

Chapter 36

PROBLEMS DE DEFENSE DES COTES REUSSITE DE ECHECS DE QUELQUES OUVRAGES

M. Dreyfous-Ducas
Ingénieur des Ponts et Chaussées

R E S U M E

En s'appuyant sur les études publiées et les essais sur modèles réduits effectués depuis quelques années, l'auteur analyse les causes d'échecs et de réussites de divers ouvrages de défense contre la mer : épis, brise-mer ou perrés construits depuis 1830 dans le Sud-Ouest de la France.

Il recherche d'abord sur de nombreux exemples les causes de destruction ayant pour origine la structure des ouvrages en bois, en carapace de maçonnerie, en béton armé et conclut à l'emploi de maçonneries pleines et d'enrochements.

Il analyse ensuite, toujours sur des exemples, les effets des profils en travers des ouvrages et montre, pour les épis, l'intérêt d'une certaine perméabilité au sable, pour les perrés et brise-mer, l'importance d'une faible réflexion de la houle sur l'engraissement des plages et la tenue des ouvrages. Il en déduit les critères favorables des profils en travers de ces derniers : faible inclinaison des talus et rugosité pour les perrés et les brise-mer, étanchéité pour les perrés.

En ce qui concerne les dispositions générales des ouvrages, il montre, pour les épis, les dangers des épis longs à proximité des chenaux et pour les défenses longitudinales les dangers des ouvrages ouverts et la réussite des ouvrages en casiers fermés. Enfin, il attire l'attention des Ingénieurs sur les extrémités des ouvrages qui sont souvent des points singuliers et toujours des points délicats et sur l'intérêt de rechercher des formes qui n'altèrent pas la continuité de la laisse des hautes mers.

En conclusion, il donne les caractéristiques d'ouvrages qui lui paraissent favorables pour la défense d'une côte sableuse et indique la difficulté des problèmes de défense des côtes argileuses.

Six ans d'études et de travaux dans une région de France tristement célèbre pour l'ampleur de ses travaux de défense contre la mer m'ont conduit à essayer d'analyser les causes des succès et des échecs d'un certain nombre d'ouvrages construits depuis plus d'un siècle sur la côte Sud-Ouest, depuis la Gironde jusqu'à la frontière d'Espagne. Les études publiées et les essais sur modèles réduits, effectués depuis quelques années tant en France qu'à l'étranger, à ce sujet, permettent maintenant, à mon avis, de dégager une doctrine reposant sur des données précises et contrôlées.

Pour mettre un peu de clarté dans cet exposé, les causes des échecs et les réussites ont été analysées sous les trois points de vue suivants :

- structure des ouvrages;
- forme, c'est-à-dire profil en travers des ouvrages;
- implantation et disposition générale des ouvrages.

I - ECHECS DE STRUCTURE

BOIS.-

Le bois a été et continue à être souvent utilisé dans les travaux de défense contre la mer, soit comme élément de charpente, soit pour des épis, soit dans les fondations en pieux et palplanches de certaines défenses longitudinales; on le rencontre même comme élément constitutif de certains perrés. Enfin, dans certains épis du type hollandais ou belge on l'a utilisé conjointement avec des moellons ou de la maçonnerie comme élément de fixation des ouvrages.

Dans le Sud-Ouest, à la Pointe-de-Grave, il fut utilisé dans les premiers épis (1830 à 1850); dans le vieux brise-mer des Huttes (1850 à 1875), dans des revêtements de dune. Comme on pouvait s'y attendre avec des ouvrages alternativement dans l'eau et à l'air, les bois finirent par pourrir, par se casser ou être attaqués par les tarets dans les zones peu agitées, amenant petit à petit la dislocation des ouvrages.

L'usage assez courant de palplanches en bois comme fondation peut être à la rigueur retenu dans les digues de défense des terrains argileux où le problème de l'étanchéité ne joue pas et laisse par là même le temps d'intervenir en cas d'érosion devant les ouvrages.

Par contre, dans les défenses de côtes sableuses, les palplanches en bois, que ce soit pour de petits ouvrages dans le Bassin d'Arcachon, ou des défenses plus importantes comme celles de Capbreton, ont toujours donné lieu à des déboires lorsque la basse accidentelle du niveau de la plage atteignait les fondations. Il est en effet pratiquement impossible d'obtenir, avec les palplanches en bois, une étanchéité suffisante, le sable est soutiré, laissant l'ouvrage

suspendu et voué à une destruction certaine (ouvrage de Capbreton, mars 1954) (photo 1).

L'utilisation du bois pour les perrés eux-mêmes, comme cela se pratique souvent dans le Bassin d'Arcachon, n'est pas à recommander pour les mêmes raisons; les perrés ainsi construits sont en général mal appliqués contre le sol à protéger et rapidement détruits lors des tempêtes (photo 2). Ceux qui ont eu la chance de subsister quelque temps pourrissent assez vite et ce mode de défense devient, à la longue, particulièrement onéreux.

Enfin, l'utilisation de pieux jointifs pour les épis est à proscrire sur les plages balnéaires : l'usure du sable et l'action des tarets les transformant rapidement en une ligne inégale de pieux acérés particulièrement dangereux pour les baigneurs et les embarcations de plaisance.

CARAPACE DE MACONNERIE.-

Les ouvrages en moellons à carapace de maçonnerie, utilisés presque exclusivement à la fin du siècle dernier et au début de ce siècle, présentent également un caractère de faiblesse extrêmement grave. Lorsque la carapace est endommagée par suite de la décomposition de certains liants, par suite du choc de corps flottants, ou par les lames de tempête, les moellons qui constituent l'âme de l'ouvrage sont enlevés par la mer, les lames disloquent la maçonnerie. De tels ouvrages sont à proscrire chaque fois que l'entretien ne peut être assuré de façon permanente.

C'est ainsi que le brise-mer des Huttes (planche n° 1) construit en 1900 en prolongement du vieux brise-mer, qui donnait satisfaction, a fini par disparaître par suite du manque d'entretien pendant la première guerre et des tempêtes qui ont achevé sa démolition. Dans tous les cas, on ne saurait trop recommander, dans la construction de tels ouvrages, de multiplier les murs de refend pour localiser les dégâts.

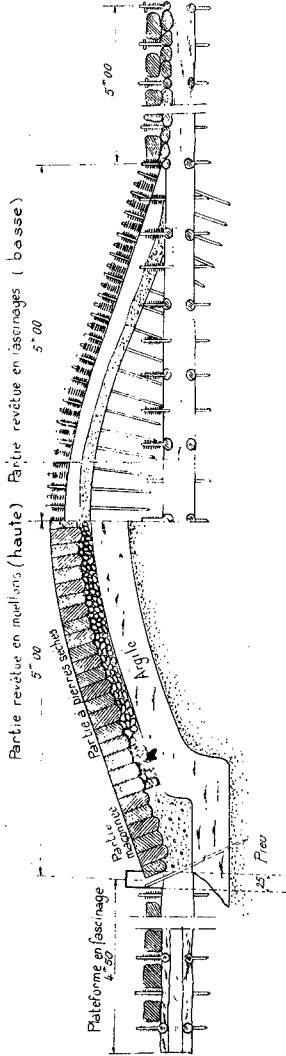
BETONS.-

L'utilisation du béton n'est pas en soi un vice de structure à condition d'utiliser des bétons à granulométrie soignée et des liants qui résistent bien à l'eau de mer. Par contre, l'utilisation des bétons armés donne lieu à de nombreux déboires car il est très difficile d'obtenir des entreprises des bétons étanches, des fers à bonne distance des parois et tous les ouvrages en béton armé finissent par disparaître par éclatement du béton sous l'effet de l'oxydation des aciers.

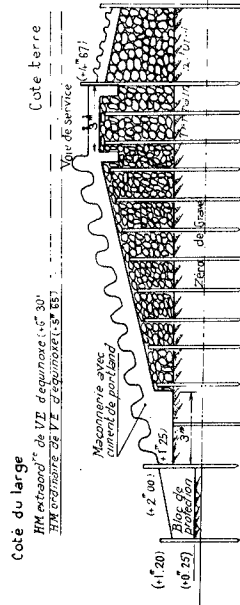
C'est ainsi que des épis en béton armé construits en 1949 à Montalivet, face à l'océan, peut-être avec un soin insuffisant, commencent déjà à se dégrader. Des perrés en béton armé construits sur le Bassin d'Arcachon un peu avant la dernière guerre et constitués par des plaques fixées sur des éléments de charpente en béton armé sont déjà partiellement détruits, les plaques arrachées ou cassées, les pieux éclatés. Le ragrément de ces ouvrages est toujours difficile et

Ouvrages anciens et détruits

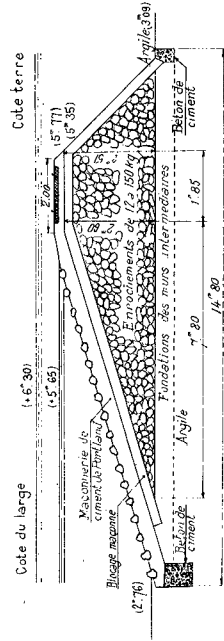
Coupe des premiers épis



Ancien brise mer des Huttes



Nouveau brise mer des Huttes



le remplacement des plaques nécessite des moyens importants.

Les palplanches en béton utilisées dans les perrés souffrent moins en général que les superstructures et les procédés modernes comme le béton sous vide permettent de construire et de manutentionner des pieux et palplanches en béton pratiquement sans armature.

°
° °

Les ouvrages en maçonnerie de moellons massifs, exécutés avec soin et avec de bonnes fondations indispensables à l'étanchéité de ces ouvrages, ont toujours bien résisté (planche 2). Les fondations de palplanches métalliques utilisées dans les ouvrages plus modernes (planche 3) semblent devoir donner parfaitement satisfaction et l'oxydation superficielle ne semble pas présenter d'inconvénients graves car l'acier travaille plus souvent à des taux pratiquement nuls.

Enfin, les ouvrages en enrochements naturels (planche 3) semblent réussir partout lorsqu'ils sont stables sous l'effet de la houle. Il en est de même lorsqu'ils sont maintenus par des liants bitumineux qui apparaissent comme pratiquement inattaquables à l'eau de mer.

Il est peut-être trop tôt pour pouvoir donner des indications certaines en la matière bien que certains ouvrages hollandais aient plus de vingt ans d'âge. Dans le Sud-Ouest, les premiers essais d'utilisation de liants bitumineux dans les enrochements ont été effectués en 1949 à Bayonne, à la digue de l'Arta à St-Jean-de-Luz, et à Pointe-de-Grave. Leur succès a conduit les Ingénieurs à poursuivre dans cette voie (photo n° 11).

II - ECHECS DE FORME ET DE PROFIL EN TRAVERS DES OUVRAGES

a) EPIS.-

Le principal défaut des épis est de conduire les lames de tempêtes vers le haut des plages, et il est le plus souvent nécessaire de construire à leur enracinement des éléments de défense longitudinale extrêmement solides (photo n° 4). C'est ainsi que, il y a plus de cent ans, sur le littoral de la Pointe-de-Grave, les Ingénieurs ont été amenés à construire une défense longitudinale en maçonnerie continue entre les épis.

Cet inconvénient, déjà sérieux dans le cas des épis à profil doux du type des plages du Nord, hollandaises ou belges, est encore beaucoup plus grave dans le cas des épis verticaux pleins. Dans ce dernier cas, le pivotement des lames autour de l'épi provoque en général des érosions de la face sous le vent, ou à l'aval dans les défenses longitudinales (photo n° 5).



Photo N°1 - Perré de Cap-Breton

Ouvrage en béton, trop lisse, pente $3/2$, trop réfléchissante.

Formes irrégulières (rotondes)

Le sable pénétrant au niveau de la risberme, à mi-hauteur du perré a baissé devant l'ouvrage mettant à nu les palplanches en bois.

Le sable a été soutiré à travers les fissures du béton et les palplanches.

Ouvrage détruit en mars 1954 malgré le rideau de palplanches métalliques battues postérieurement à la construction de l'ouvrage



Photo N°2 - Arcachon-Le Moulleau

Perré vertical en bois reconstruit en 1953 - Noter le dessablement devant l'ouvrage et le soutirage de sable à travers les pieux.



Photo N°3 - Bassin d'Arcachon

Au premier plan, débris d'un épi en rondins usés par le sable et les tarets - Au second plan, épi à plaques mal fixées, Ouvertures trop grandes - Inefficace

Par ailleurs, dans le cas des épis à parois verticales ou peu inclinées, les phénomènes de ressac contrarient l'effet de l'épi et gênent le dépôt de sable. Bien que choisis la plupart du temps pour des considérations financières, car ils sont beaucoup moins onéreux que les épis plats, ils doivent être prohibés le long des plages où la circulation des matériaux et l'action éolienne sont faibles. Cet inconvénient disparaît évidemment lorsque les épis ont seulement pour objet de ralentir la progression des sables et de protéger certains ouvrages maritimes contre l'ensablement.

Dans le cas des estrans où l'alimentation en sable est relativement peu importante et lorsque les possibilités de financement ne permettaient pas de construire des épis plats, les ingénieurs ont souvent essayé des épis du type "perméable". L'intérêt de cette perméabilité relative est de laisser passer une certaine quantité de sable à l'aval de l'épi pour atténuer et éloigner l'érosion de la face sous le vent.

Dans le Bassin d'Arcachon on a construit ainsi, dans le passé, des épis constitués par des pieux en pin jointifs. Après la guerre, du fait de l'usure trop rapide des épis en bois dont il a été parlé ci-dessus (photo n° 3), on leur a substitué des épis en béton armé à plaques ajourées dont les fenêtres laissaient passer une partie du sable. Leur efficacité est restée pratiquement la même du côté "au vent" et leur longueur d'action sur la face sous le vent est très intéressante. La difficulté principale réside dans la détermination de la dimension des ouvertures : si elles sont trop petites, on retombe dans les inconvénients des épis pleins, si elles sont trop grandes, l'épi ne joue plus. Les premiers épis de ce type construits avec des fenêtres de 5 cm de hauteur et de 0m,50 de longueur ont assez bien réussi. Par contre, avec des fenêtres de 7 cm de hauteur ou des plaques mal fixées et trop écartées les résultats ont été très médiocres (photo n° 3). Il est probable que la granulométrie du sable joue un rôle important et il serait peut être opportun de faire, dans chaque cas, un essai pratique avec différentes ouvertures.

Les épis en enrochements ne présentent évidemment pas tous ces inconvénients de forme et ils ont l'avantage de laisser filtrer du sable. Par contre, leur emploi est assez discuté sur les plages, sauf à construire, près des enracinements, des moyens de franchissement; mais ils restent un danger pour toutes les embarcations de plaisance, ce qui limite considérablement leur emploi dans les plages balnéaires.

b) PERRÉS ET BRISE-MER.-

Les trois principales causes d'échec des perrés et des brise-mer, du fait de leur profil en travers, résident dans la non étanchéité ou l'insuffisance de leurs fondations, la trop grande raideur de leurs talus, l'absence de rugosité de leurs surfaces.

Pour les perrés il en existe une quatrième : l'absence d'une terrasse étanche à la partie supérieure du perré.



Photo N°4 - Pointe-de-Grave - St Nicolas

Ancien épi 14 - Epi non relié à un ouvrage longitudinal et coupé de la dune (1925)



Photo N°5 - Arcachon

Epi plein - érosion sous la face "sous le vent"

Fondations.

Lorsque des ouvrages défavorables ou des circonstances exceptionnelles ont démaigri les estrans et que les fondations des ouvrages sont déchaussées, l'absence de palplanches ou leur non étanchéité provoquent, comme nous l'avons indiqué plus haut, des soutirages de sable et la destruction des ouvrages (perrés d'Hossegor et de Capbreton) (photos 1 et 2).

Inclinaison des talus et rugosité.

L'étude très complète de M. Miche⁽¹⁾ sur le pouvoir réfléchissant des ouvrages à l'action de la houle ainsi que l'étude de M. Lesbordes⁽²⁾ sur l'érosion due aux courants de houle permettent d'expliquer la plupart des échecs passés ou contemporains.

D'une manière générale, on peut affirmer que lorsque la houle réfléchie dépasse 50 % de la houle incidente, le dépôt de sable devant l'ouvrage ne se fait pas. La pente des talus doit donc être choisie avec soin en fonction de la nature des ouvrages. En moyenne cette pente doit être inférieure à 3 pour 2 dans le cas des ouvrages en enrochements et à 2 pour 1 pour les ouvrages plus lisses. Bien entendu, il s'agit là de chiffres approximatifs qui dépendent de la cambrure des houles observées. Par ailleurs, les ouvrages lisses ne freinent pas les lames de retour qui provoquent des affouillements à leur pied.

C'est ainsi que sur la côte de la Pointe-de-Grave tous les ouvrages lisses en maçonnerie ou en béton, avec une pente supérieure ou égale à 3 pour 2, ont été détruits du fait des affouillements. Dans les brise-mer actuels (planches 2 et 3), les ouvrages de la Claire et des Arros, ou le nouveau brise-mer de l'Anse des Huttes, qui présentent un parement rugueux (enrochements) à pente de 2 pour 1 s'ensablent très bien. Par contre, l'ouvrage des Huttes, pourtant placé au milieu, a toujours donné des inquiétudes du fait des affouillements à son pied. Son talus moyen de 1 pour 1 est en effet constitué par des éléments en béton parallélépipédiques à faces verticales et totalement réfléchissantes (photos 6 et 7). La situation s'est considérablement améliorée depuis la pose d'enrochements naturels en talus devant l'ouvrage.

Dans les mêmes conditions, au Nord de ces ouvrages, devant le brise-mer St-Nicolas, l'ensablement était excellent en 1910, après sa construction, lorsque des blocs d'enrochements garnissaient son parement face à l'océan. Leur enfoncement ou leur disparition a découvert la surface verticale du brise-mer et a provoqué par la suite le dessablement. L'argile et le rocher naturel de St-Nicolas sont

(1) annales des Ponts et Chaussées mai-juin 1951.

(2) annales des Ponts et Chaussées janvier-février 1950.



Photo N°6 - Nouveau Brise-mer des Huttes construit vers 1935

Le talus, analogue à une paroi verticale fait partir le sable devant l'ouvrage et l'empêche de passer derrière.

Au fond, au pied de l'ouvrage, éléments en béton mobiles autour d'un axe horizontal appelés "touches de piano" pour essayer de suivre l'érosion.

Au premier plan, débris de l'ancien brise-mer des Huttes.



Photo N°7 - Nouveau brise-mer de l'Anse des Huttes (1952)
Remplace le vieux brise-mer détruit (1853)
Bon ensablement devant l'ouvrage (1954)
Talus des enrochements 2/I



Photo N°8 - Pose d'enrochements devant le casier fermé de
St Nicolas
Arrivée du sable - décembre 1953

restés à nu jusqu'en octobre 1953 où l'ensablement a accompagné la pose d'enrochements naturels avec une pente de 2 pour 1 (photo 8).

Dans le Bassin d'Arcachon, le dépôt de sable devant les perrés en béton à 1 pour 1 est extrêmement difficile malgré la progression naturelle du sable le long de la côte.

L'ouvrage de Capbreton, cité plus haut, ouvrage récent, très massif, à pente voisine de 3 pour 2, à parement lisse en béton, a provoqué un abaissement du sable jusqu'à déchaussement des fondations qui, trop faibles, ont cédé (photo n° 1). A Hendaye, le perré, en maçonnerie, très raide, qui protège la route nationale le long de la plage, a été régulièrement détruit tous les hivers jusqu'à la pose d'un talus doux d'enrochements. Dans l'estuaire de la Gironde des épis verticaux massifs, en béton, ont été déchaussés très rapidement et le sable a tendance à revenir depuis leur démolition et leur étalement. A Soulac, les revêtements de dune anciens, mal fondés et très raides, ont tous été détruits.

En résumé, on ne peut pas affirmer qu'un ouvrage à faible réflexion de houle provoquera un ensablement ou ne sera pas accidentellement dessablé par suite de tempêtes et de circonstances simultanément défavorables; mais on peut être certain qu'un ouvrage lisse ou trop accore et à forte réflexion de houle sera néfaste car il empêche le dépôt de sable. Les Ingénieurs ne doivent pas, à mon avis, rechercher les ouvrages massifs pour essayer de lutter contre le déchaînement des tempêtes, mais des ouvrages qui permettent l'engraissement des plages.

Etanchéité des terrasses.

Enfin, pour les perrés, si la partie supérieure n'est pas étanche, les raz de marée pénètrent derrière l'ouvrage et peuvent le renverser. Ce phénomène s'est produit de façon très générale dans le Sud-Ouest lors du raz de marée de décembre 1951. Dans le Bassin d'Arcachon plusieurs kilomètres de perrés ont été ainsi déversés (photo n° 9). Dans le port même de St-Jean-de-Luz les dégâts ont été considérables.

III - ECHECS DUS A L'IMPLANTATION ET A LA DISPOSITION

GENERALE DES OUVRAGES.

EPIS.-

La première condition pour qu'un épi ou un système d'épis ait une certaine efficacité est qu'il existe un transport de sable le long de la plage ou dans la partie sous-marine de l'estran. Certains épis placés au fond des anses donnent des résultats très médiocres alors que, quelques centaines de mètres plus loin, des épis

identiques donnent d'excellents résultats.

Ainsi, parmi les premiers épis construits à la Pointe-de-Grave il y a plus d'un siècle et que nous avons déjà mentionnés plus haut, les épis placés au Sud qui se trouvaient en avant de la ligne générale du rivage se sont rapidement ensablés ainsi que ceux placés tout à fait au Nord, près de la pointe elle-même. Par contre, les épis de l'Anse des Huttes ne réussirent jamais à s'ensabler et furent rapidement détruits.

Il a été souvent conseillé de construire les épis d'aval les premiers et de ne construire les épis d'amont que lorsque l'épi immédiatement à l'aval était entièrement ensablé. Mais il est impossible d'imposer cette clause aux riverains et d'ailleurs les dessablages de certaines tempêtes rendent cette disposition un peu illusoire.

Une deuxième condition d'efficacité des épis dans le cas d'estrans bordés de chenaux accores est de limiter leur longueur pour éviter les zones d'agitation et de tourbillons qui se produisent, dans ce cas, près des musoirs. A l'embouchure de la Gironde, la jetée de Grave a provoqué ainsi une fosse de 25 m. de profondeur, ce qui conduit à un rechargement d'énrochements extrêmement onéreux. Dans le système d'épis qui bordent le chenal d'Arcachon on a dû raccourcir quelques épis qui se trouvaient trop près du chenal et y provoquaient des fosses (photo n° 10).

Au contraire, certains épis judicieusement placés à proximité d'une rivière à fort charriage ont provoqué des engraissements de plage considérables et ont confirmé les théories des plans de vagues de M. le Professeur Irribarren. L'épi d'Hendaye en particulier et les épis des plages espagnoles de la province de Guipuzcoa ont donné des résultats conformes aux espoirs de leurs auteurs.

OUVRAGES LONGITUDINAUX.

Les dispositions générales ou le tracé en plan des ouvrages jouent également un rôle considérable.

Les premiers brise-mer construits à la Pointe-de-Grave présentaient, comme nous l'avons indiqué, un profil en travers favorable (pente 3 pour 1) quoique peut-être une rugosité de la surface insuffisante : le système des moellons en hérissons est en effet illusoire au regard des lames incidentes, et insuffisant pour freiner les lames de retour. Mais leurs dispositions générales étaient assez critiquables. Arasés à une cote trop élevée, ils étaient ainsi presque infranchissables à la lame et le sable pouvait difficilement passer derrière le brise-mer. Il semble que l'on n'espérât pas réussir à engraisser la plage puisque ces brise-mer, ne formant pas casiers, étaient ouverts aux extrémités, et qu'on avait même laissé des coupures ou des buses à travers l'ouvrage au niveau des fondations pour permettre à l'eau de se retirer. Le sable ne pouvait donc monter derrière l'ouvrage et, en l'absence d'un matelas d'eau ou de sable, il se produisait un ravinement ou des affouillements



Photo No. 9 Bassin d'
Arcachon. Perré en béton
armé sans terrasse, dé-
versé après le raz de marée
du 29 Décembre 1951.



Photo No. 10 Bassin d'Arcachon
Epi trop long à proximité du chenal du
Moulleau



Photo N°11 - Nouveau casier et revêtement de dune de
St Nicolas (1954) - Vue d'ensemble
Brise-lames en enrochements avec mastic
bitumineux
Revêtement de dune en enrochements avec
mastic bitumineux sur chape étanche en bé-
ton bitumineux
Fondation de palplanches métalliques et
assise de moellons
Bon ensablement qui suit la construction
de l'ouvrage

derrière l'ouvrage. Des brèches se sont formées; les tempêtes ou le manque d'entretien ont achevé la destruction.

Dans de nombreuses plages balnéaires les municipalités ont fait construire des boulevards-promenades au plus près de la plage. Malheureusement ces promenades ont été souvent protégées par des perrés à talus très raides et qui, de plus, venaient couper la ligne de la laisse de haute mer. Les clapotis et les courants de houle qu'ils ont engendrés ont rapidement fait disparaître tout ou partie de la plage. Dans le Sud-Ouest on a vu disparaître ainsi la plage des Basques à Biarritz et une partie de la plage de St-Jean-de-Luz.

Enfin, même lorsque les ouvrages sont favorables, soit en plan, soit par le profil, les extrémités sont des points de préoccupation constante. On se trouve en effet devant des points de discontinuité générateurs de pivotement de houles et de ressac. Les vieux brise-mer des Huttes ne se raccordaient pas à la dune ou se terminaient par des angles vifs. L'érosion se déplaçait obligeant les Ingénieurs à prolonger indéfiniment les ouvrages. Le revêtement de dune en béton armé de La Claire, aujourd'hui disparu, fut ainsi tourné à son extrémité avant d'être détruit. Dans le Bassin d'Arcachon un perré de plus de 700 m. très récemment construit donne satisfaction dans l'ensemble mais il est tourné à sa pointe Nord qui ne se trouve pas assez en retrait et on constate un abaissement de la plage à cette extrémité.

A mon avis, contrairement aux errements en vigueur on ne saurait trop recommander de rechercher, pour les extrémités des ouvrages nécessairement discontinus, des formes qui tendent à rétablir la continuité de l'estran.

IV - CONCLUSION.

En conclusion de cette brève étude il me semble possible d'énoncer quelques principes qui peuvent servir de guide aux Ingénieurs chargés de concevoir et d'exécuter les travaux de défense.

Pour la défense des côtes de sable en pente régulière il faut construire des ouvrages, brise-mer ou perrés peu réfléchissants à la houle, à pente douce et rugueux. Les perrés doivent être fondés sur des palplanches étanches et être surmontés de terrasses également étanches (photo n° 11 et planche 3).

Les épis ne peuvent réussir partout; leur emploi, leur emplacement, leur structure demandent beaucoup de prudence en particulier le long des chenaux où ils sont souvent nuisibles s'ils sont trop longs.

Le problème de la défense des côtes argileuses est, à mon avis, plus difficile. En effet, sur les côtes sableuses une tempête, ou les houles quotidiennes, ramène le sable qu'une tempête a chassé. L'argile arrachée ne revient pas. Quelle que soit la pente ou la rugosité d'une digue ou d'un perré, les lames de retour usent ou arrachent l'argile, les lames incidentes ravinent et affouillent.

Seules, des risbermes en enrochements au pied des ouvrages, des plantations d'herbes marines ou de petits brise-lames en enrochements plus en avant, peuvent peut-être permettre de sauver les ouvrages.

Mais, dans tous les cas, sable ou argile, les défenses trop accores et trop lisses, quelle que soit leur importance, sont nuisibles et destinées à disparaître.

La force de l'océan se rit des ouvrages des hommes qui prétendent le dompter.

R E S U M E

SEA-DEFENSE PROBLEMS - SUCCESS AND FAILURE OF SOME STRUCTURES

M. Dreyfous-Ducas

Considering the studies which have been published and the tests which have been made on models in past years, the author analyzes the reasons of failure or success on various defense works against the action of the sea. Groins and dry-wall breakwaters built since 1830 in the southwest of France are discussed.

Discussed first are the cases where the failure of the structure resulted from the nature of the construction. Structures of wood, masonry shell, and reinforced concrete are discussed, with solid masonry being considered as the most durable. Next these same types of construction are considered from the standpoint of their cross section. For groins, some permeability to sand is desirable; for dry wall breakwaters, a small reflection of the waves is effective in causing a flattening of the beach. A flat rough slope is desirable as the face of a breakwater. Low permeability is also desirable.

With regard to the general layout of structures, the danger of long groins in the vicinity of channels, and of open type construction with longitudinal structures is shown.

The attention of engineers is directed to the importance of the ends of structures where the most critical conditions often occur. In conclusion, construction features which are effective on a sandy coast are shown, and the difficult problems of a clay soil coast are considered.