

LES OUVRAGES DE DEFENSE CONTRE LA MER
SUR LA COTE FRANCAISE DE L'OCEAN
ENTRE LA LOIRE ET LA GIRONDE

F. Blondeau & A. Baste
Ingénieurs en chef des Ponts et Chaussées
La Roche-sur-Yon La Rochelle

I - COTE DE VENDEE

Les côtes de Vendée, dont le tracé est actuellement presque rectiligne, et orienté du Nord-Ouest au Sud-Est, présentait encore à l'époque romaine deux grandes indentations. L'une, au Nord, où la mer atteignait les terres hautes du bocage, de part et d'autre de l'épéron de Beauvoir, constituait le golfe de Machecoul et celui de Soullans. L'autre, au Sud, formait le golfe du Poitou, où aboutissaient les rivières du Lay, de la Vendée et de la Sèvre Niortaise. (fig. 1)

Sous l'influence du courant littoral, qui, tout le long de l'Atlantique Nord, court du Nord-Ouest au Sud-Est, les sables provenant notamment de la Loire formèrent petit à petit des cordons de dunes reliant entre eux les points saillants du rivage :

- Noyaux granitiques du Pilier (au large de Noirmoutier) et de l'Herbaudière (pointe Nord de cette île) ;
- Noyaux calcaires de Barbâtre (pointe Sud de la même île) ;
- Rochers schisteux de la côte de Monts et de Croix-de-Vie pour la partie Nord ;
- Emergences calcaires de la Tranche, de la Dive et de l'Aiguillon pour la partie Sud.

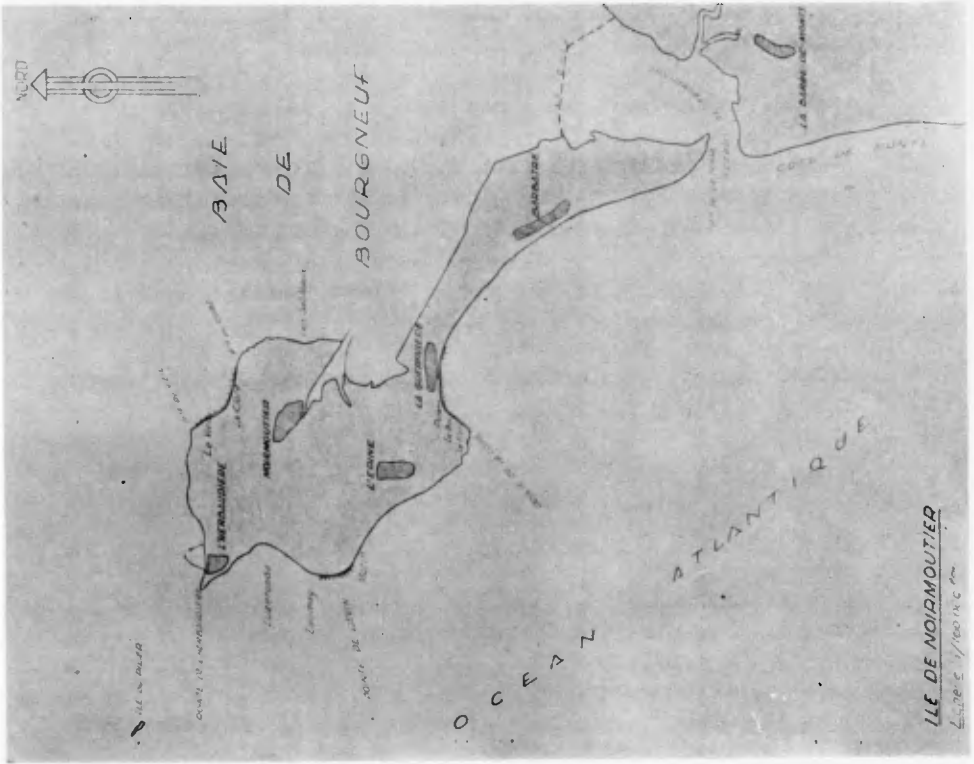


FIG. 2.

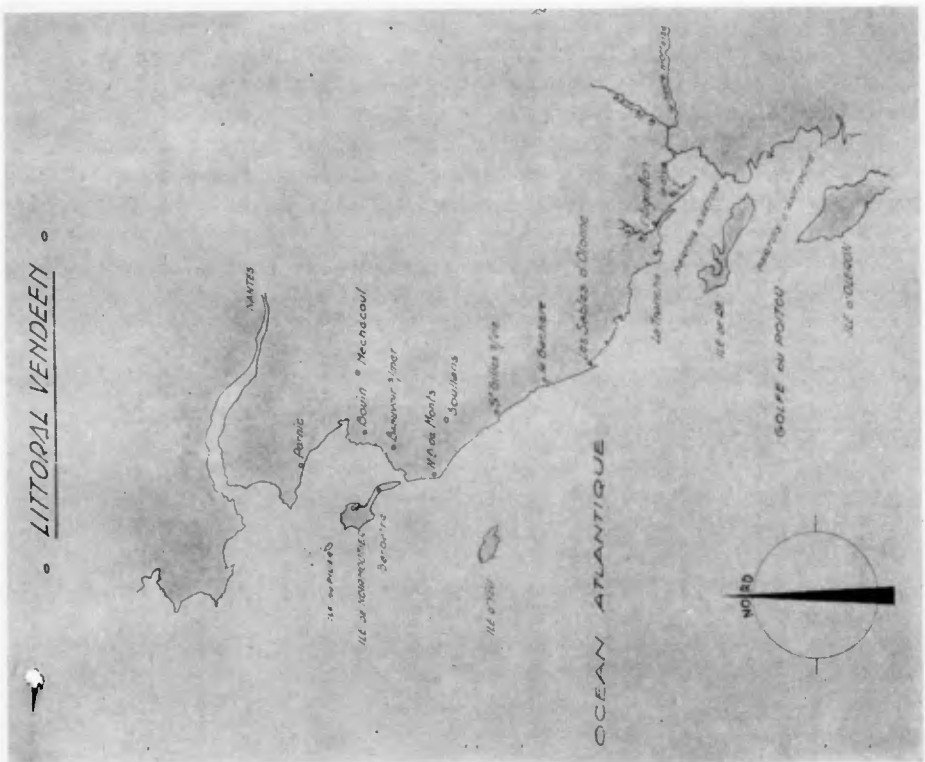


FIG. 1.

À l'abri de ces cordons dunaires se déposèrent des sédiments, soit en provenance des cours d'eau descendant les terres hautes, soit apportés par les marées.

Ainsi se colmatèrent peu à peu :

- au Nord, le marais Breton et Noirmoutier, autour des points résistants énumérés ci-dessus, et, en outre, de ceux de l'île de Bouin, de l'île de la Croisière, de l'île Chauvet, etc...

- au Sud, le marais Poitevin, qui bénéficiait également de la protection lointaine de l'île de Ré.

Les efforts des hommes visèrent à stabiliser ces acquisitions à les organiser, enfin à les défendre.

On comprend en effet, par ce très schématique exposé, que les vastes régions ainsi gagnées sur la mer devaient nécessairement avoir une vie précaire.

Dans le Marais Breton, plus de 50.000 hectares de terres polderisées sont à un niveau inférieur à celui des plaines mers. Pour les garantir de l'invasion :

- les digues, tout artificielles et très médiocres des polders ;
- les cordons de dunes de Noirmoutier et de la côte de Monts.

Dans le Marais Poitevin, plus de 80.000 hectares de marais sont eux aussi à une cote inférieure à celle des plaines mers et leur protection n'est assurée que par les digues de polders de la baie de l'Aiguillon et par les dunes de La Faute et les grandes digues maçonnées qui ont dû, à diverses époques, être édifiées pour remplacer les dunes de sable grignotées par la mer, à La Faute et à l'Aiguillon.

C'est dire que les problèmes de défense contre la mer ont, en Vendée, une certaine importance.

Avant d'examiner les ouvrages de défense proprement maritimes, nous dirons un mot des digues de polders. Ce sont essentiellement des ouvrages construits pour l'endigage des lacs de mer. Ils sont donc de conquête plus que de défense. Mais leur situation, et leur importance leur confèrent un rôle essentiel dans la protection des zones inondables. Leur vieillissement est à la base des inquiétudes les plus sérieuses.

Ces digues sont pratiquement toutes du même modèle. Les données qui ont présidé à leur établissement, (au moins pour les plus récentes, celles du siècle dernier qui sont actuellement digues de mer de première ligne) sont les suivantes. Leur pied a été construit approximativement sur la ligne des pleines mers de morte eau extraordinaire (coefficient 25 à 30 de l'annuaire des marées) soit la cote (+ 3.50) environ par rapport au zéro des cartes marines (niveau des plus basses mers). Leur crête s'élève théoriquement, à 1 mètre au-dessus du niveau des plus hautes mers (coefficient 120), soit (+ 7.00) à (+7.50). Le talus extérieur (côté mer) est à 3 de base pour 2 de hauteur. Le talus intérieur est souvent plus raide encore. Dans le Nord, baie de Bourgneuf et Noirmoutier, le talus extérieur est revêtu d'un perreyage à pierres sèches de 30 cm. d'épaisseur en général, posé sur une couche de glaise de 20 cm ou de pierrailles. Ce perreyage n'existe pas dans les digues de l'Aiguillon. Le corps de la digue est quelquefois en glaise, le plus souvent en produits plus ou moins argileux provenant des abords mêmes de l'ouvrage ; on en connaît aussi en sable et gravier. La section moyenne de ces digues ne dépasse pas, dans la majorité des cas, 20 mètres carrés.

Cependant ce n'est généralement pas la faiblesse de leur échantillon qui provoque les ruptures. Neuf fois sur dix, celles-ci sont produites par la submersion. Dès que les lames franchissent la crête, leur déversement sur le talus intérieur de la digue produit un ravinement qui se traduit par l'enlèvement de tranches verticales du remblai. Dès que l'attaque arrive à la verticale de la crête, la rupture est virtuellement consommée.

La submersion des digues de polders tient à plusieurs causes :

- a) leur cote initiale trop faible. Il s'agit d'ouvrages privés, réalisés, non en vue de la sécurité du pays, mais pour un

profit immédiat. Souvent en effet, les "renclôtures" de polders ont été faites par des sociétés civiles, qui ont été dissoutes au lendemain de la réception du polder et de la vente, ou du partage des terrains. Aucun effort ultérieur d'amélioration de la défense n'a été, le plus souvent, entrepris.

- b) leur défaut d'entretien. Outre le tassement des remblais et l'action érosive des éléments (éolienne ou de ruissellement des pluies) la circulation humaine et surtout animale, contribuent à la diminution de la cote de la crête. Des rechargements périodiques seraient nécessaires, qui ne sont jamais exécutés. Enfin en certains points, la présence de terriers de lapins nuit gravement à la cohésion et à la résistance des remblais.
- c) enfin le tassement du sous-sol. Certaines digues, notamment dans les anciens estuaires des cours d'eau, reposent sur des couches considérables (plus de 20 m) de vase fluide. Nous avons pu constater nous-même, après le désastre du 16 novembre 1940, qu'il était impossible d'amener par rechargement du remblai la digue de la Ceupelasse (embouchure du Falleron) à son niveau théorique, sur près de 100 mètres de longueur. La solution a été trouvée dans la construction d'une murette de crête d'un mètre de hauteur, dont le poids, nettement plus faible que celui du remblai, a été supporté sans nouvel affaissement du pied de la digue.

Nous ne nous attarderons pas aux remèdes possibles. A part la murette de crête évoquée ci-dessus, ils tiennent dans l'entretien soigné et vigilant des digues, et ne posent généralement aucun problème technique intéressant. Il n'en va pas de même sur le plan administratif et financier, à cause de la propriété privée de ces ouvrages, que nous avons indiquée ci-dessus.

Les ouvrages maritimes de défense des côtes de Vendée peuvent se classer en trois catégories, qui correspondent à peu près dans le temps à trois époques différentes :

- les becs de mer, avec pavage d'estran et épis maçonnés,
 - les digues longitudinales,
 - les épis réglables.
-

- Les becs de mer -

C'est l'île de Noirmoutier qui constitue la sentinelle avancée de la défense des côtes de Vendée. C'est sur ses rivages que se trouvent les ouvrages les plus anciens, les plus imposants, et aussi les plus variés. (fig.2)

Nous ne mentionnerons que pour mémoire deux fragments d'ouvrages très anciens, vieux sans doute de plusieurs siècles, qu'on trouve à la pointe du Bot (côte Ouest). Ce sont deux revêtements de dunes, très abrupts, et constitués par des grandes pierres plates granitiques posées verticalement et de champ, à la manière d'une voûte dont les génératrices seraient les lignes de plus grande pente de la dune. Ces pierres, dont un grand nombre pèsent sans doute plusieurs centaines de kiles, sont ainsi clavées, et leur ensemble, qui a simplement nécessité quelques rejointements cimentés de place en place, a offert une résistance remarquable aux tempêtes.

Nous nous attarderons davantage sur les ouvrages qui constituent le bec de mer de la pointe de Devin. (fig. 3)

La question des ouvrages de Devin a toujours été importante. D'abord à cause de l'enjeu : la moitié de l'île de Noirmoutier doit son existence à la défense qu'ils assurent. Nous n'y insisterons pas. Ensuite à cause de l'ampleur de la dépense. Nous pensons qu'il n'est pas sans intérêt de produire ici un bref rappel historique et quelques chiffres.

Les premiers travaux remontent à 1770 (digue en terre perreyée de 900 m. de longueur). En 1778, on y adjoignit 4 éperons en encoffrements fermés de pieux jointifs et liernés remplis d'enrochements. Le tout fut ruiné par la tempête du 10 au 13 février 1781. Des discussions locales firent que, à l'exception de réparations sommaires et fragmentaires, aucun travail sérieux ne fut entrepris jusqu'en 1806, date à laquelle un nouvel éperon fut édifié. Un projet de rétablissement de la digue primitive, approuvé le 23 octobre 1807, reçut un commencement d'exécution, mais la tempête du 19 octobre 1812 vint anéantir ces travaux et il fallut la réquisition des canonniers garde-côtes, de toute la garde nationale et d'une partie des habitants de l'île pour arrêter l'irruption de la mer dans la partie submersible de l'île.

On projeta alors une digue de retraite dite "grande digue intérieure". Approuvé le 24 décembre 1813 le projet ne fut entrepris, pour des raisons financières, qu'en 1817 et terminé en 1819. A la fin de 1821, tous les ouvrages situés en avant de cette nouvelle digue étaient pratiquement ruinés, et on projeta de revêtir à son tour en maçonnerie la digue intérieure.

C'est alors que l'Administration Supérieure, devant les insuccès répétés des méthodes jusqu'alors employées, envoya à Noirmoutier l'Ingénieur en chef DAN de la VAUTERIE, avec la mission spéciale de rédiger un projet de défense de la pointe de Devin dans le système hollandais (ouvrages en fascinages).

De 1770 à 1823, on avait dépensé 597.546 frs,50 somme énorme pour l'époque.

M. DAN de la VAUTERIE présenta son projet le 28 juin 1824. Il fut approuvé le 9 août 1824.

Évalué à 420.000 frs, c'est lui qui a donné à la pointe de Devin sa configuration actuelle. Il comprenait en effet un bec de mer tracé sur l'emplacement des digues de première ligne détruites, de façon à réserver des avant-terres de largeur convenable en avant de la grande digue de retraite.

Fondé sur une épaisse couche de glaise, le bec de mer était constitué par un perré fasciné et blocaillé, de 7 pour 1 de pente (15 % environ) et dont la crête, horizontale, était placée au niveau des pleines mers de vive eau.

Onze épis d'ensablement, en fascinages, dépassent de 1 mètre en moyenne la hauteur de l'estran et d'un profil en travers en dos d'ânes très adouci, étaient enracinés dans le bec de mer.

Tous les restes des ouvrages anciens devaient être démolis.

Les travaux furent exécutés sous la direction d'un Ingénieur des Ponts et Chaussées, M. PLANTIER, spécialement nommé à Noirmoutier à cet effet (et qui devint par la suite Inspecteur Général ; il a laissé un souvenir vivace dans l'île).

Cet ensemble de travaux, exécutés dans les années 1824 à 1827 a coûté 523.283 frs,96, en y joignant les dépenses de quelques parachèvements de peu d'importance réalisés en 1828, 1829 et 1830.

Mais l'entretien des fascinages ne tarda pas à devenir coûteux. A partir de 1838, il dépassa 30.000 frs par an, c'est-à-dire 6 % du coût du premier établissement, taux très élevé en matière de travaux publics. C'est que les fascinages avaient pour ainsi dire fait leur temps. Il fallait les renouveler en grandes quantités à la fois, dans un pays qui manquait à la fois des bois nécessaires et des ouvriers qualifiés pour les mettre en oeuvre. (On avait eu recours à une équipe d'ouvriers belges pour la construction initiale). On envisagea de maintenir les ouvrages, en modifiant leur constitution.

PROFILS TYPES DE DIGUES

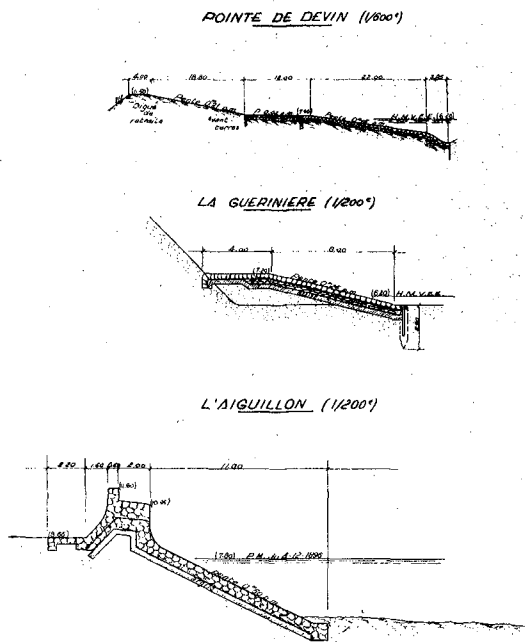


Fig. 3. Profils types de digues.

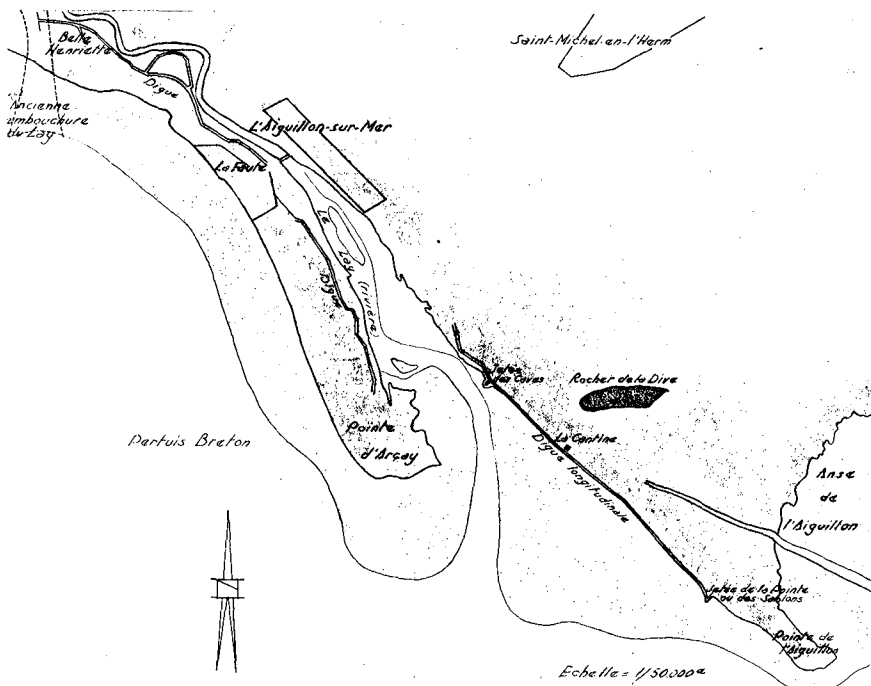


Fig. 4

Précisément on venait de construire sur la même côte, devant La Guérinière, le bec de mer de Pulans, où les épis d'ensablement et les perrés avaient été constitués en maçonnerie, partie hourdée, partie à pierres sèches, le tout avec succès. On commença donc, au fur et à mesure des avaries et suivant les possibilités des crédits d'entretien, à remplacer à Devin les fascinages par de la maçonnerie. Jusqu'en 1845, une somme de 419.064 frs,85 fut ainsi dépensée en entretien et reconstruction.

Mais peu de chose était réalisé à neuf en 1845. Un projet en forme fut donc dressé, pour faire appel à des crédits spéciaux. Approuvé le 7 juin 1845 pour un montant de 170.000 frs, il n'avait pu recevoir qu'un commencement d'exécution lorsque de violentes tempêtes survenant en fin janvier 1846 provoquèrent des désastres tels que tout fut remis en question.

Le 6 mars 1846, un nouveau projet était dressé, qui comportait la reconstruction complète, en maçonnerie, des ouvrages tracés en 1824 par M. DAN de la VAUTERIE. L'estimation était de 500.000 frs. Il fut approuvé par une loi du 3 juillet 1846.

L'exécution se fit en deux tranches. Un "petit projet" de 100.000 frs mit en chantier les travaux de première urgence et fut confié à l'entrepreneur des travaux d'entretien. Réalisé en 1847 et 1848, il provoqua une dépense de 136.158 frs,72. La 2e tranche, dite "grand projet" montant à 400.000 frs fut mise en adjudication le 3 avril 1847. Exécutée entre 1847 et 1856, elle coûta au total 600.842 frs. Le chantier ne fut pas de tout repos.

Mais à ce prix, on obtint un ouvrage solide, qui, pendant 14 ans, ne fit plus parler de lui. En 1870 seulement, un projet dû être établi, montant à 215.000 frs, pour proposer le remplètement de toutes les fondations, déchaussées par l'action de la mer, tant sur le perré lui-même que sur les épis. Les circonstances ne permirent pas une prompte réalisation, et ce n'est qu'en 1876 qu'on en reparla. Le projet fut remanié par raison d'économie, pour utiliser les granits de l'île en opus incertum à la place des pavés de Nantes. Les travaux furent exécutés de 1878 à 1882. La dépense s'éleva à 190.000 frs environ.

Depuis lors, il y eut sans doute bien des avaries à réparer, bien des brèches à fermer, et aussi quelques travaux accessoires de parachèvements, mais aucun travail de grande envergure.

Ainsi, en un peu plus de 100 ans, la défense de la Pointe de Devin a coûté :

de 1770 à 1823	597.546,50
de 1824 à 1827	523.283,96
de 1827 à 1845	419.064,85
de 1846 à 1848	136.158,72
de 1848 à 1856	600.842,—
réfection de 1880	<u>190.000,—</u>

Total : 2.466.896 frs

soit 2.500.000 frs environ. Bien entendu, il s'agit de francs or, qui représenteraient aujourd'hui, si l'on considère surtout le prix de la main-d'oeuvre à l'époque, un capital de l'ordre du milliard.

Tels qu'ils apparaissent actuellement, les ouvrages de Devin sont spectaculaires. Sur deux kilomètres de longueur environ, sur une vaste courbe convexe, la plage est pavée de maçonnerie appareillée, généralement assisée. Plus haut, un perreyage, également assisé, mais à pierres sèches, rejoint presque horizontalement la dune, dont la hauteur est d'ailleurs très modeste (moins de deux mètres à l'endroit le plus haut). Puis une zone dite d'"avant terres" d'une cinquantaine de mètres de largeur précède la digue de retraite, ample remblai gazonné dont l'arrière plonge sur les marais salants parsemés jusqu'à Noirmoutier, dont le clocher apparait, 3 km plus loin, proche de la baie de Bourgneuf. Si l'on songe que ce sont les eaux de la baie qui, par gravité seulement, alimentent ces marais salants à mer haute, on a une bonne idée du relief du pays, et du rôle vital des édiges de Devin.

Revenant sur la plage (pavée) nous pouvons voir les onze épis maçonnés qui, disposés en éventail, devaient assurer le relèvement de l'estran, et ne l'ont point fait.

Nous reviendrons tout à l'heure sur cette question des épis, mais il convient de noter ici les conclusions qui furent tirées, à l'époque, du comportement du bec de mer de Devin, et de celui de Fulans, à La Guérisnière, construit sur les mêmes bases et à peu près en même temps, comme nous l'avons vu plus haut.

En 1883, rédigeant sa notice de l'Atlas des Ports de France consacrée aux grandes digues de Noirmoutier, M. l'Ingénieur en Chef DINGLER n'a pas hésité à écrire que les épis étaient inefficaces et qu'ils étaient très coûteux. Une digue continue, sans épis, n'aurait, dit-il, pas coûté la moitié de la somme consacrée aux ouvrages de Devin.

"Aussi, ajoute-t-il, dans les travaux de défense les plus récents exécutés sur le littoral de la Vendée, ce système (d'épis) a été complètement abandonné. L'Administration a considéré que l'estran mobile, qu'il soit laissé à son état naturel ou qu'il soit relevé par des moyens artificiels, ne peut inspirer aucune confiance sur les côtes fortement battues par la mer, que les travaux de défense, pour mériter réellement ce nom, doivent être un blindage continu ne présentant aucun obstacle au développement de la lame".

On a vécu 50 ans (1875-1925) en Vendée, sous le coup de cette condamnation péremptoire. C'est de cette période que datent les grandes digues longitudinales.

- Les digues longitudinales -

Sur ce système ont été construites :

- la grande digue de défense de l'Aiguillon, longue de près de 5 km ;
 - les digues successives de la Belle Henriette et de la Faute ;
 - les digues de la Guérinière, au Nord et au Sud du bec de mer de Fulans ; (fig.3)
 - la digue de Morin, au sud du bec de mer de Devin ;
 - la digue du Sableau, sur la côte Nord-Est de Noirmoutier ;
- et quantité d'autres ouvrages de moindre importance.

Les plus caractéristiques sont celles de l'Aiguillon et de Noirmoutier, (La Guérinière et Morin), mais la plus importante est de loin, celle de l'Aiguillon. (fig.3)

Il n'est pas sans intérêt, pensons-nous, d'en retracer l'historique, qui est plein d'enseignements, car la digue actuelle est, comme à la pointe de Devin, loin de représenter l'exécution du projet initial.

La pointe de l'Aiguillon est l'un de ces cordons dunaires provoqués par le courant littoral Nord-Ouest Sud-Est. Lorsque l'embouchure du Lay se trouvait à quelques 10 kilomètres au Nord-Ouest du bourg de l'Aiguillon, le cheminement des sables, après avoir franchi la pointe de La Tranche, retrouvait la côte devant le rocher de la Dive, dont les prolongements calcaires en arrêtaient le cours.

Par la suite, la rive droite de l'embouchure du Lay fut elle-même bordée, à l'Ouest, puis au Sud-Ouest, d'une langue de sable, d'abord fragmentée en plusieurs tronçons, Ceux-ci se renforcèrent petit à petit, dans la première moitié du siècle dernier, puis se soudèrent l'un à l'autre. Ainsi naquit la pointe d'Arçais, qui n'a cessé par la suite, de progresser vers le Sud-Est. (fig.4)

Mais la constitution de la pointe d'Arçais eut deux conséquences. Elle diminua considérablement l'alimentation en sable de la pointe de l'Aiguillon, surtout dans sa partie amont, que le courant littoral amaigrit alors au profit de la partie aval. Elle rapprocha en outre le lit inférieur du Lay (et son courant de jusant) de la côte de l'Aiguillon.

Ainsi les tempêtes commencèrent-elles à attaquer les importantes dunes de l'Aiguillon, jusqu'à les détruire quasi totalement. C'est à ce processus de destruction que s'opposèrent les travaux de défense, dont l'origine remonte à 1843.

Dès 1843 en effet, le maire de l'Aiguillon demandait que des travaux soient entrepris pour protéger les territoires menacés, c'est-à-dire les polders qui, à l'instar du marais Breton, avaient été conquis à l'abri du cordon dunaire sur les territoires des communes de l'Aiguillon-sur-mer et de St Michel-en-l'Herm.

Une dépêche ministérielle du 16 décembre 1843 prescrivit l'étude de la question. Les Ingénieurs produisirent en 1847 un projet comprenant l'exécution d'une digue longitudinale et de 30 épis d'ensablement transversaux. Voici comment l'Ingénieur ordinaire justifiait ses propositions:

"Nous pensons que des épis perpendiculaires à la dune, en retenant les sables et brisant le courant, arrêteraient la corrosion de la côte et opposeraient au mal un remède suffisant ; mais, pour construire des épis il faut pouvoir les enraciner dans un massif quelconque, pour empêcher la mer de les affouiller à leur naissance".

Le projet comportait en outre une dérivation de la rivière du Lay et devait entraîner une dépense totale de 3 millions et demi. Ce chiffre était considérable.

Une décision ministérielle du 7 juin 1848 rejeta le projet comme trop coûteux. Se plaçant principalement au point de vue de la conservation de la baie de l'Aiguillon, le Ministre prescrivit d'étudier la fixation,

au moyen de plantations, des dunes situées au Nord de la pointe d'Arçais, de manière à empêcher le comblement de la baie par les sables qu'enlevait la mer. Quant aux dessèchements il engagea simplement les propriétaires à les défendre en recouvrant leurs digues de plantations.

La situation financière à cette époque ne permettait pas de faire mieux, mais les propriétaires ne pouvaient évidemment pas se contenter de cette solution. A la fin de 1850, les Ingénieurs reçurent communication de nouvelles pétitions signalant le mauvais état de la côte et l'urgence d'opposer quelques ouvrages défensifs aux envahissements de la mer.

La question fut donc mise de nouveau à l'étude.

Le projet de 1847 avait été rejeté en grande partie à cause du chiffre élevé de la dépense qu'eut entraînée son exécution. Pour éviter cet écueil, on se borna cette fois à proposer la construction d'épis en fascines. Dix de ces épis, convenablement espacés, avaient une longueur de 100 mètres chacun. Les six derniers, projetés au droit de la partie la plus menacée, devaient être réunis par une digue longitudinale en sable, avec revêtement d'argile, plantée de tamaris. Entre ces épis principaux étaient prévus vingt épis convenablement intercalés et en retrait de cinquante mètres environ sur ceux de la première catégorie.

Le système de défense était complété par cinq épis à établir à la pointe d'Arçais.

Tous ces ouvrages étaient submersibles.

Le détail estimatif du projet s'élevait à 60.000 frs dont 20.000 étaient offerts par le syndicat des marais de l'Aiguillon.

Les travaux furent exécutés de 1854 à 1856 et coûtèrent 64.230 frs,55 (1854-56) dont 20.000 frs fournis par les intéressés. Ils furent retardés à plusieurs reprises, par des difficultés avec l'entrepreneur et par des avaries de force majeure, dont l'une consista notamment dans l'enlèvement par la mer de 695 mètres de digue longitudinale qui ne furent pas exécutés à nouveau.

On renonça également aux épis projetés à la pointe d'Arçais, qui s'était allongée spontanément de 60 mètres environ dans chacune des dernières années, et on consacra les économies ainsi réalisées à la construction de huit épis supplémentaires sur la côte même de l'Aiguillon.

Les travaux étaient à peine terminés que les Ingénieurs signalaient de nouvelles avaries ; la mer continuait à enlever par tronçons la digue reliant la tête des épis et tournait ces derniers qu'on était dès lors

LES OUVRAGES DE DEFENSE CONTRE LA MER SUR LA COTE 527
FRANCAISE DE L'OCEAN ENTRE LA LOIRE ET LA GIRONDE
obligé d'allonger par l'amont. L'estran reculait, sauf sur les points où
la digue n'avait pas été détruite.

Une décision ministérielle du 13 juillet 1857 approuva en conséquence,
un projet complémentaire de défense comprenant :

1^o) la reconstruction des parties de la digue emportée sur 792 m,70
de longueur avec revêtement en perré ;

2^o) la construction d'une nouvelle digue perreyée sur 339 m de
longueur à l'Ouest et dans l'alignement de l'ancienne digue, et d'un autre
tronçon de même longueur se rattachant à la tête de l'épi n^o 4.

3^o) l'établissement d'un perré sur les digues conservées, sur une
longueur de 966 m,20 ;

4^o) la restauration des épis précédemment construits ;

5^o) enfin l'établissement de 2920 m² de fascinages au pied des
épis et de la digue.

Le projet fut exécuté de 1857 à 1859, mais pendant l'exécution des
travaux, qui devaient coûter 131.388 frs, 14, les anciens épis qu'on comptait
restaurer avaient été détruits par la mer à peu près entièrement, et les
Ingénieurs allaient être encore obligés de présenter un projet supplémen-
taire lorsque la tempête du 25 octobre 1859 vint attaquer la digue à peu près
sans défense, et en détruisit plusieurs portions jusqu'aux fondations.

Le couronnement avait été emporté en totalité, et les portions de
digues restées debout étaient démantelées ou tout au moins ébranlées.

On avait conservé cependant quelque espoir de pouvoir réparer les
travaux. Malheureusement, le 25 décembre une nouvelle tempête agrandit les
brèches déjà existantes, de telle sorte qu'on fut conduit à proposer un
ensemble de travaux à peu près complètement neufs.

Les considérations sur lesquelles étaient basées les dispositions
du projet étaient les suivantes :

Lorsque le courant de flot entre dans le pertuis Breton en venant du
Nord-Ouest, il se divise, en face de la Prise des Boie en deux branches,
l'une qui est en quelque sorte aspirée par la rivière du Lay, l'autre qui
suit la côte jusqu'à la pointe de l'Aiguillon.

Ce courant s'est chargé de sables le long de la côte comprise entre la pointe du Grouin du Cou et la pointe d'Arçais, il en dépose une partie à cette dernière pointe, qui s'allonge constamment, et transporte le reste soit dans le Lay, soit à la pointe de l'Aiguillon.

Il s'agissait de retenir ces sables le long de la côte de l'Aiguillon, pour remplacer, dans la mesure du possible, ceux qu'enlevaient les tempêtes, et empêcher ainsi l'estran de se dégarnir.

Dans ce but les Ingénieurs proposèrent :

1^{re}) une digue solide sur toute la portion de côte la plus menacée, afin de former ainsi un point d'appui pour tous les ouvrages, précisément sur le point de la côte le plus attaqué par le courant et par les lames ;

2^e) un système d'épis en avant de cette digue, afin d'arrêter les sables venant de la côte au Nord de la pointe d'Arçais, de chausser le pied de la digue et aussi de briser la mer à l'approche du pied de cet ouvrage ;

3^e) la construction, aux extrémités de la digue, de deux jetées de 500 mètres environ normales à la digue pour protéger les parties voisines de la côte, au-delà des extrémités de la digue, en produisant un remous favorable aux ensablements. (Jetée des Caves, du côté du Lay, jetée de la Pointe, du côté de la pointe de l'Aiguillon).

La Commission nautique chargée de donner son avis sur le projet en approuva les dispositions, en ce qui concerne la digue, les épis et la jetée des Caves. Mais elle estima que la jetée de la Pointe entraînerait une dépense considérable sans qu'on fut certain de protéger convenablement la dune en aval, et que dès lors il était préférable de prolonger la digue vers le S.E. jusqu'au point où la côte, au lieu d'être corrodée, gagnait sur la mer.

Cette dernière solution fut celle qu'approuva la décision ministérielle du 29 mars 1861. Le chiffre des dépenses autorisées fut fixé à 710.000 frs dont 160.000 frs à la charge des intéressés.

Le décret déclaratif d'utilité publique est daté du 6 mai 1863. Il n'avait pas été possible d'attendre cette époque pour arrêter les progrès continus du mal.

Les Ingénieurs furent donc autorisés à dépenser provisoirement en régie une somme de 40.000 frs, qui fut en partie consacrée à l'établissement d'un chemin de fer reliant la côte au rocher de la Dive, adopté comme lieu d'extraction des matériaux. Le montant des dépenses autorisées fut alors définitivement arrêté à 675.000 frs, qui, ajoutés aux 40.000 frs déjà dépensés, donnaient une augmentation de 5.000 frs sur le chiffre primitif de 710.000 frs. Ces 5.000 frs représentaient les dépenses faites pour la défense provisoire. Ils furent laissés à la charge de l'Etat.

Nous n'entrerons pas dans le détail des difficultés de toutes sortes qui se sont présentées pendant l'exécution des travaux : résiliation d'entreprise, défaut de crédits, avaries, modifications à proposer à la suite des indications de l'expérience, tout est venu entraver l'exécution des travaux et augmenter le chiffre de la dépense. Finalement une décision ministérielle du 21 décembre 1869 arrêtait à 964.000 frs le chiffre des dépenses autorisées, en augmentation de 254.000 frs sur le chiffre primitif, et cependant la jetée des Caves n'était exécutée que sur 125 mètres. Les avaries, l'allongement de la digue, sa construction en maçonnerie sur certains points où on l'avait tout d'abord prévue à pierres sèches, avaient fait dépasser de beaucoup les prévisions.

Ces sacrifices étaient loin d'être les derniers ; l'exécution du projet précédent n'était pas achevée que les Ingénieurs étaient déjà conduits à en dresser un nouveau (5 octobre 1868), approuvé par décret impérial du 8 décembre 1869, et prévoyant une dépense de 650.000 frs, destinée au prolongement de la digue maçonnée depuis la Cantine jusqu'à la jetée des Caves, et à la construction d'une digue à pierres sèches, au-delà de la jetée, dans l'anse de même nom.

Les difficultés qui avaient entravé l'exécution des premiers projets se présentaient à nouveau. La question de crédits était encore plus difficile à résoudre que précédemment, à cause de l'état des finances après les événements de 1870-71. Les travaux ne furent terminés qu'à la fin de 1876, ayant coûté 805.539 frs, 23, soit 153.539 frs, 23 en plus des prévisions.

C'est en 1876 qu'a été présenté l'avant-projet d'achèvement des travaux. L'expérience avait montré que si les épis donnent d'excellents résultats pendant les beaux temps, en déterminant le dépôt des sables, il m'en était plus de même au moment des tempêtes.

D'autre part, des différents types adoptés pour la digue, seul le revêtement maçonné, exécuté sur 1736 mètres de longueur, avait résisté victorieusement aux tempêtes de novembre 1875, qui furent les plus dures qu'on ait connues. Pour réaliser définitivement la défense de la côte, le nouveau projet prévoyait la transformation de la digue, sur toute la longueur menacée, suivant le type maçonné.

Une décision ministérielle du 28 décembre 1876 approuva l'avant-projet dont la dépense s'élevait à 1.400.000 frs, et prescrivit de laisser à la charge des propriétaires la moitié de cette somme et la moitié des frais d'entretien ultérieurs.

Mais les intéressés n'offrirent pour la plupart qu'une faible partie du concours qui leur était demandé. Certains refusèrent complètement. Un essai de formation d'association syndicale échoua de même. Force fut d'avoir recours à un syndicat forcé qui fut constitué le 12 décembre 1882. C'est lui qui acheva l'ouvrage actuel et qui en assure, depuis lors, l'entretien, avec de fortes subventions de l'Etat (3/4 de la dépense).

Au total, de 1854 à 1882, les ouvrages de la digue de l'Aiguillon ont coûté l'énorme somme de 3.575.000 francs, c'est-à-dire sensiblement plus d'un milliard de nos francs actuels.

Mais, contrairement à la pointe de Devin, où la sécurité paraît actuellement garantie moyennant un minimum de dépenses, de vives inquiétudes planent sur la digue de l'Aiguillon.

L'ouvrage est constitué par un mur maçonné, dont le parement du côté de la mer a une pente de 2 de base pour 1 de hauteur, prolongé en haut par un retour vertical, destiné à renvoyer la lame. L'ensemble est appuyé sur le sable de la dune par l'intermédiaire d'un matelas de pierres. Le pied est protégé par des enrochements. Tous les matériaux employés proviennent du rocher de la Dive, qui donne un calcaire tendre se délitant facilement aux intempéries, et gélif. Aussi la maçonnerie est-elle actuellement en piteux état. Beaucoup de moellons sont plus qu'à moitié rongés. Les affouillements, inévitables avec ce type d'ouvrage à talus trop vertical, ont dégarni les fondations, et, entre le moilage de pied le sable du corps de la digue s'est écoulé, creusant de vastes poches dans lesquelles de temps à autre, de larges pans de maçonnerie s'effondrent sous les coups des lames de tempêtes, entraînant trop souvent dans leur chute les parties correspondantes du couronnement vertical et créant alors des brèches dangereuses.

Seules les jetées des Caves (extrémité Nord-Ouest) et des Sablons (extrémité Sud-Est de la grande digue) constituent des points de résistance

sérieux parce que, implantées perpendiculairement au rivage, elles ont provoqué des atterrissements importants et durables.

C'est dans le sens de la multiplication de ces épis, bien entendu insubmersibles, qu'une étude est en cours pour sauver tout l'ouvrage d'une ruine qui est désormais inéluctable, à plus ou moins brève échéance, le vieillissement actuel étant tel qu'il ne peut conduire qu'à la mort.

Les autres digues longitudinales des côtes de Vendée ont eu une existence plus calme, ou au moins des accidents moins typiques. C'est cependant aux inquiétudes qu'elles ont provoquées, il y a une trentaine d'années, que sont dus les essais, et la mise au point, des épis réglables comme ouvrages de protection du rivage.

- Les épis réglables - (fig.5)

Il convient d'abord de les décrire, tels qu'ils sont construits aujourd'hui en utilisant par exemple le chêne du pays. (L'emploi de l'azobé du Cameroun conduit à des échantillons un peu plus faibles).

La partie active d'un épi se compose de bordages horizontaux en madriers de 22 x 8 cm posés aussi jointifs que possible sur une file de pieux de 25 x 25 cm espacés de 2 m. En arrière de la file de pieux est fichée une rangée identique de contre-pieux, constituant avec les pieux des chevalets par la pose de liernes horizontales (1 tous les 2 pieux) et de contrefiches inclinées, en madriers de 22 x 10 cm. La fiche des pieux et des contrepieux dépend de la nature de l'estran et de son sous-sol. Elle est au moins de 3 mètres. Les contrepieux sont arasés à peu près au niveau de l'estran. La hauteur des pieux dépend de la ligne théorique de crête qu'en veut donner à l'épi. L'ancrage de l'épi dans la dune est un point important. Il n'est jamais moindre que 3 longueurs de bordages, soit 6 m. Il est soigneusement protégé, surtout à l'aval, où la mer porte toujours son attaque, tant que l'épi n'a pas fait son œuvre.

Bien entendu, l'enracinement de l'épi est largement insubmersible, afin d'éviter toute attaque à revers. De même les files inférieures du bordage sont suffisamment basses pour que les lames ne puissent les déchausser.

Les bordages, amovibles, peuvent être posés à la demande, au fur et à mesure des besoins. En général cependant, on pose la totalité du panneau, où l'on pratique cependant, si besoin est, des lumières en enlevant un ou plusieurs éléments pour faciliter les mouvements du sable et surtout le garnissage de l'aval, qui peut être compromis si l'épi est trop haut sur l'estran.

Les premiers essais de ce type d'épis furent tout de suite très spectaculaires, et ils demeurent encore l'exemple le plus probant de leur action. C'est sans doute ce qui justifie l'extension qui a été donnée à leur emploi.

C'est à l'extrémité Sud des digues longitudinales de La Guérisnière, sur la côte Ouest de Noirmoutier, que les choses se sont passées. fig.6

Le bec de mer de Fulans avait été prolongé vers le Sud par une digue à talus raide (2/1) sur plus d'un kilomètre.

Mais, comme toujours en pareil cas, plus on prolongeait cette défense, et plus la mer attaquait le point précis où l'on s'était arrêté. L'histoire de ces digues est écrite sur le terrain, qui montre les décrochements successifs, en plan, de la ligne de la digue, qu'on était bien obligé d'appuyer à la dune, dans le tracé que la nouvelle érosion de la mer imposait.

Cependant, de recul en recul, on arrivait presque aux maisons de la partie sud du village, et les ressources financières manquaient pour prolonger un ouvrage coûteux.

La commune consentit en 1930 à essayer la construction de 3 épis en charpente, avec l'audace du désespoir. Un seul fut d'abord mis en place (fin 1930). L'urgence le fit faire en pin. Il fallait faire vite. Il avait soixante-dix mètres de long et il était distant de 120 m de l'extrémité de la digue maçonnée. Il n'avait d'autre ambition, par sa ligne en crête, que d'arrêter l'érosion de l'estran.

L'effet fut quasi instantané. Pendant la pose des bordages, les ouvriers devaient, chaque matin, déblayer le sable qui s'était accumulé pour voir clair dans leur travail.

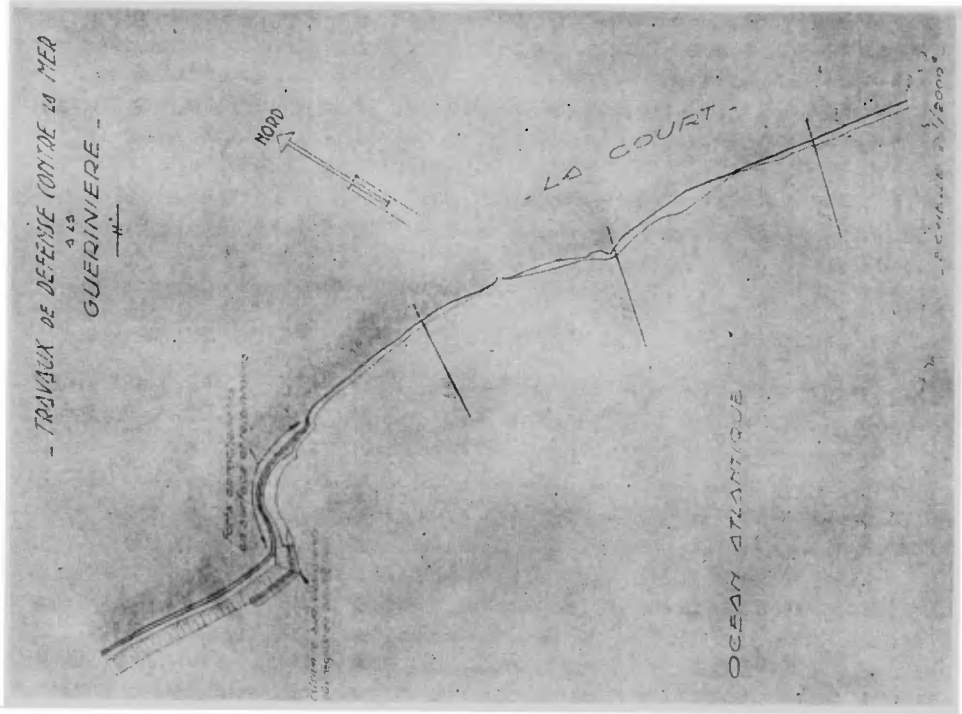


Fig. 6.

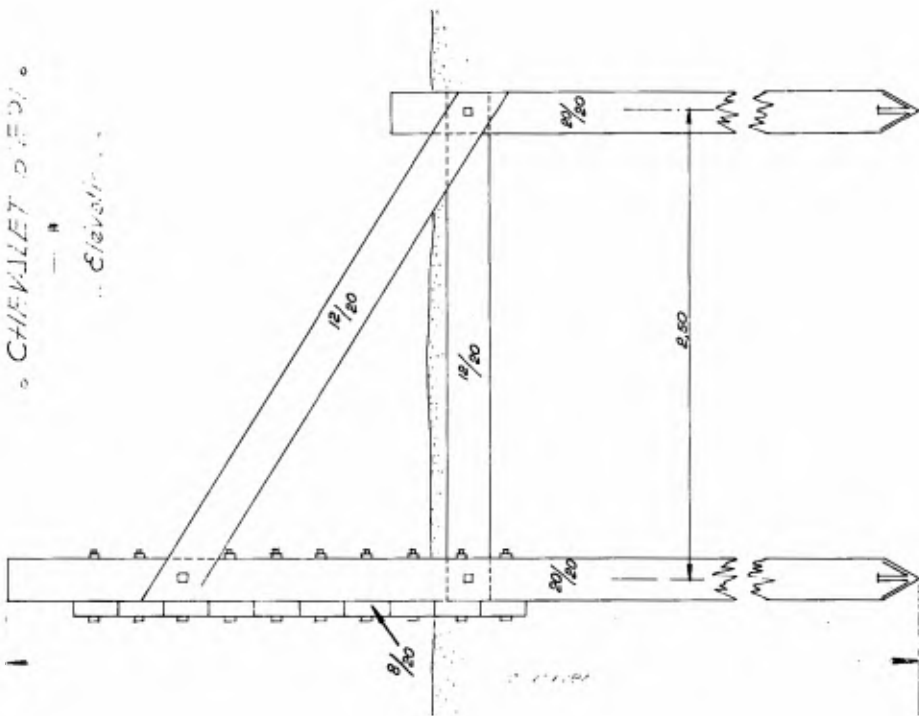


Fig. 5.

Aussi décida-t-on (1933) de construire les 2ème et 3ème épis. Ceux-ci sont en azobé du Camroun. Ils sont de même longueur mais un peu plus hauts. Leur action fut également rapide. Elle a provoqué la disparition quasi totale du premier, dont on a peine à retrouver trace sur l'estran, même en recherchant les têtes des pieux de l'enracinement dans la dune.

Autre constatation à faire. Sans avoir été l'objet d'aucun entretien les deux épis en azobé sont à l'état de neuf, bien qu'ils aient maintenant plus de 20 ans.

Les 3 épis avaient coûté en tout 136.000 frs.

Jamais plus cette partie de la côte n'a provoqué d'inquiétudes. Sans doute le niveau de la plage n'est-il pas rigoureusement constant, au centimètre près. Les grandes tempêtes arrivent à provoquer quelque mise en suspension du sable, entraînant une légère baisse de l'estran. Mais celui-ci se reconstitue promptement, et il faut être attentif pour déceler ces variations.

Un autre exemple aussi saisissant est celui de Morin, à l'extrémité Sud (encore) des digues de Devin. En cet endroit, le bec de mer (estran maçonné) a été prolongé, comme à La Guérinière, par une digue maçonnée à talus raide, avec moilage de pied. Bien que le rocher soit proche, les affouillements provoqués par cet ouvrage furent tels qu'il fallut contrebuter le moilage de pied par un solin maçonné important, lui-même périodiquement déchaussé. D'autre part, l'augmentation de la lame d'eau devant la digue provoquait, pendant les tempêtes, un tel assaut des lames que le déferlement envoyait par-dessus l'ouvrage des masses d'eau importantes. Celles-ci, s'écoulant dans les "avant-terres" (voir ci-dessus) trouvaient une issue à l'extrémité Sud de la digue de retraite, où les rejoignaient les vagues qui contournaient, sur la plage, l'extrémité de la digue. Le tout prenait le chemin des marais salants, vers l'intérieur de l'île. Il fallait aviser. C' était en 1936. L'exemple des épis de La Guérinière était tout neuf. Mais ici c'était la dure côte sauvage, et non plus une anse, un peu moins exposée. tout de même que Devin. Et les épis du bec de mer, tout proches, à 500 mètres à peine, étaient vides, depuis toujours. Sans doute il y avait une dune et donc du sable, mais il s'en allait. En arriverait-il d'autre ?

L'épi fut construit, en azobé, à une centaine de mètres au Sud de l'extrémité de la digue. Il mesurait 90 mètres, dont la moitié, par

LES OUVRAGES DE DE - 19 - N

suite de l'érosion de la dune, était en retrait sur l'alignement de la digue maçonnée. Et le sable vint, en deux ans au maximum. Et la plage est complètement reconstituée, et nulle menace ne pèse plus sur ce point.

Le visiteur voit actuellement un bout d'épi, qui s'arrête curieusement presque au milieu de l'estran. Le reste, (une bonne moitié) est enfoui dans les herbes. On a peine à croire qu'il fut un jour justifié de planter les pieux de l'enracinement parmi les figiers qui surmontent un petit talus. Là pourtant était le rivage, à quelques mètres des maisons.

Les dépenses totales n'avaient pas dépassé 100.000 francs.

La caractéristique essentielle de cet épi de Morin est la grande stabilité qu'il a provoquée, et qu'il maintient. Ainsi s'est trouvé résolu un problème qui fut, à un moment, particulièrement aigu.

Quelques années plus tard, en 1937, à l'autre bout du bec de mer de Devin, une tempête vint, pour des raisons demeurées mystérieuses attaquer pour la première fois le revers maçonné qui commençait l'ouvrage et emporter une bonne moitié (en épaisseur) de la dune de Launay, entre Devin et les roches marquant dans l'anse de Luzérone, l'extrémité sud des granits de l'Herbaudière. Là comme à Devin même, seule la dune sépare la mer des marais salants. Le danger était tel qu'on ne put se résoudre à se confier entièrement aux épis. On était d'ailleurs mal renseigné sur les cheminements du sable dans cette anse, très en retrait des courants littoraux.

Le projet qui fut approuvé comporta donc un voile léger en béton de 40 cm d'épaisseur, ancré dans la glaise sous-jacente et se développant en revêtement de la dune selon une courbe à 2 centres dont l'extrémité supérieure à la cote (+ 9,50), était à tangente verticale. Pour éviter l'action des embruns de tempête, un glacis de 4 m de largeur à 15 % de pente armé de métal déployé, continuait le voile et se terminait par une petite murette, toujours en béton, dont le sommet régnait à la cote (+ 10,50). L'ouvrage avait 450 mètres de longueur.

Deux épis en charpente, du type habituel, étaient en outre prévus, l'un au raccordement du voile avec le bec de mer de Devin, l'autre à peu près à mi-longueur du nouvel ouvrage. C'était surtout sur celui-ci qu'on comptait. Solidement ancré dans la dune, il fut tenu soigneusement indépendant du voile, qu'il traversait entièrement.

L'effet fut progressif, mais décisif. A l'heure actuelle, la quasi totalité des travaux de 1937 a disparu sous le sable. La dune s'est reconstituée, et il n'y a aucun indice d'un changement quelconque d'évolution, l'ensablement se poursuivant lentement, sans interruption ni recul.

Nous terminerons en fournissant un dernier exemple, qui vaut par l'aspect très différent de la situation des lieux et du processus d'action des ouvrages.

Il s'agit, cette fois, de la côte Nord-Est de Noirmoutier, à l'entrée de la baie de Bougneuf, face à la côte continentale de Pornic. Entre les granits de l'Herbaudière et les grès du Bois de la Chaize, règne une anse qui porte dans sa partie Ouest le nom de plage du Vieil et dans sa partie Est celui de plage de la Clère. (fig.7)

La plage du Vieil était défendue, depuis longtemps, par 3 épis en maçonnerie, du type de ceux de Devin, et qui avaient convenablement réussi. Les deux premiers étaient distants de 150 m, alors que le 3ème était à 300 m. du second. Au début de 1937, la mer vint attaquer la dune, à mi-distance entre les épis 2 et 3, mettant à jour un perré à pierres sèches buté au pied sur un moilage, et que nul, de mémoire d'homme, n'avait vu. Le perré fut entamé, le moilage dégarni, et les désordres furent tels qu'une action immédiate s'imposa. Cependant la dune avait reculé de plus de 10 mètres lorsque le beau temps arriva. La solution était simple : construire un 4ème épi au milieu de la distance entre les épis 2 et 3, c'est-à-dire au point même de l'attaque, et réaliser ainsi l'équidistance des 4 épis. Ainsi fut fait fin 1937 où fut mis en place un épi en charpente de 62 m de long. Si la tenue de la dune en aval de l'épi nécessita encore, au début de l'hiver, quelque surveillance, la situation fut, en quelques années, rétablie. La dune est aujourd'hui reconstituée.

Ce résultat incita à entreprendre de la même façon la protection de la plage de la Clère, attaquée elle aussi en 1937 et, en outre, fortement dégarnie par les prélèvements massifs de sable qu'y firent les Allemands pendant l'occupation. En un point, en 1948, l'épaisseur de la dune ne dépassait guère 2 mètres.

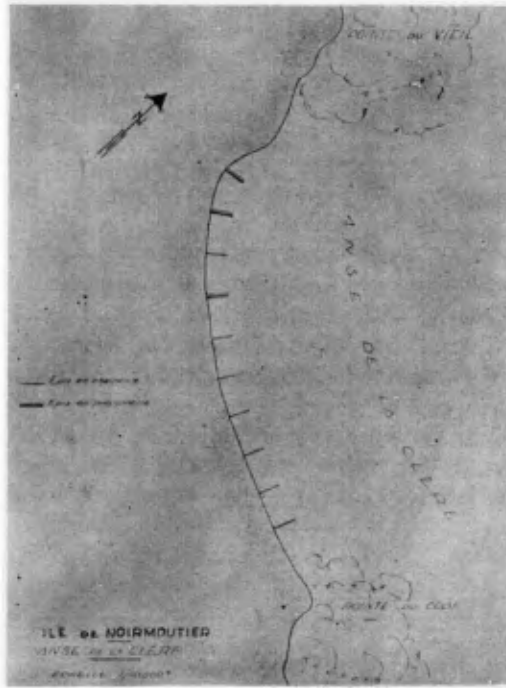


Fig. 7.

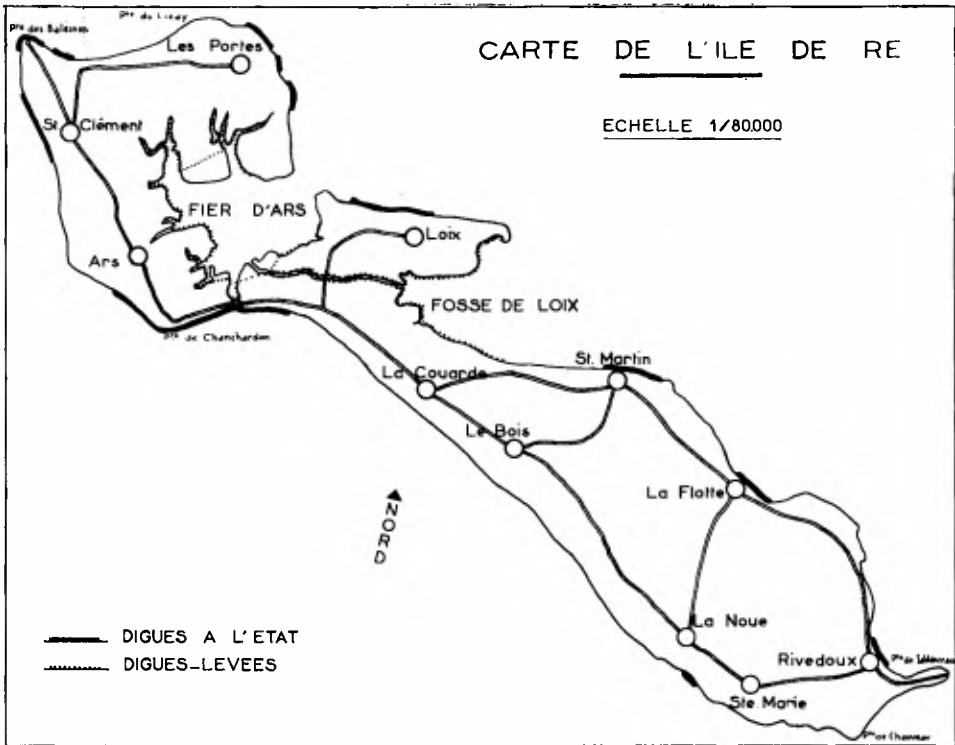


Fig. 8.

Six épis en charpente furent successivement construits, aux dates suivantes :

n° 6	longueur : 80 m	1941
n° 5	- 80 m	1947-1948
n° 4 et 3	- 74 et 72 m	1949-1950
n° 2 et 1	- 86 et 74 m	1952

Leur espacement est uniformément de 150 mètres environ.

Comme on le voit, les derniers épis sont très récents, et leur action est à peine commencée.

On peut, d'un simple coup d'oeil sur le terrain, déterminer l'échelonnement des travaux d'après l'aspect de l'estran. C'est qu'ici nous ne sommes plus sur la "grande côte". Le courant littoral Nord-Ouest Sud-Est ne s'y manifeste plus que par un rameau, détaché du tronç principal à la pointe de l'Herbaudière. De plus, les vents dits "d'amont", (du Nord au Sud en passant par l'Est), ont un effet très net d'amaigrissement des plages, quelles que soient les conditions de la marée.

L'action des épis s'est montrée réelle, et efficace, mais elle est plus lente que sur la côte Ouest, et surtout elle est intermittente. Elle se traduit, sur l'estran, par une irrégularité et une instabilité non négligeables. Il faut donc une vigilance plus attentive, et quelquefois même des modifications des bordages (lumières à créer ou à fermer).

Mais le résultat final est satisfaisant. La dune est reconstituée, en partant du Vieil, jusqu'à l'épi 5. L'estran se recouvre d'herbes, ce qui manifeste son engraissement et sa stabilité, de l'épi 5 à l'épi 3. Plus en aval, il n'est guère possible d'apprécier les résultats. Cependant les étoulements de la dune ont tendance à cesser. Quelques années passeront encore avant qu'on ait fini de se préoccuper de cette partie du rivage.

Nous avons retracé ci-dessus l'histoire de quelques ouvrages typiques. Les côtes de Vendée peuvent en montrer d'autres, mais qui présentent, pour le technicien, moins d'intérêt. Nous les passerons sous silence.

Nous nous garderons de tirer une conclusion de l'étude ci-dessus. Il nous semble toutefois intéressant de souligner l'orientation actuelle des Ingénieurs. Au lieu de s'opposer, en force et massivement, et bien entendu à grands frais, à la puissance destructrice de la mer, on tend le plus possible à faire concourir la mer elle-même à la stabilité du rivage. Ce n'est pas toujours possible, parce que ce ne serait pas toujours prudent. Mais bien des astuces peuvent être, économiquement, tentées. Et lorsque le succès répond aux espérances, le sentiment d'avoir joué un bon tour aux éléments hostiles est une agréable satisfaction.

L'extrémité Nord-Ouest de l'île de Ré est, pour moitié environ, située au-dessous du niveau des P.H.M.V.E.E. Les villages de LES PORTES, de SAINT CLEMENT DES BALEINES, d'ARS et de LOIX, notamment, sont partiellement submersibles.

Un important travail d'endiguement a dû être effectué depuis plusieurs siècles, tant pour mettre ces terres submersibles à l'abri de la mer, que pour conquérir sur elle de nouveaux marais salants.

La majeure partie des travaux d'endiguement ont été faits par des particuliers, groupés la plupart du temps, en Associations soumises au règlement dit de Marennes (29 septembre 1824). Quelques-unes de ces Associations subsistent encore de nos jours.

Mais le long des côtes les plus exposées aux mauvais temps, c'est l'Etat qui, dès avant la Révolution de 1789, a pris en charge la construction et l'entretien des principales digues de protection côtière.

Nous nous trouvons donc, à l'heure actuelle, en présence de deux catégories distinctes d'ouvrages : d'une part, les grandes digues maçonnées construites et entretenues par l'Etat ; d'autre part, les digues de protection secondaire, construites principalement en terre, par des particuliers et entretenues maintenant, soit par ceux-ci, soit par les Communes, soit même parfois par le Département.

2
2.2

1²) Grandes Dignes à l'Etat -

D'une longueur totale de 11.669 mètres, ces ouvrages protègent les points les plus exposés de l'île de Ré aux violentes tempêtes de Sud-Ouest et de Nord-Ouest (fig.8).

Construits à l'emplacement d'anciennes digues, les ouvrages actuels datent, la plupart du temps, du milieu ou de la fin du XIX^e siècle. Tel est le cas de la digue du Boutillon, sur la côte Sud, construite en 1860 par dessus un ancien ouvrage de protection (fig.9). Ces digues sont établies en

général sur un remblai de sable et gravier constitué parfois par l'ancienne dune littorale. Les digues ont habituellement les caractéristiques principales suivantes : pente moyenne 2 de base pour 1 de hauteur ; pied encastré dans l'argile compacte en place (terme local : bri) ; crête du parapet arasée entre 3 et 5 m. au-dessus du niveau des P.H.M.V.E.E. ; épaisseur moyenne 0,50 m comprenant un parement en moëllons de Saintonge appareillés (0,25 m de queue moyenne) reposant sur un blocage en maçonnerie de chaux hydraulique.

Côté terre, le remblai est protégé par un revêtement de terre argileuse.

Plusieurs de ces ouvrages ont subi depuis une vingtaine d'années, des dégâts importants qui ont entraîné parfois leur reconstruction complète.

C'est le cas de la digue du Boutillon déjà citée, reconstruite en 1942-44 (fig. 9). Le nouvel ouvrage épouse les grandes lignes de la digue antérieure, mais les fondations en sont descendues plus profondément et l'épaisseur du corps de la digue est renforcée : il se compose alors d'un parement de 0,50 m d'épaisseur en béton de cailloux dosé à 350 kgs de ciment (parfois on substitue aux galets de côte concassés des pierres dures, généralement des diorites de la Meilleraie) reposant sur un hériasson en moëllons de Saintonge bloqués au marteau (scellés même parfois avec du gros béton).

Côté terre, la couche de terre argileuse protégeant le remblai est remplacée en certains points par un revêtement en maçonnerie de moëllons.

De place en place, des épis également maçonnés viennent s'enraciner dans les digues longitudinales. Leur efficacité est en général remarquable en raison de l'importance des cheminements de matériaux. Il en existe au total 31 sur le littoral de l'île de Ré.

De longueurs variables, ces épis ont, comme traits communs, d'une part leur profil en travers dissymétrique (pente amont 1/1, pente aval 3/1 ou 2/1) et d'autre part leur mode de construction qui est en général le suivant : les remblais de pierrailles constituant le corps de l'épi sont enfermés sous une ou deux épaisseurs de moëllons de Saintonge parementés. En raison de l'importance du brassage des galets de côte, on constate une usure rapide de ces moëllons. Aussi s'efforce-t-on maintenant de capaçonner ces épis sous une trentaine de centimètres de béton à fort dosage et, si possible, en matériaux durs.

Ces digues et épis sont entretenus soigneusement par une équipe d'ouvriers maçons, payés sur le budget de l'Etat.

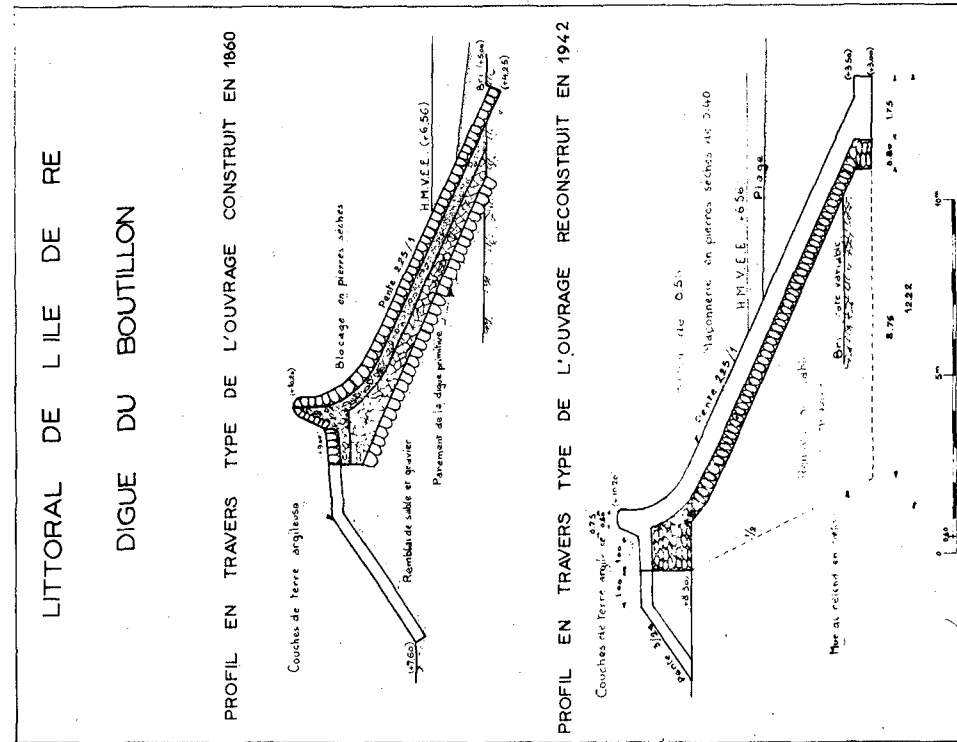


FIG. 9.

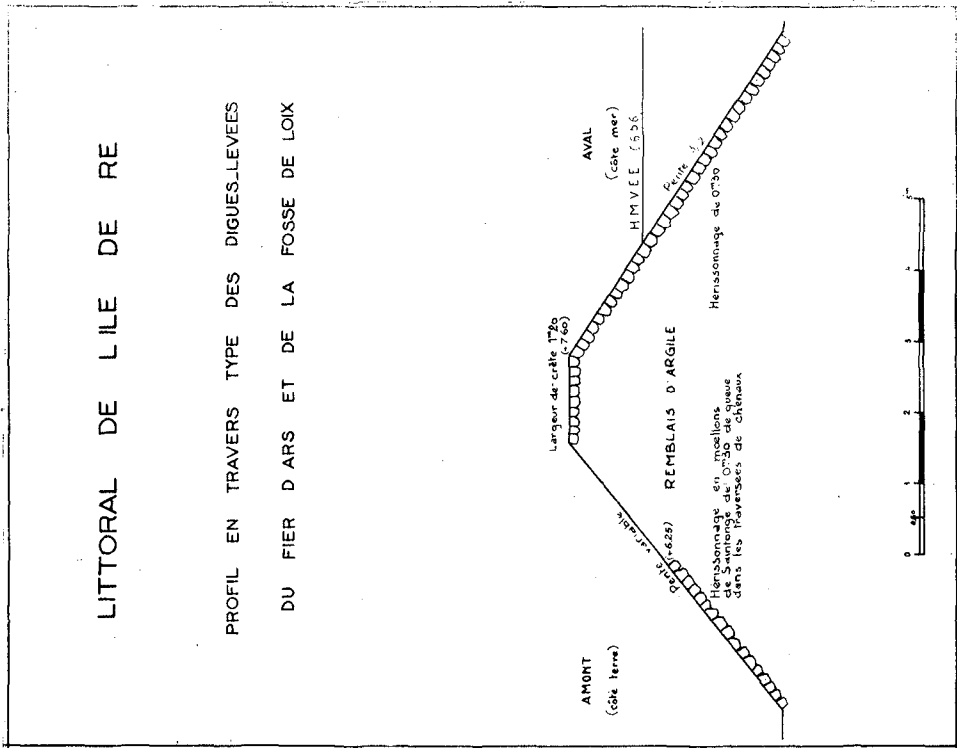


FIG. 10.

2^a) - Digues secondaires de défense contre la mer -

Les autres digues de défense sont situées sur le pourtour de la Fosse de Loix et du Fier d'Ars. Elles doivent résister essentiellement à l'effort statique de la mer mais aussi, à un léger clapotis. Leur longueur développée est de 40.000 m environ (fig.8).

Le profil type de ces digues (fig. 10) est constitué par des remblais de terre plus ou moins argileuse soigneusement damée. La crête est arasée à environ 1 m. au-dessus du niveau des P.H.M.V.E.E. La pente aval est en général comprise entre 1 pour 1 et 2 pour 3 ; la pente amont est très variable. Pour résister à l'action du clapotis, un parement à pierres sèches est enfoncé à la masse dans la terre argileuse, sur toute la surface du flanc aval. La plupart du temps, le flanc amont n'est protégé que par la végétation.

De par sa nature, ce genre de digues ne peut durer qu'autant qu'un entretien sérieux et constant est assuré. Or depuis le dépeuplement de l'île de Ré survenu vers la fin du siècle dernier, il n'y a plus assez de cultivateurs ou de sauniers pour assurer cet entretien dans de bonnes conditions. Les digues sont donc d'une manière générale en mauvais état et il arrive que des brèches s'y produisent au moment des tempêtes d'hiver, comme ce fut le cas en 1940 et 1941. Pour procéder aux réparations indispensables, les propriétaires, les Associations et même les Communes sont impuissantes. C'est le Département de la Charente-Maritime qui se substitue à eux et qui effectue les travaux les plus indispensables avec le concours financier des communes intéressées et surtout de l'Etat.

On a cherché à réduire la longueur de ces digues en terre afin de diminuer d'autant les efforts financiers des collectivités locales et les risques de submersion des villages.

Pour le Fier d'Ars notamment, un projet avait été établi prévoyant la bouchure de l'entrée du Fier par un barrage muni de vannes et équipé d'une petite usine marémotrice. Mais devant l'importance des dépenses, ce projet d'ensemble dut être abandonné. L'idée directrice a néanmoins été conservée et à l'occasion de travaux de réfection de digues, on s'efforce chaque fois que la chose est possible, de barrer quelques-uns des multiples chenaux d'alimentation de marais. C'est ainsi, par exemple, que, sur le territoire de la Commune des Portes, le Département fait réparer actuellement la digue des Ains, rompue en 1940, et que, de part et d'autre de cette digue, on construit deux petits barrages munis chacun d'un ouvrage de prise d'eau, ayant 132 m. de longueur totale, qui régulariseront les mouvements de l'eau dans deux petits chenaux et, à eux seuls, permettront d'économiser l'entretien de plus de 2 km de digues.

Observations -

Les grandes digues en maçonnerie, quoique exposées à la houle et aux tempêtes, ont cependant une très bonne tenue. Ce résultat peut être attribué aux causes suivantes :

- 1 - Fondation généralement bonne
- 2 - Pente de la face aval assez douce (2/1)
- 3 - Hauteur de crête assez élevée pour que les lames ne déversent que rarement.
- 4 - Parement amont protégé par des plantations
- 5 - Ensablement maintenu par des épis
- 6 - Entretien constant par une équipe spécialisée.

Les digues en terre, peu exposées, tiennent bien lorsqu'elles sont régulièrement entretenues, assez hautes pour n'être pas surmontées par les hautes mers exceptionnelles, et protégées sur la face aval par des pierres sèches.

III - STATION BALNEAIRE DE CHATELAILLON

La petite station balnéaire de CHATELAILLON, au sud de La Rochelle, qui s'allonge au bord de sa plage, est protégée contre la mer par des perrés en maçonnerie ou béton.

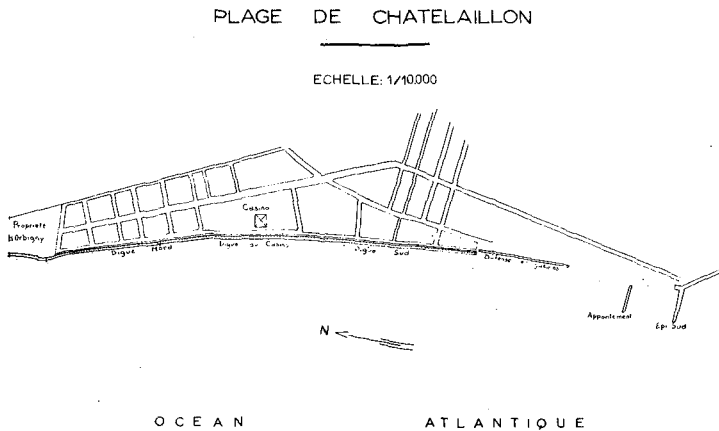


Fig. 11.

Plage de Chatelaillon - Descriptions des lieux - (fig. 11)

La plage de Chatelaillon s'étend sur 2.300 mètres environ, entre la propriété d'Orbigny au Nord et l'épi en maçonnerie qui la limite au Sud. Elle était autrefois bordée de dunes de sable qui durent être protégées par des digues avec perrés en maçonnerie sur une longueur de 1.400 mètres environ, à partir de la propriété d'Orbigny, c'est-à-dire devant l'agglomération. Ces digues ont été construites de 1890 à 1897, en général, par des associations de propriétaires auxquels la Commune a été substituée en 1909, exceptionnellement par l'Etat, devant le Casino.

Elles étaient constituées par des perrés en maçonnerie de 0 m 35 en moyenne d'épaisseur inclinés à 3 de base pour 2 de hauteur, reposant sur le sable de la dune, soit directement, soit par l'intermédiaire d'une couche d'argile (bri) de 0 m 25, leur pied, fondé à une cote de l'ordre de (+ 4.50) à (+ 5,00) étant protégé par une risberme en maçonnerie ou en béton, complétée, dans certaines parties, par un rideau de palplanches en bois (fig. 12).

A l'extrémité Sud de ces perrés, on a établi en 1950, sur 320 mètres de longueur, devant les maisons, une défense en gabions de 1 m 50 de hauteur (3 rangées superposées).

Au-delà, la dune est plus haute. La protection longitudinale n'existe plus jusqu'à l'épi au Sud de la plage, soit sur 500 mètres environ de longueur. Cet épi en maçonnerie a été construit en 1857 sur 90 mètres de longueur. Il a été allongé de 50 m. en 1932. Son profil en travers est dissymétrique (pente amont 1/1 - pente aval 3/1). Il est constitué par un remblai de pierres enfermées dans une carapace en maçonnerie ou en béton.

Au nord de la pointe d'Orbigny, où se termine la plage de Chatelaillon la défense avec perré maçonné a été prolongée par les riverains sur 175 m. devant la propriété d'Orbigny, puis au-delà sur 1.200 m jusqu'à l'épi de St Jean des Sables, par la Compagnie des Chemins de fer, pour protéger la voie ferrée Bordeaux-Nantes, située en bordure de la mer.

2
2 2

Evolution de la plage -

Des mouvements importants du sable de la dune, du Nord vers le Sud, se sont produits à certaines époques remontant à plus d'un siècle. Après la construction des perrés, la plage s'est constamment amaigrie sauf dans la partie Sud.

Au nord, le niveau du sable a baissé de 3 m depuis 1890 et la plage a presque complètement disparu. Aux environs du Casino, l'abaissement a été de l'ordre de 1,50 m à 2 m. Par contre, au sud, le niveau de la plage s'est maintenu grâce à la présence de l'épi.

2
2 2

DIGUE DE CHATELAILLON
Profils nouveaux

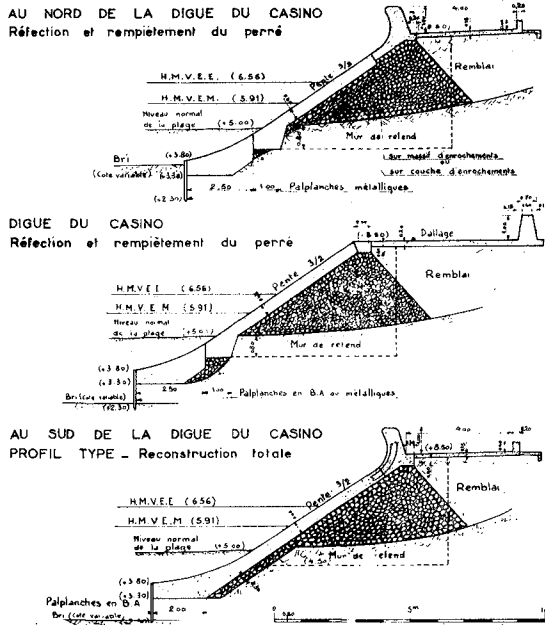


Fig. 12.

DIGUE DE CHATELAILLON
Profils anciens
AU NORD DU CASINO

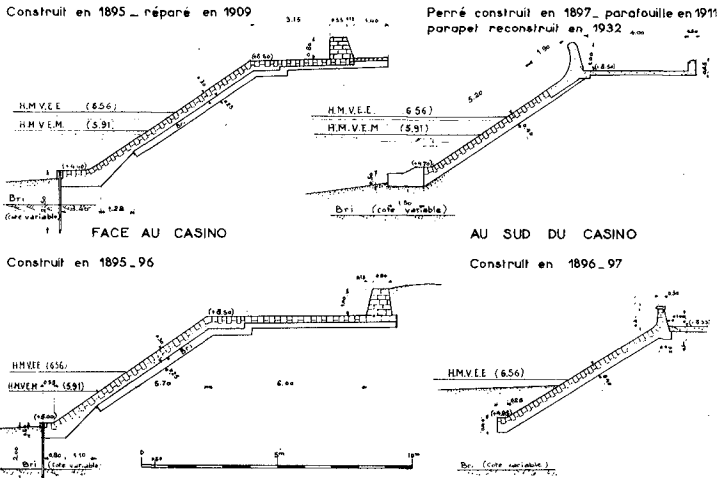


Fig. 13.

Destruction des perrés -

Au cours de certaines tempêtes, la risberme et le rideau de palplanches protégeant les perrés ont été dégarnis du peu de sable qui les recouvrait et des affouillements ne sont produits atteignant 1 m de profondeur. C'est ainsi que le perré devant le Casino et au-delà, vers le Sud, a été rapidement disloqué et détruit sur 300 m de longueur pendant les tempêtes de Novembre 1945 et de Décembre 1946.

D'autre part des infiltrations se produisaient à basse mer au travers de la maçonnerie (notamment dans les parties où n'existe pas la couche de bri sous le revêtement). Ces infiltrations dues soit à l'eau de mer ayant pénétré dans les joints à marée haute, soit à la nappe d'eau du sol, entraînaient le sable en formant des excavations sous le revêtement qui ne présentait plus aucune résistance à l'action de la mer et s'effondrait avec facilité, en provoquant des brèches plus ou moins étendues. La maçonnerie était d'ailleurs de mauvaise qualité, notamment dans la partie au Sud du Casino.

Reconstruction des perrés -

Ce sont les dégâts importants de 1945 et de 1946 qui ont donné lieu aux travaux de reconstruction de la digue et de renforcement de son pied sur presque toute sa longueur (1200 m). Les profils nouveaux (fig. I3) reproduisent les anciens en améliorant et en abaissant leur fondation à (+ 3,30) environ avec protection du pied par des palplanches en béton armé ou métalliques de 1,50 m à 1,75 m de longueur fichées dans le "bri" sous jacent. La crête des perrés est à (+ 8,50). Le revêtement est en béton de 0,40 m d'épaisseur. Il repose en général sur un massif d'enrochement permettant d'éviter les tassements qui se seraient produits avec un remblai ordinaire. Le parement de ces enrochements sous perré est en maçonnerie à pierre sèche sur 0,20 d'épaisseur en moyenne. Les joints sont garnis de béton fin pour obtenir une certaine résistance à la mer avant le bétonnage du perré.

Dans les parties de la digue (partie Nord et devant le Casino) où le perré et le pied avaient déjà été rétablis à l'emplacement de diverses brèches au cours des années 1941 à 1945, le socle a été remplété en sous oeuvre jusqu'à la cote (+ 3,30) suivant les mêmes dispositions que pour le profil entièrement nouveau. Ce renforcement du pied a en effet été reconnu nécessaire après le déchaussement des perrés devant le Casino et au Sud du Casino pendant les tempêtes de décembre 1945 et de décembre 1946 (fig. I3).

Des murs de refend en maçonnerie, de 0,50 m d'épaisseur, tous les 25 m environ ont été construits pour éventuellement limiter les dégâts et pour servir d'appui au revêtement. Un joint de 0,03 m rempli d'un mélange d'asphalte et de bitume (1/10), est ménagé dans l'épaisseur de ces murs.

Actuellement, les perrés reconstruits de 1946 à 1950 se présentent de façon satisfaisante.

2
2 2

Epis -

Un seul épi en maçonnerie construit en 1857 au Sud de la plage, retient les sables qui se déplacent du Nord vers le Sud. Il a rempli son rôle à plein dans sa partie haute sur une quarantaine de mètres de longueur. Mais on constate, depuis quelques années, au cours de certaines marées, que le sable est remonté par la mer vers la laisse des hautes mers à (+ 6.30) environ, et est entraîné, en ce point, au-dessus de l'épi. Un exhaussement de 1.00 à 1,50 m de cet épi a donc été demandé par la Municipalité. Il sera réalisé au cours de l'été 1954 au moyen de gabions disposés sur 2 ou 3 rangées sur lesquels reposeront des blocs en béton pesant 1 T,50 environ. Un revêtement en béton de 0,35 m sur enrochements prolongera le parement aval de l'épi jusqu'en tête du bloc supérieur.

Cet exhaussement ne provoquera un réensablement de la plage que sur une longueur limitée. Il est donc envisagé d'établir à 200 m environ au Nord de cet épi en maçonnerie un épi d'expérience en charpente de 100 m de longueur avec bordé réglable en hauteur suivant l'ensablement. Si son action est efficace, d'autres épis seront établis ultérieurement plus au Nord encore, afin de tenter le réensablement au pied des perrés.

Déjà, plusieurs épis provisoires ont été construits à diverses époques le long de la plage, sans résultat bien appréciable. Certains établis en 1947, avec des potelets en béton, de 0,15 m x 0,15 m provenant des défenses allemandes de l'Atlantique subsistent encore, mais ils sont trop courts et forment une saillie insuffisante. Ils montrent en tout cas qu'il n'y a pas d'apports importants de matériaux en provenance du Nord.

2
2 2

Plantations - Barrages longitudinaux sur la dune -

Pour éviter l'entraînement du sable fin sec, qui se produit dans la partie haute de la plage et sur la dune sous l'action des vents de N.W. et aussi de S.E., on est conduit à établir quelques barrages longitudinaux et transversaux de peu de hauteur au moyen de fascinages et de planches et de faire des plantations ou des semis de chiendent sur les dunes.

C'est ainsi que vers 1860 des propriétaires riverains de la mer, ont reconstitué la dune sur 3 m à 4 m de hauteur en surélevant plusieurs fois quelques barrages en planches de 0,40 m à 0,50 m de hauteur qui retenaient le sable et protégeaient des semis.

Récemment, un barrage avec des palplanches disponibles et des poteaux en béton 0,15 x 0,15, établi en 1948 en travers de la dune jusqu'aux tamaris dans le prolongement de l'apponnement a été relevé d'un mètre environ. Un barrage de 3 m à 4 m de hauteur, avec des coupes de palplanches métalliques a permis de combler une dépression dans la dune sur 40 m environ de longueur et sur la hauteur du barrage. Il a été complété en tête par une plantation de tamaris. Malheureusement les plantations de tamaris sont souvent laissées sans soin, elles sont abimées par les promeneurs et réussissent rarement.

2
2 2

Observations -

L'expérience des travaux de défense de Chatelaillon donne lieu aux remarques suivantes :

Pour réduire les affouillements provenant des entraînements de sable la pente des perrés doit être adoucie autant que possible, compte tenu des circonstances locales et des crédits disponibles. Une pente de 2 de base pour 1 de hauteur doit être considérée comme un minimum. Pour un projet de perré sur la côte Sud d'Angoulins, à proximité de Chatelaillon, on a prévu une pente de 5/2 avec parapet en tête et petite plateforme en arrière (fig.14).

À Chatelaillon, la crête au pied du parapet est à la cote (+ 8,50), c'est un minimum si l'on veut éviter les projections importantes des embruns au-dessus du parapet.

On n'a pas observé que, pour les perrés qui présentent une plateforme entre la crête et le parapet, les affouillements soient moins importants que

pour les perrés avec parapet en tête. En tout cas si la première disposition qui a souvent l'agrément des riverains ou des promeneurs est adoptée, il est nécessaire de donner à la plateforme, une pente et une épaisseur suffisantes à la rendre à peu près étanche.

Afin d'éviter la formation de fissures dans le sens horizontal, le revêtement en béton doit autant que possible, être effectué par tâche entière sur toute la hauteur du perré. Ce n'est guère possible, si la mer atteint rapidement le pied du perré ou la tâche en cours.

Le béton peut être mis en oeuvre sur le talus en une couche sans emploi de coffrage. Il est vibré dans la masse. Mais il est difficile d'obtenir que le mortier reflue régulièrement en surface pour qu'il soit convenablement réglé et lissé. Un enduit de 1 cm à 1,5 cm est nécessaire au fur et à mesure d'un premier réglage sur madriers des gabarits.

IV - OUVRAGES DIVERS ENTRE CHARENTE ET GIRONDE

Plage de Royan -

La Ville de ROYAN se développe en bordure de la plage de la "Grande Conche" sur une longueur d'à peu près trois kilomètres. Elle est bordée par un large boulevard - promenade qui protège un perré en maçonnerie ou en béton. Le site est fort beau, mais une menace assez sérieuse pèse sur l'avenir de cette station balnéaire : abstraction faite des alternances cycliques dues aux mauvais temps qui provoquent un démaigrissement passager de l'estran et aux temps moyens ou beaux qui le reconstituent, il est à peu près certain que le niveau moyen de la plage baisse lentement, mais continuellement. La difficulté d'un contrôle quantitatif réside dans l'absence d'observations méthodiques sur une période étendue, mais le fait est devenu particulièrement sensible depuis 1946 à la suite des déchaussements de certaines parties des perrés (fig. 15).

En fin décembre 1951, une tempête assez violente a bouleversé en moins de 48 heures la physionomie générale de la plage dont le niveau s'est abaissé de plus d'un mètre dans la zone centrale, la plus menacée. Les fonds se sont reconstitués depuis, mais il a été possible de tirer quelques ensei-

nements de l'observation des profils de l'estran relevés périodiquement après cet incident. Il est généralement admis qu'une plage peut être considérée comme stabilisée lorsque sa pente en arrière de la laisse des P.M. de vives eaux est inférieure à une valeur critique de 1 à 2 % pour les sables fins comme ceux de Royan et qu'une plateforme sensiblement horizontale existe entre cette laisse et l'ouvrage côtier, sur une largeur suffisante pour amortir la force vive des lames déferlantes. Cette dernière condition n'est pas ici réalisée, le perré suivant dans son ensemble la laisse des P.M. Les ouvrages sont, de plus, fort anciens et à forte pente (45°) et les lames y déferlent sans amortissement, d'où les importants affouillements constatés en 1951.

Mais il s'agit là, peut-on dire, d'un incident local, dangereux certes pour la vie des perrés de protection dont le mauvais profil ne saurait être discuté, mais n'intéressant, en définitive, qu'une bande assez limitée de l'estran.

Les causes véritables de l'abaissement moyen de la plage restent à analyser. Il est possible que, dans certaines conditions de houle ne coïncidant pas nécessairement avec les plus fortes tempêtes, il se produise des courants transversaux rejetant aux deux extrémités de la "Grande Conche" les sables mis en suspension par le flot de fond dans la partie centrale, le rivage tendant ainsi à se modeler suivant un tracé en harmonie avec celui du lit principal de la Gironde par fonds de 0 à - 10 C.M. Si cette hypothèse se vérifiait, la construction d'épis serait un remède efficace, sous la réserve de respecter l'esthétique des lieux. Des essais sur modèle réduit permettraient seuls d'orienter les études en ce sens, mais l'importance de la dépense à engager n'a pas permis jusqu'ici leur réalisation, la Ville de ROYAN, principale intéressée, ayant encore à faire face aux problèmes plus urgents de la reconstruction.

- Dignes longitudinales en gabions -

Il a été exécuté sur la côte Sud du département de la Charente-Maritime de nombreuses digues de protection en gabions pour les raisons suivantes :

- 1°) Ce type d'ouvrages convient parfaitement pour des côtes basses à pente douce, situées généralement en bordure d'anciens marais salants actuellement consacrés à l'élevage et pour lesquelles ne se pose aucune question d'esthétique.

- 2^e) La réalisation n'exige aucun matériau coûteux et la mise en oeuvre des gabions peut être assurée par la main-d'oeuvre locale disponible.
- 3^e) Il est toujours possible de renforcer les profils si l'expérience l'exige.

L'un des ouvrages les plus caractéristiques est celui de la protection des marais de MONTPORTAIL, au Sud de l'embouchure de la Charente. Les travaux ont été exécutés en 1952. Pour une longueur de 1.645 mètres, le prix de revient moyen a été de 5.780 francs au m.l. La digue a été construite en gabions de 1 m.00 x 1 m.00 en élévation et de 1 m.00 x 0 m.50 en fondation, avec remplissage en moëllons calcaires. Les déblais de fouille ont servi à constituer un cavalier de renforcement. Après deux ans, on constate partout un engraissement du cordon littoral satisfaisant. (fig. 16).

La seule précaution à prendre est de s'assurer du bon remplissage des gabions suivant les règles traditionnelles des maçonneries en pierres sèches, tout au moins en parement. Mais il est bien évident qu'un tel type d'ouvrage ne peut être envisagé dès que des affouillements ou des démaigrissements de l'estran sont à craindre. C'est ce qui en limite en fait son application.

V - CONCLUSIONS

Les auteurs du mémoire proposent les conclusions ci-après, valables pour la côte française de l'Atlantique.

- 1^{er}) Lorsqu'il existe des défenses naturelles (dunes, cordons de galets), il importe d'en éviter la disparition par tous moyens appropriés : fixation des dunes par des plantations, contrôle de l'extraction des matériaux, interdiction de construire en bordure immédiate de la mer.

2^e) Lorsqu'il est possible de créer ou reconstituer de telles défenses par le moyen d'épis, il est avantageux de le faire. Des épis en bois imputrescible sont souvent suffisants, quand les matériaux en mouvement ne contiennent que des éléments fins.

3^e) On est fréquemment obligé de construire des ouvrages artificiels. Sur les côtes très exposées, les digues longitudinales en maçonnerie ou béton constituent une solution efficace, mais coûteuse. Ces ouvrages doivent être bien fondés, offrir un talus très doux (2/1 à 4/1), un parement en matériaux durs, être surmontés d'un parapet, renforcés par des refends et protégés contre les infiltrations du côté des terres. Des épis peuvent être associés à ces ouvrages.

4^e) Les digues en argile sont moins coûteuses et suffisantes quand la côte est peu exposée. Elles doivent être assez hautes pour n'être pas submergées par les grandes marées. Le talus extérieur doit être revêtu en pierres sèches.

5^e) Dans certains cas intermédiaires, ou en cas d'urgence, les digues en gabions donnent de bons résultats. Toutefois ces ouvrages ont une durée limitée.

RESUME

SEA-DEFENCE WORKS OF THE ATLANTIC COAST BETWEEN THE LOIRE AND GIRONDE

M. Blondeau and M. Baste

Between the Loire and the Gironde, the Atlantic Ocean runs along a succession of zones, the level of which is lower than that of the Spring tides. The main ones are:

In the North, the marsh of Vendée, between the Loire and the Bocage (woody district): 50,000 hectares*

In the Center, the marsh of Poitou, between the Bocage and Aunis: 80,000 hectares.

In the South, the marsh of Saintonge, between Aunis and Saintonge: 50,000 hectares.

Natural defences (sand-hills, shingle beaches) exist in some places. But more often than not, the protection is assured by artificial defences. Seaside resorts (Châtelailon, Royan) are protected by other works. Ahead of the coast line lie large islands (Noirmoutier, Ré, Oléron) which include lowlands even more threatened than those on the continent. Therefore, this coast offers a great number of interesting works for the specialized engineer.

The types of construction more frequently used are as follows:

(1) Clay sea walls These walls often have been constructed to utilize the polders. They are established about the level of neap tides (+ 3.50) and stand one meter high above the highest tides (+ 7.50). The seaward face is generally 3/2, sometimes covered with dry rubble, and the landward face 1/1.

* 1 hectare = about 2.5 acres.

These works suffer frequent damage. Subsiding in course of time, they may be overtopped by stormy seas.

(2) Masonry or concrete sea walls: The most remarkable of these are found at l'Aguillon (5 km.) and in the isle of Ré (10 km.). There are many other less important ones. They are massive embankments covered on the seaward side by a pavement of masonry (old defence works), or of concrete (recent works) and the crest of the parapet is (+ 10.00) high or higher. Providing they are kept in good repair, these works can survive storms. To prevent possible damage from spreading, partition walls have been constructed on the embankment at intervals of 10 to 20 m. When the level of the foreshore settles, the foundation is protected by a screen of sheetpiles.

(3) Gabion sea-walls: Owing to the cost of masonry sea-walls, gabion works filled with shingle are used in the parts which are less exposed to storms. These works can be overtopped without suffering any damage, but their lasting quality is limited.

(4) Groynes: The object of a groyne is to hold back the materials forming a natural protection. They are used either singly or connected with lengthwise walls. There are various types: a) masonry or concrete groynes, b) gabion, and c) lumber (timber) groynes. Adjustable lumber groynes have given remarkable results on certain parts of the coast of Vendée.

The upkeep of the works is maintained, as the case may be, by:

- a) The French State: big sea-walls of Noirmoutier and Ré,
- b) The Department: clay walls of the isle of Ré,
- c) Riverside "Communes",
- d) The Association of Landowners.

In all cases the Government Civil Engineers are the executive agents.

From the tests of the works mentioned above, engineers think that:

- (a) Whenever it is possible to create a natural defence by accumulating sand by means of groynes, it is advantageous to do so.
- (b) It is sometimes necessary to construct artificial works. When the coast is much exposed, lengthwise concrete walls are the best solution. Their foundations must be well laid. They must offer a very gentle slope and be surmounted by a parapet and strengthened by partition walls.
- (c) Clay walls are less expensive. Their height must be fairly great so as not to be submerged by high waters. The outer slope of the clay walls must be covered with dry rubble.
- (d) In all cases, a regular and careful maintenance is essential.