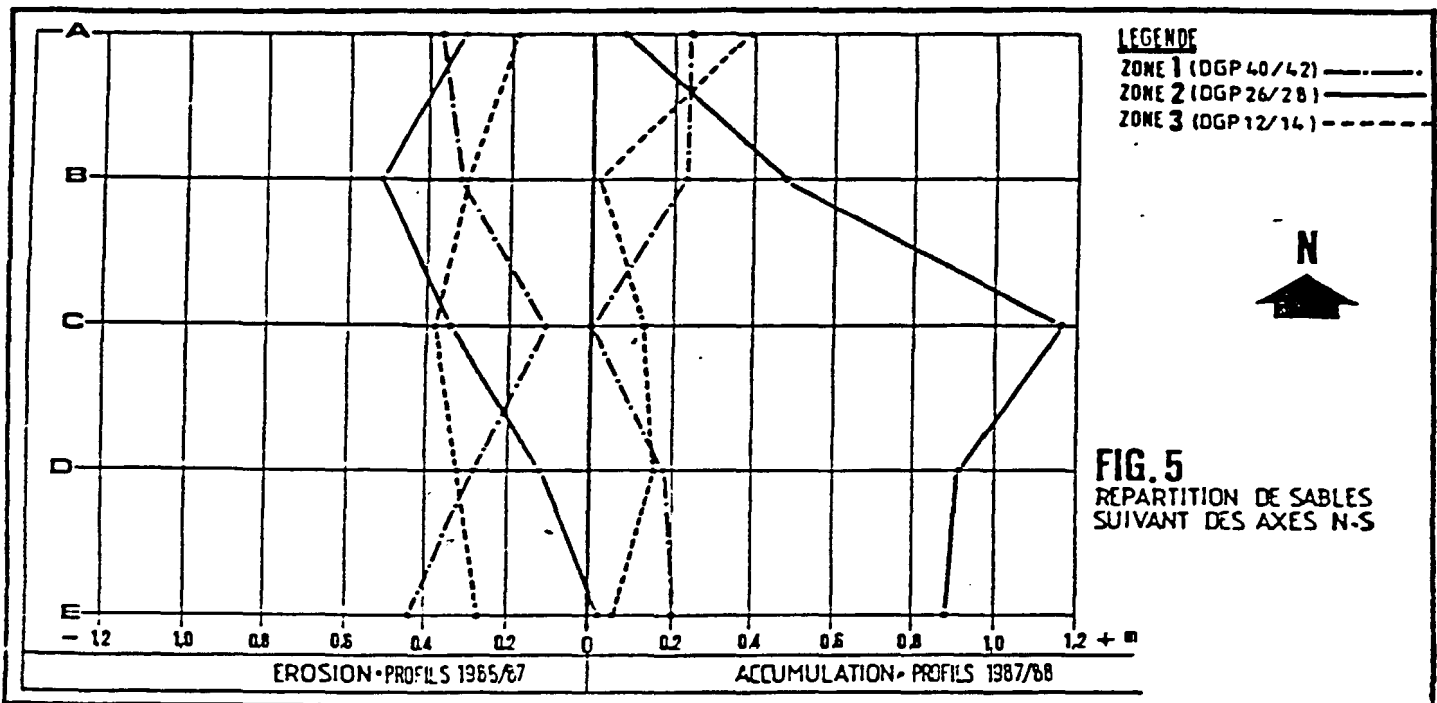
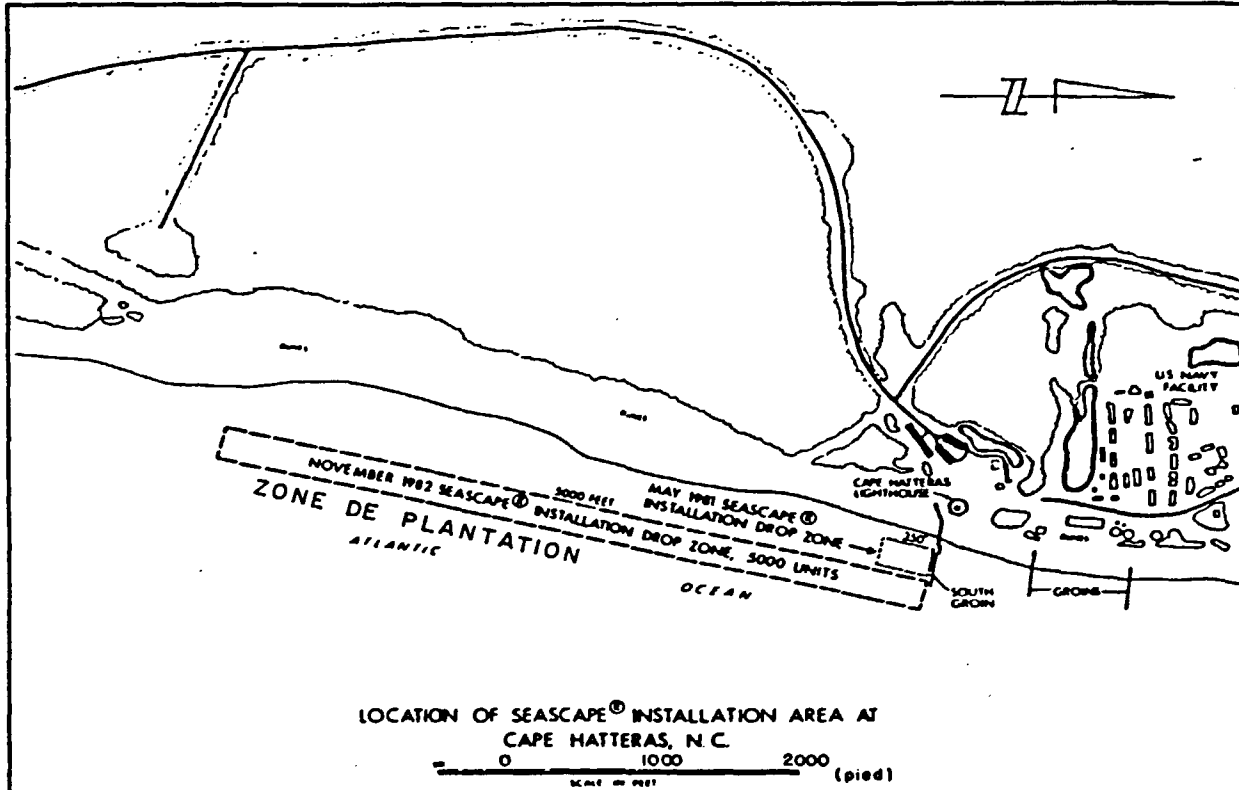


FIG. 2
PROFILS EN



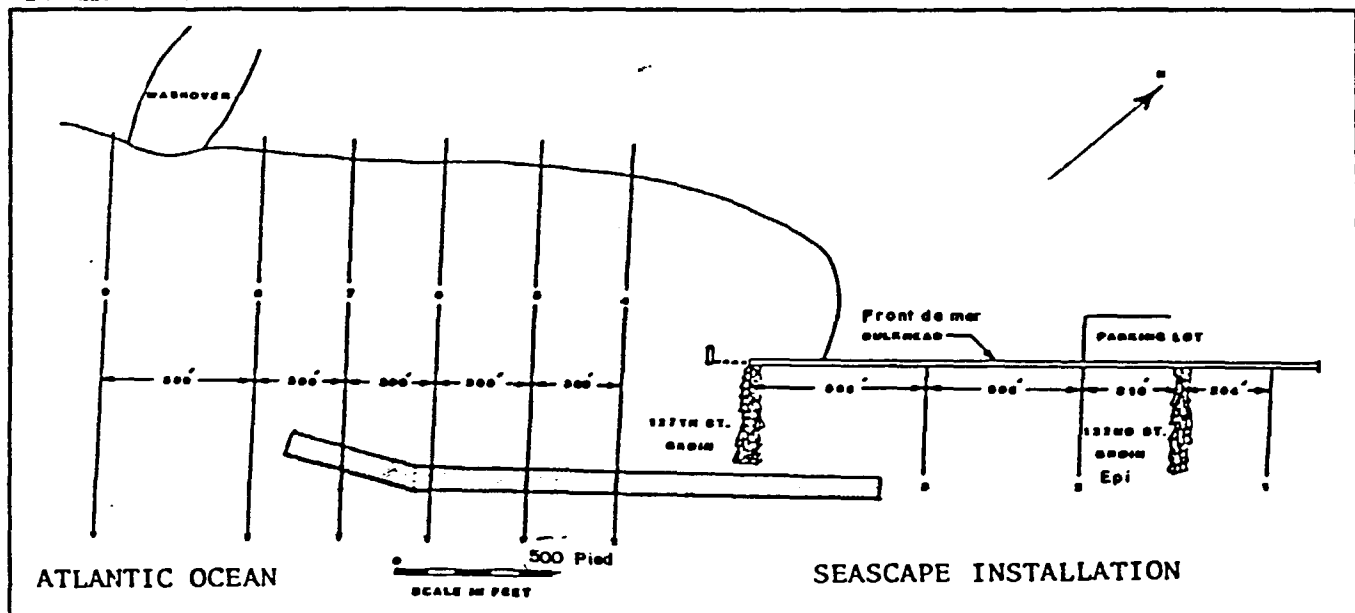


(A) CAP HATTERAS



Cape Hatteras Lighthouse installation

(B) STONE HARBOUR POINT



Stone Harbor Point, New Jersey

mai 1993

PROTECTION LITTORALE : PROBLEMATIQUE

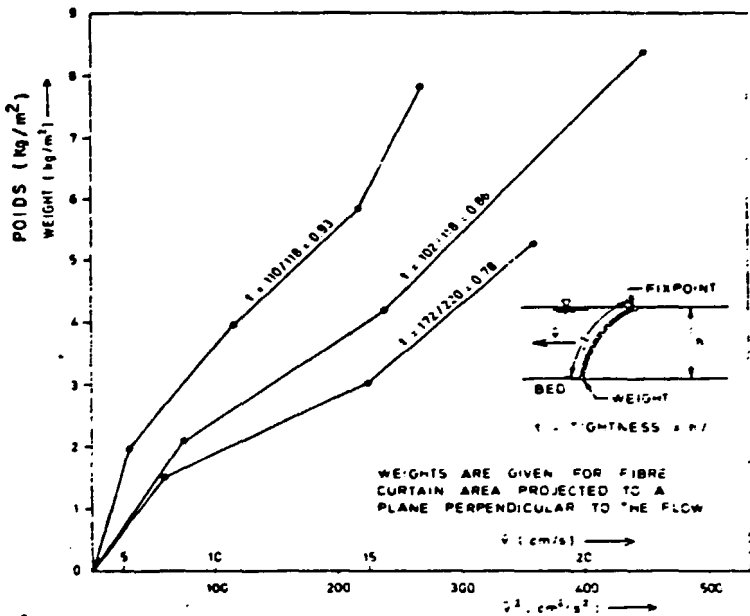
Ech : 1/

▼
SOGREAH
INGENIERIE

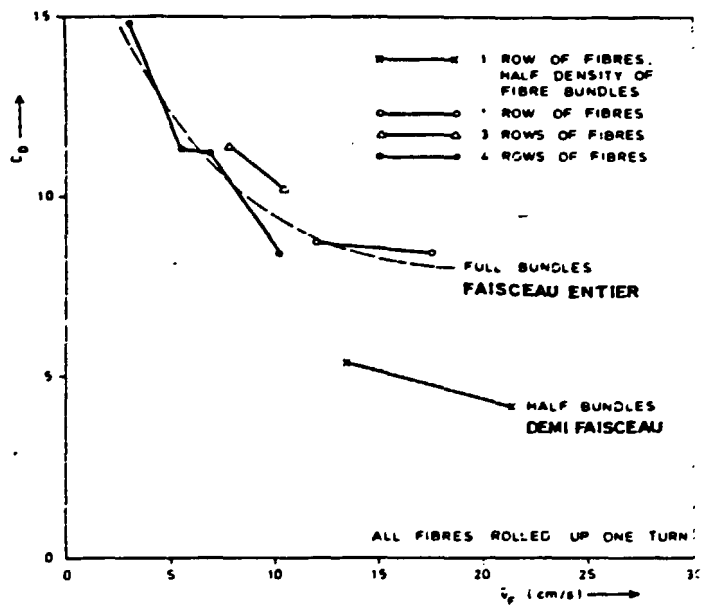
ALGUES ARTIFICIELLES
EXPERIENCES DU CAP HATTERAS

5.1390

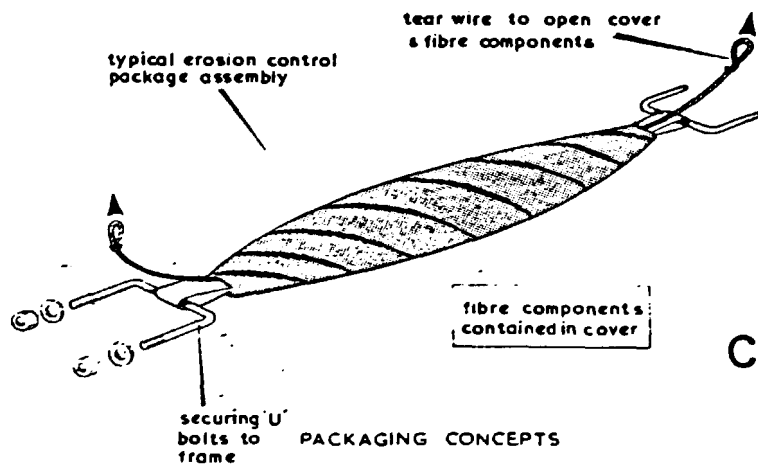
Fig. 2.28



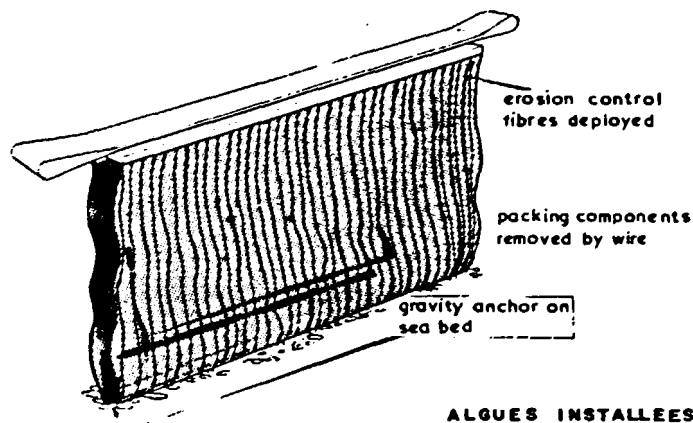
A: GRAPH 6
MINIMUM WEIGHT FOR KEEPING THE FIBRES ON SEA OR RIVER BED
POIDS D'ANCRAGE SELON LA VITESSE



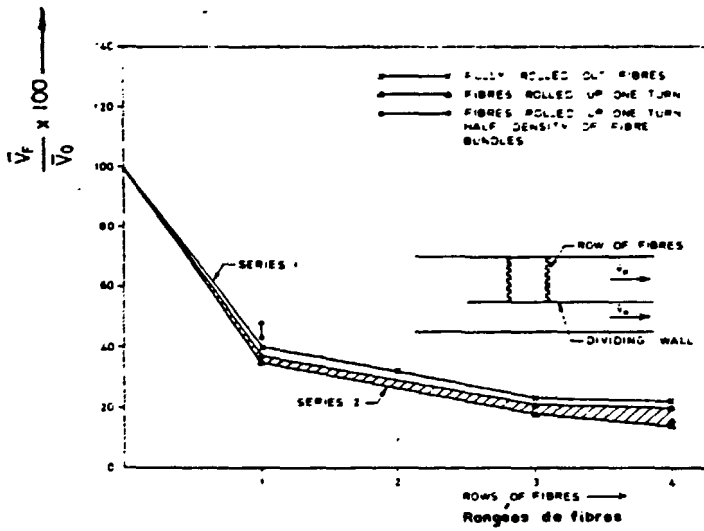
B: GRAPH 5
RELATION BETWEEN DRAG COEFFICIENT C_D AND VELOCITY v_f
FOR VHL SERIES 2.
COEFFICIENT DE TRAINEE C_D EN FONCTION DE LA VITESSE



C: SYSTEME D'INSTALLATION PROPOSE

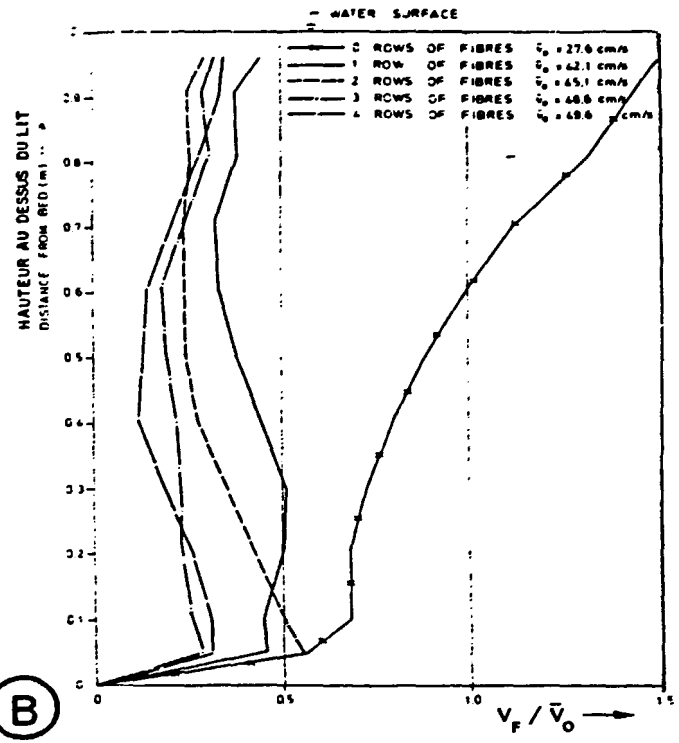


mai 1993	PROTECTION LITTORALE : PROBLEMATIQUE	Ech : 1/
SOGREAH INGENIERIE	ALGUES ARTIFICIELLES SYSTEME ICI	5.1390
		Fig. 2.29



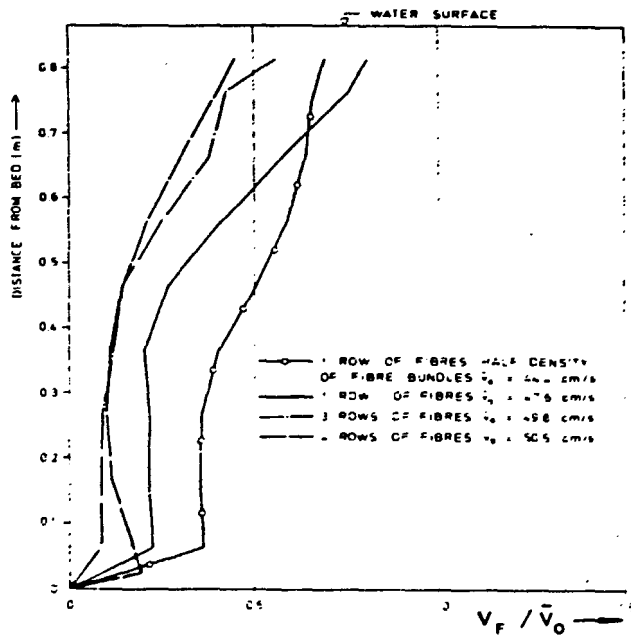
GRAPH 1
VELOCITY REDUCTION V.M.L. SERIES 1 & 2

(A)



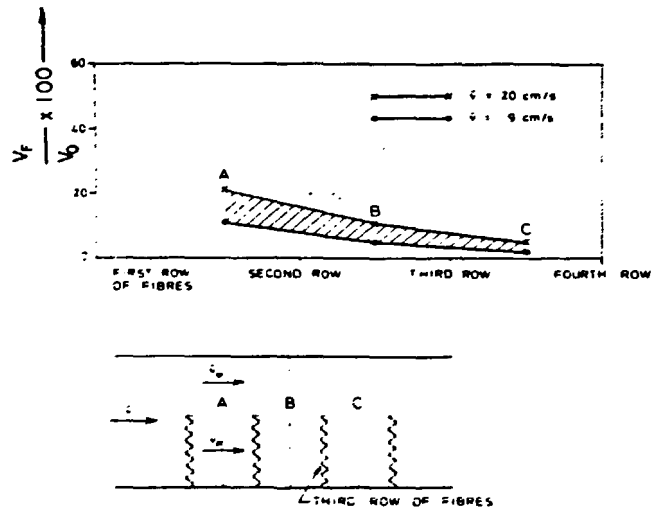
GRAPH 2
VERTICAL DISTRIBUTION OF RELATIVE VELOCITY V.M.L. SERIES 1.
DISTRIBUTION VERTICALE DES VITESSES RELATIVES-SERIE 1

(B)



GRAPH 3
VERTICAL DISTRIBUTION OF RELATIVE VELOCITY V.M.L. SERIES 2.
DISTRIBUTION VERTICALE DES VITESSES RELATIVES-SERIE 2

(C)



GRAPH 4
VELOCITY REDUCTION V.M.L. SERIES 3.
REDUCTION DES VITESSES-SERIE 3

(D)

mai 1993

PROTECTION LITTORALE : PROBLEMATIQUE

Ech : 1/

▼
SOGREAH
INGENIERIE

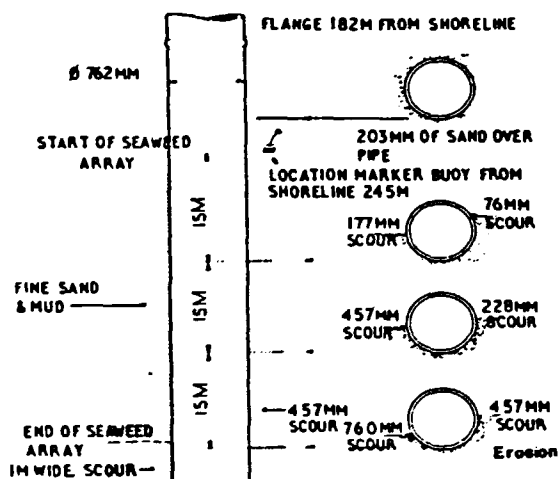
ALGUES ARTIFICIELLES
SYSTEME ICI
INFLUENCE DES ALGUES SUR LES COURANTS

5.1390

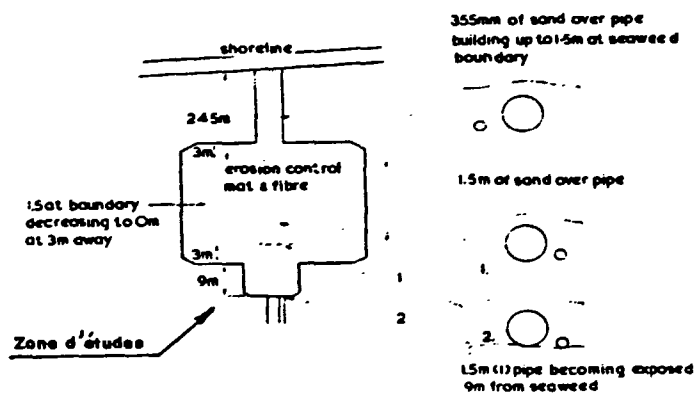
Fig. 2.30

A

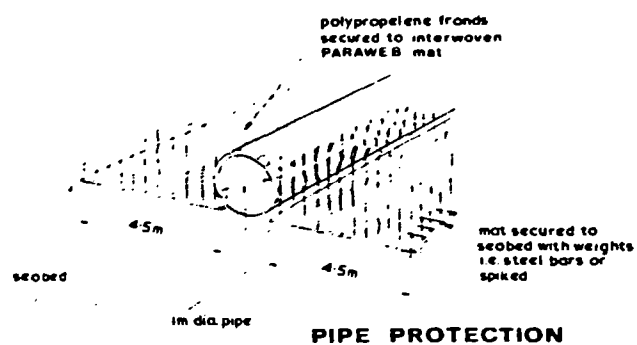
Exemple d'érosion autour d'un pipe



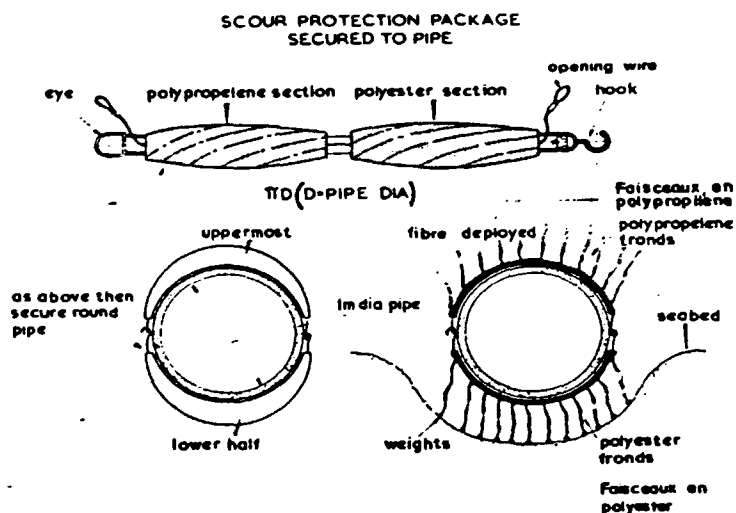
SURVEY REPORT AT 12-10-68 PRIOR TO INSTALLATION OF ICI EROSION CONTROL SYSTEM



SURVEY REPORT AT 26-1-69



PIPE PROTECTION



B

Schéma d'installation

mai 1993

PROTECTION LITTORALE : PROBLEMATIQUE

Ech : 1/

SOGREAH
INGENIERIE

ALGUES ARTIFICIELLES
SYSTEME ICI
PROTECTION DE PIPELINE

5.1390

Fig. 2.31

Le tableau ci-dessous résume les différents types de comportement dans le milieu marin des matériaux composant les lanieres.

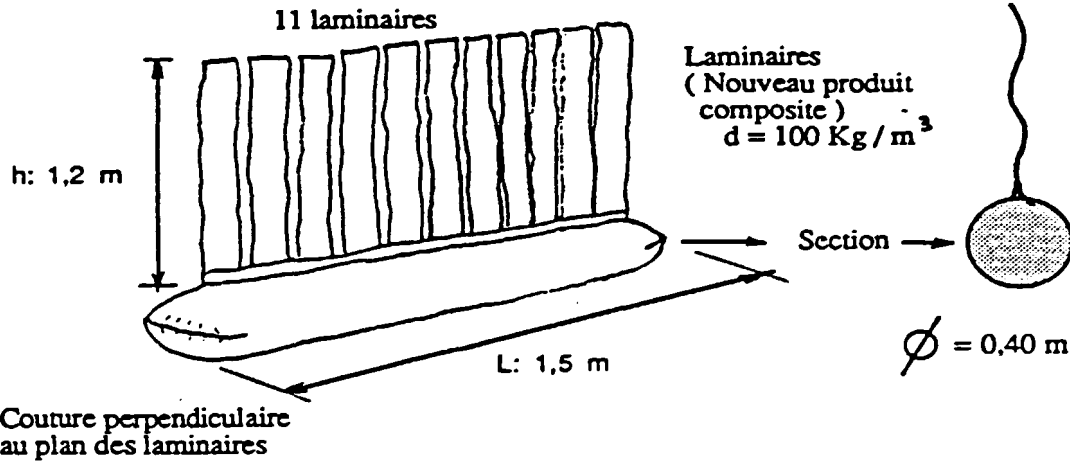
MATERIAUX	COMPORTEMENT IN SITU		
	RESISTANCE DES MATERIAUX	FOULING (FIXATION ALGALE)	EMMELEMENT
Bidim U.64	Bonne	Recouvrement très important en quelques semaines	Fréquent (matériau trop souple)
Bidim (fin) 170.TH	Bonne	Faible	Faible à moyen
. non traité	Léger chiffonnement du matériau	Léger film algal, quelques macroalgues	
. traité par une pulvérisation de silicone	Idem	Idem	Idem
Grille NEILON CE.111	Excellente (aucune dégradation)	Pas de fouling (pas de piégeage dans les grilles)	Faible à moyen (effet localisé d'accrochage des bordures de grilles)
Bâche industrielle	Excellente (aucune dégradation)	Pas de fouling. Le matériau reste lisse	Très faible à nul
Filet POOLTEX	Mauvaise (effilo-chement du matériau)	important sur les bordures qui s'effilochent	Fort (matériau trop souple et effiloche-ment des bordures favorisant l'emmê-lement)
Sealed Air	Mauvaise (cassant au point de scellement) explosion d'une partie des bulles sous la pression	Pas de fouling matériau lisse	Très faible à nul
Thermocover	Excellente (aucune dégradation)	Pas de fouling matériau lisse	Très faible à nul

Les observations in situ relatives au comportement des matériaux dans le milieu marin conduisent à ne retenir dans une première analyse que les matériaux suivants :

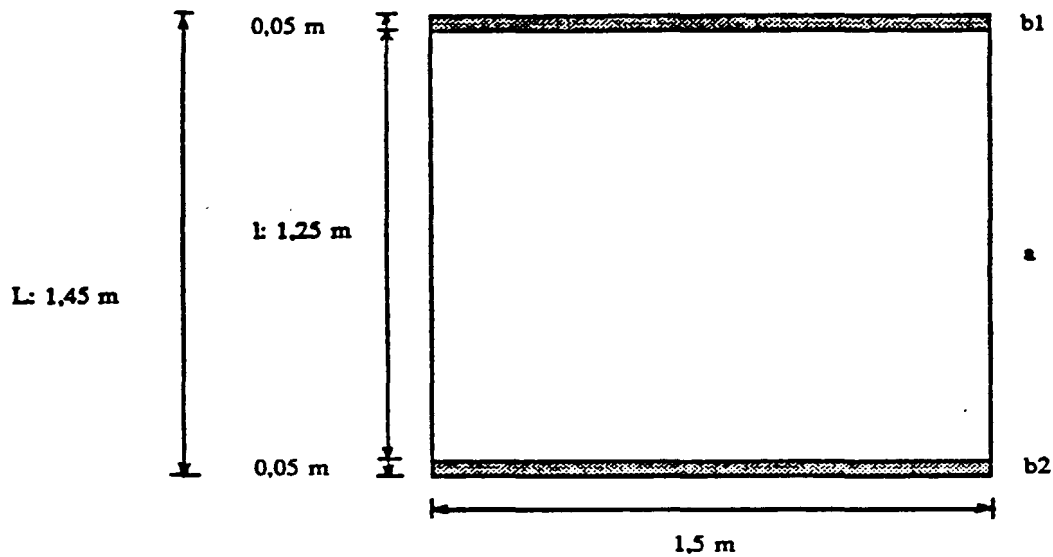
- thermocover,
- bâche industrielle,
- grille NEILON CE.111.

mai 1993	PROTECTION LITTORALE : PROBLEMATIQUE ALGUES ARTIFICIELLES ESSAIS DU C.E.T.E MEDITERRANEE	Ech : 1/
▼ SOGREAH		5.1390
INGENIERIE		Fig. 2.32

Sac d' ancrage du module :



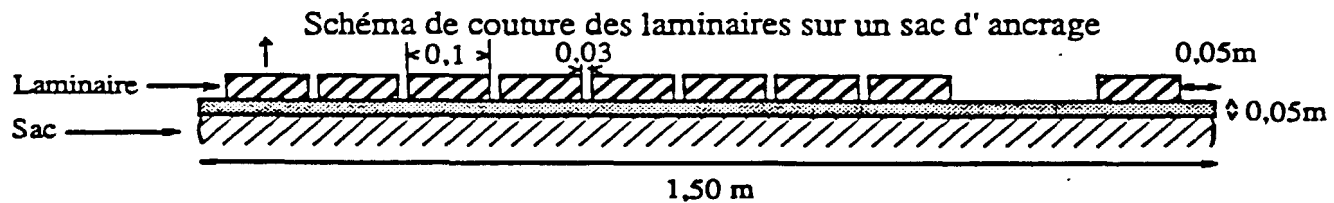
Plan de coupe d' un sac d' ancrage (Bidim U 64) :



a = section du sac

b1+b2 = recouvrement pour couture des laminaires

Couture des laminaires : Longueur du sac 1,5 m
 Largeur des laminaires 0,1 m
 Espacement entre laminaires 0,03 m
 Nombre de laminaires : 11 → 1,20m + 10 espacements de → 0,03m
 + 0,05 m à chaque extrémité du sac → L total = 1,5 m



mai 1993

PROTECTION LITTORALE : PROBLEMATIQUE

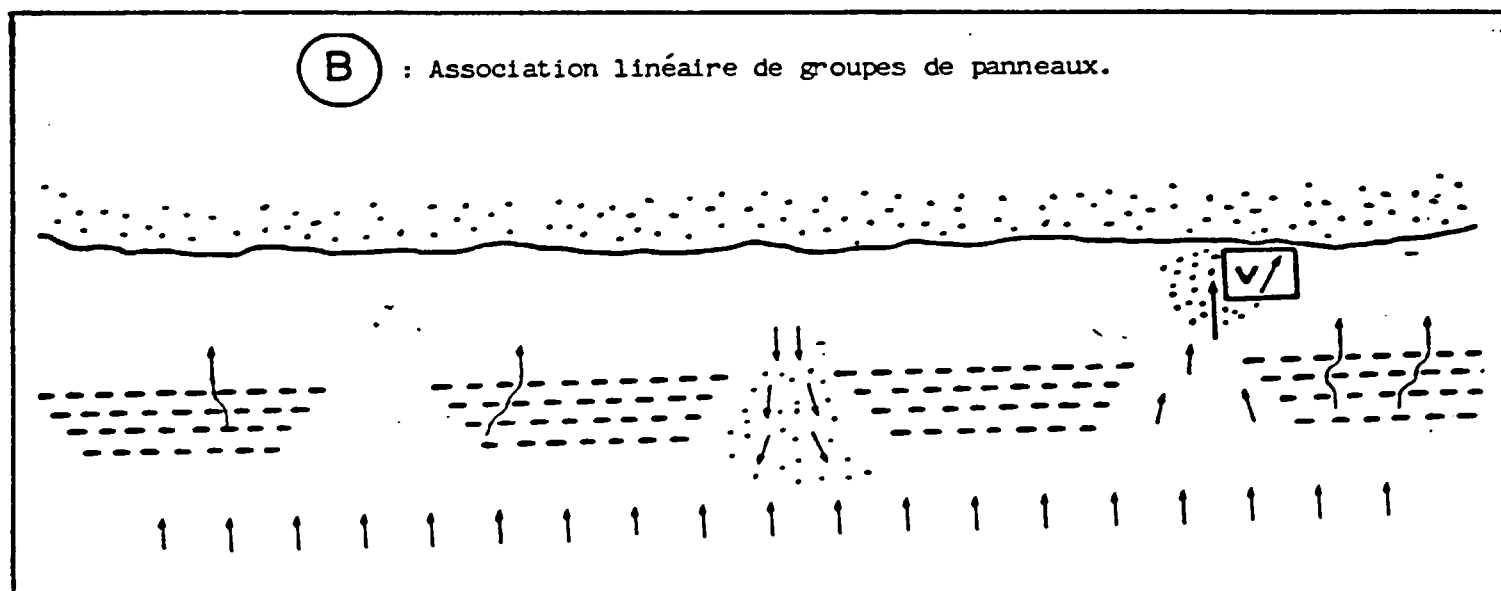
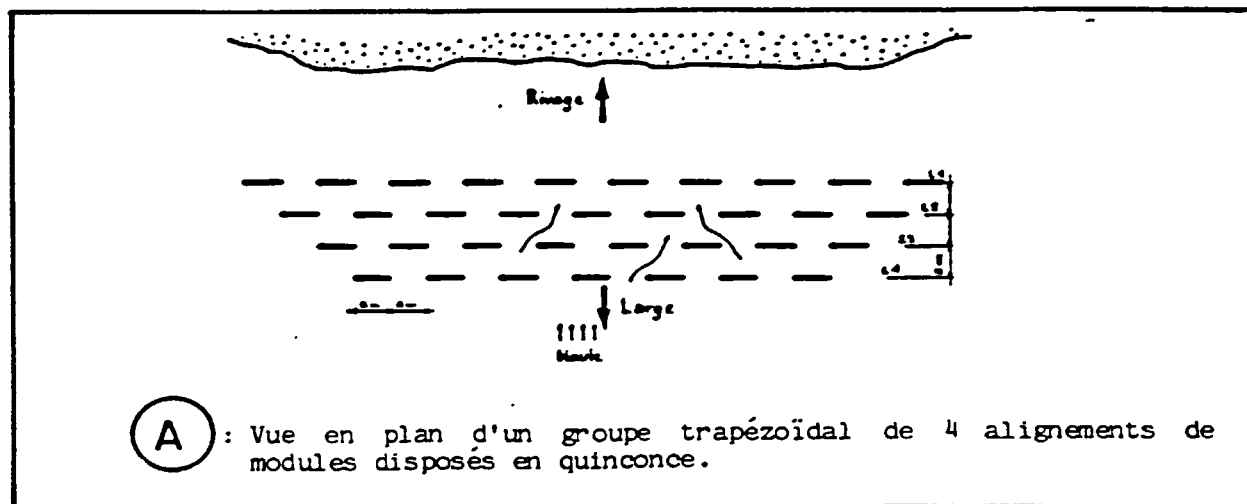
Ech : 1/

▼
SOGREAH
 INGENIERIE

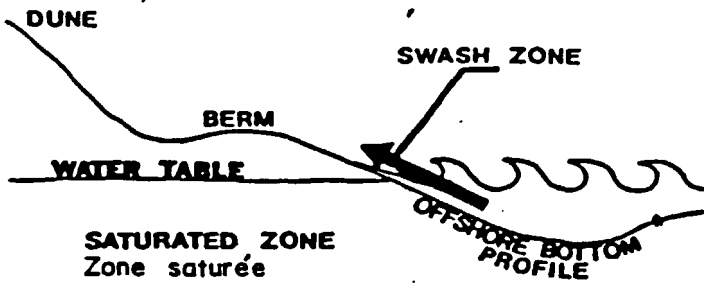
ALGUES ARTIFICIELLES
 ESSAIS DU C.E.T.E MEDITERRANEE
 EXEMPLE D'ANCRAGE

5.1390

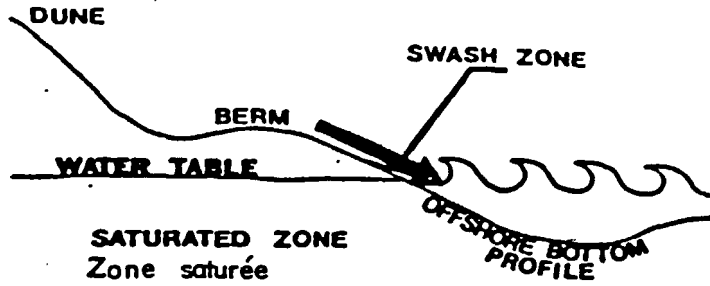
Fig. 2.33



mai 1993	PROTECTION LITTORALE : PROBLEMATIQUE	Ech : 1/
 SOGREAH INGENIERIE	ALGUES ARTIFICIELLES ESSAIS DU C.E.T.E MEDITERRANEE EXEMPLE DE DISPOSITION	5.1390 Fig. 2.34

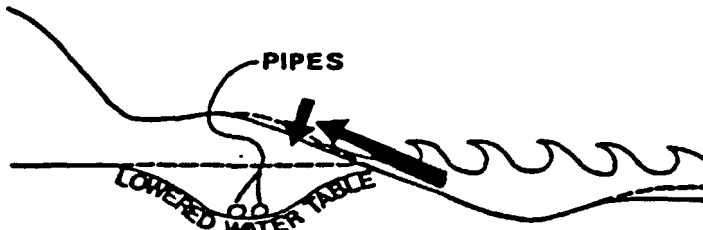


BEFORE
Fig. A - Wave runup on beachface (normal water table)
 Montée de la vague

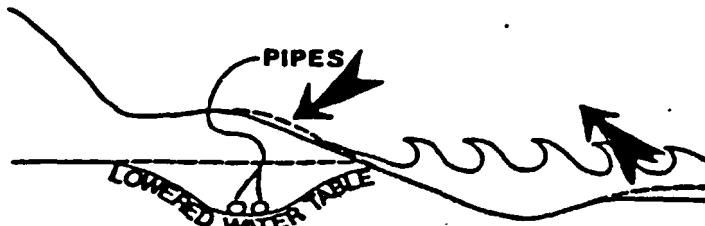


BEFORE
Fig. B - Backwash on beachface (normal water table)
 Descente de la vague

AVANT STABEACH SYSTEM



AFTER
Fig. C - Upwash and downward percolation with lowered water table
 Montée de la vague et percolation



AFTER
Fig. D - Change in offshore bottom profile: sand from offshore bar is added to beach by action of STABEACH System
 Modification de la barre

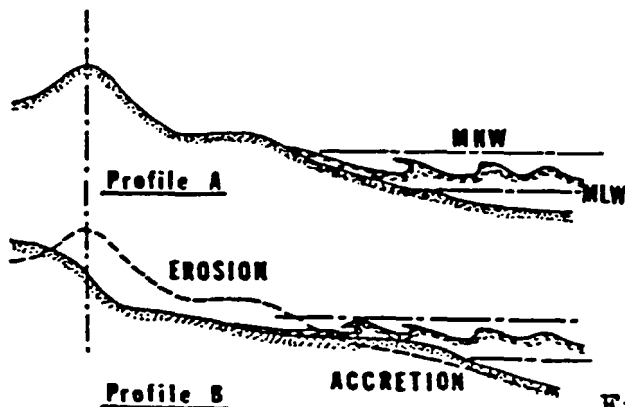


Fig. E - Profile A = Eté (summer)
 Profile B = Hiver (winter)

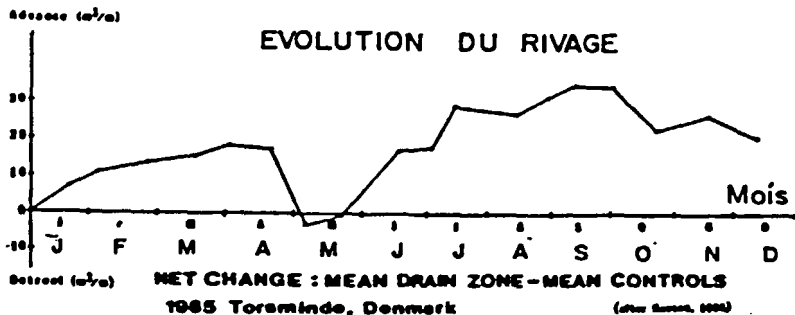


Fig. F - Net change (advance/retreat) in 1985 at Torsminde, Denmark. Average of treated zone profiles minus average of all control profiles

APRES STABEACH SYSTEM

mai 1993	PROTECTION LITTORALE : PROBLEMATIQUE	Ech : 1/
SOGREAH INGENIERIE	STABEACH SYSTEM PRINCIPE	5.1390
		Fig. 2.35

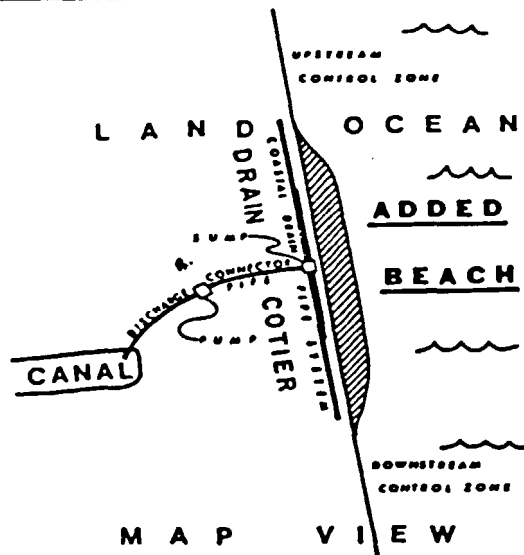


Fig. A - Diagrammatic plan (map) view of STABEACH installation
 Schema de l'installation

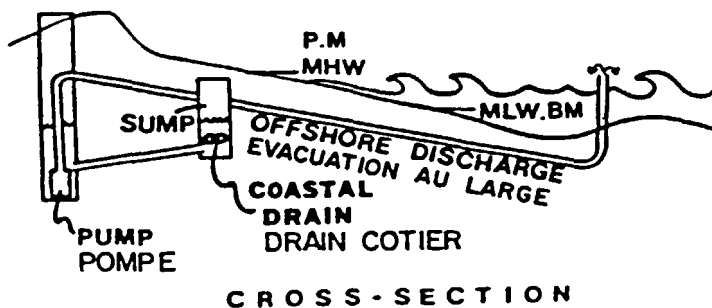
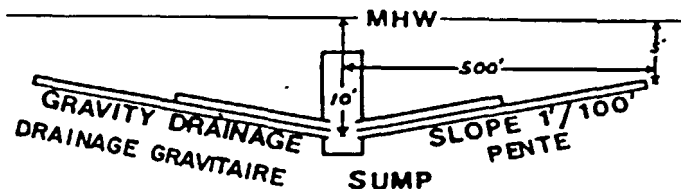


Fig. B - Cross-section perpendicular to beach trend of STABEACH System installation
 Section perpendiculaire a la plage



LONGITUDINAL SECTION
 SECTION LONGITUDINALE
 Fig. C - Longitudinal section parallel to beach (as viewed from sea) of buried pipes in relation to MHW on beachface

mai 1993

PROTECTION LITTORALE : PROBLEMATIQUE

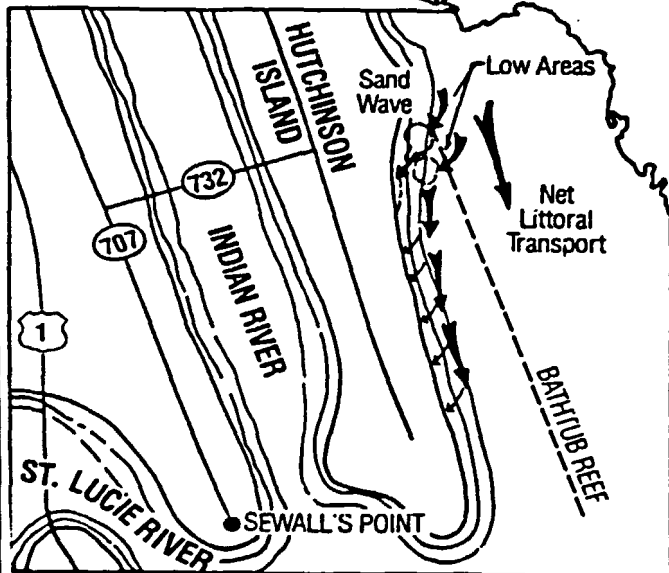
Ech : 1/

▼
SOGREAH
 INGENIERIE

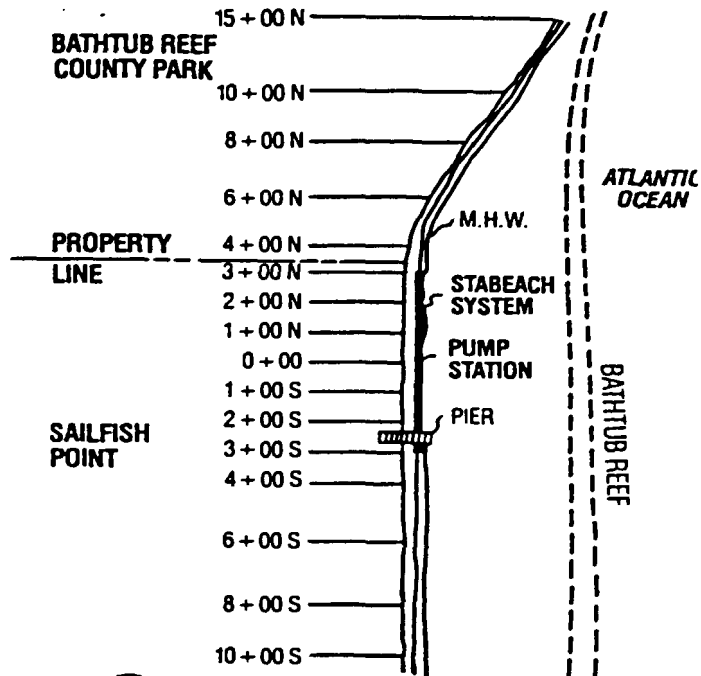
STABEACH SYSTEM
 INSTALLATION

5.1390

Fig. 2.36

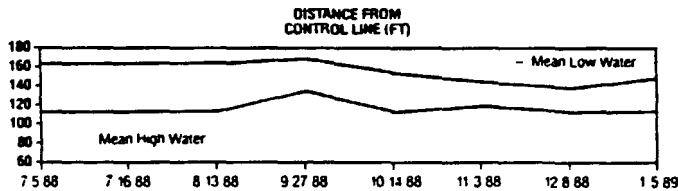


(A) General beach processes
Régime général de la plage

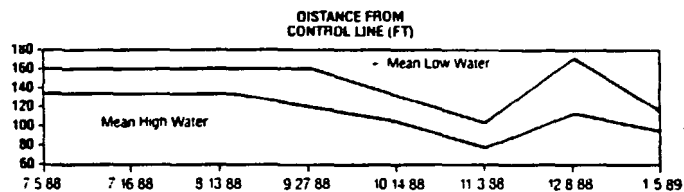


(B) Location of profile stations
Position des profils

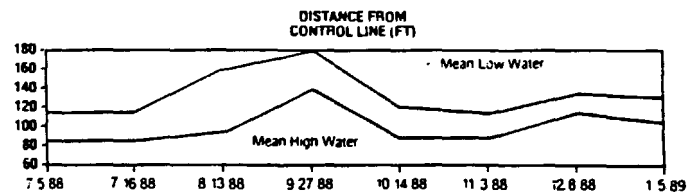
(C) Evolution de la largeur de la plage



Average beach width changes in STABEACH @ System zone.
Zone du stabeach system



Beach width changes
Station 8 + 00 North (Updrift) control zone.
Station 8 + 00 N



Beach width changes
Station 8 + 00 South (Downdrift) control zone.
Station 8 + 00 S

mai 1993

PROTECTION LITTORALE : PROBLEMATIQUE

Ech : 1/

SOGREAH
INGENIERIE

STABEACH SYSTEM
EXPERIENCES DE HUTCHINSON

5.1390

Fig. 2.37

S O G R E A H
INGENIERIE

mai 1993

PROTECTION LITTORALE : PROBLEMATIQUE
CORDON DE VILLENEUVE LES MAGUELLONE
IMPLANTATION DU CORDON

Ech : 1/

5.1390

Fig. 2.38

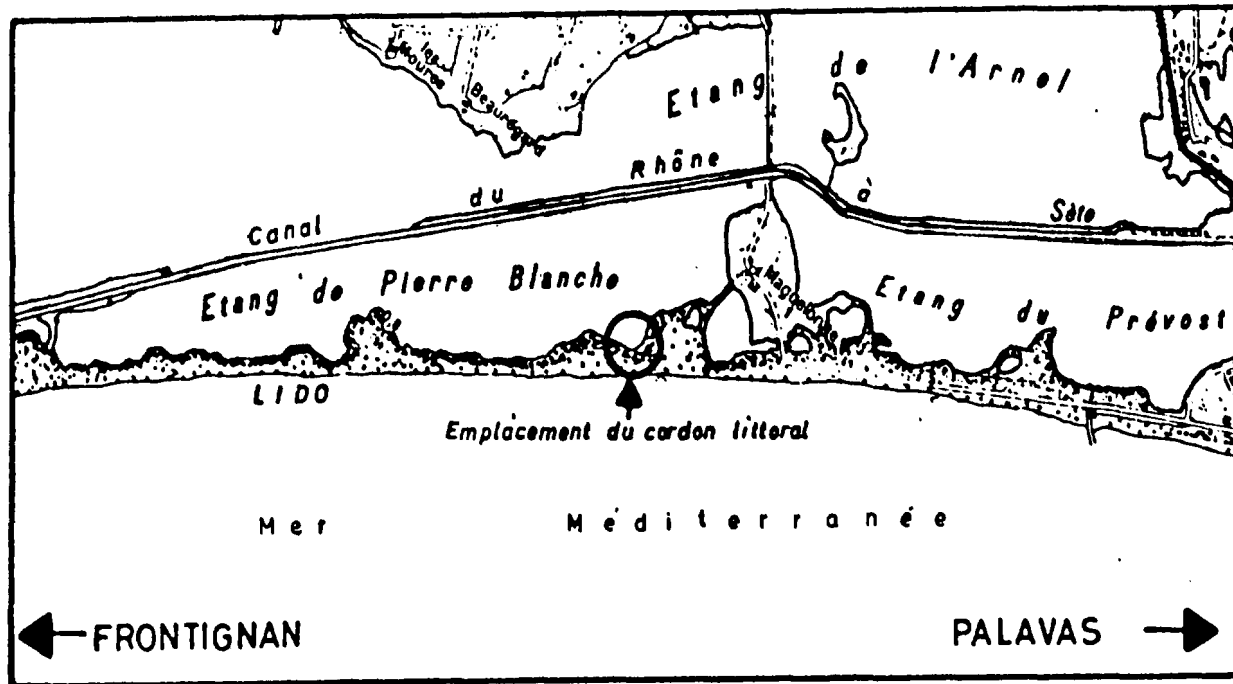
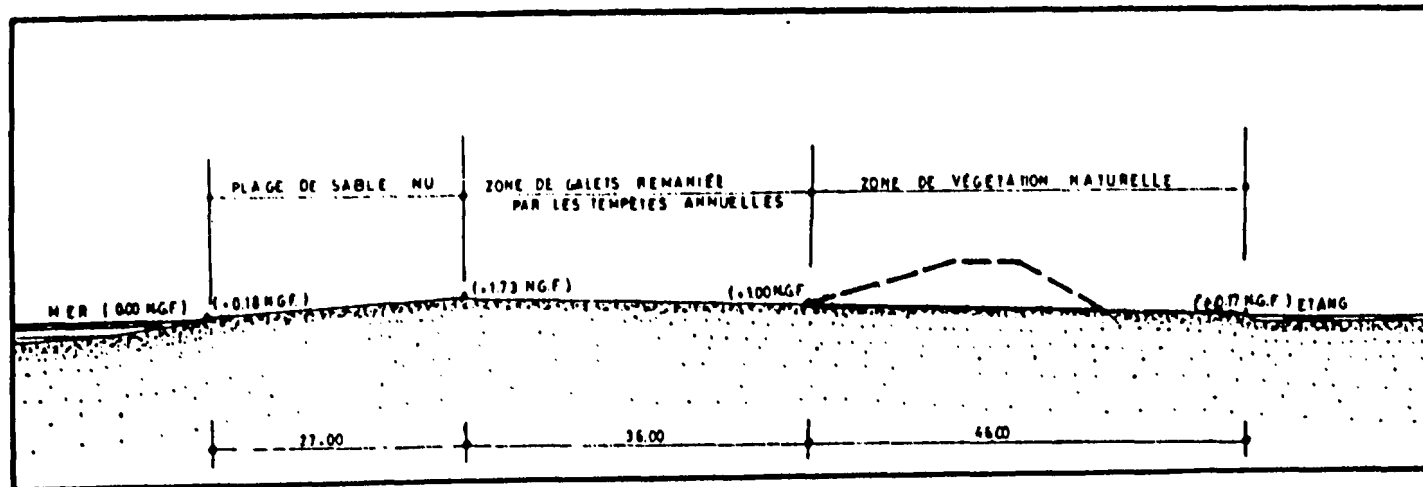


Fig A



FigB

Coupe du lido avant travaux

Coupe type de l'ouvrage

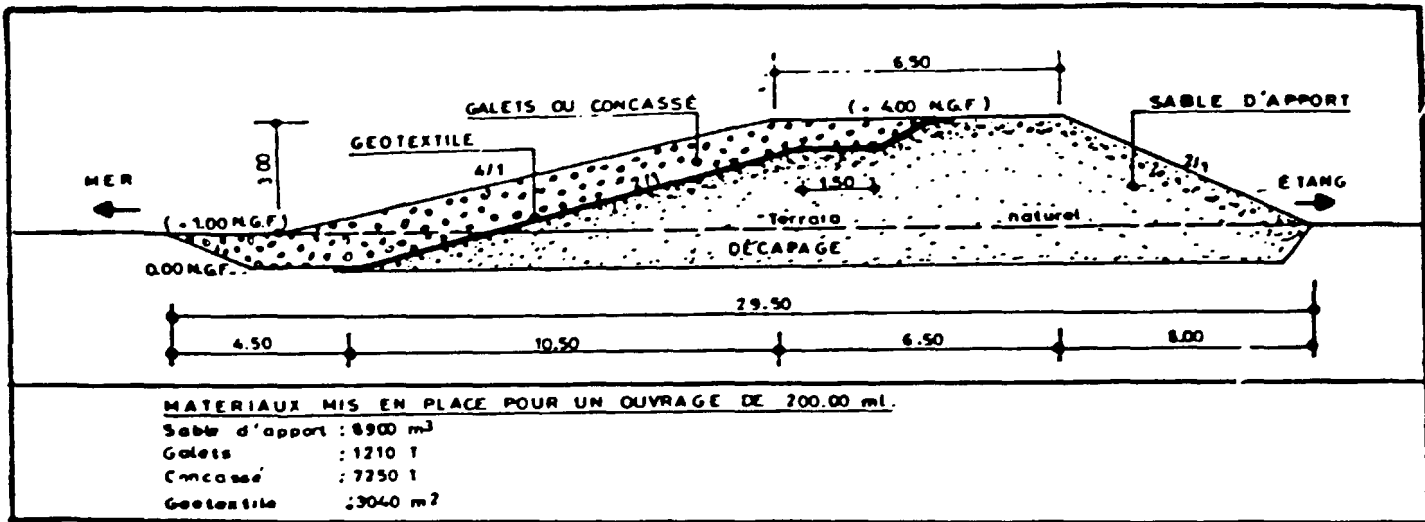


Fig. 3

Plantations

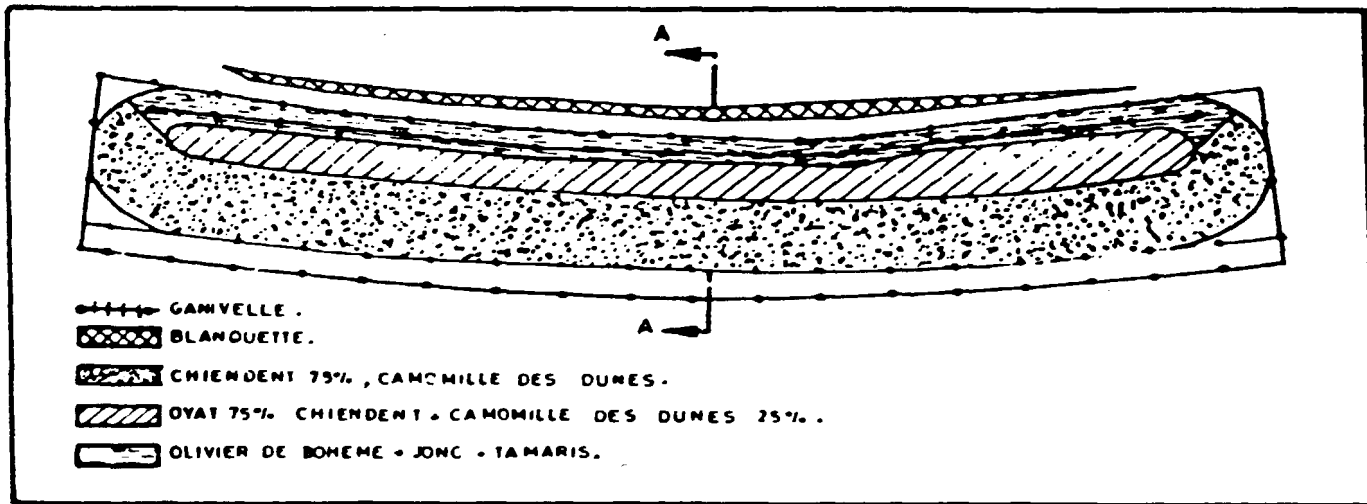
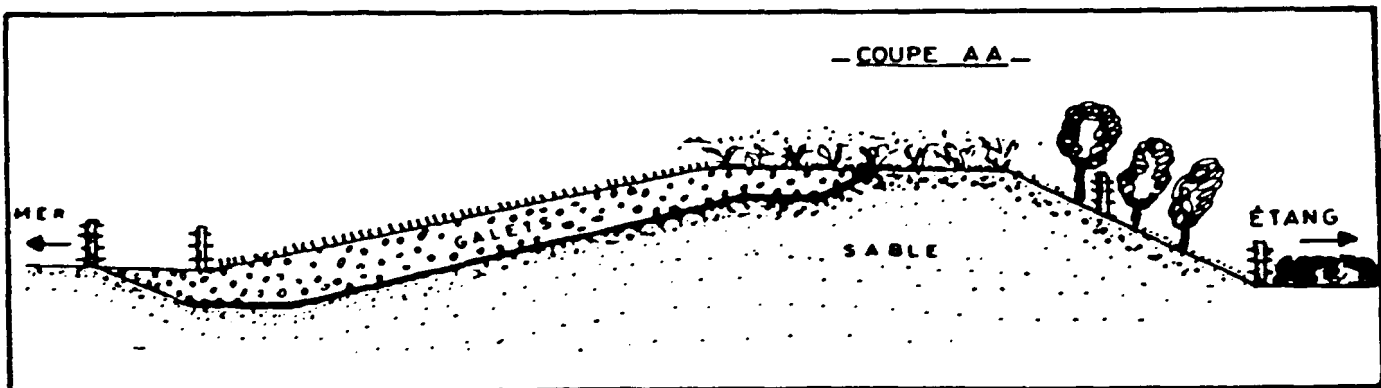


Fig. 4 et 5



mai 1993

PROTECTION LITTORALE : PROBLEMATIQUE

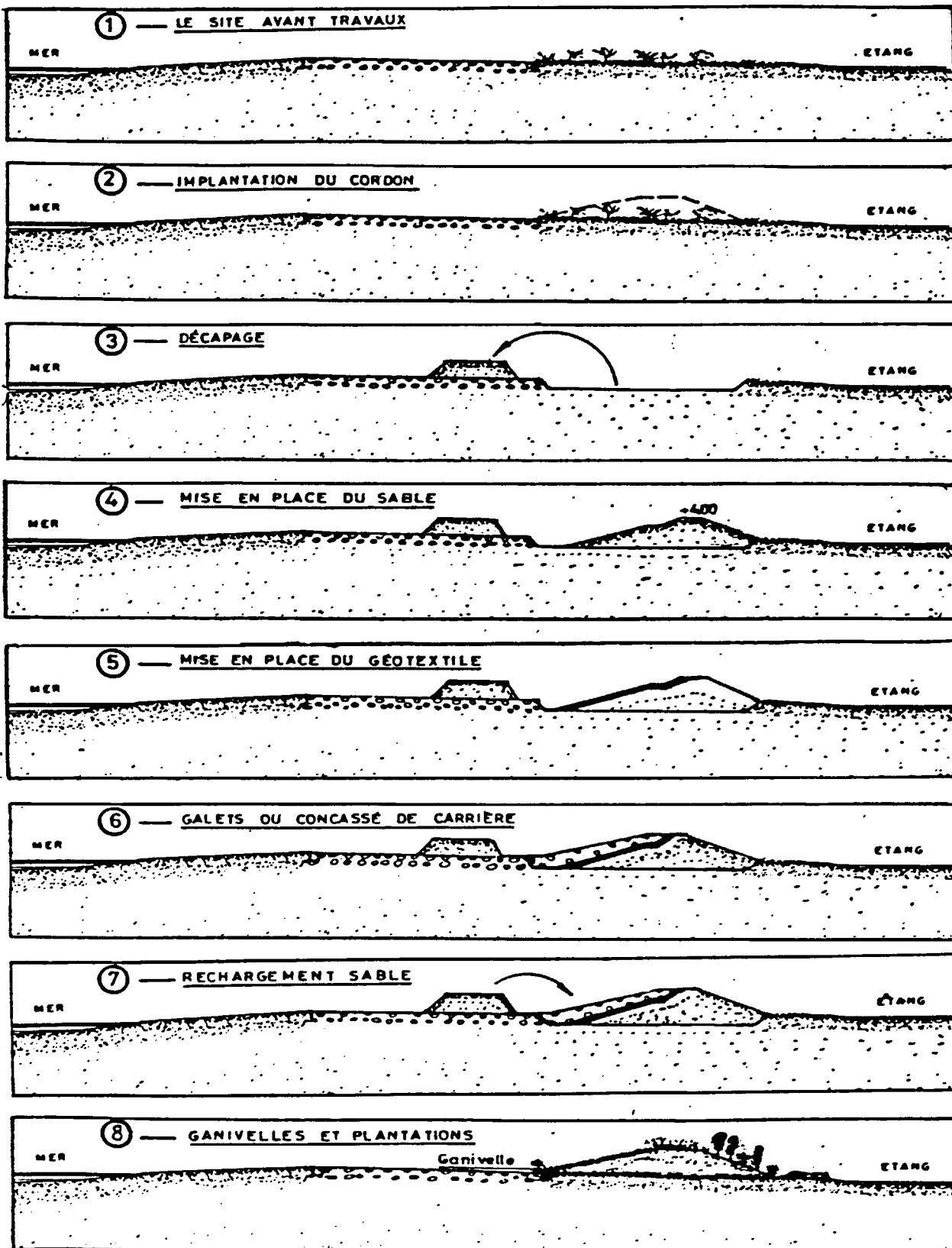
Ech : 1/

CORDON DE VILLENEUVE LES MAGUILLONE
COUPES DES OUVRAGES

5.1390

▼
SOGREAH
INGENIERIE

Fig. 2.39



mai 1993

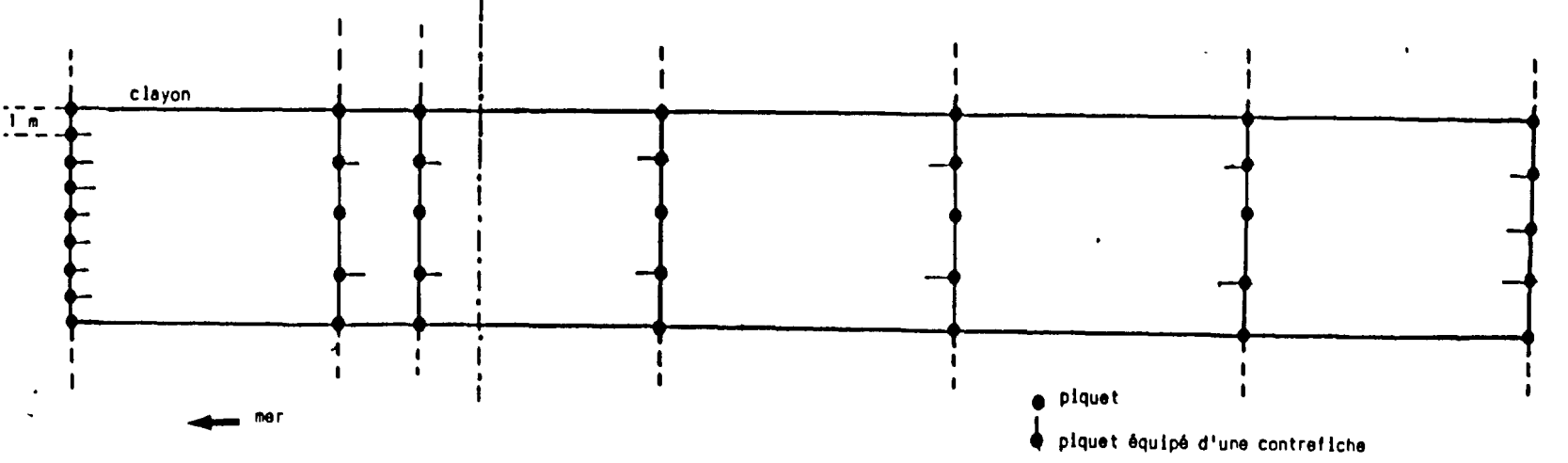
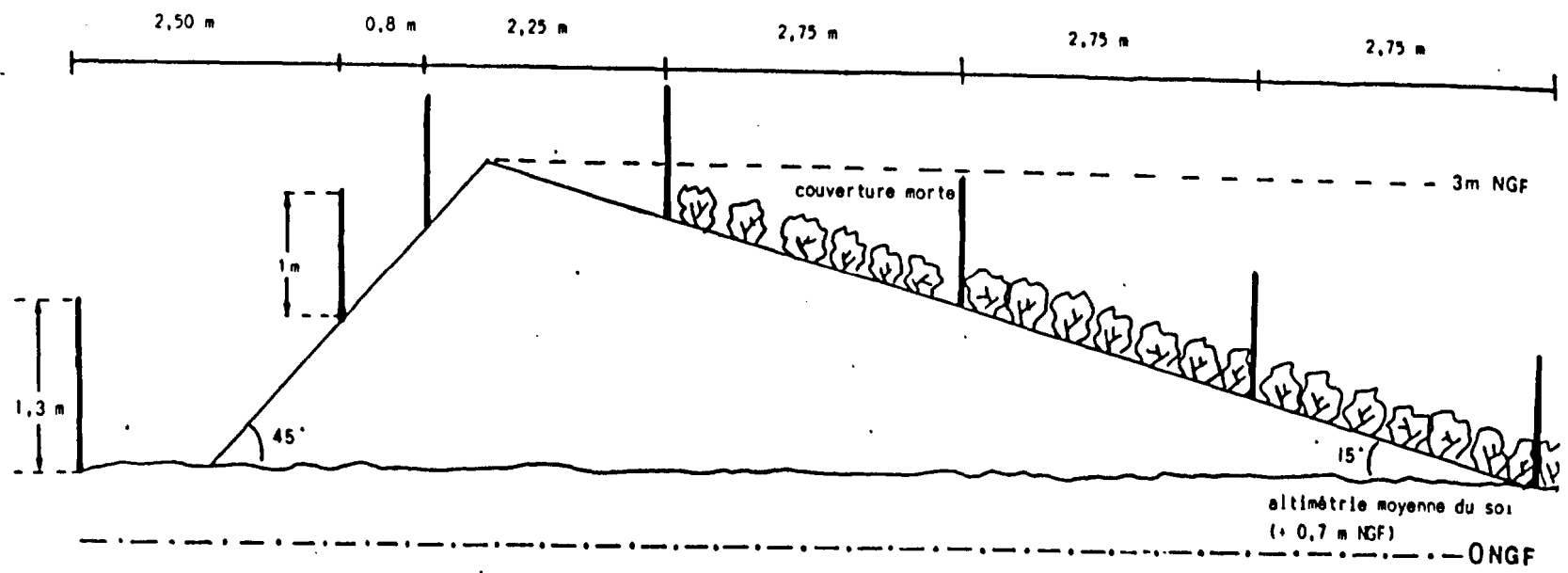
PROTECTION LITTORALE : PROBLEMATIQUE
CORDON DE VILLENEUVE LES MAGUELLONE
MODE DE CONSTRUCTION

Ech : 1/

5.1390

Fig. 2.40

▼
SOGREAH
 INGENIERIE



mai 1993

SOGREAH
INGENIERIE

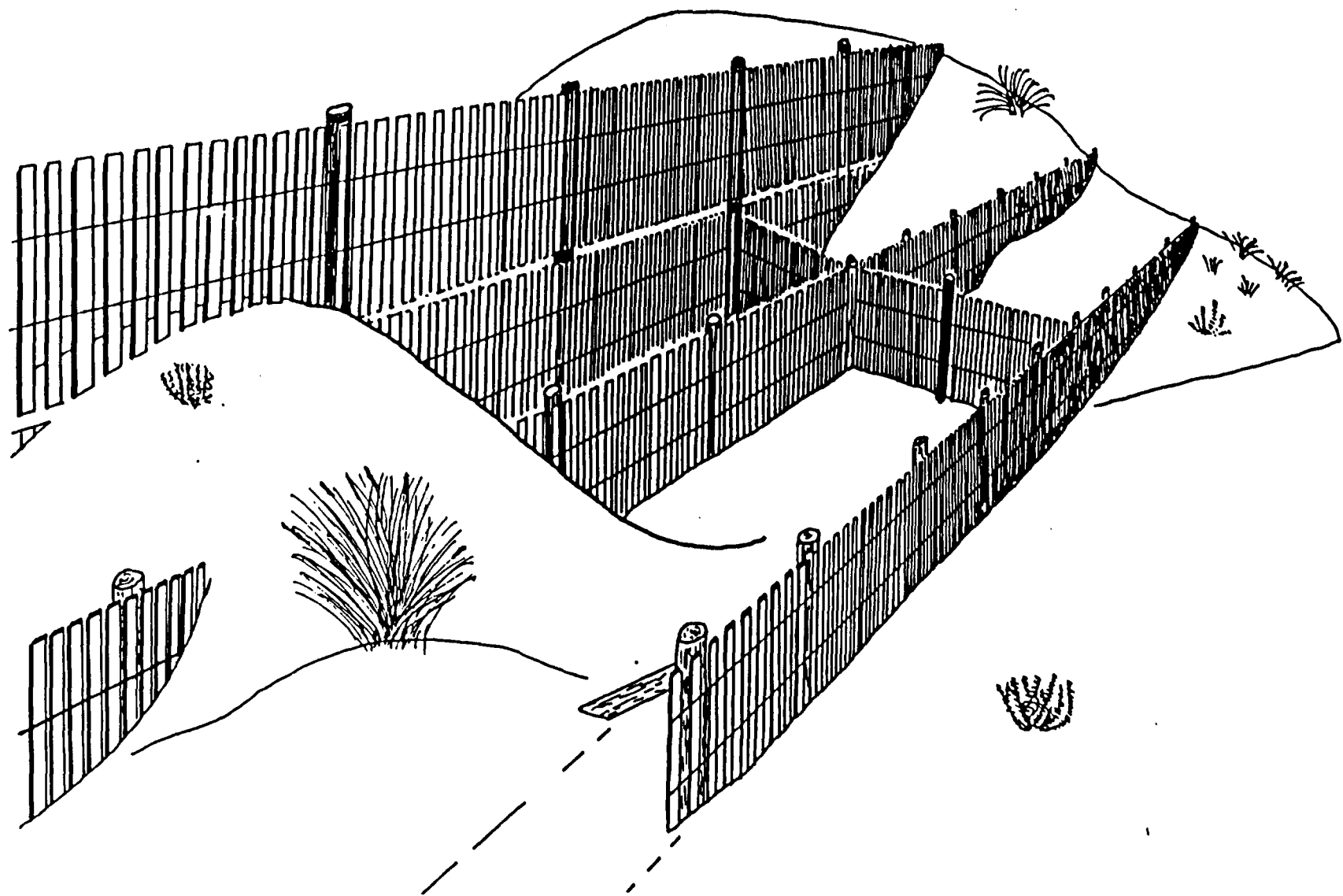
PROTECTION LITTORALE : PROBLEMATIQUE
AMENAGEMENTS DE DUNES
THEY DE LA GRACIEUSE

Ech : 1/

5.1390

Fig. 2.41

EST GRACIEUSE – PLAN EN PERSPECTIVE DE L'OUVRAGE



mai 1993

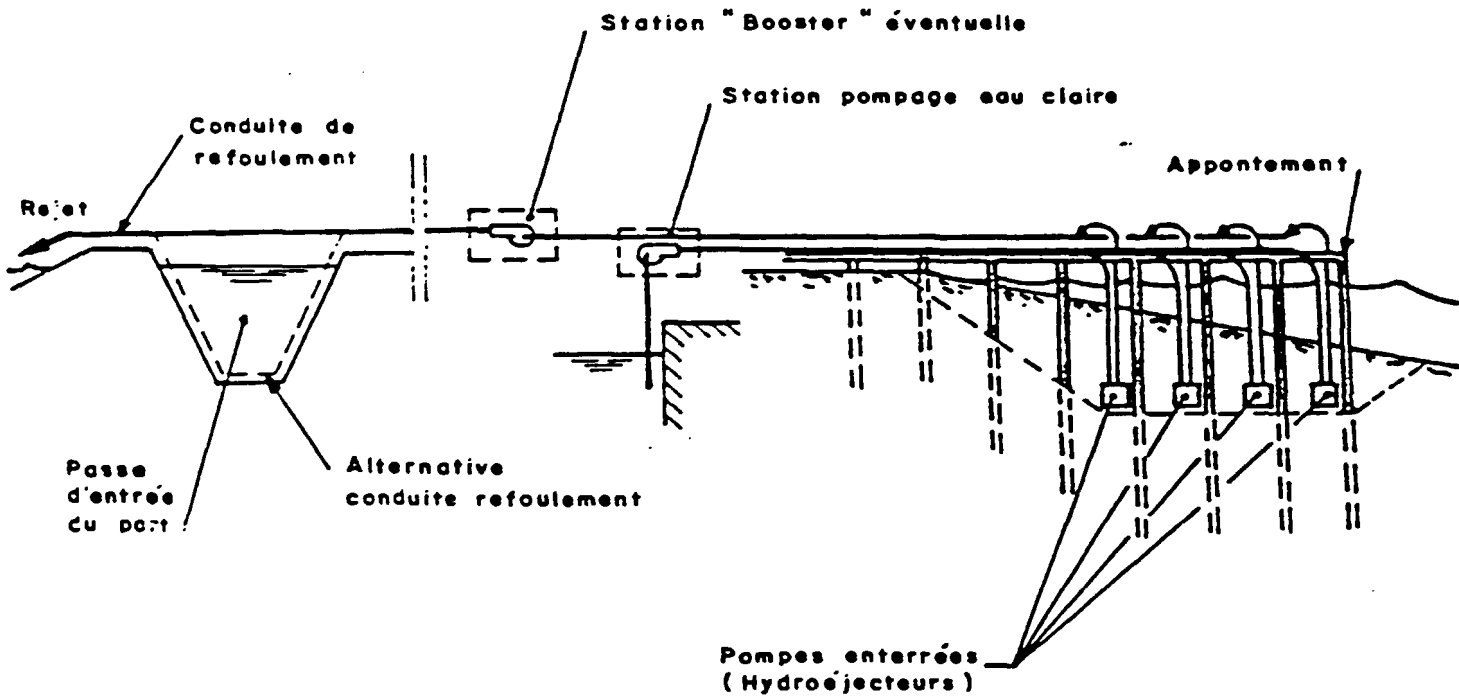
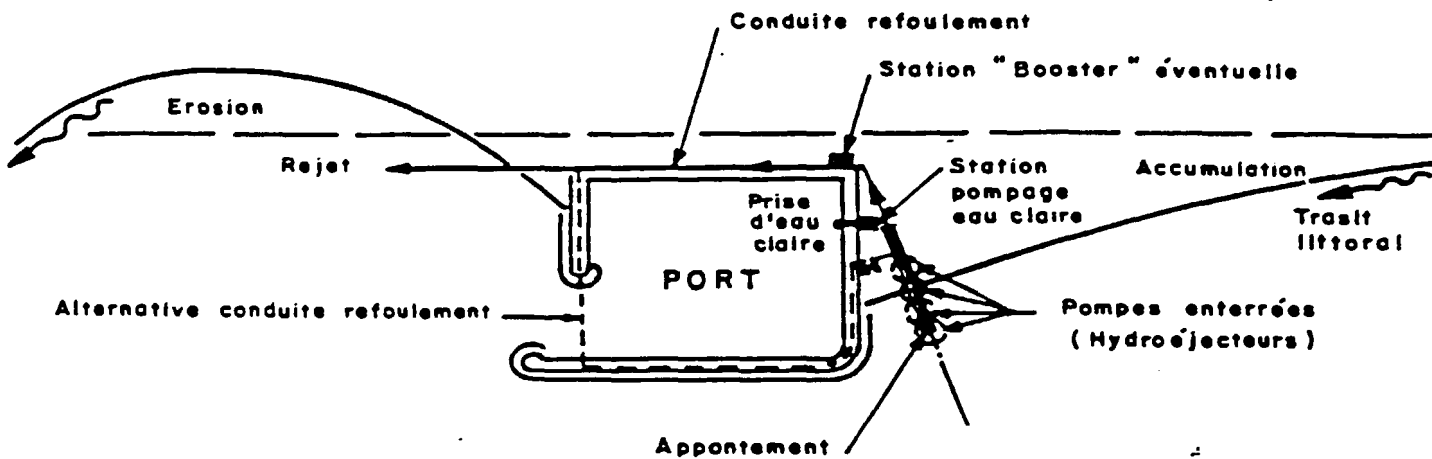
▼
S O G R E A H
INGENIERIE


PROTECTION LITTORALE : PROBLEMATIQUE
AMENAGEMENTS DE DUNES
THEY DE LA GRACIEUSE
VUE DE L'OUVRAGE

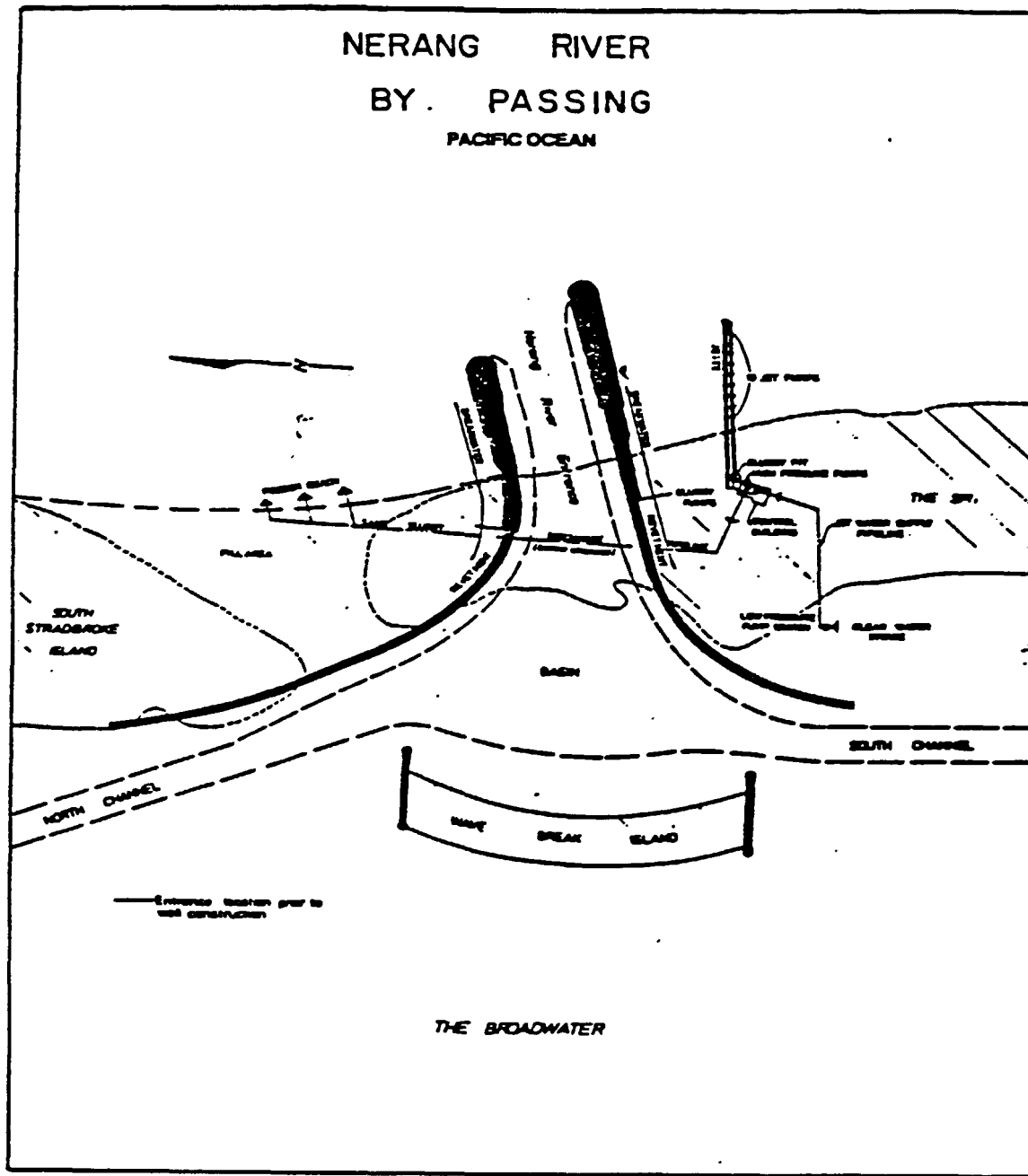
Ech : 1/

5.1390

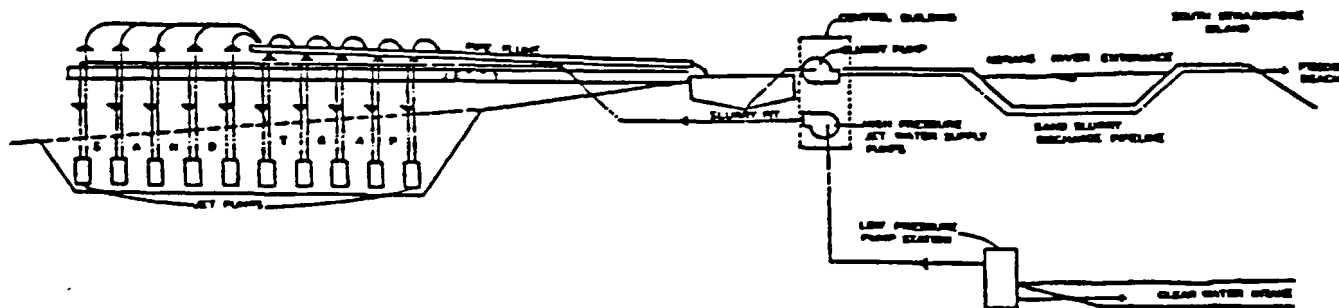
Fig. 2.42



mai 1993	PROTECTION LITTORALE : PROBLEMATIQUE	Ech : 1/
 SOGREAH INGENIERIE	BY-PASSING SCHEMA DE PRINCIPE	5.1390 Fig. 2.43



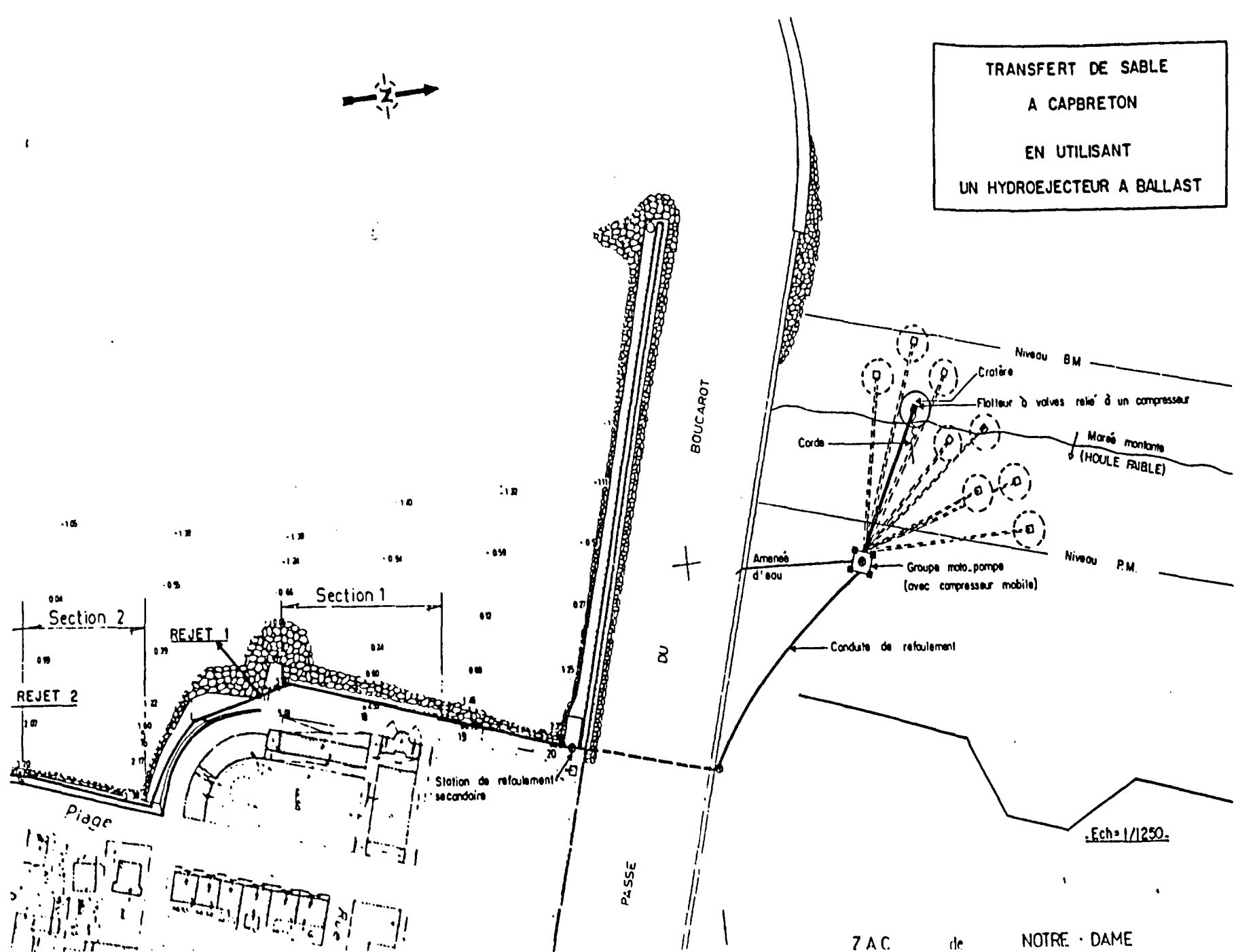
Nerang River entrance—general arrangement.



Schematic diagram of sand bypassing system.

mai 1993	PROTECTION LITTORALE : PROBLEMATIQUE	Ech : 1/
▼ SOGREAH INGENERIE	BY-PASSING NERANG RIVER	5.1390
		Fig. 2.44

TRANSFERT DE SABLE
 A CAPBRETON
 EN UTILISANT
 UN HYDROEJECTEUR A BALLAST



7 A C de NOTRE DAME

mai 1993

S O G R E A H
 INGENIERIE

PROTECTION LITORALE : PROBLEMATIQUE

BY-PASSING
 PROJET DE CAP BRETON

Ech : 1/

5.1390

Fig. 2.45

mai 1993
SOGREAH
INGENIERIE

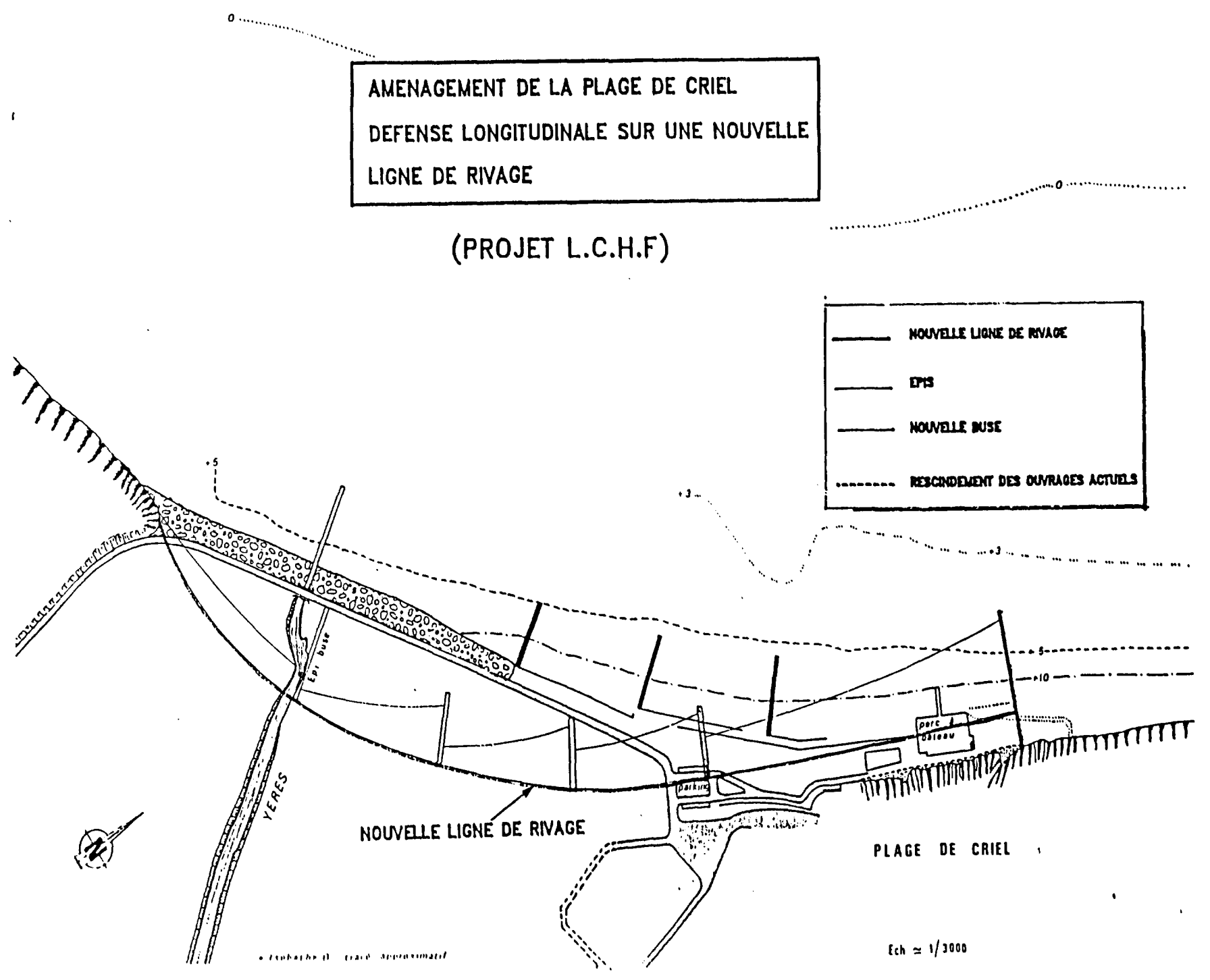
PROTECTION LITTORALE : PROBLEMATIQUE
RECU L'ACCEPTÉ DU LITTORAL
EXEMPLE DE CRIEL

Ech : 1/
5.1390
Fig. 2.46

AMENAGEMENT DE LA PLAGE DE CRIEL
DEFENSE LONGITUDINALE SUR UNE NOUVELLE
LIGNE DE RIVAGE

(PROJET L.C.H.F)

NOUVELLE LIGNE DE RIVAGE
EPIS
NOUVELLE BUSE
RESCINDEMENT DES OUVRAGES ACTUELS

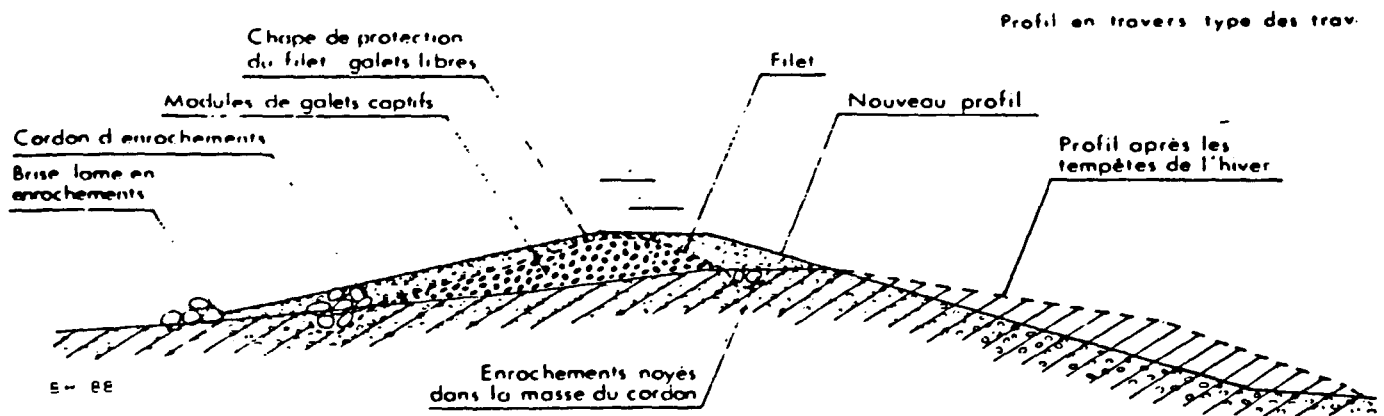


NOUVELLE LIGNE DE RIVAGE

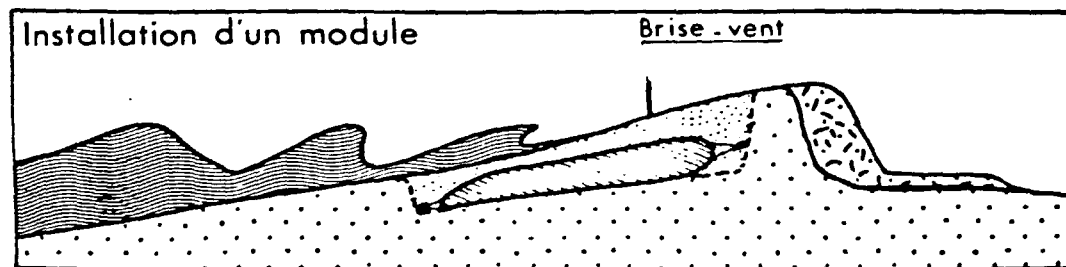
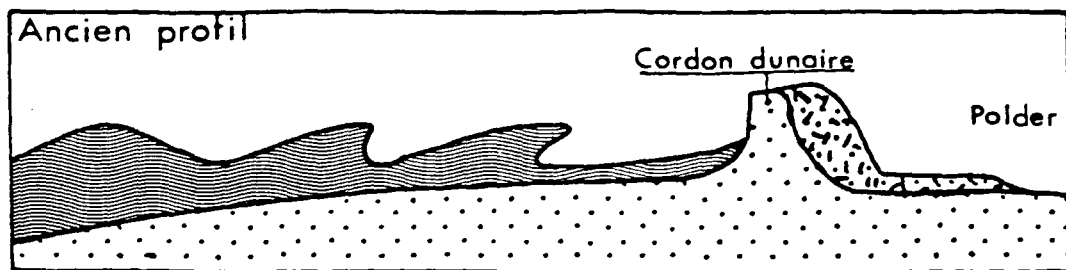
PLAGE DE CRIEL

Ech = 1/3000

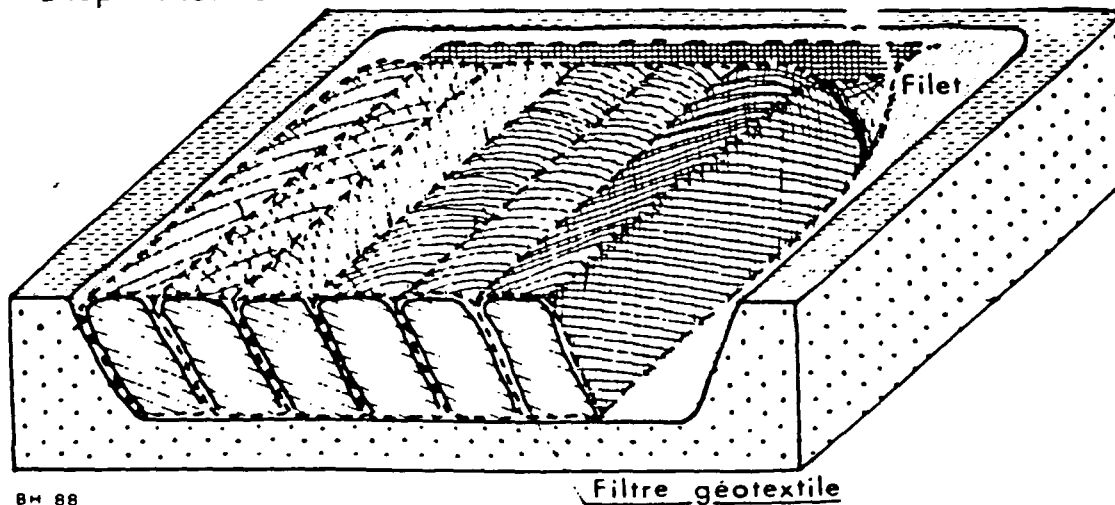
(A) Commune de Pleubian . Consolidation du Sillon du Talbert



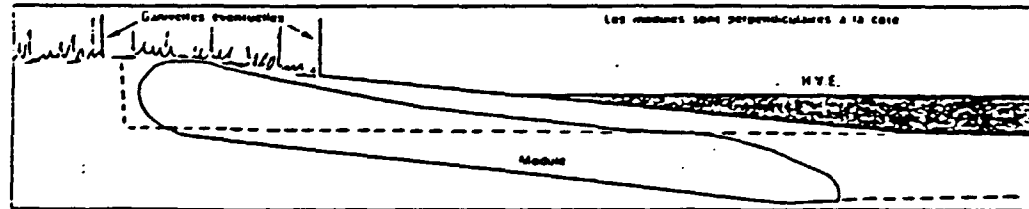
(B) Commune de Combrit . Site du Treustel.
Protection du littoral par géoconteneurs de sable



Disposition des modules

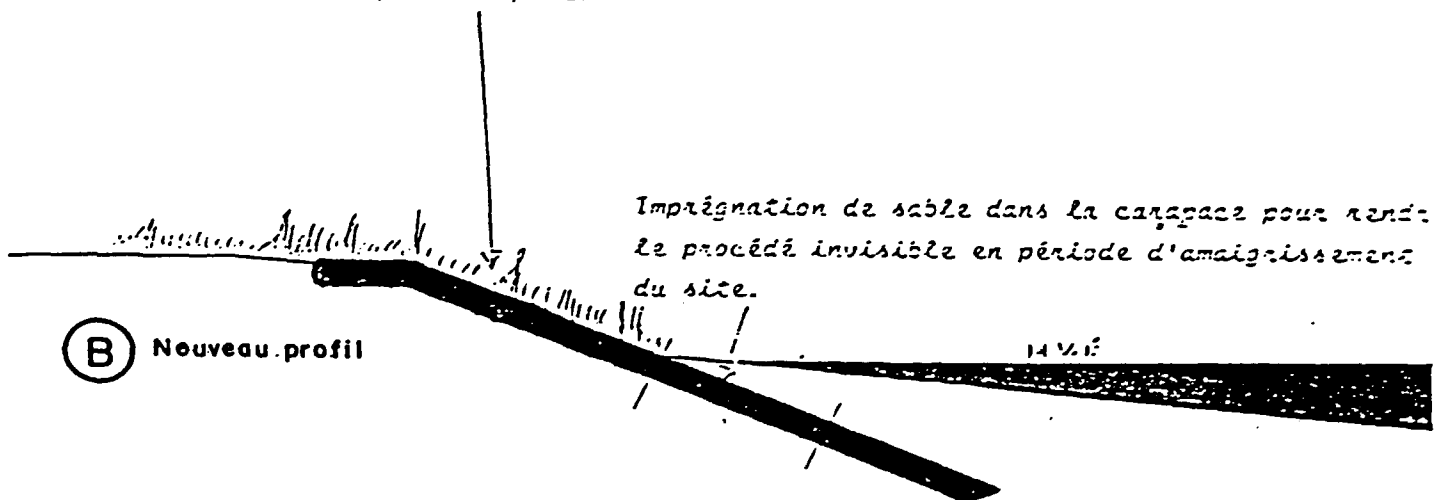


COUPS PROFIL EN TRAVERS
Les moines sont perpendiculaires à la côte



(A) Ancien profil

Végétation mise en direct sur le composite carapace pour permettre le piétinement et un meilleur ancrage des racines en cas de forte tempête.



(B) Nouveau profil

mai 1993

PROTECTION LITTORALE : PROBLEMATIQUE

Ech : 1/

▼
SOGREAH
INGENIERIE

GEOTEXTILES
PROCEDE CORNIC

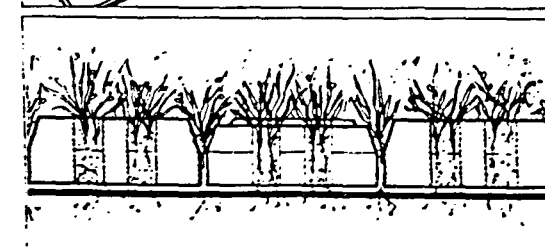
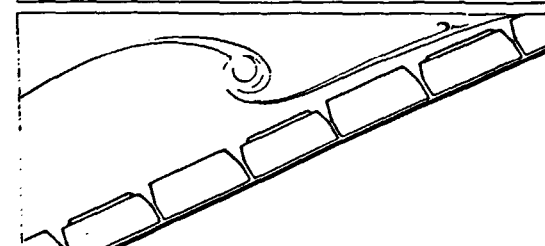
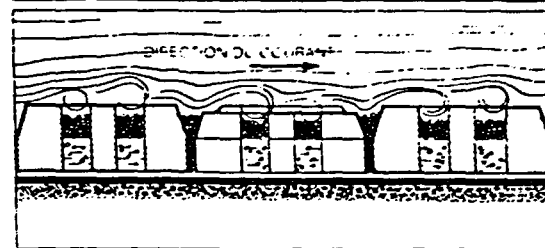
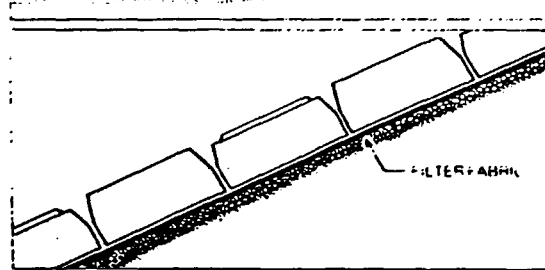
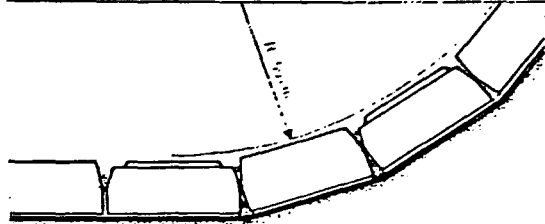
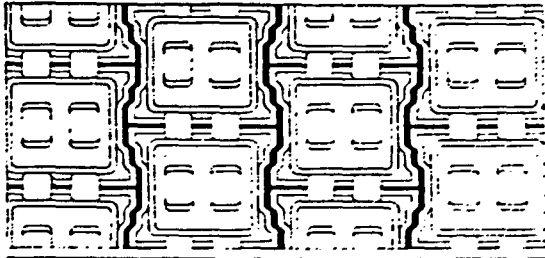
5.1390

Fig. 2.48

ARMORFLEX



Nicolon, manufacturer and supplier of synthetic filter fabrics and of Gobimat[®] introduces a new concrete mattress system: ARMORFLEX[®].



ARMORFLEX[®]

Armorflex[®] is a concrete mattress system, developed, tested and used in the United States (Alaska) and Canada. Armorflex[®] is introduced in Europe for heavy shore protection by Nicolon.

Armorflex[®] construction

Armorflex[®] is made up of compressed concrete blocks which are linked longitudinally by cables, and laterally by an unique profile (interlocking), creating a stretcher bond. Manufacture is conducted in accordance with NEN 7024. The specially profiled interlocking concrete blocks can also be supplied as loose green brick.

Armorflex[®] dimensions

Armorflex[®] is supplied in mattress form, standard dimensions 600 x 120 cm (palletized) and 600 x 240 cm for wheeled transport. For transport by ship to a maximum size of 600 x 300 cm. Other sizes can be supplied upon request. Steel cables, dia. 4 - 6 mm, are employed, depending on the thickness of the block and the dimensions of the mat. The cables are attached with specially designed clamps.

Lifting- and laying beam

Mats can be positioned simply and quickly by means of a lifting- and laying beam that is made available to the contractor.

Anchoring

When laying on steep inclines, screw anchors can be fitted.

Filter fabric

An item of major importance to the system, the synthetic filter fabric, is fitted underneath the Armorflex[®]. This is a complete granular filtration system which, on account of its water permeability, prevents over pressures and the sand density avoids subsoil erosion.

Flexibility

Armorflex[®] blocks are interconnected by means of cables. These blocks have bevelled edges, in order to provide flexibility in all directions.

Stability

Armorflex[®] assures constant shore protection, being an uniformly continuous form of erosion protection. Stability against wave action is greatly enhanced by filling the cavities in the blocks.

Resistance against currents

The Armorflex[®] system can be supplied with either open or enclosed blocks, offering a combination of weight and surface roughness. Surface roughness creates loss of energy in turbulent flows by forming eddies in the open cells and deviations of the direction of flow, resulting in reduced flow velocity.

Wave run-up

Armorflex[®], on account of its unique profile, reduces wave run-up by approximately 30%, compared with smooth bank protection. This in turn means that the height of the protective feature can be decreased.

Setting of loose Armorflex[®] blocks

The concrete blocks can also be supplied in the form of loose green bricks. Individual blocks are interconnected by special plastic pins. Blocks are supplied as panels.

mai 1993

PROTECTION LITTORALE : PROBLEMATIQUE

Ech : 1/

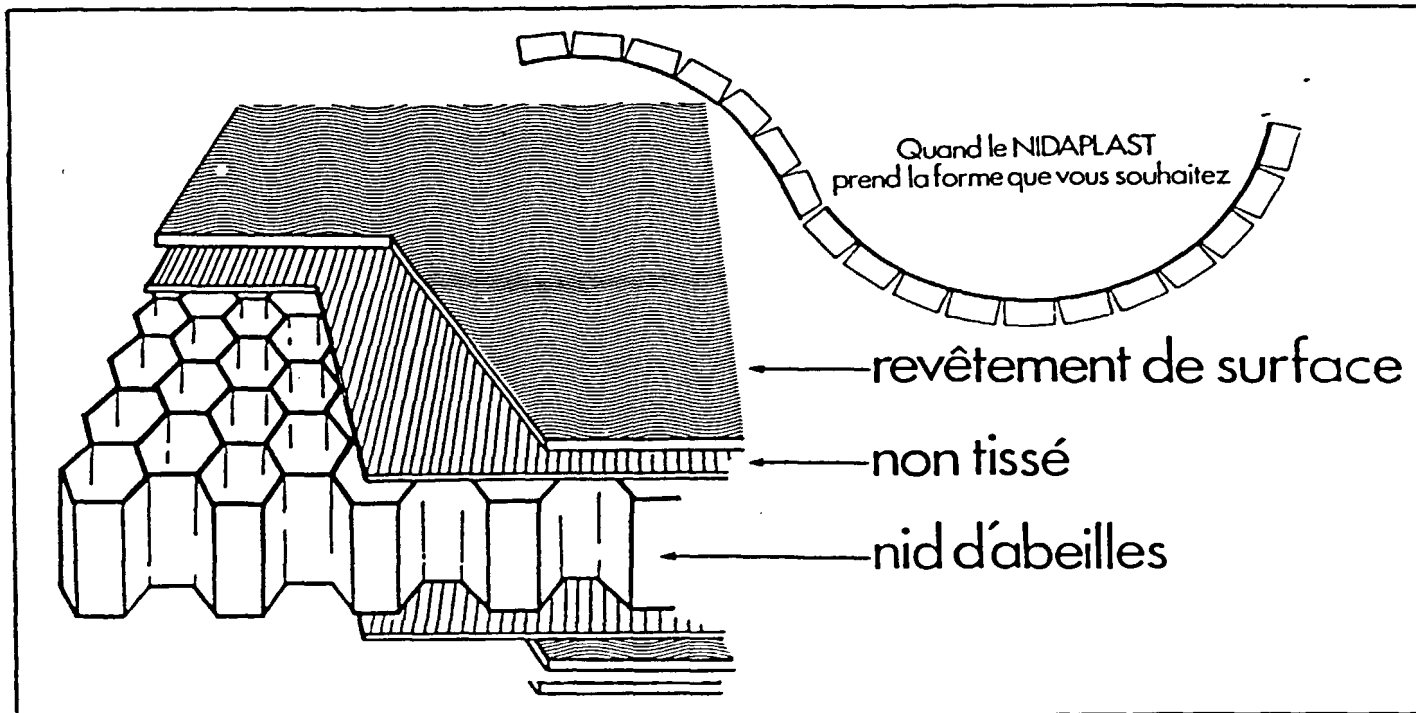
5.1390

▼
SOGREAH
INGENIERIE

ARMORFLEX

Fig. 2.49

NIDAPLAST



DANS L'INDUSTRIE

Utilisation de panneaux NIDAPLAST pour structure composite.

A titre d'exemple :

- panneaux pour utilisation dans les véhicules utilitaires (camions, camionnettes etc.)
- panneaux pour construction de bateaux (ponts, coques, cloisons...)
- portes arrière pour camions
- emballage
- construction de shelters
- utilisation dans la construction aéronautique
- pour tous types de panneaux et structure rigide etc.

Dimensions standard des panneaux NIDAPLAST en nid d'abeilles avec « non-tissé » de polyester :

- 1,25 m × 2,50 ml
- 1,00 m × 2,50 ml
- 0,50 m × 2,50 ml

Autres dimensions sur demande
Épaisseur sur demande.

DANS LE BATIMENT

Utilisation de panneaux NIDAPLAST pour structure composite :

A titre d'exemple :

- cloisons fixes ou mobiles
- planchers légers
- planchers industriels
- panneaux de toiture ou bardage
- pour bâtiment industriel, panneaux de revêtement de façade
- coffrage manuel ou coffrage de grandes dimensions
- poutre et structure de grandes dimensions
- mur antibruit
- remplissage de vide sanitaire etc.

Dimensions des panneaux NIDAPLAST, en nid d'abeilles, avec ou sans « non-tissé » de polyester :

- 1,25 m × 2,50 ml
- 1,00 m × 2,50 ml
- 0,50 m × 2,50 ml

Autres dimensions sur demande
Épaisseur sur demande.

DANS LES TRAVAUX PUBLICS

Le NIDAPLAST peut être utilisé en grand volume vu sa résistance et sa légèreté permet de nombreuses utilisations :

A titre d'exemple :

- Remblais allégés pour routes et aut routes
- Remblais au droit des culées et des murs de soutènement
- Murs pour fondation
- Micro pieux
- Allègement d'ouvrages d'art
- Structure de chaussées avec remplissage en sable
- Dalles de trottoir et caniveaux etc.

Dimensions des blocs NIDAPLAST :

- 0,50 ml × 2,00 ml × 1,00 ml
- 1,00 ml × 1,00 ml × 2,00 ml

Autres dimensions sur demande

Deux types de NIDAPLAST sont actuellement réalisés :

NIDAPLAST H 8 PP

Structure alvéolaire nid d'abeilles
Dimensions des alvéoles : 8 m/m en polypropylène
(utilisé pour l'industrie et le bâtiment)

NIDAPLAST H 20 PP

Structure alvéolaire nid d'abeilles
Dimensions des alvéoles : 20 m/m en polypropylène
(utilisé pour le bâtiment et les travaux publics)

mai 1993

PROTECTION LITTORALE : PROBLEMATIQUE

Ech : 1/

▼
SOGREAH
INGENIERIE

GEOTEXTILES
NIDAPLAST

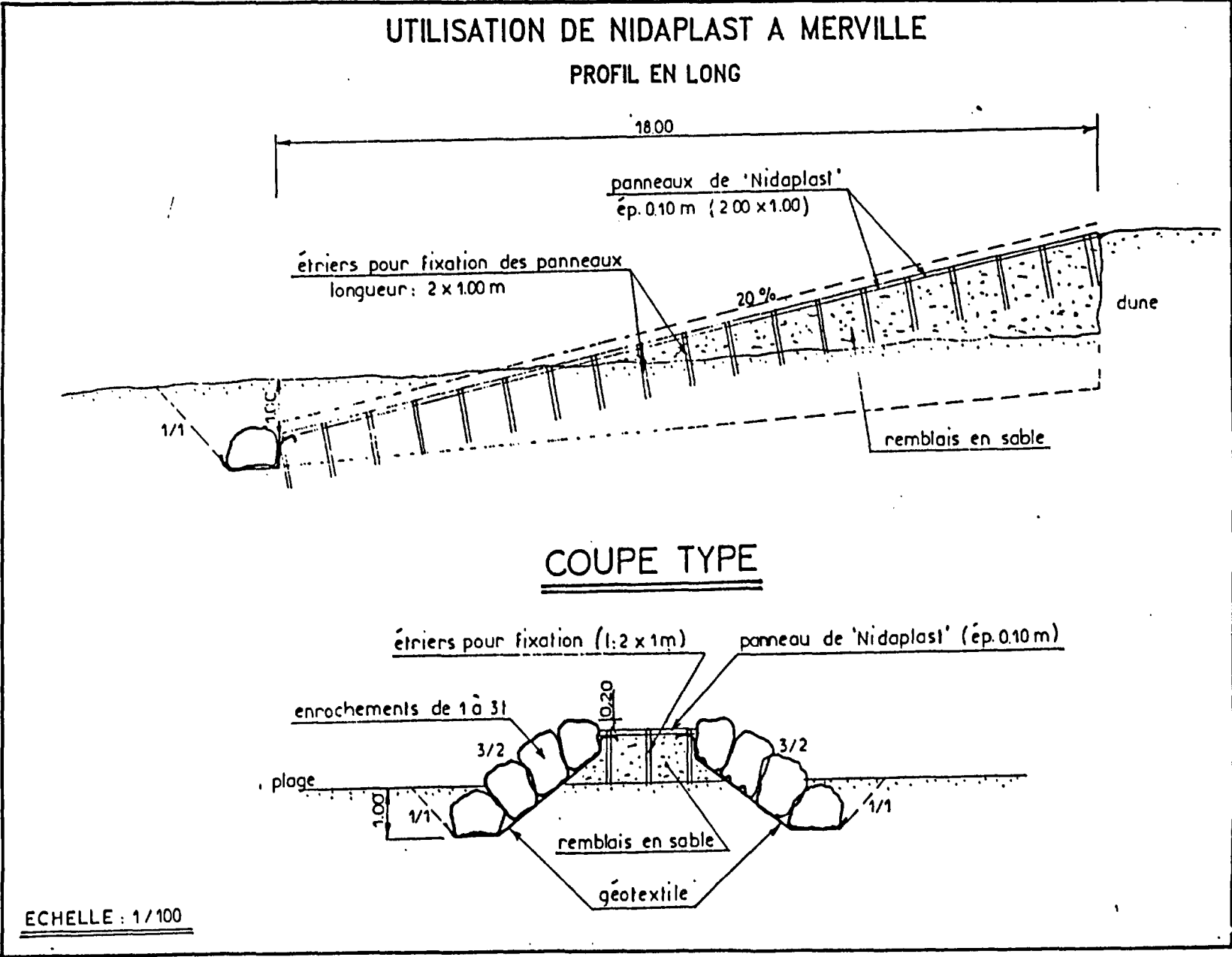
5.1390

Fig. 2.50

mai 1993
SOGREAH
INGENIERIE

PROTECTION LITTORALE : PROBLEMATIQUE
NIDAPLAST
EXPERIENCES DE MERVILLE

Ech : 1/
5.1390
Fig. 2.51



ENKAMAT

Storage, handling and laying guide

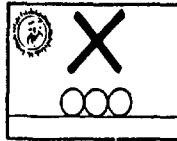
Standard Enkamat Detailed laying guide

PROTECTION LITORALE : PROBLEMATIQUE

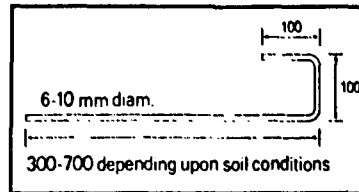
GEOTEXTILE
 ENKAMAT

Storage

It is advisable to avoid prolonged exposure of Enkamat to sunlight, and the covering of any rolls remaining in storage for long periods is recommended.



Fixing pin details



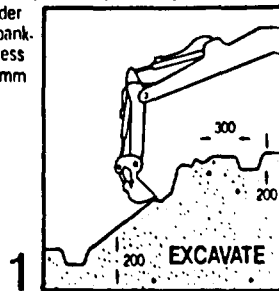
Note:

The establishment of vegetation both above and below the water line is an important factor which should not be under-estimated. For this reason the following points should be considered:

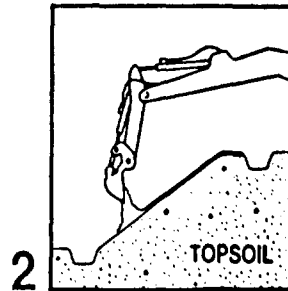
- (a) Soil conditions under the Enkamat should be capable of supporting good growth.
- (b) Seed mixtures should be chosen to suit the particular soil, ground and climatic conditions as well as land use. Please contact us for further information.
- (c) The use of fertilisers and hydrophilic materials can prove beneficial in establishing vegetation.

Laying

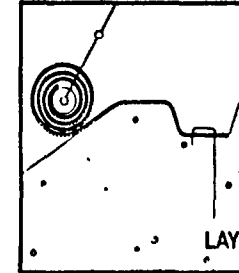
Excavate slope to a smooth surface, free from vegetation roots, stones etc. filling any voids. The slope must be stable and should be properly compacted. Excavate anchor trenches at the toe and shoulder of the embankment not less than 200 mm deep



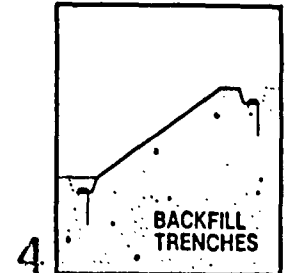
IMPORTANT Spread top soil, 50-100 mm being an optimum thickness although any top soiling is to be encouraged. SEE NOTE ABOVE.



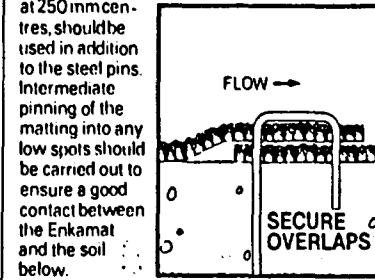
Place matting in either trench, pin at 1 metre centres and unroll Enkamat. Enkamat 7220 and 7210 should be laid flat-back down.



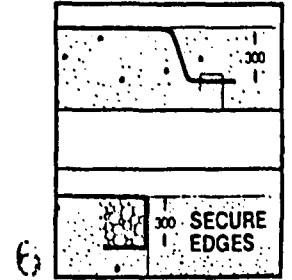
Cut to length with sharp knife and pin at 1 metre centres into other trench. Backfill anchor trenches.



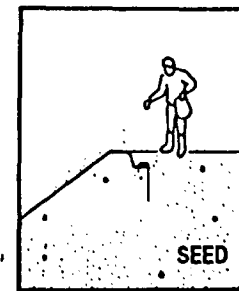
Overlaps of 150 mm should be made with the upstream section laid over the downstream section. All overlaps should be pinned at 1m centres, and it is recommended that 70 mm plastic pegs, placed at 250 mm centres, should be used in addition to the steel pins.



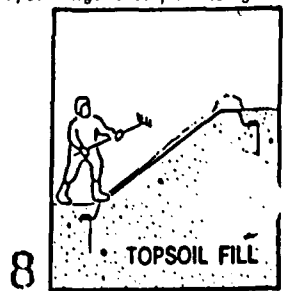
Free edges should be adequately secured - see overleaf for alternative details.



IMPORTANT Seed the area above normal water level with 30 g/m² of suitable seed, and plant rhizomes below normal water level. SEE NOTE.



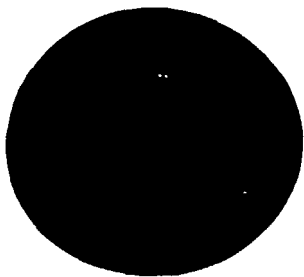
Rake in topsoil to give a cover of 10 mm over the Enkamat. 2-5 mm gravel chippings should be considered where Standard Enkamat is to be permanently submerged or subjected to high velocities.



Ech : 1/

5.1390

Fig. 2.52



Flexible, sandfilled tubes for hydraulic constructions

Beach stabilization
 Erosion control
 Protection of artificially nourished beaches
 Dikes for hydraulic dredge containment areas
 Levee constructions
 Emergency constructions
 River regulations

Material properties:

Synthetic fibres woven in structures for specific demands.
 UV-stabilized and with great resistance to rot, oil and chemicals likely to occur in coastal zones.

Inner tube of impermeable polyethylene.

Tensile strength of tube fabric up to 500 kp/5 cm.

Great resistance to forces acting in coastal environment, including debris and ice. If vandalism is a serious threat the tubes may be protected by a coating giving a very hard, but flexible surface.

Dimensions:

longard tubes are supplied in standard diameters of 25, 100 and 180 cm (10", 40" and 70") and in standard lengths up to 100 m. Other dimensions on request.

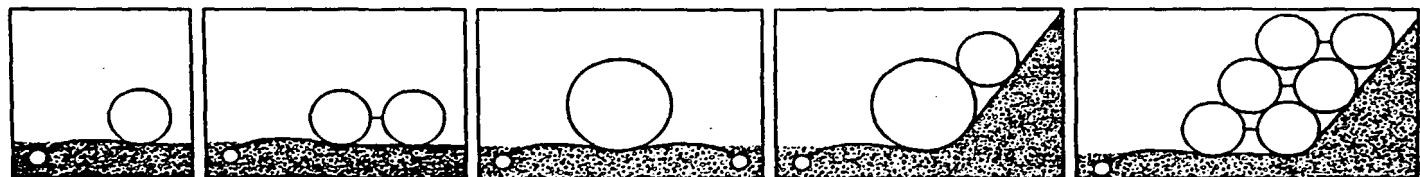
Filling process:

Filling material is sand or similar low-cost mineral. Water is used as carrying medium for filling material. Water pressure, rate of flow and percentage of filling material can be controlled and adjusted.

Except for the specially designed longard filling machine the longard system only requires a water pump and normal contractor's equipment. A tube 100 m long can be filled within few hours.

Construction examples:

longard tubes can be used with or without filter sheet. The examples present various longard constructions on filter sheet with a 10" tube attached.



mai 1993

PROTECTION LITTORALE : PROBLEMATIQUE

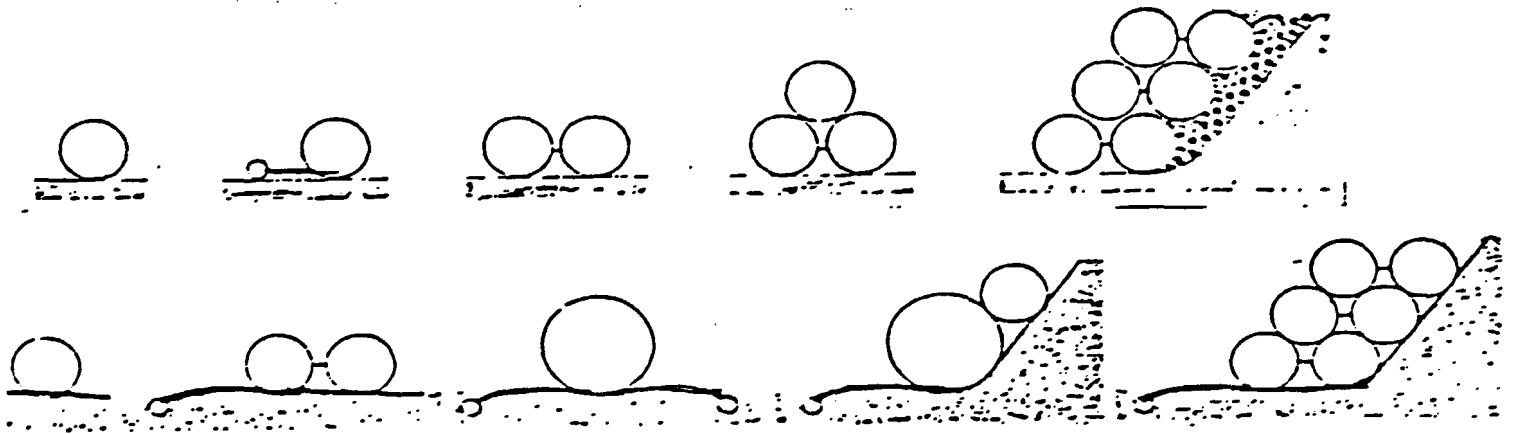
Ech : 1/

▼
SOGREAH
 INGENIERIE

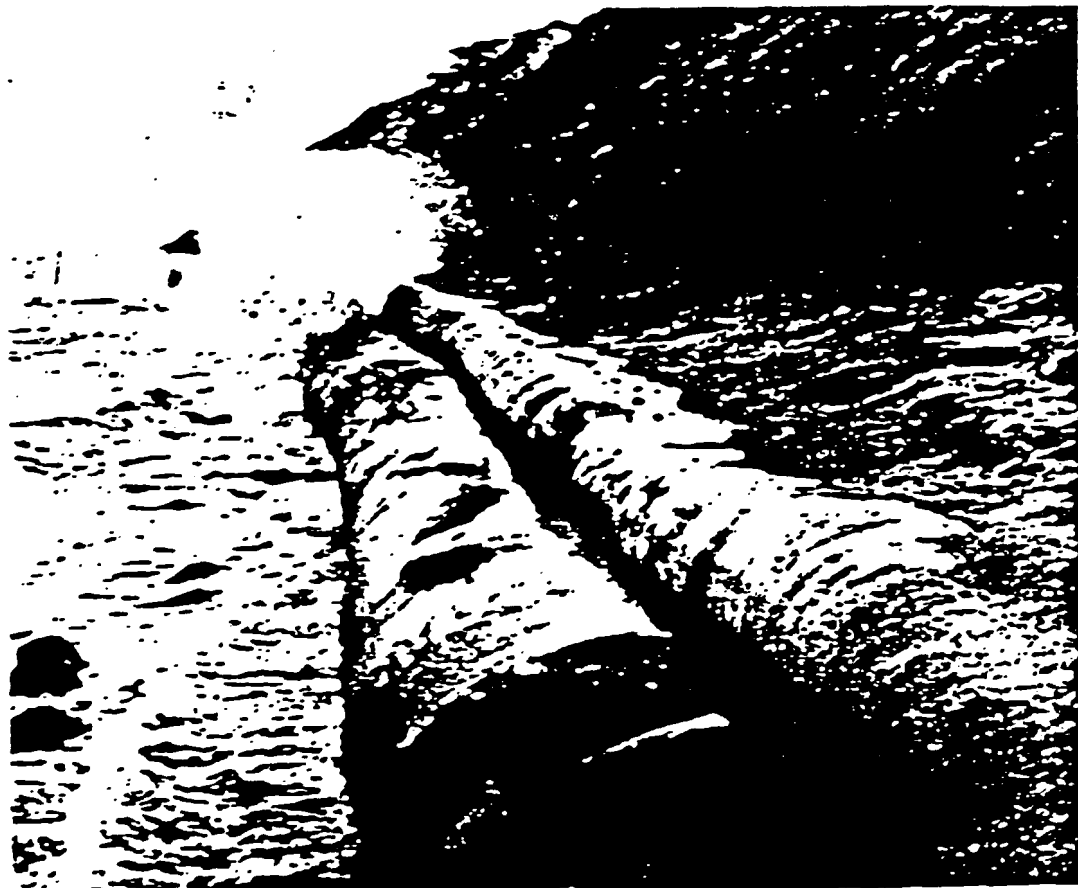
GEOTEXTILE
 TUBES LONGARD

5.1390


Fig. 2.53

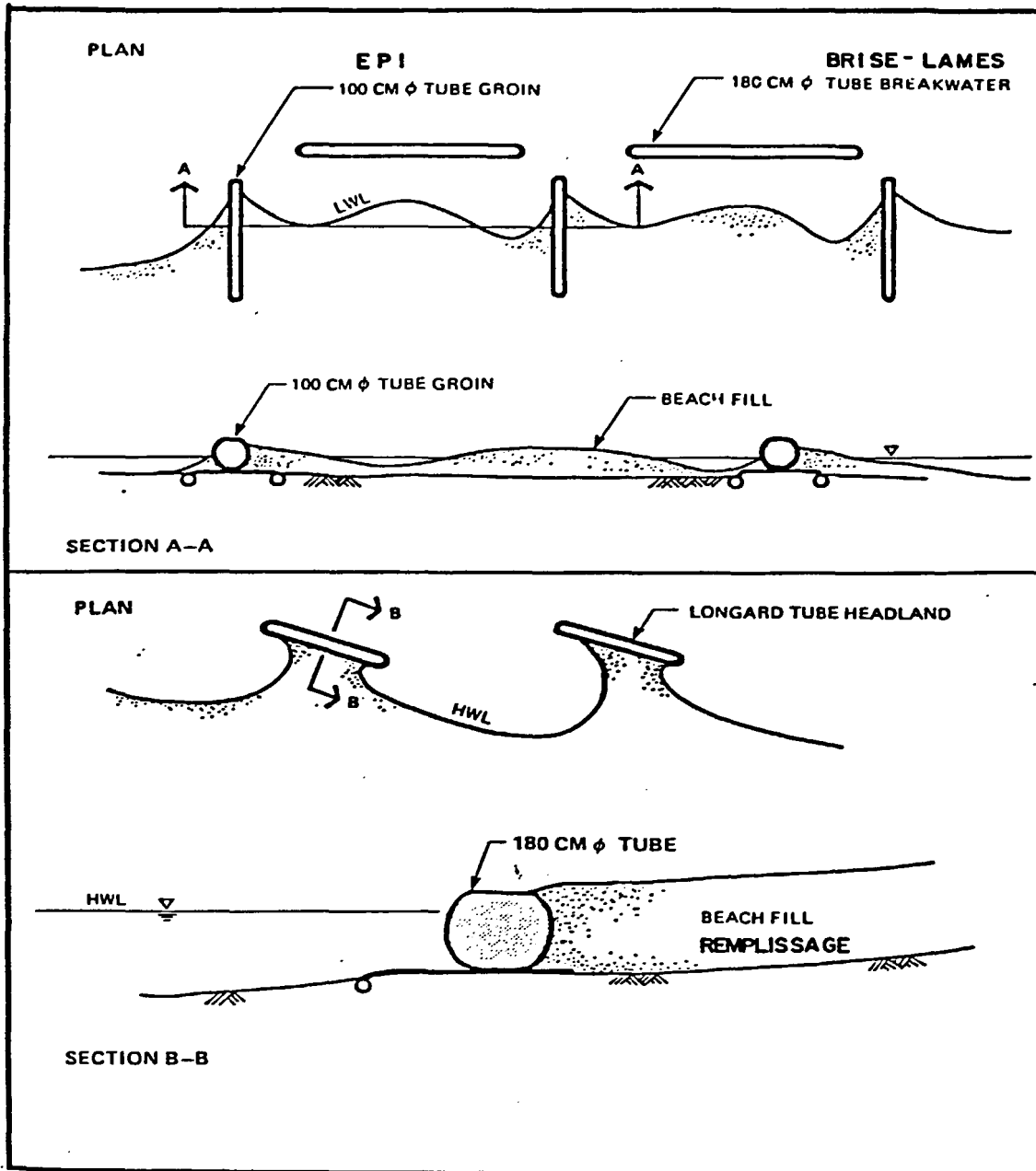


Certaines positions des tubes LONGARD.



Défense en pied de Dunes.
2 tubes LONGARD

mai 1993	PROTECTION LITTORALE : PROBLEMATIQUE	Ech : 1/
	GEOTEXTILE TUBES LONGARD	5.1390
INGENIERIE	EXEMPLES DE DISPOSITION	Fig. 2.54



mai 1993

PROTECTION LITTORALE : PROBLEMATIQUE

Ech : 1/

▼
SOGREAH
INGENIERIE

**GEOTEXTILE
TUBES LONGARD
EXEMPLES D'UTILISATION**

5.1390

Fig. 2.55

SOGREAH
INGENIERIE

mai 1993

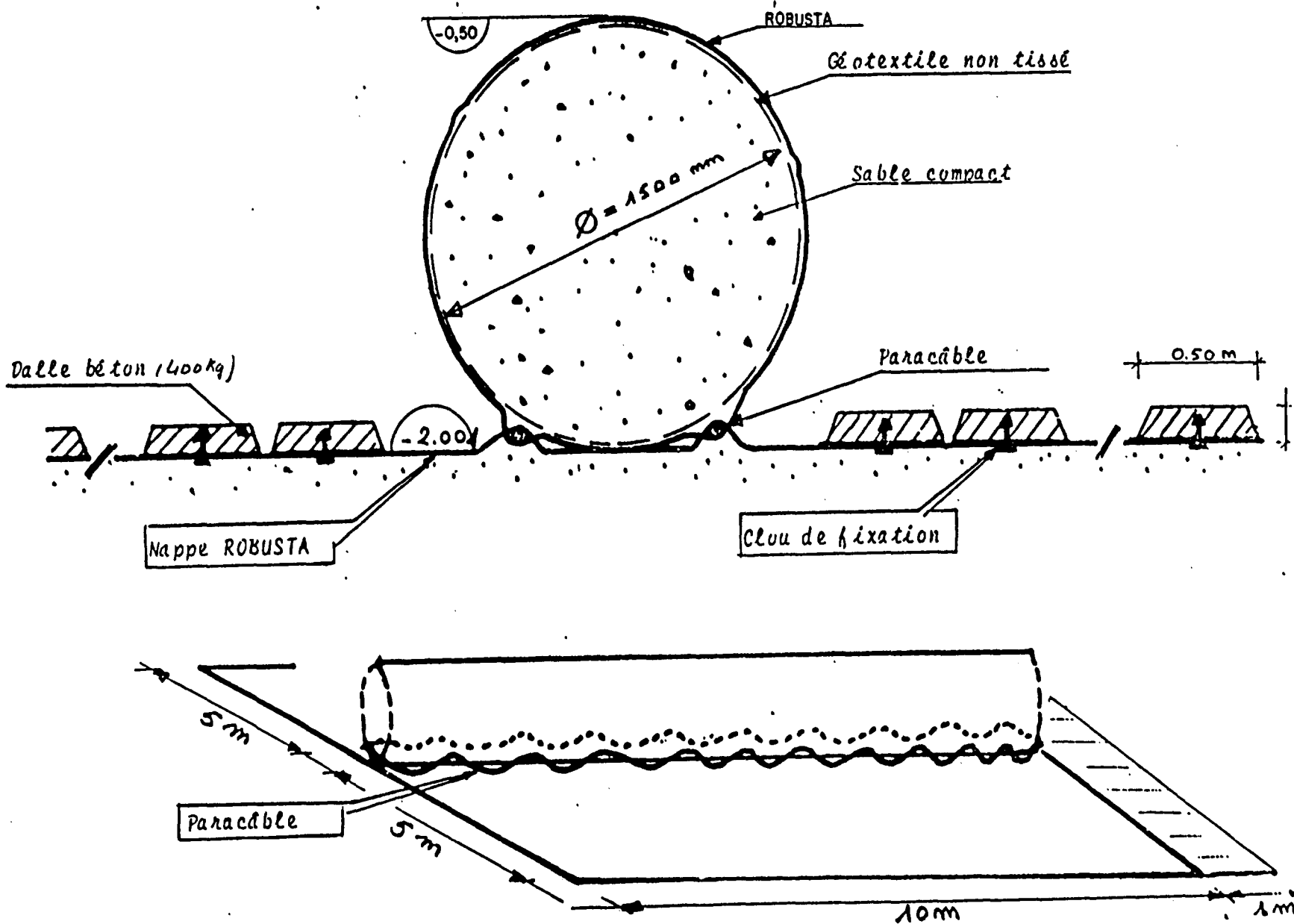
PROTECTION LITTORALE : PROBLEMATIQUE
GEOTEXTILE
ROBUSTA

Ech : 1/

5.1390

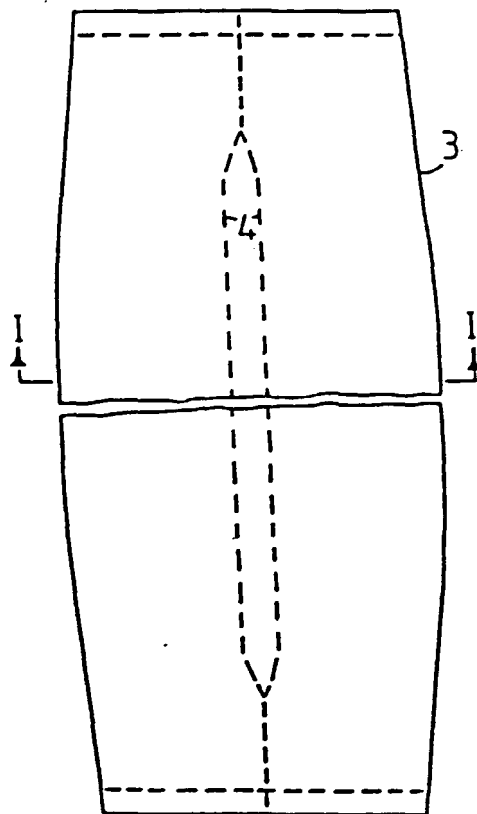
Fig. 2.56

MISE EN OEUVRE DES CYLINDRES ROBUSTA

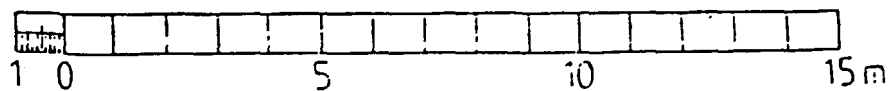
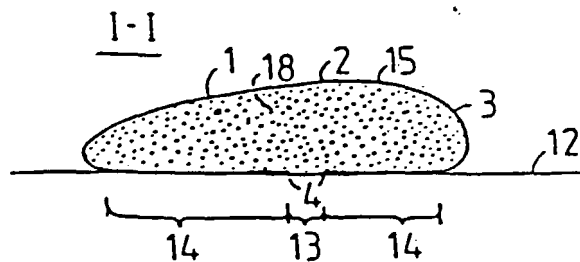


- Schema d'assemblage des cylindres
sur les tapis anti-affouillement -

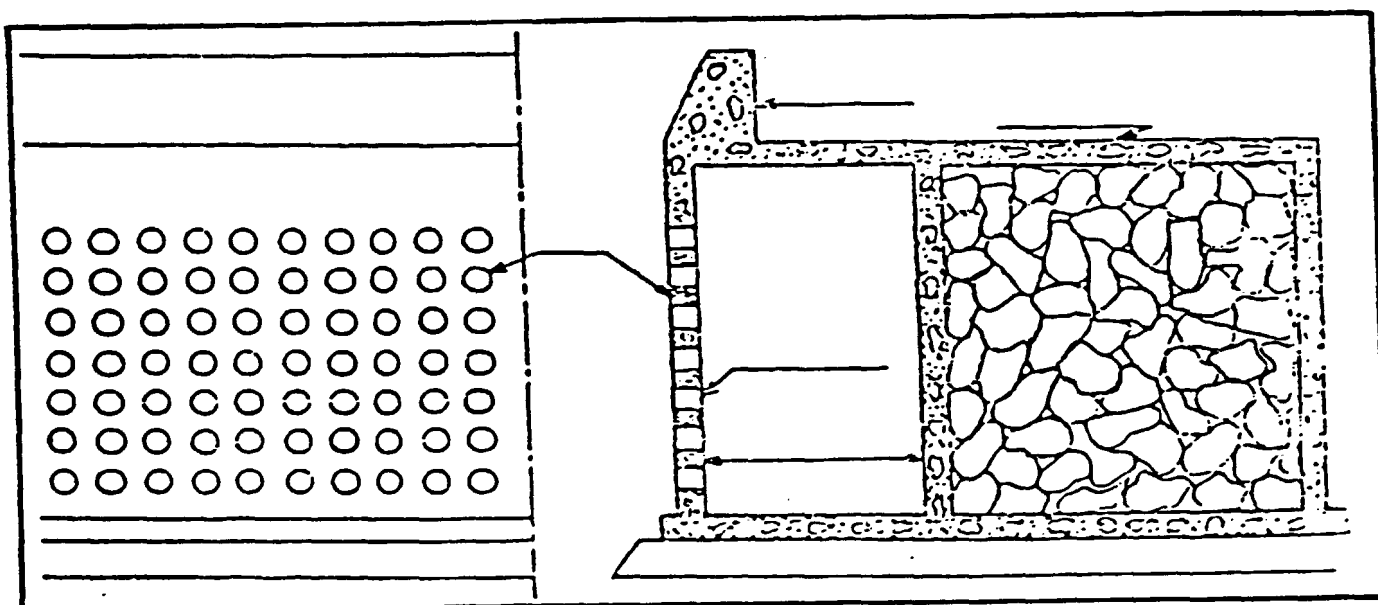
SANDTEX



- 1: Sand pumped through the opening 13 between the edges 4 of the out-reeled but not yet laid sheet 2, into the hollow 18
- 2: Sheet of 5 - 10 mm non-woven geotextile, during the laying process impregnated for protection from UV-rays and vandalism
- 3: Completed submarine barrier
- 4: Edges of the sheet
- 12: Seabed
- 13: Opening between the edges 4 of the sheet 2
- 14: Lower folds of the sheet 2 to be ballasted by 1
- 15: Upper fold of the sheet 2
- 18: Hollow between upper fold 15 and lower folds 14



mai 1993	PROTECTION LITTORALE : PROBLEMATIQUE GEOTEXTILE SANDTEX	Ech : 1/
▼ SOGREAH INGENERIE		5.1390
		Fig. 2.57



mai 1993

PROTECTION LITTORALE : PROBLEMATIQUE

Ech : 1/

▼
SOGREAH
 INGENIERIE

**OUVRAGES PEU REFLECHISSANT
 CAISSON JARLAND**

5.1390

Fig. 2.58

CHAMBRE ANTI-REFLEXION — ANTI-REFLEXION CHAMBER

SCHEMA DE PRINCIPE — SIMPLIFIED DIAGRAM

FIGURE 1

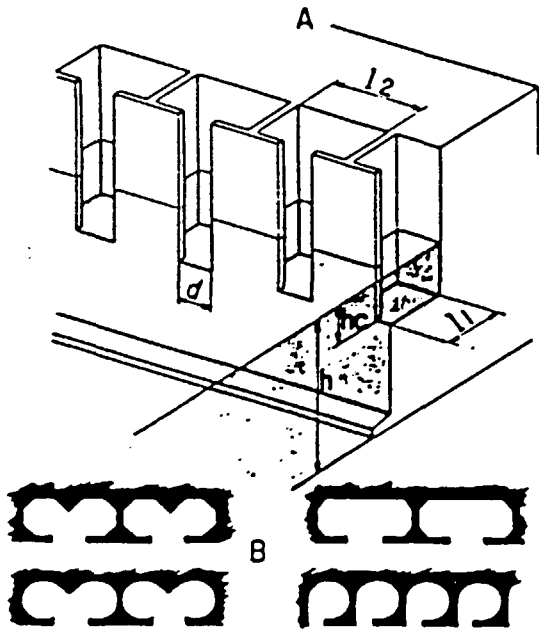


FIGURE 2

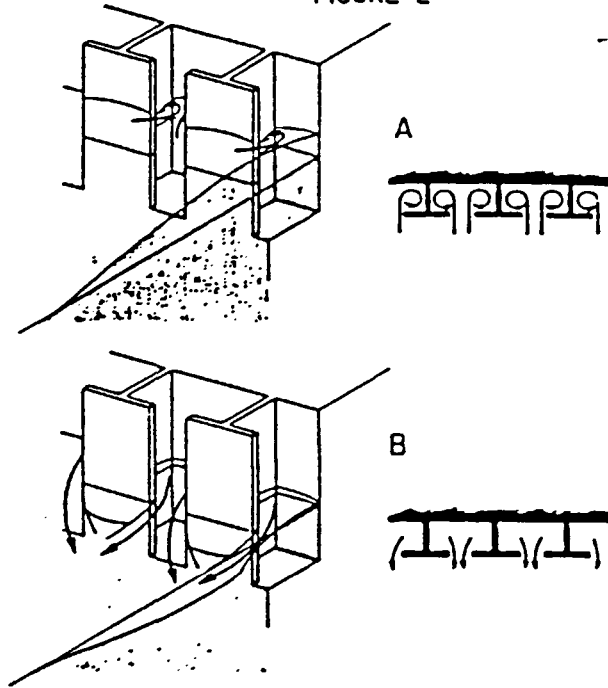
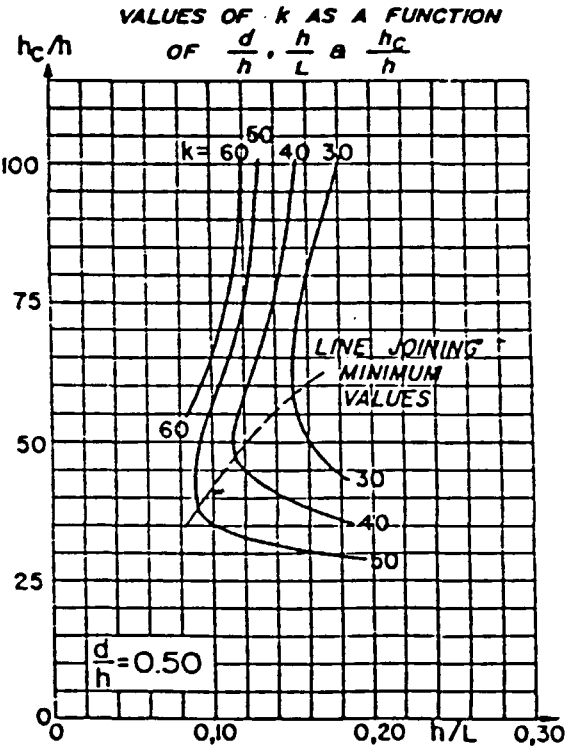
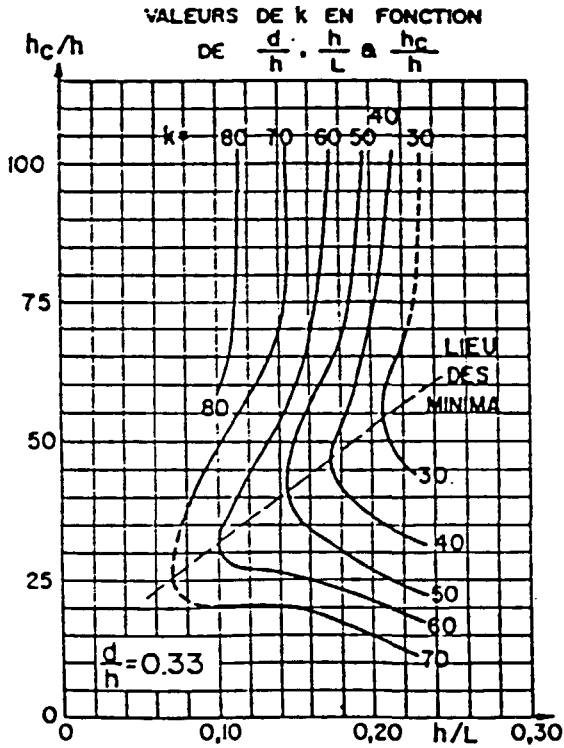


FIGURE 3

RESULTATS DES ESSAIS — TEST RESULTS

FIGURE 4



mai 1993

PROTECTION LITTORALE : PROBLEMATIQUE

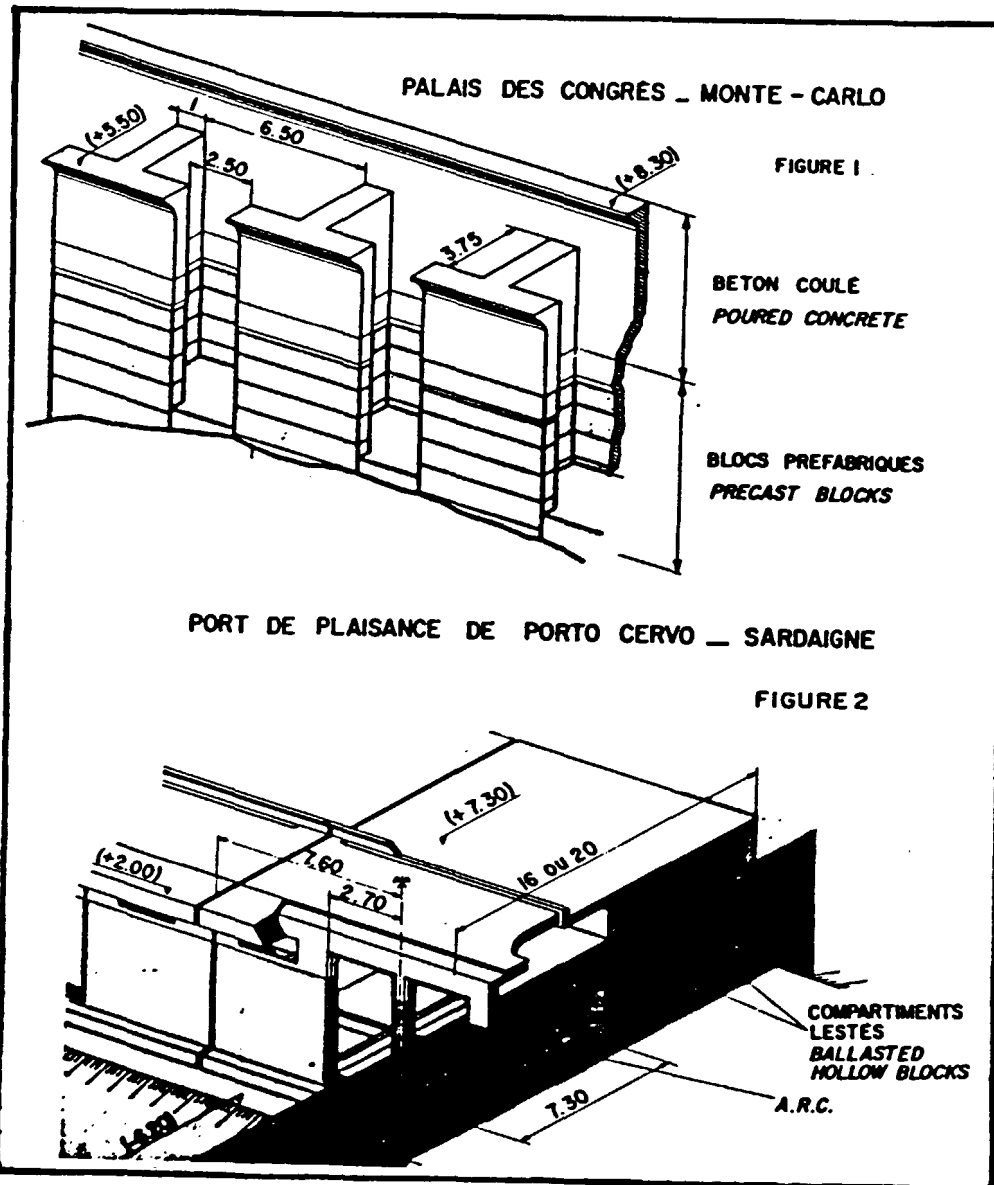
Ech : 1/

▼
SOGREAH
INGENIERIE

OUVRAGES PEU REFLECHISSANT
SYTEME ARC (BREVET SOGREAH)

5.1390

Fig. 2.59



mai 1993

PROTECTION LITTORALE : PROBLEMATIQUE

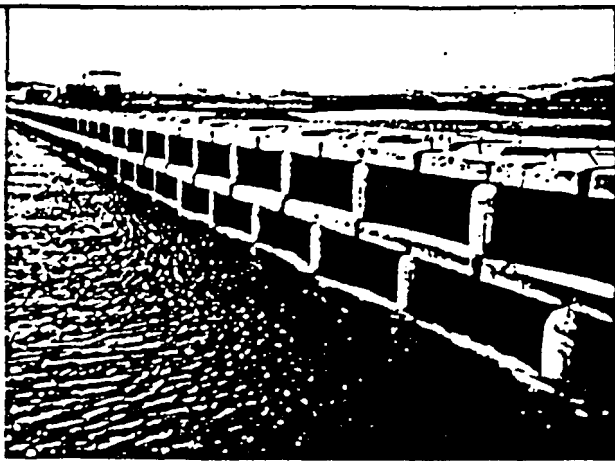
Ech : 1/

▼
SOGREAH
INGENIERIE

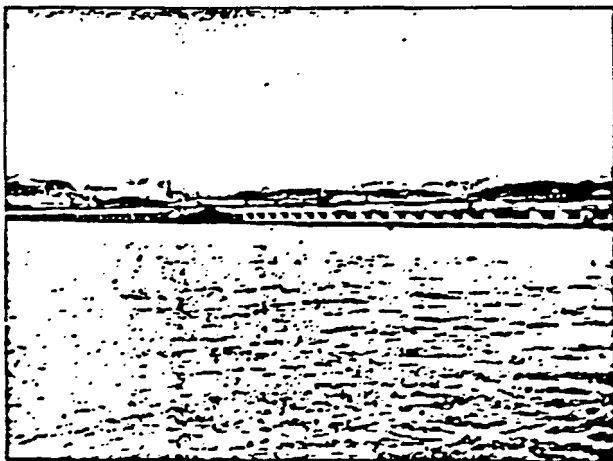
**OUVRAGES PEU REFLECHISSANT
SYTEME ARC (BREVET SOGREAH)
EXEMPLE DE REALISATION**

5.1390

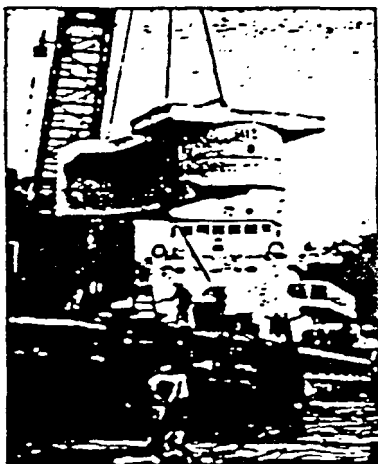
Fig. 2.60



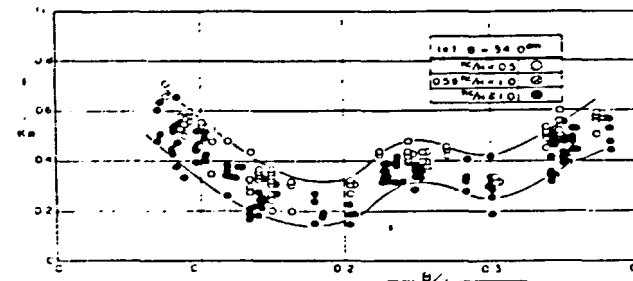
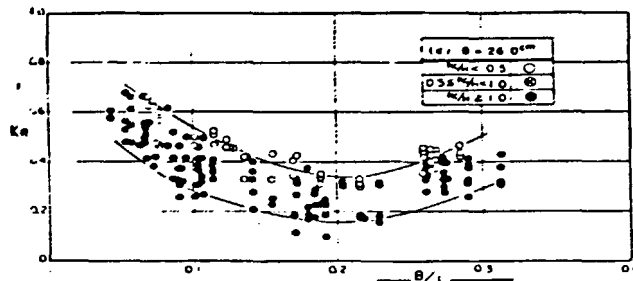
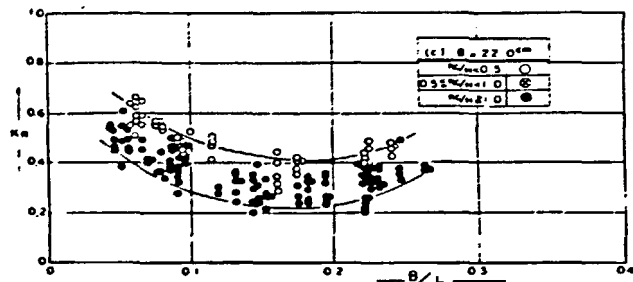
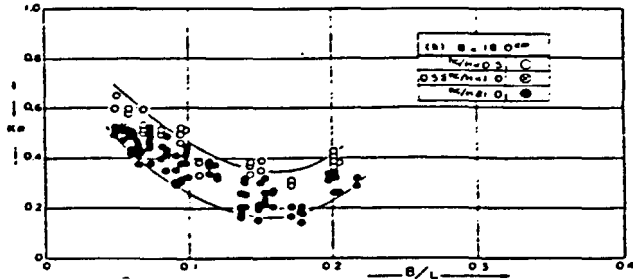
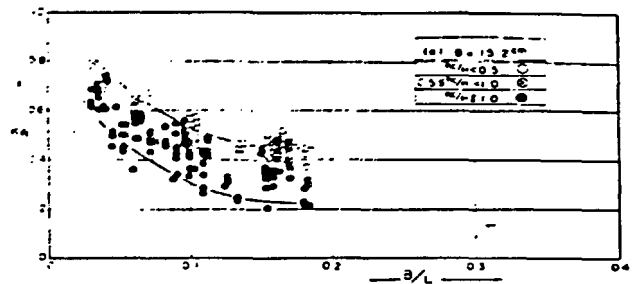
Port de Matsujima (Japan)



Port de Matsujima (Japan)



Bloc "IGLOO" à Kachi (Japan)



Coefficient de réflexion de L'IGOO

mai 1993

▼
SOGREAH
INGENIERIE

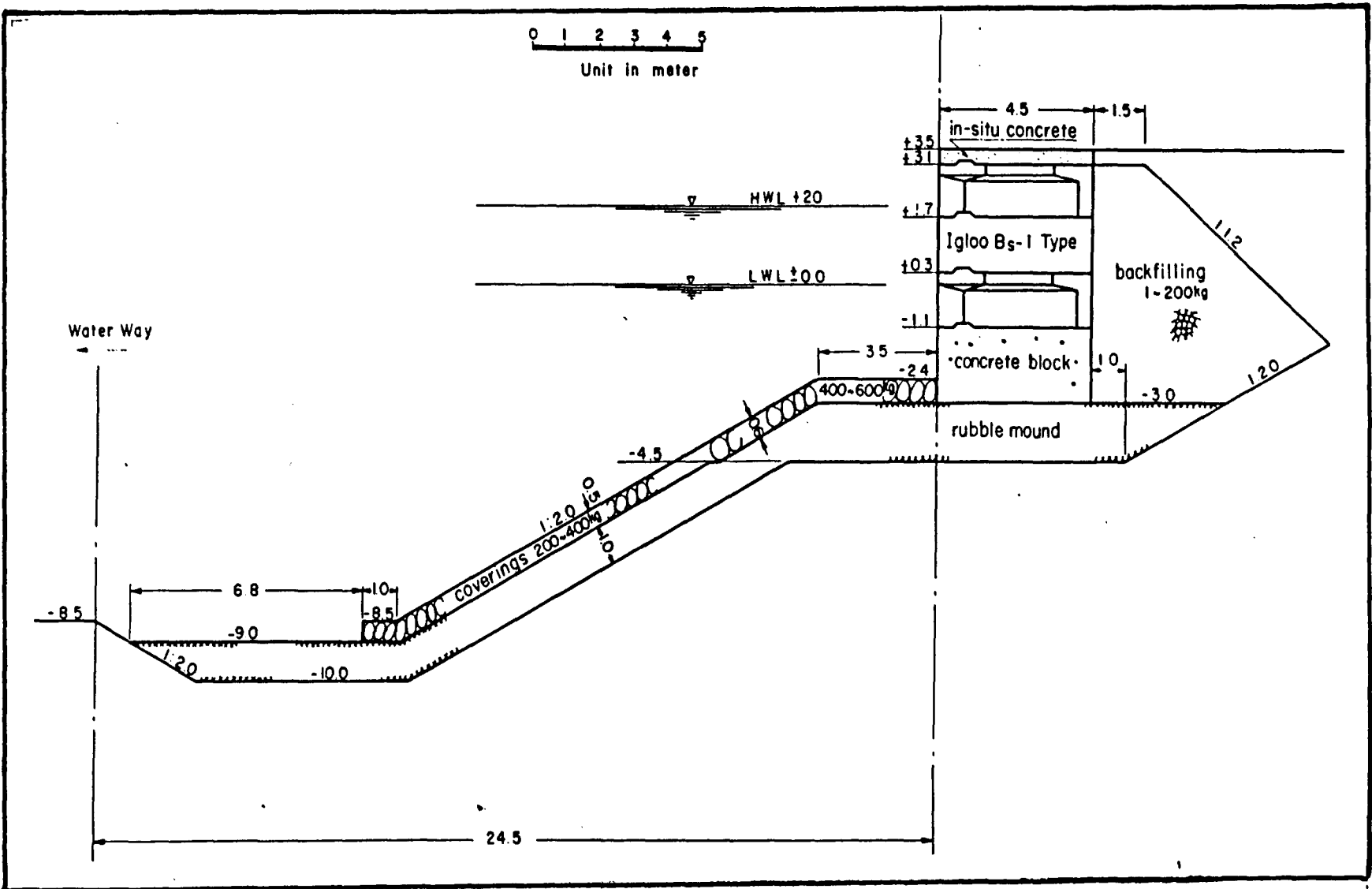
PROTECTION LITTORALE : PROBLEMATIQUE

**OUVRAGES PEU REFLECHISSANT
BLOCS IGLOO
EXEMPLES DE REALISATION**

Ech : 1/

5.1390

Fig. 2.61



mai 1993

PROTECTION LITTORALE : PROBLEMATIQUE

Ech : 1/

SOGREAH
INGENIERIE

OVRAGES PEU REFLECHISSANT
BLOCS IGLOO
EXEMPLES DE KOCHI PORT

5.1390

Fig. 2.62

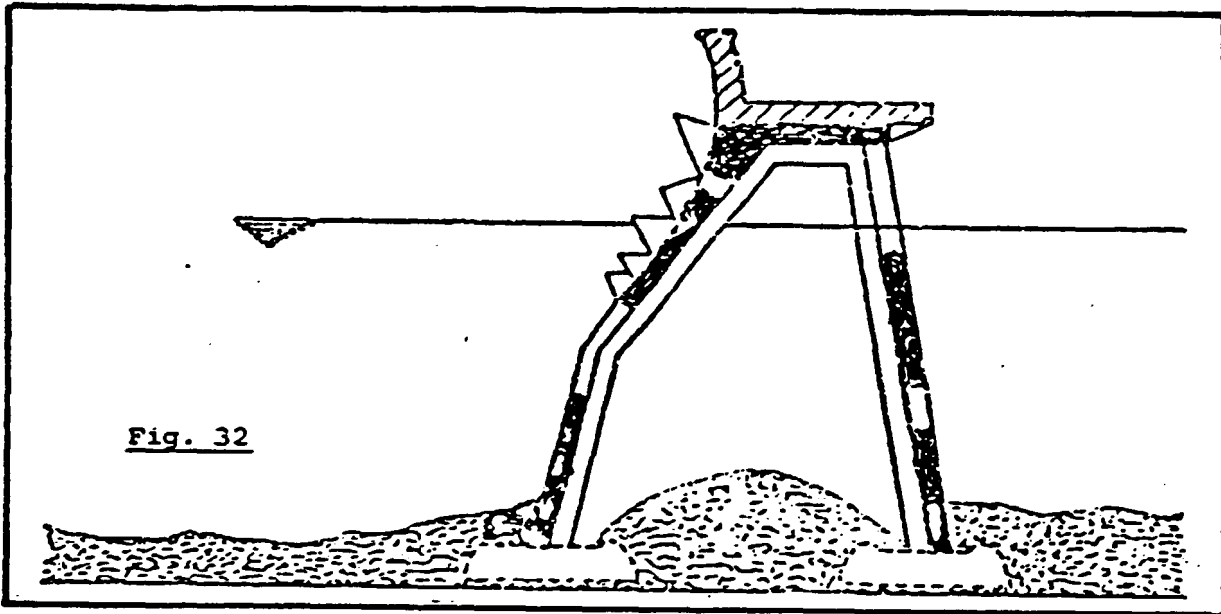
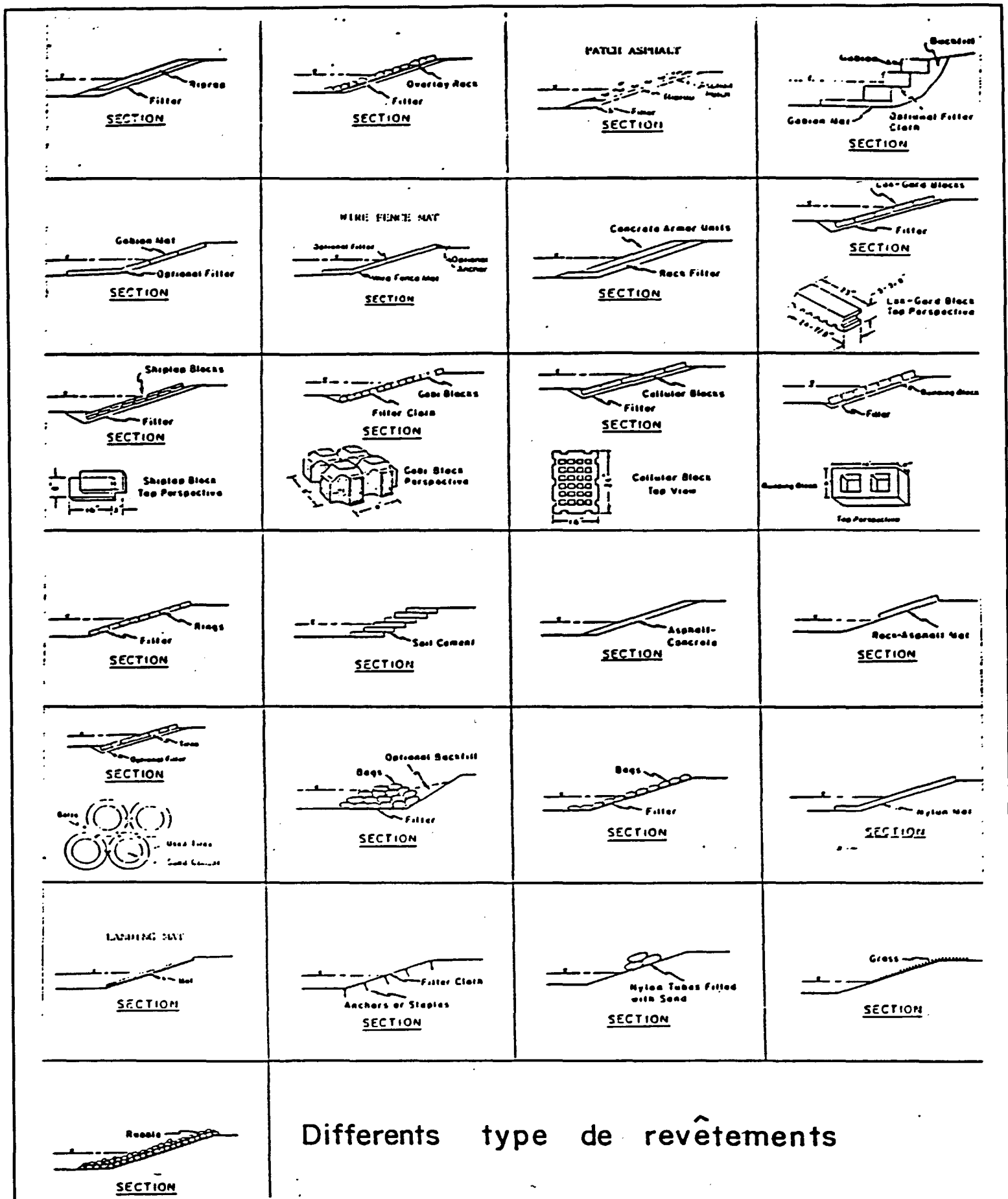


Fig. 32

mai 1993	PROTECTION LITTORALE : PROBLEMATIQUE	Ech : 1/
<p style="text-align: center;">▼</p> <p>SOGREAH</p> <p>INGENIERIE</p>	OUVRAGES PEU REFLECHISSANT DIGUE BERGER STAEMPFLI	5.1390
		Fig. 2.63



mai 1993

PROTECTION LITTORALE : PROBLEMATIQUE

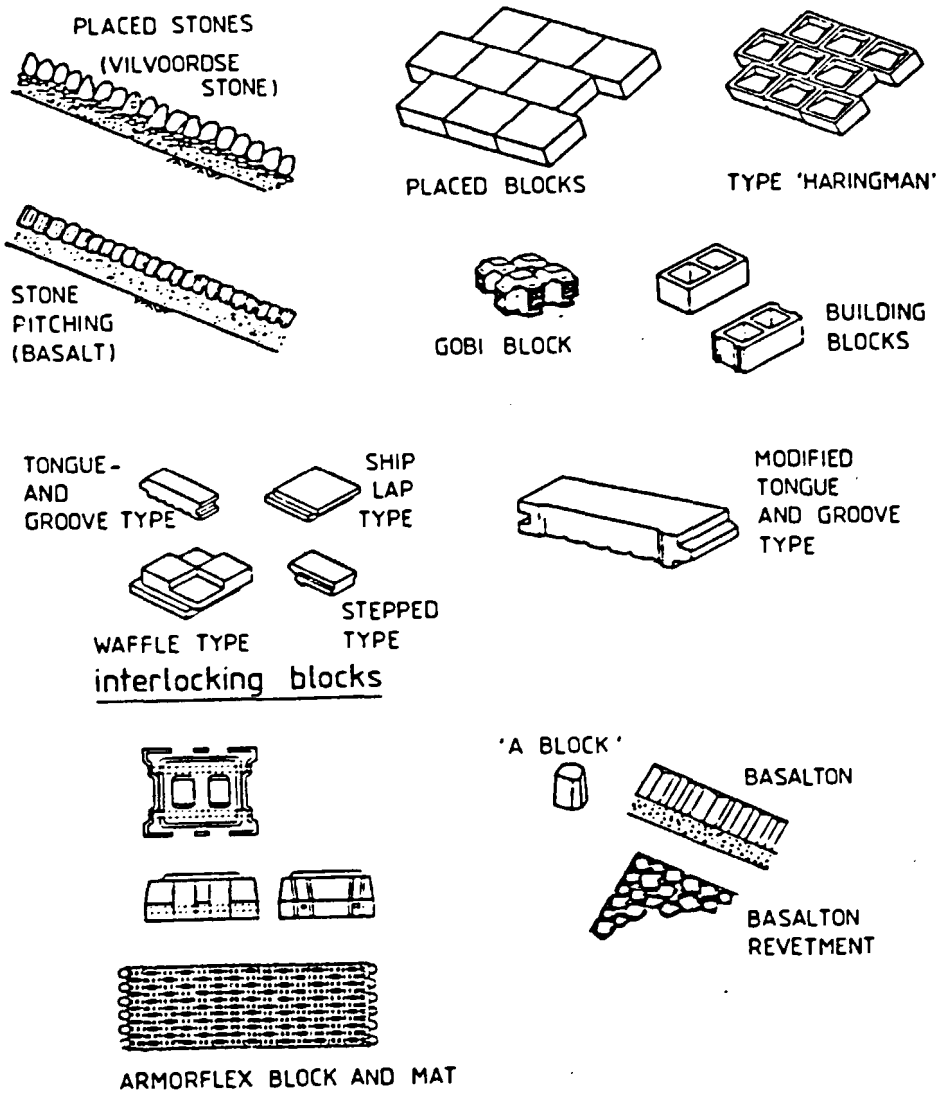
Ech : 1/

▼
SOGREAH
INGENIERIE

RETELEMENTS DE SURFACE
DIFFERENTS TYPES EXISTANTS

5.1390

Fig. 2.64



Examples of blocks tested on large scale
 Exemples de blocs

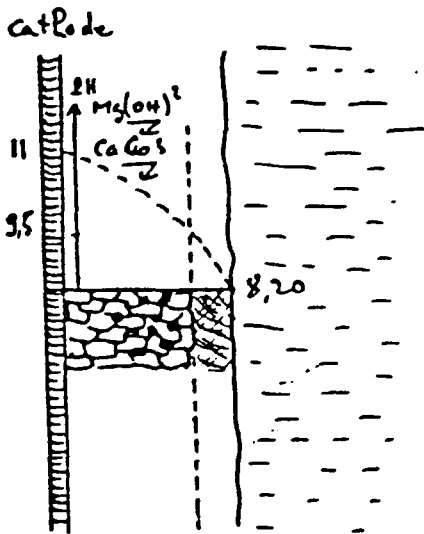
PRINCIPE DE FORMATION

DE LA ROCHE ELECTROLYTIQUE

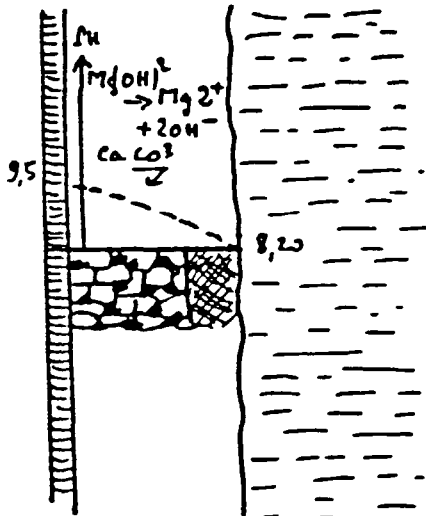
1^{ère} Electrolyse
 Forte densité
 de courant
 $> 1 \text{ mA/cm}^2$

2^{ème} Electrolyse
 Faible densité
 de courant
 $\sim 0,05 \text{ mA/cm}^2$

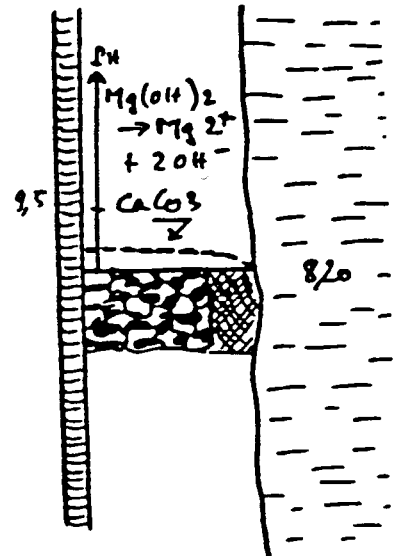
Après Electrolyse
 Evolution lente



- . Grande taille de cristaux
- . % Aragonite faible
- . Porosité importante W% 40/50
- . Petite taille de cristaux
- . % Aragonite élevée
- . Porosité faible W% 20/30



- . Faible dissolution de la Brucite
- . Dépôt de l'Aragonite
- . Porosité ↓



- . Dissolution de la brucite
- . Dépôt + faible d'Aragonite
- . Dépôt de l'eau cristalline W% ↓
- . Dégazage

mai 1993

PROTECTION LITTORALE : PROBLEMATIQUE

Ech : 1/

▼
SOGREAH
 INGENIERIE

ROCHES ELECTROLYTIQUES

5.1390

Fig. 2.66

SOGREAH
INGENIERIE

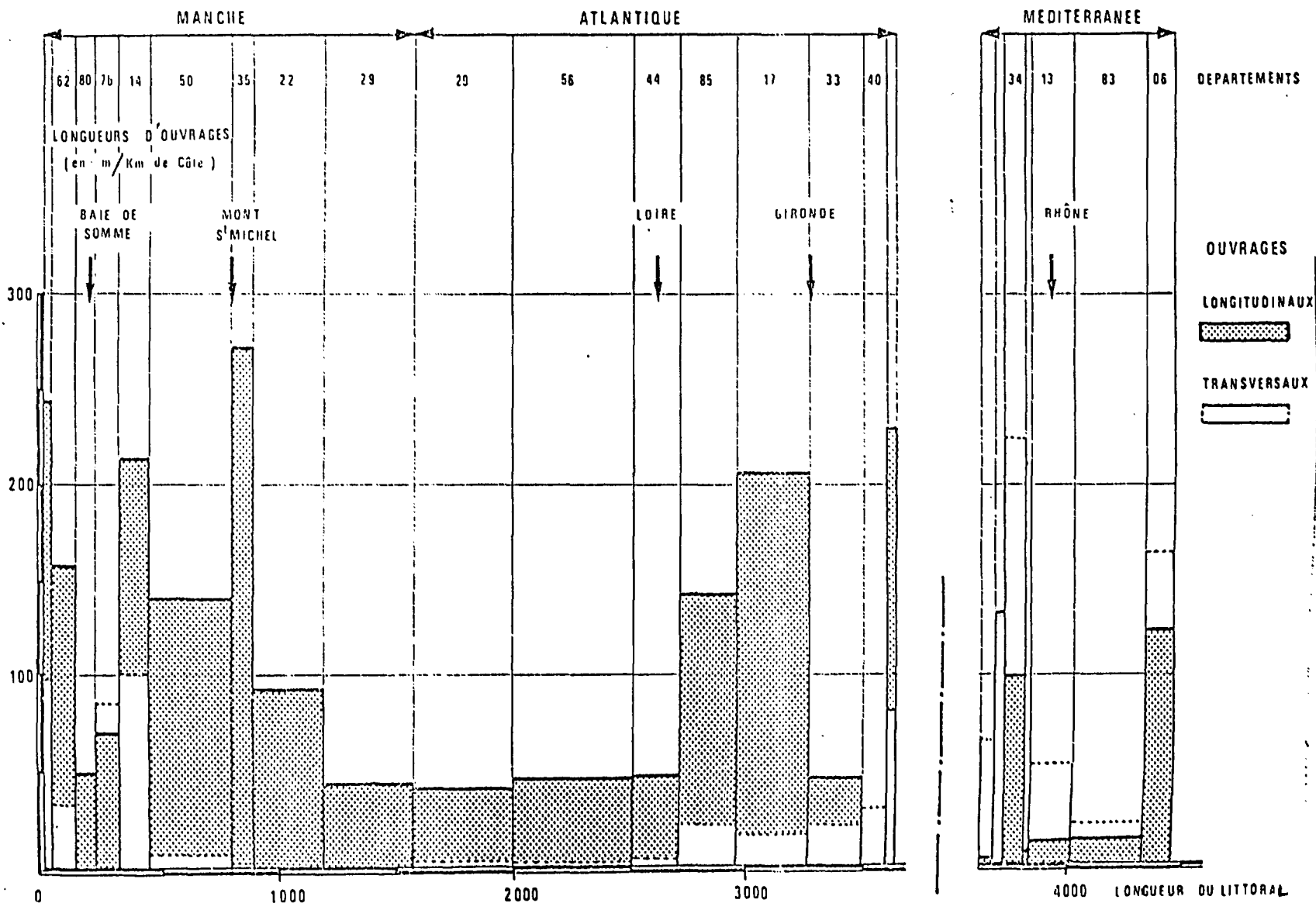
mai 1993

PROTECTION LITORALE : PROBLEMATIQUE
LITTORAL FRANCAIS
REPARTITION DES OUVRAGES LITTORAUX

Ech : 1/

5.1390

Fig. 3.1



S O G R E A H
INGENIERIE

mai 1993

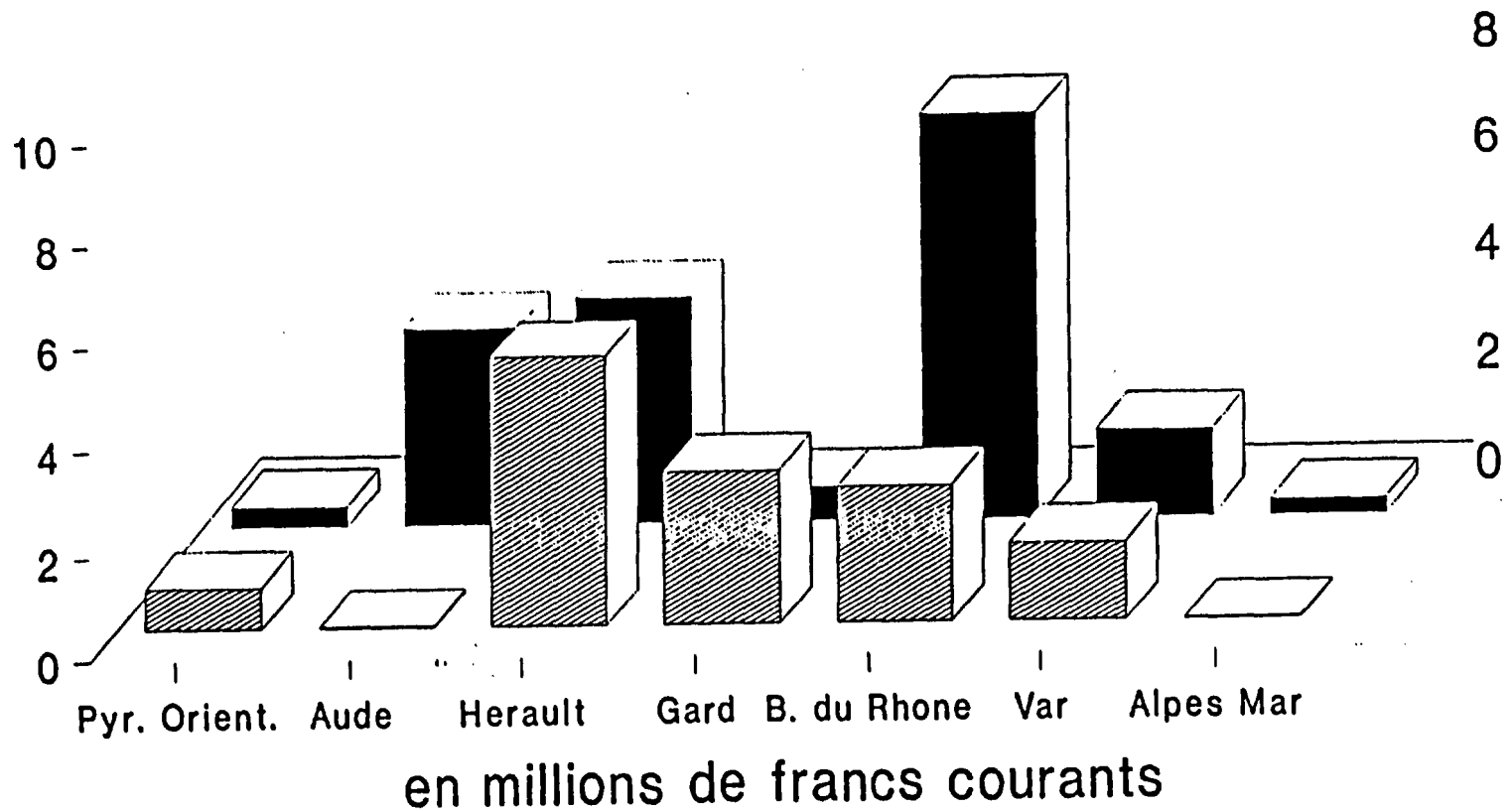
PROTECTION LITTORALE : PROBLEMATIQUE
PROTECTION CONTRE LA MER
DEPENSES EN 1986 ET 1990 EN MEDITERRANEE

Ech : 1/

5.1390

Fig. 3.2

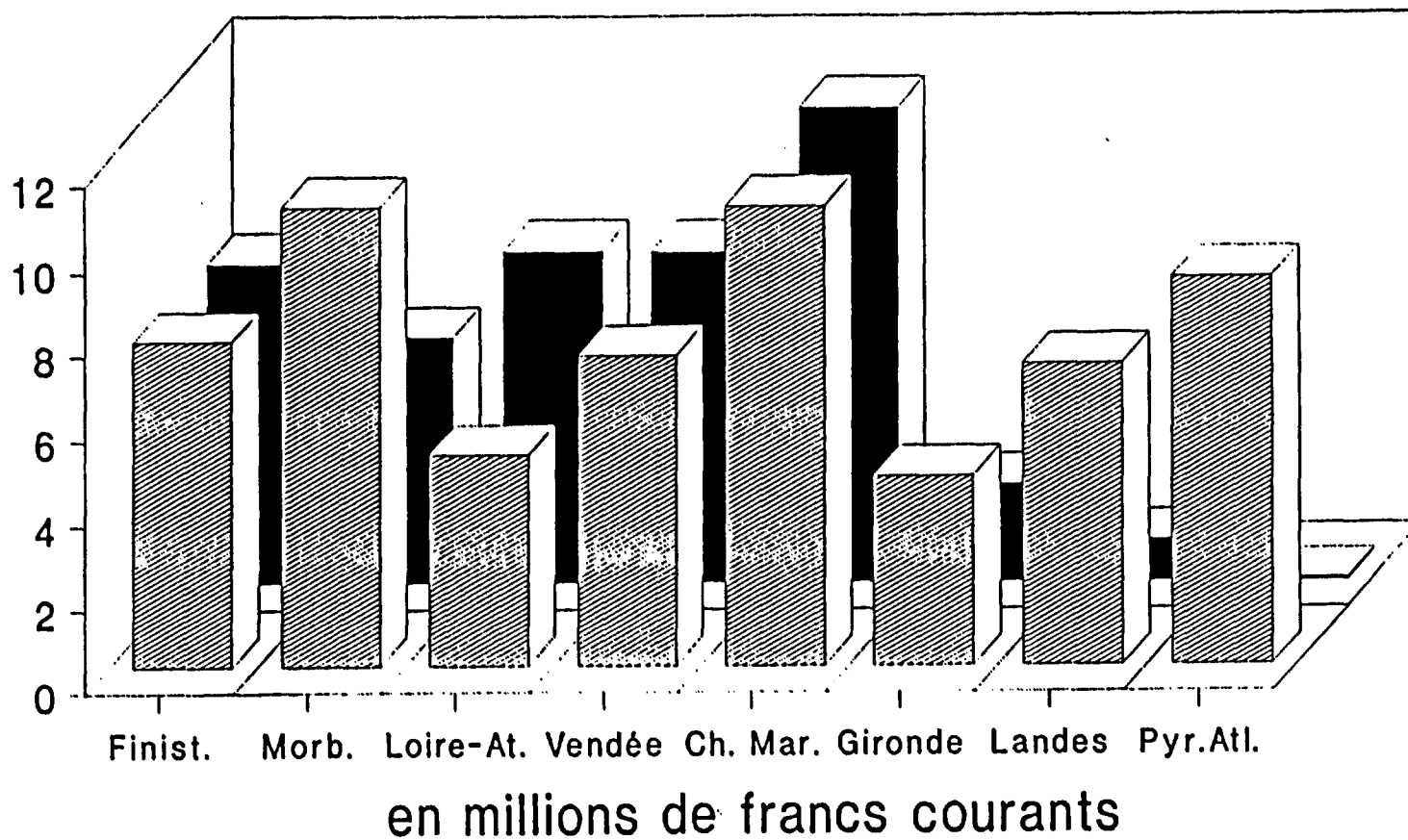
Dépenses de protection contre la mer. Méditerranée. Comparaison 1986 - 1990



1990 1986

dépenses de l'année considérée
(sur programmes parfois pluriannuels)

Dépenses de protection contre la mer Atlantique. comparaison 1986 - 1990



▨ 1990 ■ 1986

Dépenses de l'année considérée
(sur programmes parfois pluriannuels)

S O G R E A H
INGÉNIEURIE

mai 1993

PROTECTION LITTORALE : PROBLÉMATIQUE
PROTECTION CONTRE LA MER
DEPENSES EN 1986 ET 1990 EN ATLANTIQUE

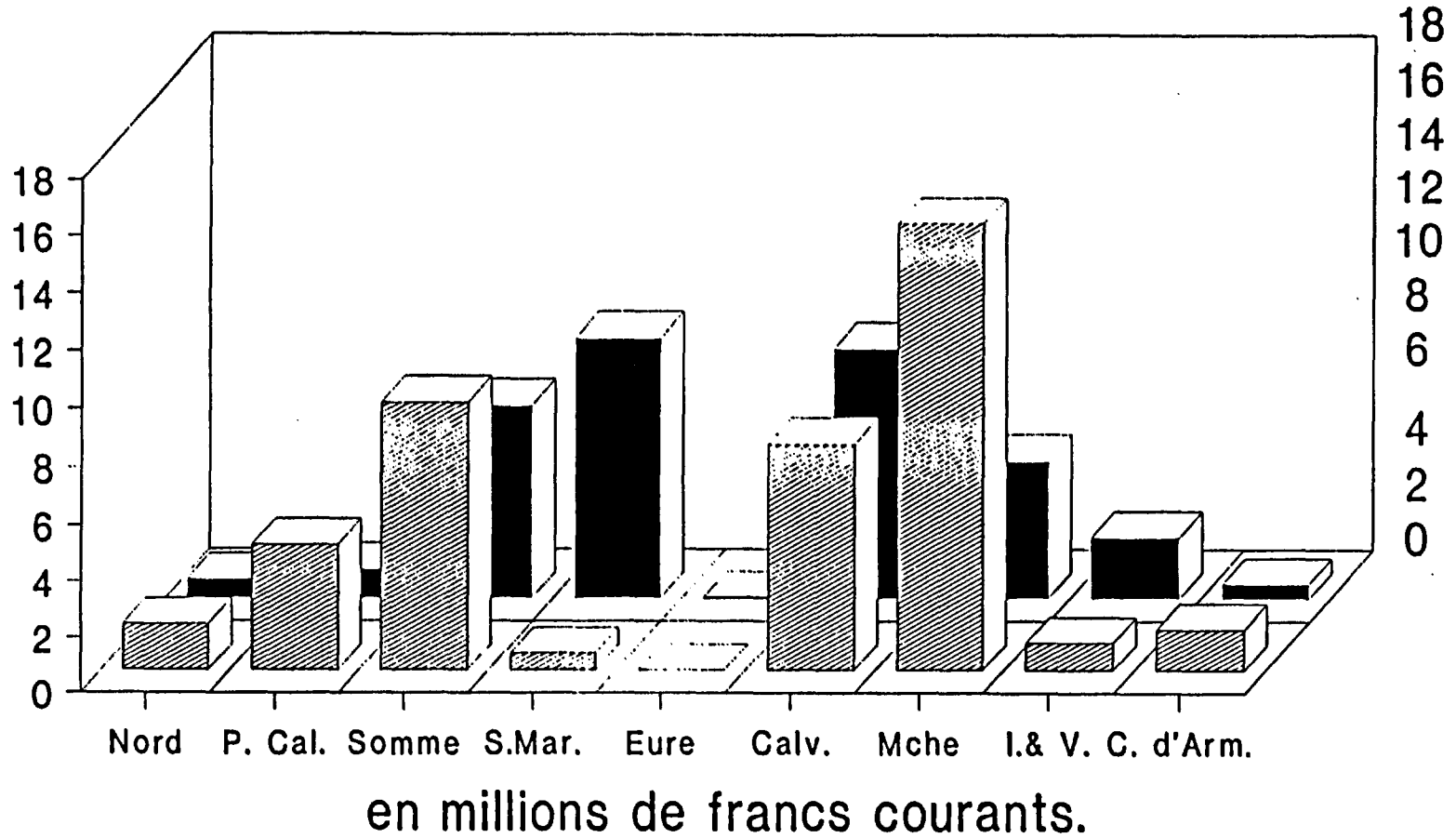
Ech : 1/

5.1390

FIG.3.3

Dépenses de protection contre la mer Manche. Comparaison 1986 - 1990

PROTECTION LITTORALE : PROBLEMATIQUE
PROTECTION CONTRE LA MER
DEPENSES EN 1986 ET 1990 EN MANCHE



▨ 1990 ■ 1986

dépenses de l'année considérée
(sur programmes parfois pluriannuels)