

Symposium " LITTORAL 1990 " - Association EUROCOAST

**NOUVEAUX CONCEPTS D'OUVRAGES COTIERS
FACE A LA REGLEMENTATION
SUR LA PROTECTION DU LITTORAL**

BOUGIS J. , COUDERT J.F. , LANDEL E.

Principia Recherche Développement



EUREKA PROJECT EU 394

**Symposium " *LITTORAL 1990* " - Association *EUROCOAST*
Marseille - Institut Méditerranéen de Technologie
9 - 13 Juillet 1990**

**NOUVEAUX CONCEPTS D'OUVRAGES COTIERS
FACE A LA REGLEMENTATION
SUR LA PROTECTION DU LITTORAL**

BOUGIS J. , COUDERT J.F. , LANDEL E.
Principia Recherche Développement
"Espace Berlioz"
Rue Albert Caquot
B.P.122 - 06560 VALBONNE Cedex

ABSTRACT

The French law for littoral protection imposes new conception of coastal planning.

The article analyzes the consequences of the application of this law on the design of breakwaters and shore-line protections. Floating breakwaters have a very low efficiency above 4 sec. wave periods and for waves higher than a few meters.

Therefore, researches have to be oriented towards totally new concepts. The "Oscillating water wall phenomenon" which is presented in this paper uses the wave motion characteristics.

Its simplicity and efficiency are very attractive. It brings new solutions to the non destructive coastal engineering.

LES DONNEES DE LA LOI LITTORALE

L'espace littoral constitue une richesse unique, aussi bien du point de vue environnemental que du point de vue humain et économique. Zone de contact entre la terre et la mer, le littoral abrite une faune et une flore spécifiques, offre des sites naturels exceptionnels et des écosystèmes originaux indispensables à la productivité de la mer.

Cet espace connaît une occupation humaine dont la densité ne cesse de s'accroître, menaçant ainsi de destruction les richesses naturelles qu'il abrite. La réglementation évolue donc, pour prendre en compte la meilleure connaissance que l'on a de l'importance de l'espace littoral dans l'environnement et pour s'adapter aux nouveaux besoins en ce qui concerne sa protection.

Le gouvernement français a promulgué un texte de loi en date du 3 Janvier 1986 définissant une politique spécifique d'aménagement, de protection et de mise en valeur du littoral.

Ce texte relativement long et détaillé prévoit notamment (Article 1) :

- "la mise en oeuvre d'un effort de recherche et d'innovation portant sur les particularités et les ressources du littoral ;
- la protection des équilibres biologiques et écologiques, la lutte contre l'érosion, la préservation des sites et paysages et du patrimoine ;
- la préservation et le développement des activités économiques liées à la proximité de l'eau, telles que la pêche, les cultures marines, les activités portuaires, la construction et la réparation navales et le transport maritime ;
- le maintien ou le développement, dans la zone littorale, des activités agricoles ou sylvicoles, de l'industrie, de l'artisanat et du tourisme."

Dans le Chapitre "Dispositions particulières au littoral", la loi définit la liste des espaces et milieux à préserver (Article L. 146-6) :

"comportant notamment, en fonction de l'intérêt écologique qu'ils présentent, les dunes et les landes côtières, les plages et lidos, les forêts et les zones boisées côtières, les îlots inhabités, les parties naturelles des estuaires, des rias ou abers et des caps, les marais...", le décret du 20 Septembre 1989 précisant et renforçant les modalités d'application de ce texte...

Dans ce chapitre, le législateur précise également que les ports de plaisance sont soumis aux dispositions de la loi. En effet (Article L. 146-8) :

"Les installations, constructions, aménagements de nouvelles routes et ouvrages nécessaires à la sécurité maritime et aérienne, à la défense nationale, à la sécurité civile et ceux nécessaires au fonctionnement des aéroports et des services publics portuaires autres que les ports de plaisance ne sont pas soumis aux dispositions du présent chapitre lorsque leur localisation répond à une nécessité technique impérative".

Au chapitre "Gestion du domaine public maritime et fluvial", l'Article 27 limite considérablement les possibilités de réalisation d'ouvrages côtiers, en effet :

"En dehors des zones portuaires et industrialo-portuaires, et sous réserve de l'exécution des opérations de défense contre la mer et de la réalisation des ouvrages et installations nécessaires à la sécurité maritime, à la défense nationale, à la pêche maritime, à la saliculture, et aux cultures marines, il ne peut être porté atteinte à l'état naturel du rivage de la mer, notamment par endiguement, assèchement, enrochement ou remblais".

En mettant l'accent sur la "lutte contre l'érosion", "la préservation des sites et paysages", "l'intérêt écologique" que présentent "les plages et lidos, les parties naturelles des estuaires", cette loi impose donc des restrictions très fortes à la réalisation d'ouvrages maritimes conventionnels et met clairement l'accent sur les recherches et innovations nécessaires au développement des activités humaines dans la zone littorale.

LES INCOMPATIBILITES AVEC LES OUVRAGES CLASSIQUES

Compte-tenu de la nécessité :

- de poursuivre certains aménagements du littoral en raison de la pression anthropique inéluctable due à l'urbanisation et au développement du tourisme. Une étude récente réalisée (Ref.1) pour le PLAN BLEU (Programme des Nations Unies pour l'Environnement) portant sur le Bassin Méditerranéen fait état de perspectives de croissance très importante de l'urbanisation (voir Tableau N°.1). De même, en ce qui concerne le tourisme, le Chapitre "Les avenir du tourisme" de l'ouvrage du PLAN BLEU (Ref.2) conclue "Tous les scénarios ont montré un développement considérable du tourisme dans tous les pays méditerranéens" (voir Figures N°1 et 2).
- de restaurer de nombreux ouvrages en difficulté, particulièrement ceux construits pour les ports de plaisance au cours des 30 dernières années,
- de lutter contre l'érosion comme le demande la loi, avec des ouvrages autres que des enrochements en épis dont le résultat n'est par ailleurs souvent pas satisfaisant,

il apparaît indispensable de définir le cahier des charges à respecter par les futurs ouvrages côtiers de protection contre la houle.

Pour respecter les principes énoncés par la loi, les futurs ouvrages ne devront pas :

- modifier le régime des courants locaux afin de ne pas entraîner de modification du profil côtier et induire des phénomènes d'érosion-dépôts.
- détruire les fonds marins directement par leur implantation ou indirectement par la mise en suspension de fines particules au cours des travaux de construction. L'augmentation de la turbidité consécutive aux travaux de dragage et de déroctage ou au déversement de tout-venant, pour les digues et les remblais, diminue la photosynthèse sur des étendues de plusieurs dizaines voire centaines d'hectares. En Méditerranée, la régression des herbiers (comme les posidonies) pendant et après les travaux est un phénomène bien connu aux conséquences irréversibles et catastrophiques (Ref.3).
- créer des zones de confinement susceptibles de concentrer des polluants. En particulier, dans le cas des ports, le dragage régulier des vases souvent chargés en polluants conservatifs (TBT, zinc, plomb...) et leur rejet plus au large ont souvent des effets catastrophiques sur les coquillages et les zones conchilicoles (Réf.4).
- modifier les sites et les paysages, en créant des barrières souvent très imposantes et hostiles à la vue. Par exemple, dans le cas du nouveau port de la Ville Olympique de BARCELONE, les conditions de mer locales auraient imposé une digue d'une élévation de 12 m. au dessus du niveau de la mer si une solution innovante avec une élévation de 5 m. seulement n'avait pu être mise en place.

En bref, les nouveaux ouvrages devront être transparents aux courants, peu ou pas visibles depuis la surface, avoir une emprise négligeable sur le fond, avec des procédés de construction n'imposant ni dragages ou déroctages, ni déversement.

Les seuls types d'ouvrages qui paraissent pouvoir répondre à un tel cahier des charges sont les brise-houle flottants ou situés entre deux eaux. Encore faut-il que leur largeur ne dépasse pas quelques dizaines de mètres (30 m. maximum par exemple). Ceci implique que leur principe de fonctionnement ne soit pas seulement fondé sur la dissipation statique d'énergie qui nécessiterait une largeur beaucoup plus grande (de l'ordre des longueurs d'onde soit 50 à 300 m.). Il doit donc être fait appel à des phénomènes physiques particuliers fondés sur le caractère ondulatoire de la houle et sur les effets de résonance qui peuvent en résulter.

LES LIMITES DES BRISE-HOULES FLOTTANTS

Arrêter, tout au moins atténuer la houle pose un problème techniquement très difficile à résoudre par des obstacles légers et de dimensions réduites en raison de l'énergie considérable qu'elle véhicule et de la facilité avec laquelle elle les contourne ou les franchit (par dessus, par dessous et sur les côtés...).

Absorber son énergie n'est pas plus facile, parce que c'est une énergie peu organisée et que son caractère ondulatoire rend tout système dissipatif de dimensions réduites peu efficace.

Beaucoup de chercheurs se sont penchés sur ces problèmes depuis des décennies, et malgré le nombre très important de travaux effectués, force est de constater que les techniques couramment employées sont restées proches de celles déjà utilisées depuis des siècles.

En particulier, de nombreuses études ont été réalisées sur les brise-houle flottants. Elles ont souvent débouché sur des prises de brevets qui n'ont cependant connu que très peu d'applications pratiques, et encore seulement dans des sites déjà bien protégés naturellement. En fait, lorsque la longueur d'onde devient grande devant les dimensions du brise-houle, celui-ci tend à se comporter comme un bouchon et donc à perdre toute efficacité (voir un exemple de résultats typiques sur la Figure N°3).

Les remarques sont bien confirmées par l'étude bibliographique sur les brise-clapots flottants réalisés par SOGREA H pour le compte du Ministère de la Mer (Ref.5).

Le seul moyen d'améliorer le rendement de tels dispositifs est de créer une dissipation d'énergie importante à l'intérieur du brise-houle. Rappelons que la puissance transportée sur un front d'onde de 1 m. de large est de 20 KW pour une vague de période 9 sec. et de crête à creux 1,5 m., et de 18 MW pour une vague de période 20 sec. et de crête à creux 30m. !.

Ceci entraîne la réalisation de systèmes mécaniques, électro-mécaniques, ou utilisant le ballotement d'une cuve. Ces systèmes, plus ou moins complexes, posent alors des problèmes de fiabilité et de maintenance. Les travaux conduits dans différents pays sur la récupération de l'énergie de la houle ont bien montré la complexité du sujet (ex. "canards" de SALTERS, Radeaux de COCKERELL, Systèmes SCARPI et de LOUPERE, etc...(Réf.6).

L'autre problème qui apparaît lors de la mise en oeuvre de ces brise-houle est dû au ragage des chaînes d'ancrage sur le fond, entraînant la destruction de surfaces importantes, l'alternative étant l'ancrage sur câbles tendus, plus complexe et coûteux surtout dans les mers à marnage.

NOUVEAU CONCEPT DE BRISE-HOULE

Le phénomène du "Mur d'Eau Oscillant", découvert par PRINCIPIA en collaboration avec le Service des Travaux Publics de la Principauté de MONACO (Brevet PRINCIPIA-MONACO), apparaît dans ce contexte comme tout à fait remarquable et permet la réalisation d'un type nouveau d'atténuateurs de houle répondant bien au cahier des charges ci-dessus énoncé.

Il utilise l'énergie cinétique d'une masse d'eau importante située sous une dalle horizontale fixe, placée à quelques mètres sous la surface libre (voir Figure N°4). Cette masse d'eau est mise en mouvement oscillatoire horizontal par le champ de pression dû à la houle incidente venant du large. Agissant comme une sorte de piston, elle crée un champ de vague de radiation vers la côte en opposition de phase avec celui en provenance du large, les deux champs de vague s'annulant ainsi (voir Planches N°1 et 2).

Le phénomène est décrit mathématiquement dans une publication intitulée "Le phénomène du Mur d'Eau Oscillant et son Application pour protéger les sites côtiers Soumis à l'Action de la Houle", présentée à la Conférence de l'ATMA en 1985 (Réf. 7 et 8).

Le phénomène a été reproduit de nombreuses fois en canal à houle (Ref.9), tant avec des houles régulières qu'avec des houles aléatoires (voir Illustrations N°1 et 2) et étudié en détail à l'aide de modèles mathématiques, grâce à un soutien de PANVAR (Marseille).

Le rendement théorique peut être de 100% (pas de houle transmise) pour une gamme de périodes s'étendant sur plusieurs secondes en fonction des dimensions de la dalle, de sa profondeur d'immersion (voir Figures N°5 et 6).

Afin de vérifier l'ensemble des résultats obtenus sur modèles mathématiques et sur maquette à l'échelle du réel, deux atténuateurs de houle ont été mis en place, depuis Mai 1990, devant un émissaire d'eaux de ruissellement de la nouvelle Ville Olympique de BARCELONE (voir Illustration N°3)(Ref.10).

Les dalles de ces atténuateurs sont construites en acier par EIFFEL Constructions Métalliques (licencié industriel du procédé) selon une structure en caisson, lestée avec du béton. Leurs dimensions sont de 16 m. de largeur, 24 m. d'envergure et 2 m. d'épaisseur, la face supérieure est à 1,5 m. sous la surface libre moyenne (voir Figure N°4, respectivement 1, e, t et p). Elles sont tenues chacune par 6 piles de 1,2 m. de diamètre battues dans le sol (sable). L'un des atténuateurs de houle est en cours d'instrumentation (pressions, vibrations, contraintes).

L'intérêt du procédé réside dans le fait qu'il répond parfaitement au cahier des charges ci-dessus décrit. Pour cette raison, le Comité International EUREKA a décidé de soutenir un effort important d'industrialisation en vue de tester sur site son utilisation pour protéger les plages contre l'érosion (projet EU394, voir Couverture).

Ce projet franco-espagnol, met en jeu 4 entreprises (PRINCIPIA et EIFFEL pour la France, FERROVIAL et EUROPROJECT pour l'Espagne). D'un budget global de 33 M ECU, il consistera à placer des rangées d'atténuateurs de houle sur deux sites pilotes, un en France et un en Espagne et à suivre l'évolution des profils de plage pendant plusieurs années. Parallèlement un modèle mathématique général sera développé pour permettre la conception de protection pour les futurs sites (dimensionnement et positionnement optimal des atténuateurs en fonction du site et de l'objectif) ainsi qu'une méthode économique de construction et de mise en place.

En outre, différentes variantes d'atténuateurs fondées sur l'utilisation du même phénomène du "Mur d'Eau Oscillant" seront étudiées (dalles avec obstacles semi-émergeants, dalles creuses, dalles semi-rigides etc ..., (voir Illustration N°5).

Par ailleurs, un effort important de recherche a été conduit par PRINCIPIA sur les systèmes dissipateurs d'énergie pouvant être utilisés au voisinage de la surface libre, donc sans destruction des fonds. Il en a résulté un système constitué de plaques verticales successives (5 à 10 environ) formant une sorte d'escalier sans marches (voir l'Illustration N°6) d'une efficacité remarquable (moins de 10% d'énergie réfléchi) pour des dimensions très faibles devant les longueurs d'ondes (10%). Ce système, qui fait l'objet d'un Brevet PRINCIPIA, est mis en place le long des quais du Port Olympique de BARCELONE pour éviter le clapot gênant pour les navires.

CONCLUSION

L'application de la Loi Littorale rend nécessaire renforcement d'efforts de recherche et développement très importants pour la conception des futurs ouvrages côtiers.

Ces efforts conduiront à une meilleure compréhension de la dynamique des phénomènes physiques littoraux, et permettront la réalisation de modèles mathématiques performants.

Malgré son étonnante simplicité, le procédé des atténuateurs de houle, fondé sur le phénomène du "Mur d'Eau Oscillant", est très prometteur et déjà rentré dans la phase des prototypes en vraie grandeur.

Le financement EUREKA mis en place va permettre de poursuivre sa validation et son industrialisation. Ces travaux permettront de trouver également des variantes adaptées aux différentes situations possibles (très faibles profondeurs, grandes profondeurs, mer à marnage, lac avec prise des glaces en hiver, etc...).

On peut donc espérer que d'ici quelques années, la protection des sites côtiers pourra être réalisée en respectant les contraintes d'un cahier des charges très strict pour la protection de l'environnement littoral.

LISTE DES FIGURES, TABLEAUX, PLANCHES ET ILLUSTRATIONS

Figures

- Figure N°1 : Touristes internationaux dans les pays méditerranéens, Evolution de 1970 à 1986.
- Figure N°2 : Nombre de touristes internationaux dans le bassin méditerranéen selon les scénarios.
- Figure N°3 : Rendement Typique d'un Brise-Houle Flottant.
- Figure N°4 : Atténuateur de Houle PRINCIPIA-MONACO.
- Figure N°5 : Rendement des Atténuateurs en Houle Régulière.
- Figure N°6 : Rendement des Atténuateurs en Houle Aléatoire.

Tableaux

- Tableau N°1 : Croissance de l'urbanisation dans les régions côtières méditerranéennes.
- Tableau N°2 : Récapitulatif des performances des systèmes réflecteurs pour un coefficient de transmission inférieur ou égal à 0.50.
- Tableau N°3 : Récapitulatif des performances des principaux systèmes dissipateurs d'énergie pour un coefficient de transmission inférieur ou égal à 0.50.

Planches

- Planches N°1 et 2 : Principe de fonctionnement des Atténuateurs de Houle.

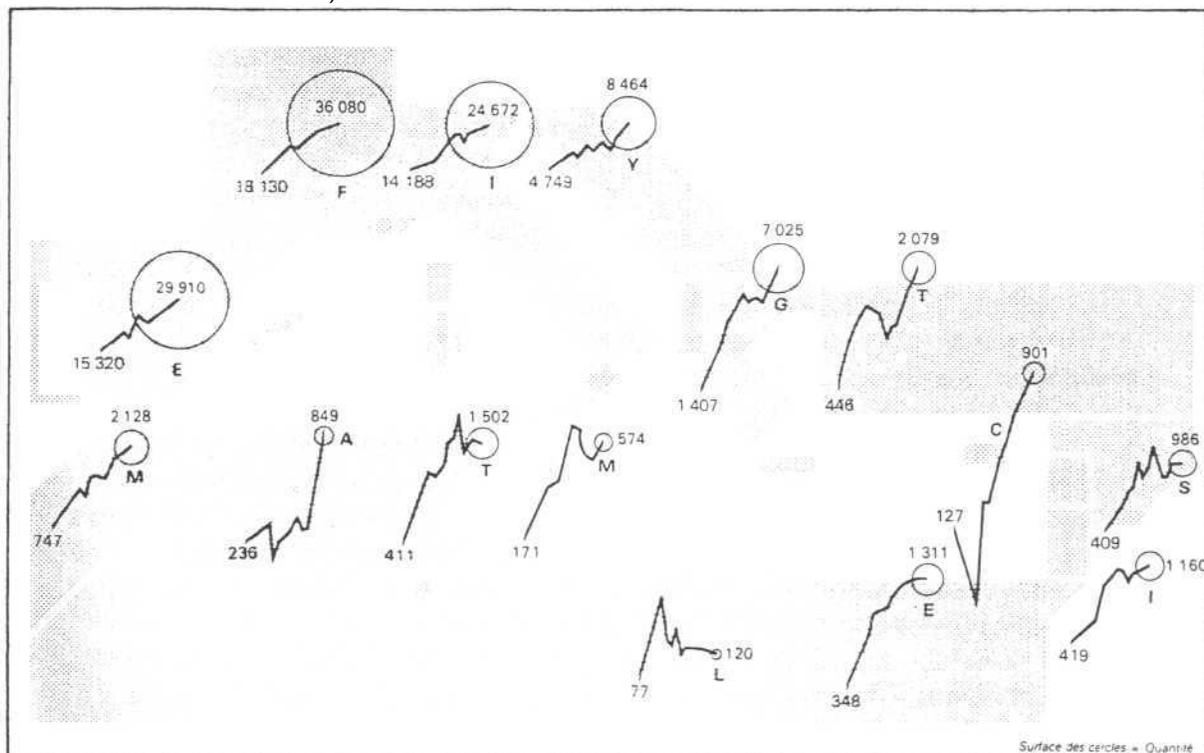
Illustrations

- Couverture : EUREKA, Protection des Plages contre l'Erosion
- Illustration N°1 : Essais en Canal, Vue de l'Atténuateur. (Société OCEANIDE)
- Illustration N°2 : Essais en Canal à Houle, Vue du Canal. (Société OCEANIDE)
- Illustration N°3 : Mise à l'Eau du Prototype.
- Illustration N°4 : Les Atténuateurs en Place sur le Site Olympique de Barcelone
- Illustration N°5 : Variante d'Atténuateur de Houle. (Société OCEANIDE)
- Illustration N°6 : Les Amortisseurs de Houle PRINCIPIA. (Société OCEANIDE)

REFERENCES

- (1) : *Aménagement de l'espace littoral et des régions côtières méditerranéennes, Apport des études prospectives*, Elisabeth COUDERT, "Rapport interne provisoire PLAN BLEU", Octobre 1989.
- (2) : *Avenir du Bassin Méditerranéen*, Michel GRENON et Michel BATISSE, "Le PLAN BLEU, Plan d'Action pour la Méditerranée, Programme des Nations Unies pour l'Environnement", EdECONOMIA, Paris.
- (3) : *L'Herbier à Posidonia oceanica, son importance pour la littoral méditerranéen, sa valeur comme indicateur biologique de l'état de santé de la mer, son utilisation dans la surveillance du milieu, les bilans écologiques et les études d'impact*, Henry AUGIER, "Vie Marine" N°7, 85 à 113,1985.
- (4) : *Ports de plaisance, conséquences sur le milieu marin, outils de prévision*, Jean-Louis MAUVAIS, "Equinoxe" N°30, 8 à 10, Mars 1990.
- (5) : *Etude bibliographique sur les brise-clapots flottants*, SOGREAH, Ministère de la Mer, Mars 1984.
- (6) : *La récupération de l'énergie des vagues*, Pierre GUEVEL et al., "Sciences et Techniques de l'Armement", 60,1^{er}, fascicule, 1986.
- (7) : *Le phénomène d'un mur d'eau oscillant et son application pour protéger un site côtier soumis à l'action de la houle*, P.GUEVEL, E.LANDEL, R.BOUCHET, J.M. MANZONE, A.T.M.A. 1985.
- (8) : *Etude de deux dispositifs hydrodynamiques : générateur de houle résonant et atténuateur de houle mettant en profit le phénomène du mur d'eau oscillant*, Thèse de Docteur-Ingénieur : E.LANDEL, Université de NANTES, Nov. 1986.
- (9) : *Etude expérimentale des plaques mobiles utilisées comme moyen de protection contre la houle*, Mémoire de maîtrise, A.DROUIN, Université de Laval, Département de Génie Civil, Québec, Mai 1988.
- (10) : *Les Atténuateurs de houle PRINCIPIA-MONACO, Licence CFEM, Application au site de la Ville Olympique de BARCELONE*, Jean-François COUDERT, Journées d'Etudes "Techniques Nouvelles de Travaux Maritimes, Fluviaux et Offshores" organisées par le CEIFICI, 6, rue Vital, 75116 PARIS, PARIS, 18 au 20 Octobre 1988.

FIGURE 1 : TOURISTES INTERNATIONAUX DANS LES PAYS MEDITERRANEENS (EN MILLIERS) - EVOLUTION 1970-1986



Source : Plan Bleu

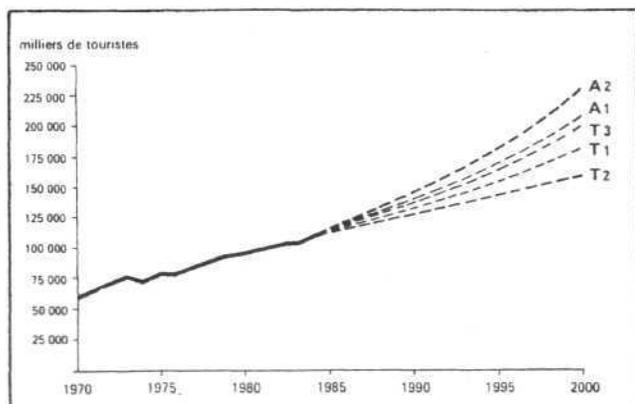


FIGURE 2 : NB. DE TOURISTES INTERNATIONAUX DANS LE BASSIN MEDITERRANEEN, SELON LES SCENARIOS.

Source : Plan Bleu

2025	Population littorale	Population urbaine littorale	Population urbaine	Surface brute disponible	Pression sur la côte
	Coeff.mult. 2025/1985	Coeff.mult. 2025/1985	Taux en %	m ² /hab	Hab/km
ESPAGNE	1.29	1.46	90.7	5324	6953
FRANCE	1.30	1.31	88.6	6491	4184
ITALIE	1.00	1.12	75.1	5425	5254
YUGOSLAVIE	1.93	2.63	74.0	8505	816
GRECE	1.07	1.56	86.3	10651	634
MALTE	1.20	1.30	92.3	688	2550
CHYPRE	1.35	2.01	73.7	10256	1153
TURQUIE	2.02	2.79	73.0	6058	3889
SYRIE	3.57	4.97	50.0	1017	22519
LIBAN	1.96	2.24	91.7	1992	23200
ISRAËL	1.62	1.71	95.4	3023	34350
EGYPTE	1.92	3.05	57.0	3284	33305
LIBYE	3.80	4.39	71.8	36130	4902
TUNISIE	1.81	2.23	83.0	5078	6925
ALGERIE	2.02	2.95	70.0	2933	19401
MAROC:	1.76	2.81	71.3	7027	11660

TABLEAU 1 : CROISSANCE DE L'URBANISATION DANS LES REGIONS COTIERES MEDITERRANEENES

Source : Plan Bleu

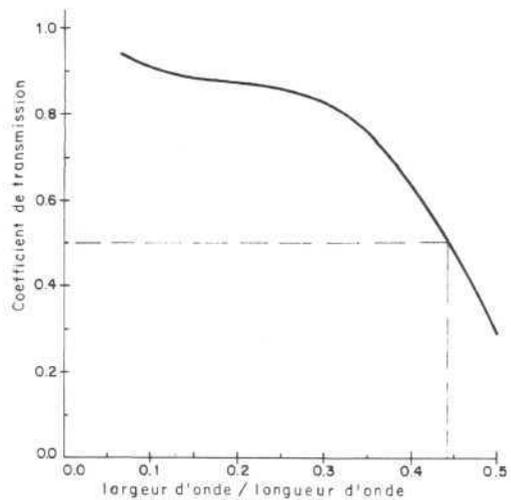


FIGURE 3 : RENDEMENT TYPIQUE D'UN BRISE-HOULE FLOTTANT

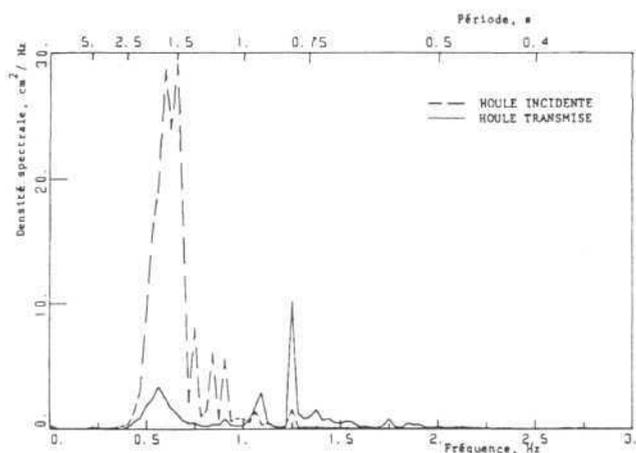


FIGURE 6 : RENDEMENT DES ATTENUATEURS EN HOULE ALEATOIRE

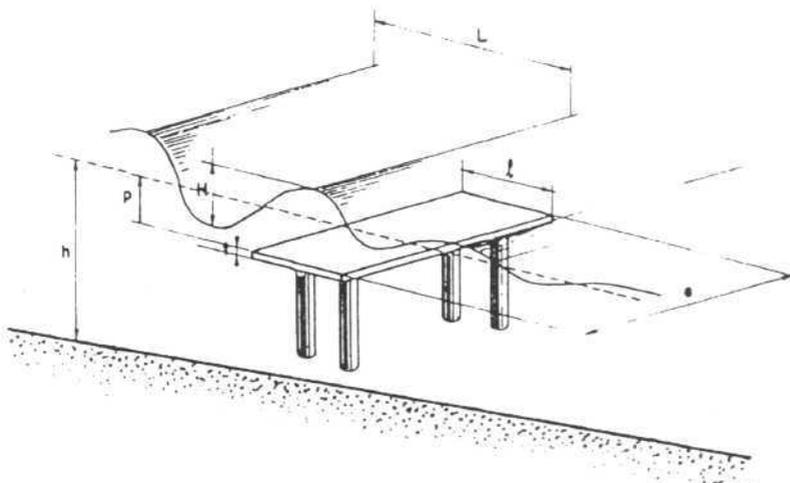


FIGURE 4 : ATTENUATEUR DE HOULE PRINCIPIA - MONACO

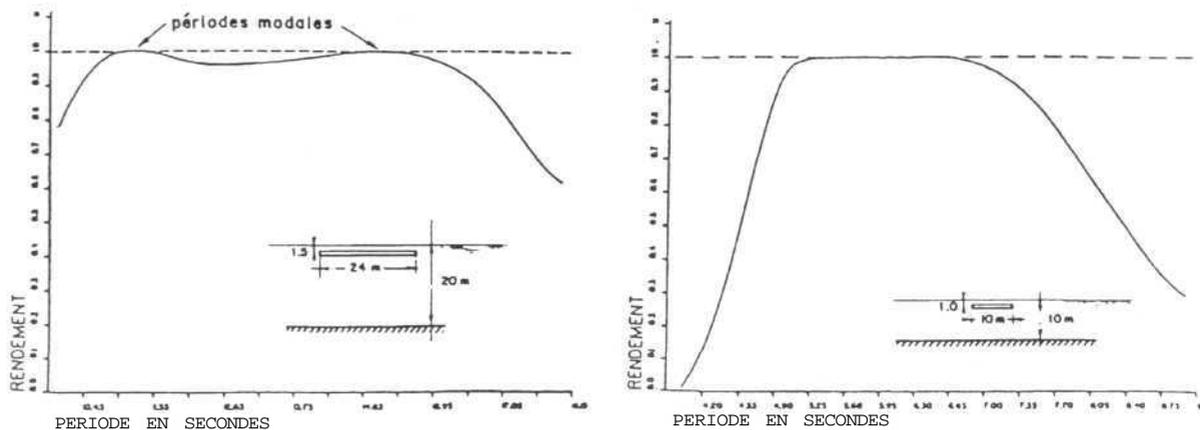


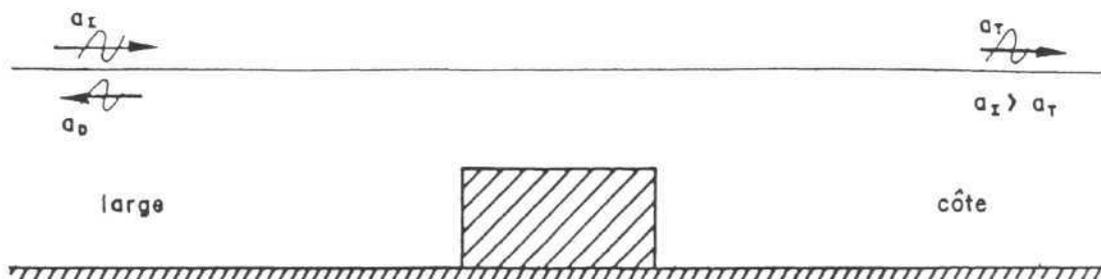
FIGURE 5 : RENDEMENT DES ATTENUATEURS EN HOULE REGULIERE

RECAPITULATIF DES PERFORMANCES DES PRINCIPAUX SYSTEMES REFLECTEURS POUR UN COEFFICIENT DE TRANSMISSION INFERIEUR OU EGAL A 0.50					
Type de Système	Hauteur d'eau (m)	Largeur (m)	Période (s)	Amplitude (m)	Coefficient de transmission
Ponton en bassin CARVER	7.6	3.7	3.0	0.75	0.47
	7.6		3.5	0.90	0.61
	3.0		3.5	0.90	0.51
Ponton CARVER	7.6	4.9	3.0	0.75	0.40
Ponton DHI	4.0	3.0	2.9	0.60	0.50
Ponton OFUYA	6.4	7.1	3.5	0.75 à 1.30	0.50 0.40 0.40
CARVER (Alaska)	7.6	6.4	3.5	0.90	0.50
LCHF (Alaska)	9.5 à 13.6	9.0	3.8	1.10	0.50
DAVIDSON (Catamaran)	3.0	3.0	3.0	0.90	0.33
	9.0	3.0	3.5	1.20	0.54
Equiport		7.6	4.0	1.30	0.50
OFUYA (Cadre en A)	5 et 8.2	6.3	3.5	1.30	0.50
CHEN et WIEGEL (A) CHEN et WIEGEL (B)	7.5	13.0	3.5	1.45	0.50
	7.5	7.0	3.8	1.20	0.50
LASALLE	20.0	6.6	4.0	1.50	0.50
BS 107c	60.0	10.0	4.0	1.50	0.50

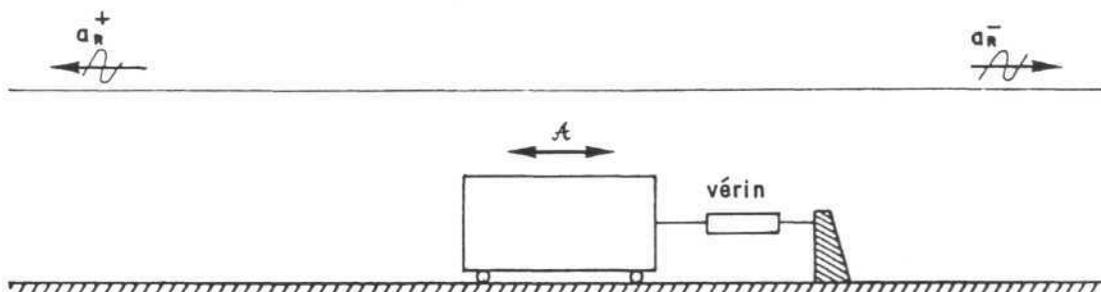
TABLEAU 2

RECAPITULATIF DES PERFORMANCES DES PRINCIPAUX SYSTEMES DISSIPATEURS D'ENERGIE POUR UN COEFFICIENT DE TRANSMISSION INFERIEUR OU EGAL A 0.50					
Type de Système	Hauteur d'eau (m)	Largeur (m)	Période (s)	Amplitude (m)	Coefficient de transmission
GOODYEAR (Essais échelle 1)	4.0	12.8	2.7	0.75	0.50
Pipe-Tire (PT1) (Essais échelle 1)	4.6	12.2	3.6	0.75	0.50
	2.0	12.2	7.5	1.30	0.45
Wave-Maze	4.2	21.3	4.5	1.07	0.50
Brise-lames à flotteurs captifs (Essais de HARMS)	13.2	24.0	3.3	1.10	0.50
Brise-lames HARRIS (HARRIS)	14.0	10.0	3.0	1.00	0.50
Brise-lames HARRIS (LCHF)	10.0	9.0	2.8	0.80	0.50
LCHF Mesnil Saint-Père	7.00	4.0	3.3	1.04	0.50
LA PERRIERE	5.00	9.0	2.6	1.00	0.50

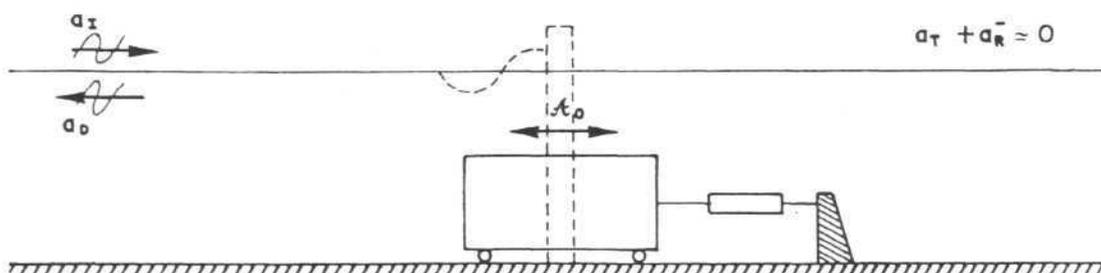
TABLEAU 3



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



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



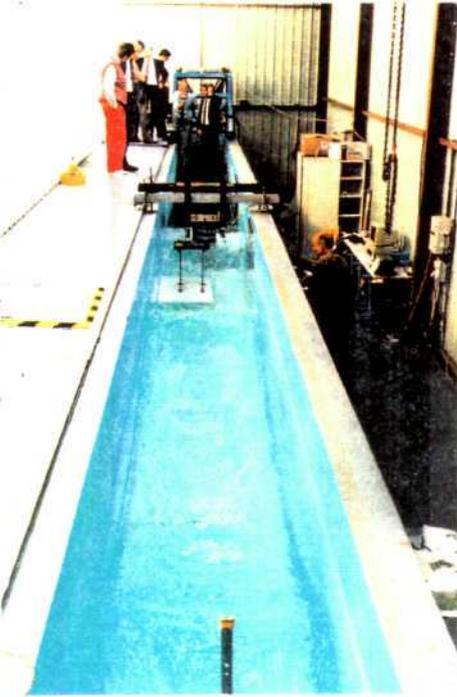
En superposant les deux cas précédents, on trouve pour deux périodes de houle différentes, un mouvement A_0 tel que la houle se propageant vers la côte $a_T + a_R^-$ soit nulle. Le caisson animé du mouvement A_0 se comporte alors comme un mur vertical. Dans ces conditions la houle se propageant vers la côte est très faible sur une large bande encadrant ces périodes.



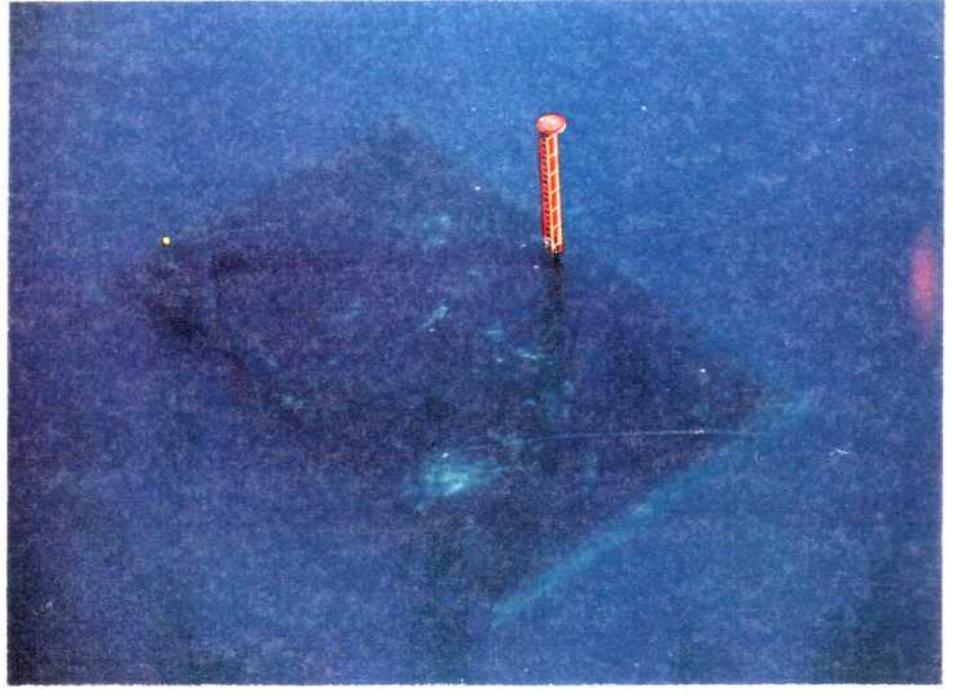
I 1



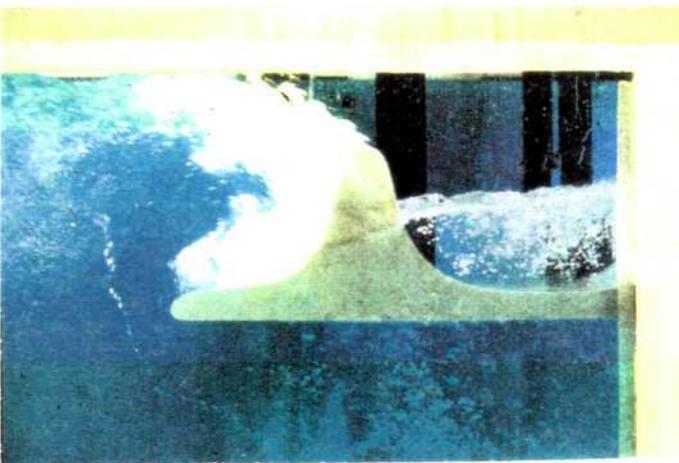
I 3



I 2



I 4



I 5



I 6