

Ports du Maroc et ensablement

par Najib Cherfaoui, ingénieur des Ponts et Chaussées

A. Introduction

Les ingénieurs travaillant à la construction de digues ou de môles sont souvent confrontés à des situations imprévisibles telles que la disparition de plages ou la formation de nouvelles barres de sables.

En effet, à l'approche des rivages, et en réaction au déferlement, une partie de l'énergie des vagues alimente la formation de remous turbulents et laminaires qui donnent naissance, le long de la frange littorale, au déplacement de grandes quantités de masses d'eau.

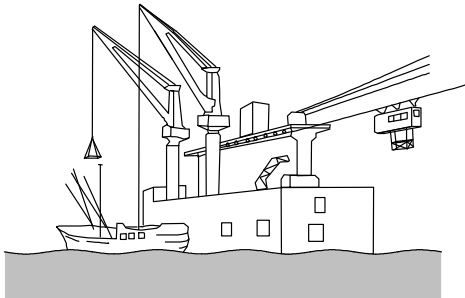


figure 1 : Port de Sidi Ifni ; quai îlot relié à la terre ferme par téléphérique équipé de wagonnets auto-tractionnés. Réalisée entre 1962 et 1965, cette construction originale, unique au monde, présentait l'avantage d'éviter l'ensablement auquel est confronté aujourd'hui le bassin portuaire mitoyen achevé en 1988, puis agrandi en l'an 2000.

Le régime de ces mouvements d'ensemble est très sensible à la morphologie côtière et aux fluctuations météorologiques. Une simple modification de la géométrie du trait de côte, comme par exemple l'édification d'un brise-lames, peut changer profondément le régime des courants¹, avec des conséquences souvent incalculables sur les activités humaines, à telle enseigne que ce phénomène, combiné aux transports sédimentaires, peut bouleverser le destin d'une région, et parfois même, faire ou défaire une civilisation entière.

Par exemple, si c'est grâce à son port, que la ville de Bruges était devenue à partir du XIV^{ème} siècle le cœur de l'ordre marchand européen, c'est aussi à cause de l'ensablement de ce port qu'elle connut une récession grave et irrémédiable, étant donné que les bateaux l'ont peu à peu déserté.

Parmi les villes qui se sont disputées sa succession, Venise gagna cette bataille, mais entre autres vicissitudes, l'envasement du port entraîna le déclin de cette cité jusqu'alors prospère.

Anvers au Nord, puis Gênes au Sud prirent la relève et assurèrent successivement le rôle de place-forte de l'échange, mais subirent à leur tour, pour des raisons identiques, le même sort.

C'est alors que la ville d'Amsterdam, toujours sur le qui-vive, accéda rapidement à un rang central dans les réseaux commerciaux, position qu'elle a maintenu jusqu'à nos jours.

La longévité de cette hégémonie s'explique par une vision claire et lucide basée sur l'adaptation permanente de son port aux mutations de la navigation maritime.

¹ De manière générale, les courants marins sont causés par l'action des forces internes (température, densité), ou par l'action des forces externes (vents, houle, marées), ou bien encore par la combinaison des deux.

Pour faire face aux problèmes d'ensablement, cette cité a su, dès l'avènement de l'ère industrielle, délocaliser ses activités portuaires vers le pôle stratégique de Rotterdam pour y construire des quais par des profondeurs compatibles avec la taille sans cesse croissante des navires.

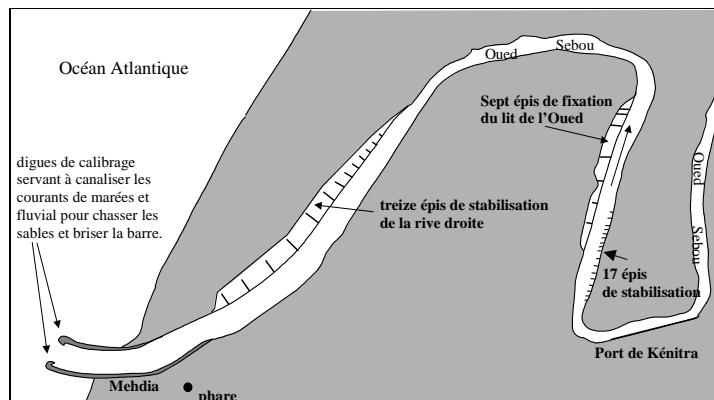


figure 2 : Embouchure de l'Oued Sebou : pour couper la barre de sable qui gêne la navigabilité, deux jetées longitudinales concentriques furent construites entre 1921 et 1932. En enserrant le jusant, mouvement de marée basse, ces ouvrages donnaient à ce courant de reflux, la vitesse et la force nécessaires pour chasser et entraîner les sables vers le large. Trois cents ans plus tôt, le Sultan Saadien, Moulay Zidane avait envisagé la même technique pour faire disparaître la barre d'alluvions de l'Oued Oum Er Rabii, et améliorer ainsi l'accès maritime au port fluvial d'Azzemour.

Des villes comme Kénitra ou Larache sont confrontées à des difficultés de développement en raison, notamment, de la diminution des tirants d'eau de leurs bassins. Le port de Boujdour² fut complètement ensablé en cours de construction, ce qui empêcha sa mise en service en 1982.

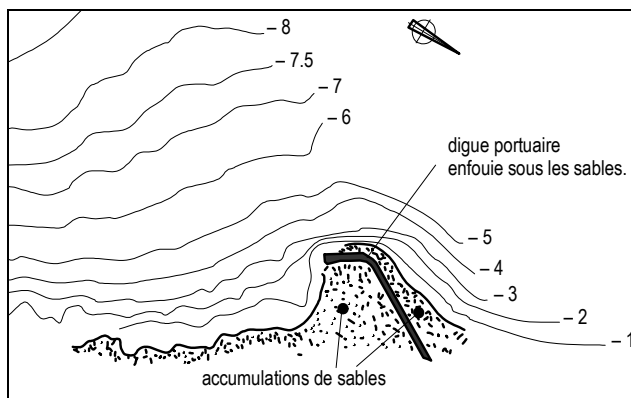


figure 3 : Construit à partir de 1978, le port de Boujdour n'a pu être mis en service à son achèvement en 1982, car totalement submergé par les sables.

Actuellement, beaucoup de ports, de par le monde, souffrent des problèmes d'ensablement, et ne survivront que ceux qui, à l'instar d'Amsterdam, auront retenu la leçon de l'Histoire.

A l'inverse, l'ensablement peut être mis à profit pour construire naturellement le noyau d'un ouvrage de protection. C'est grâce à cette idée originale que la digue du port d'Agadir fut judicieusement édifiée, de 1920 à 1952, en plusieurs étapes, chaque tronçon bénéficiant de la flèche d'ensablement provoquée par le tronçon précédent.

² Située sur la route des épices, Boujdour fut célèbre dans le monde entier, et continue de l'être en souvenir de cette épopée fantastique. Le nom Boujdour dérive de Bojador, terme portugais signifiant, saillie sur la mer ou encore promontoire rocheux, c'est à dire cap. Jusqu'à la fin du treizième siècle, le cap Bojador fut considéré par les navigateurs occidentaux comme un avant-poste du bout du monde. Les vents étant toujours du Nord, les navigateurs pensaient qu'il serait impossible de les remonter et de revenir ; ce cap inspirait la terreur aux marins car, au delà, c'était l'inconnu. Oser, par exemple, dépasser le cap Bojador fut l'exploit insensé des premiers grands navigateurs portugais, partis en quête d'une route maritime pour les Indes. Il ne faudra pas moins de 15 expéditions pour que ce cap soit franchi en 1433 par Gil Eannes.

Il est par ailleurs bien connu que l'érosion d'une plage peut devenir problématique, auquel cas l'ensablement est recherché.

L'importance de l'étude du couple, courants et transports de sédiments, étant maintenant établie, nous allons en décrire les principales caractéristiques ainsi que leur impact sur le littoral.

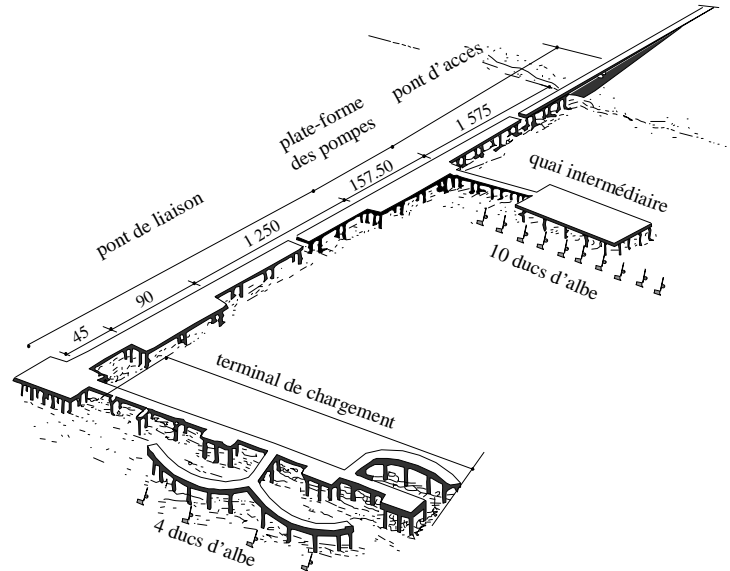


figure 4 : Pièce maîtresse de l'édifice portuaire marocain, le wharf minéralier de Laâyoune permet d'aller chercher les profondeurs de 18 mètres tout en évitant de les perdre par ensablement. Construit de 1963 à 1967 et long de 3 100 mètres, il est réalisé en béton précontraint et composé de 260 piles, 474 poutres, 137 chevêtres, 44 000 m² de tablier.

B. Mouvements de houle

Partout où existe une certaine épaisseur d'eau, les mouvements dus à la houle ne sont que de va-et-vient, et peuvent être considérés comme des courants éphémères. C'est ainsi qu'en eau profonde, les particules liquides décrivent des courbes quasi-circulaires, dont les diamètres décroissent avec l'altitude.

Lorsque des vagues, de longueur d'onde L , commencent à pénétrer en eau peu profonde, c'est à dire en profondeur inférieure à $L/20$, les trajectoires s'aplatissent à mesure que la profondeur décroît, et deviennent à la limite des segments de droite, sur lesquels le maximum de vitesse horizontale est donné par :

$$u_{\max} = \frac{H \cdot c}{2d} = \frac{H}{2} \cdot \sqrt{\frac{g}{d}} \quad (1)$$

Cette formule montre que lorsque le creux H s'amplifie et la profondeur d diminue, situation qui se produit sur la frange littorale, alors le maximum de vitesse orbitale u_{\max} tend à augmenter.

Par exemple, pour $H = 5$ m et $d = 10$ m, nous obtenons $u_{\max} = 3.5$ nœuds.

C. Jet de rive

Sur les fonds du rivage, juste après le déferlement, le mouvement des particules devient chaotique ; l'eau se déplace horizontalement vers l'avant et l'arrière avec des variations verticales brèves et intenses au moment où les vagues éclatent, c'est ce que l'on appelle le jet de rive.

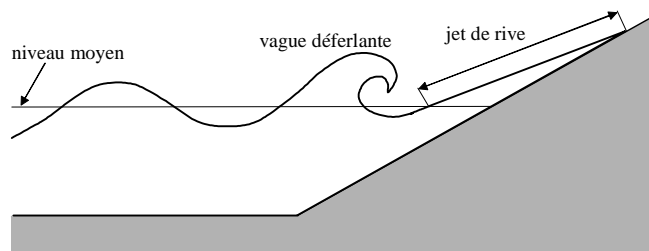


figure 5 : Ascension des vagues le long d'une plage après le déferlement.

Celui-ci est caractérisé par une translation de l'eau vers le haut de la plage au moment de l'arrivée de la vague, et le retrait ou ruissellement en nappe de cette même eau retournant à la mer selon la plus grande pente. A un moindre degré, la période de la houle, en réglant le lieu de la rencontre entre le retrait d'une vague et le jet de rive de la suivante, accentue l'ascension sur l'estran.

Les vagues courtes mises en mouvement par les vents locaux donnent des jets de rive hachés, qui prolongent directement le déferlement, et sont de ce fait assez vigoureux, bien que seulement une faible quantité d'eau soit mise en jeu.

Au contraire, les majestueux rouleaux des houles longues, dont le déferlement s'effectue assez loin du trait de côte, donnent un jet de rive médiocre par rapport à la masse d'eau sollicitée ; le retrait, par contre, est très actif, d'autant plus qu'il a le temps de descendre assez loin avant que la vague suivante n'arrive.

D. Courants de marée

Générés par les oscillations du niveau de la mer consécutives aux marées, ils en suivent la périodicité et se manifestent différemment au large ou au voisinage des côtes. C'est ainsi que près des rivages, ils sont alternatifs en direction et progressifs en force ; tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre ; faibles au début, puissants à mi-marée avant de s'affaiblir à nouveau. Leur vitesse peut être considérable, dépassant 8 nœuds à certains endroits.

Le courant qui suit la marée montante est alors appelé courant de flot et celui qui accompagne la marée descendante le courant de jusant.

Au large, ils sont giratoires et font le tour de l'horizon pendant une marée complète. Ils tournent, sous l'influence de la force de Coriolis, vers la droite dans l'hémisphère Nord et vers la gauche dans l'hémisphère Sud.

E. Dérive littorale

Quand les vagues approchent une côte rectiligne avec une inclinaison, un courant côtier longitudinal s'établit avec un écoulement ayant une vitesse de l'ordre de 0.3 à 1 m/s. La vitesse de ces courants est en relation avec, à la fois, la vitesse orbitale maximale dans la zone de déferlement et l'angle que les fronts d'onde font avec les lignes d'égale profondeur.

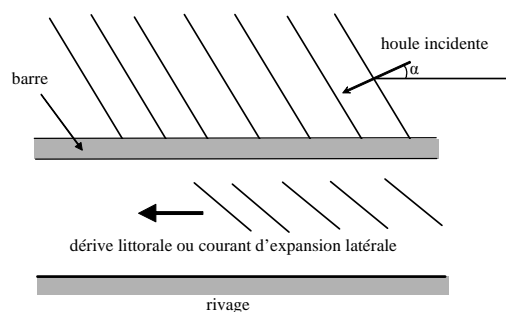


figure 6 : Processus de formation de la dérive littorale par la houle.

Ces courants jouent un rôle important dans le profilage des côtes, en particulier quand il s'agit de plages, et leur connaissance est essentielle pour l'étude du transport des sédiments et des polluants en suspension.

F. Courant de retour

A partir du déferlement, les houles longues produisent au voisinage du rivage des accumulations liquides. Pour qu'un équilibre puisse être atteint, il faut qu'il y ait un retour. Il s'ensuit une poussée des eaux qui empruntent les voies profondes pour s'échapper à travers la zone de déferlement, c'est ce qu'on appelle le courant de retour, perpendiculaire à la côte et orienté vers le large. Il est à noter que ce phénomène est accentué par la rencontre de deux courants longitudinaux de directions opposées. Les courants de retour sont étroits, et ont une vitesse de l'ordre de 2 m/s, ce qui est relativement élevé. Ils sont potentiellement très dangereux ; un baigneur pris dans un courant de retour peut être rapidement entraîné et noyé en haute mer après avoir été exténué par ses tentatives de sortir à contre courant ; le meilleur moyen d'en réchapper consiste d'abord à évoluer parallèlement au rivage pendant quelques mètres pour s'éloigner du courant de retour, et ensuite à nager vers la côte.

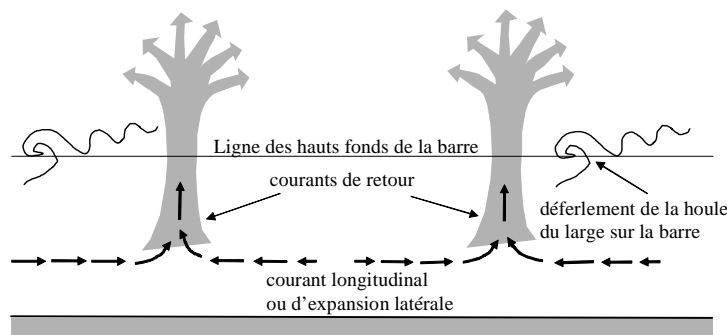


figure 7 : Vue en plan montrant la formation des courants de retour due à la variation de la longueur d'onde le long des lignes de crêtes.

G. Régimes sédimentaires

Le sol marin est composé en général de grains de matière qui se différencient essentiellement par leur taille ou leur aspects minéralogiques ou organiques.

C'est ainsi que nous distinguons les vases, éléments fins de diamètre moyen de l'ordre de 60 μm , mais pouvant atteindre 0.1 mm. Elles sont non élastiques, compressibles et lisses, donc difficiles à éroder.

Ensuite, il y a les éléments de la tranche de diamètres compris entre 0.1 et 2 mm appelés sables, constitués de fragments de calcaires ou de grains de silices résultant de l'ultime érosion des roches cristallines. Blanc, le sable est riche en quartz ou contient des débris de coquillages. Le rouge révèle

la présence de coraux. Les « ocres » sont dus à l'oxyde de fer qui entoure les grains. Le noir est basaltique, donc d'origine volcanique.

En dernier lieu, nous trouvons les morceaux de roche plus ou moins roulés qui proviennent de l'embouchure des oueds torrentiels ou de l'éroulement des falaises comme à Safi par exemple. Ils sont composés de gravillons (resp. de galets) de diamètres allant de 2 à 26 mm (resp. 2 à 50 cm).

La mise en mouvement des sédiments se fait lorsque la force du courant turbulent ou non, dépasse ou bien la force de gravité qui agit sur les grains ou bien celle de frottement entre les grains et le lit ou bien encore les deux à la fois.

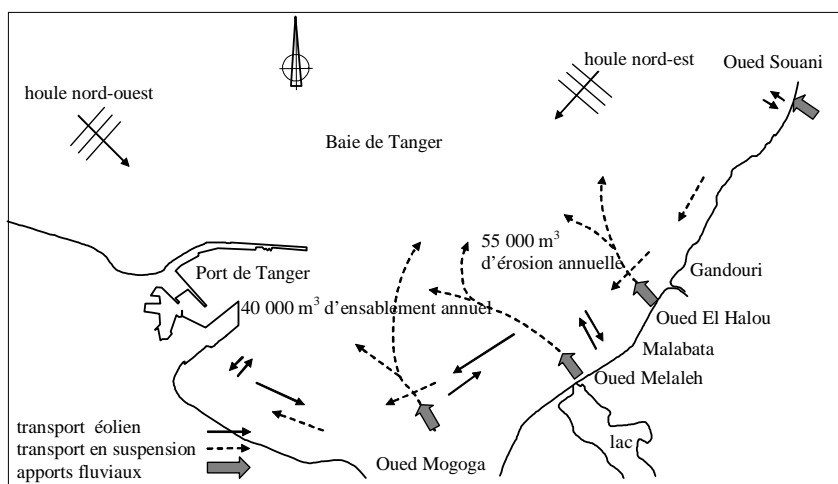


figure 8 : Impact de la jetée du port de Tanger sur les mouvements des sables dans la baie avoisinante.

Suivant la nature des matériaux et des courants, nous observerons donc trois types de mécanisme de transport.

Il y a tout d'abord le transport en suspension au cours duquel les particules restent dans la masse fluide avec une tendance à la décantation dès que l'entraînement s'affaiblit.

On distingue ensuite le transport par charriage ; dans ce cas, les grains se déplacent en glissant ou en roulant, et restent en contact avec le fond. Ce mécanisme est principalement régi par les forces de gravité.

Nous avons en troisième lieu le transport par saltation ; les grains se déplacent par petits sauts. Ce n'est ni du charriage car les grains ne restent pas toujours en contact avec le fond, ni de la suspension car les particules retombent rapidement.

Chacun des quatre courants littoraux cités précédemment peut de manière combinée ou indépendante s'accompagner de l'un ou de plusieurs de ces trois régimes de transport. C'est par ces mécanismes que la mer remue et classe en permanence les matériaux du fond. Ainsi en haut de plage nous trouvons les sables fins, le gros sable et les galets se rencontrent sur les parties les plus agitées, tandis que les limons et les vases sont présents juste après la barre.

Pour conclure ce paragraphe, il convient de signaler que face à la complexité des remaniements sédimentaires, la technique des traceurs radioactifs ou fluorescents s'est révélée particulièrement efficace pour en discerner les mécanismes et les rouages notamment dans le cas de la baie de Tanger³, dont nous avons résumé les grandes tendances à travers la figure (8). La carte ci-après précise la situation géographique ainsi que la localisation des ports de Tanger et d'Asilah.

³ La ville de Tanger possédait en 1678 un magnifique môle de 500 m de long et 30 m de large, qui en faisait l'un des premiers ports du monde. Il fut détruit par les anglais lorsqu'ils quittèrent la ville en 1682. En 1912, un embryon de port pour petits bateaux fut réalisé par une société allemande, protégé par une

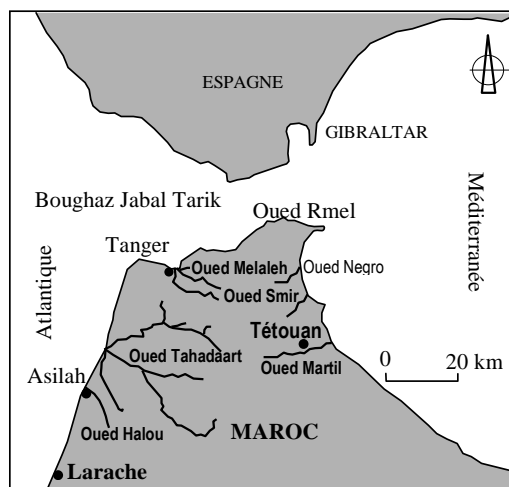


figure 9 : Littoral de Larache à Tétouan. Plan de situation des ports de Tanger et d'Asilah.

H. Transport par jet de rive

Lorsque la mer est peu agitée, les vagues courtes qui atteignent la plage déferlent à proximité immédiate du trait de côte. Toute la masse d'eau constituant la crête s'étale sur la plage. C'est au départ qu'elle a son maximum de vitesse. Le sable mis en suspension est transporté vers la terre, les galets pris dans les remous ascendants sont soulevés et projetés en avant. Mais en raison de l'énergie ainsi dépensée, la vitesse initiale diminue rapidement ; et une part de plus en plus faible de l'eau gravit la pente ; l'écoulement turbulent fait alors progressivement place, avec infiltrations, à un écoulement laminaire qui vient doucement mourir en haut de plage. Puis, sous l'influence de la gravité, le retour se fait progressivement ; moins brutal que le jet de rive, il dure plus longtemps. La nappe de retrait a un écoulement laminaire sur la majeure partie de son trajet. Les sédiments fins déposés lors de l'ascension à divers niveaux, sont repris par l'eau au cours de ce repli.

En première approximation, la compétence de transport du jet de rive est donc régie par la violence du déferlement, alors que celle de la nappe de retrait est déterminée par la pente. C'est ainsi que les déplacements des matériaux sur la plage vont intervenir jusqu'à ce que les transports vers le haut par jet de rive soient en moyenne compensés par les transports de retrait vers le bas. Par ajustements itératifs, la plage va tendre vers une position d'équilibre en adaptant sa propre pente à la charge sédimentaire imposée par le climat de houle du moment. C'est selon ce processus que les houles courtes d'été engraisent les plages.

A l'inverse, les houles longues de tempête, du fait de leur creux élevé, supérieur à 5 m, se brisent au large en donnant naissance à un transfert net de masses d'eau, une sorte de jet de rive qui glisse sur la surface de la mer ; quand il aborde l'estran, une partie de son énergie s'est déjà dissipée sous forme de frottements, mais surtout il a perdu le caractère soudain et turbulent qu'il avait sous le déferlement ; donc, à masse d'eau et à vitesse égales, sa compétence et sa capacité sont beaucoup moins élevées que si les vagues s'étaient cassées près du rivage. Le déferlement au large aboutit donc à favoriser la nappe de retrait, impliquant une pente d'équilibre plus faible. Ce qui signifie en particulier qu'une grande quantité de sables sera emportée vers le large⁴.

courte jetée dont l'enracinement existe encore, au pied des postes pétroliers. La configuration actuelle du port est le résultat d'extensions successives étalées sur la période 1925 à 1954. Un dernier prolongement de la jetée d'une longueur de 100 mètres fut réalisé en 1963 et protégé par 490 tétrapodes de 24 tonnes de poids unitaire.

⁴ C'est ainsi que dans la nuit du 10 au 11 mars 2003, 100 000 mètres cubes de sables de la plage des « petites Zénatas » à Casablanca furent emportés par une très forte houle dont le pic atteignit 11 mètres de creux pour 19 secondes de période.

I. Action de la marée

En terme de transport de sédiments, la marée agit rarement seule, dans le sens où la compétence des courants associés est toujours combinée à celle de la houle.

Pour fixer les idées nous allons raisonner sur le cas du littoral de Mohammedia. Les courants de marée y atteignent, au plus fort du jusant, une vitesse de 3 nœuds. Par ailleurs, des houles de tempête de 5 m de creux y engendrent par des fonds de l'ordre de 20 m un courant alternatif à peu près symétrique de vitesse maximale égale à 3.5 nœuds.

A l'instant où le mouvement engendré près du fond par la houle va dans le même sens que celui de la marée, le courant résultant prend une vitesse de 6.5 nœuds.

Quelques secondes plus tard, au moment où le mouvement de la houle s'inverse, la compétence va certes, se réduire à celle d'un courant de 0.5 nœuds, mais il n'en reste pas moins vrai que les sédiments sont entraînés, irréversiblement vers le large, par sauts entrecoupés de pauses.

C'est par ce processus répétitif, que les houles longues d'hiver évacuent vers le large les sables déposés par le reflux du jet de rive sur le trait de côtes, érodant et dégarnissant ainsi les plages.

J. Transport longitudinal

En déferlant, les vagues provoquent dans le cas de fonds sableux, la mise en suspension des éléments fins qui sont ensuite entraînés parallèlement au rivage par le courant de dérive. C'est ce que l'on appelle le transport longitudinal.

Ce type de transport, dit aussi d'expansion latérale, est le principal processus par lequel, à l'instar du port de Tarfaya⁵, s'ensablent les ports du sud marocain.

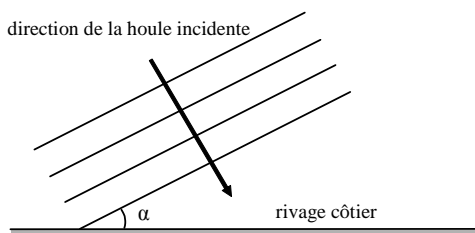


figure 10 : Paramètres intervenant dans le transport des sables dû à l'obliquité de la houle incidente.

Par ailleurs, il faut bien garder à l'esprit que suivant les saisons, les houles varient en direction et en amplitude, et qu'en conséquence, les contributions de certaines d'entre-elles se compensent pour donner globalement, dans le cas d'un littoral en équilibre, un bilan sédimentaire nul.

Cet équilibre peut cependant, subir de grands bouleversements, et entraîner, comme on le verra au paragraphe (L), à la fois l'ensablement d'un port et l'érosion d'une plage avoisinante suite, par exemple, à la construction d'une digue ou d'un aménagement côtier.

Il convient, par ailleurs, de signaler que par beau temps, l'action conjuguée de la dérive littorale et de l'ascension verticale concourt à modeler et à engraisser les plages.

⁵ Tarfaya (ou Tartaïa) ou bien encore (cap Juby Jubi, Yuby, Yubi) est aujourd'hui mondialement célèbre pour le rôle qu'elle a joué dans la naissance de l'aéropostale. Saint-Exupéry y écrivit *Courrier Sud* en 1927.

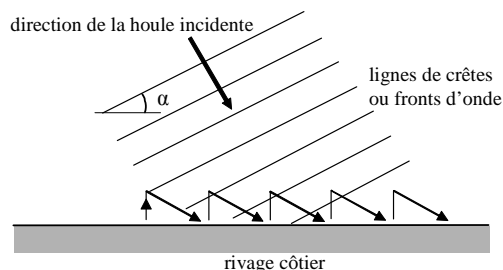


figure 11 : Principe du transport en dents de scie.

En effet, lorsque des vagues courtes arrivent du large sous une incidence non nulle, il leur correspond un courant longitudinal et un courant frontal de jet de rive. La composition de ces deux courants, crée sur la plage un courant résultant oblique, qui déporte latéralement les sables, de telle sorte qu'une houle qui vient de la gauche tend à les dévier vers la droite. Comme les grains ne redescendent pas avec le retrait vers leur position primitive, il en résulte au niveau de l'estran, un transit en dents de scie.

K. Exemple du littoral de Mohammedia

Comme expliqué aux paragraphes précédents, les matériaux de plage sont soumis à des déplacements, selon des modes et suivant des quantités, qui sont à la fois fonction de la granulométrie des sédiments, de la puissance des vagues, de l'intensité des courants et de la topographie du site. Pour montrer l'influence de ce dernier paramètre nous avons choisi de traiter l'exemple du rivage avoisinant la ville de Mohammedia avant la construction de la digue portuaire.

Le choix de cet exemple est motivé par le fait que la géomorphologie du site y a engendré un régime de transit sédimentaire illustrant les principaux cas de figures qui peuvent se présenter.

Il s'agit globalement du littoral compris entre le port de Mohammedia et l'estuaire de l'oued Nefifikh. Nous y distinguons, voir figure (12), deux tronçons séparés par un platier rocheux.

Le premier tronçon, appelé plage de Mohammedia ou encore plage Ouest, se présente sous forme incurvée sur 1 800 m de longueur.

Au centre, il y a sur un front d'environ 1 200 m, un platier rocheux qui borde une zone fortement urbanisée, dite Mannesman⁶.

En troisième lieu, nous trouvons la plage Est plus connue sous le nom de plage Monika. Elle s'étend sur 800 m et, est limitée dans sa partie extrême par une avancée rocheuse attenante à la rive gauche de l'embouchure de l'oued Nefifikh.

Ces deux plages sont le résultat de l'équilibre marin entre les matériaux apportés et emportés par les courants.

Elles sont composées de sables fins, mélange d'éléments coquillés et de quartz en association avec des matériaux lourds.

Le diamètre des grains, qui vaut en moyenne 0.5 mm, appartient à la tranche allant de 0.15 à 0.8 mm.

⁶ En référence aux frères Mannesmann, originaires de Remscheid, qui étaient au nombre de six, et dont l'aîné s'appelait Reinhard. Dans la région de Fédala, ils avaient, dès 1902, acquis d'une grande superficie de terres qu'ils avaient mises en exploitation suivant le système d'associations agricoles. C'est ainsi qu'ils fondèrent la Marokko Mannesman Cie, et développèrent leur activité à partir de 1909 dans les secteurs miniers, agricoles, industriels et de négoce. En 1912, les Mannesmann, à eux seuls, avaient acquis des droits de propriété foncière sur 160 000 hectares et des droits de prospection minière sur 7 854 000 hectares. Le traité du 4 novembre 1911 entre la France et l'Allemagne sur le partage de l'Afrique contraignit les Mannesman à abandonner les terres en leur possession au profit des industriels français Georges et Jacques Hersent qui avaient compris l'intérêt de l'existence d'une rade naturelle, favorable à la création d'un grand port aux moindres frais : ce fut le renouveau du port de Mohammedia.

Vu qu'elle est bien abritée, la plage de Mohammedia est constituée de sédiments fins.

A l'inverse, parce que plus exposée à l'action de la houle, la plage Monika est composée de matériaux plus gros.

Une erreur souvent commise, consiste à expliquer, systématiquement, ces écarts de granulométrie par la nature différente des grains. Ce qui n'est évidemment pas toujours vrai. Dans notre cas, par exemple, les différences de granulométrie indiquent des différences d'agitation, car la houle agit comme un tamiseur, dans le sens où les sables fins de la région la plus agitée sont mis en suspension et transportés par le courant parallèle vers la région la moins agitée.

Cette erreur d'interprétation provient de la confusion entre la notion de composition granulométrique et celle de composition minéralogique.

Rappelons pour mémoire que la composition granulométrique d'un sédiment consiste en la spécification statistique des dimensions des grains selon des tranches de diamètres appropriées.

Par contre, la composition minéralogique consiste en la spécification de la nature chimique des éléments constitutifs.

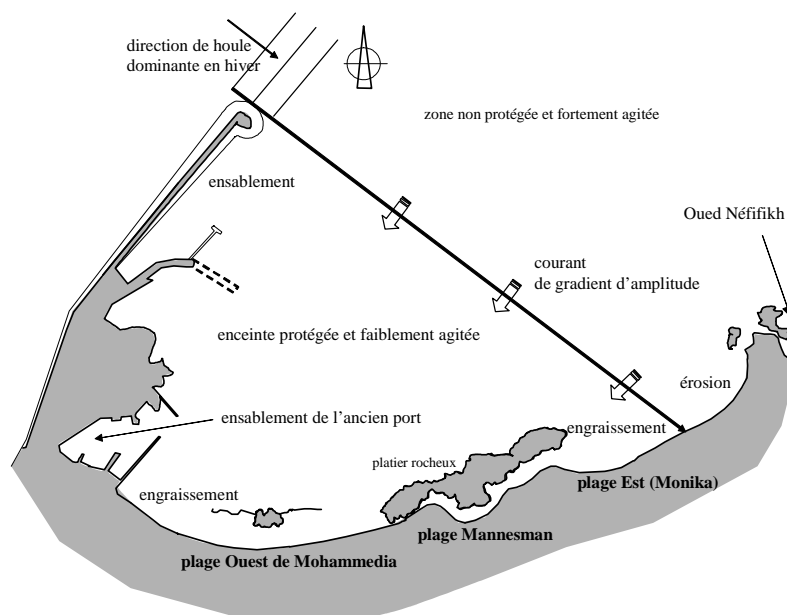


figure 12 : Impact de la digue du nouveau port de Mohammedia sur la plage qui fait face à son musoir.

Cela étant, nous allons maintenant préciser l'origine de ces sables.

L'examen de la carte géologique du littoral situé entre les régions de Safi et de Tanger, montre que cette zone, dans sa composante Sud, à partir de Rabat, ne possède aucune ressource en roche mère pouvant générer des sédiments sableux ; en clair, le stock disponible y est géologiquement nul.

Reste, les apports fluviaux ; l'analyse géologique montre que les lits des trois oueds Mellah, Nefifikh et Cherrat, parcourent des régions constituées de roches métamorphiques qui ne peuvent donner par érosion les sédiments majoritairement coquillés rencontrés sur le site étudié.

Se pose donc la question de l'origine des sables qui alimentent la région côtière allant de Rabat à Safi.

Ces sables proviennent de la zone de Kénitra où après leur mise en suspension par le déferlement, la dérive littorale assure leur transport. De plus, ce processus est renforcé par un courant de fond local qui circule le long de la frange littorale vers le sud à partir de Kénitra.

Les accumulations de sables présentes dans la région de Kénitra proviennent elles-mêmes de l'érosion du manteau sous-marin de calcarénite affleurante sur une vaste étendue qui se prolonge jusqu'à Tanger.

En effet, sous l'action des houles de tempête, cette calcarénite friable se désagrège en éléments plus ou moins fins constitués principalement de grains coquillés.

Par l'effet combiné des déferlements et des courants, ces sables se déposent sous forme d'une part, de barre à l'embouchure des oueds Sebou, Cherrat et Nefifikh et d'autre part, de plage dans les criques abritées par des avancées rocheuses.

Lors des tempêtes océaniques ou de pluies assez fortes dans l'arrière pays, les barres fluviales sont repoussées vers le large, mais une partie de leurs sables est progressivement acheminée par saltation vers le sud par le courant de fond local.

C'est grâce à ce processus cyclique que le littoral de Mohammedia possède de si belles plages sablonneuses. C'est aussi, contrairement à une idée reçue, la raison pour laquelle, cette région ne manquera jamais de sable.

Enfin, par delà les dynamiques déjà étudiées dans les paragraphes précédents, nous nous proposons de montrer, dans ce qui suit, comment certaines particularités de la morphologie du rivage côtier de Mohammedia ont contribué à la création et à la stabilité sédimentaire des deux tronçons de plages qui le composent.

Tout d'abord, en examinant la figure (12), le lecteur pourrait être amené à penser que la présence du platier central est un facteur limitant les échanges entre les deux plages Est et Ouest.

Cette assertion est fautive ; le platier rocheux facilite le transit des sables car l'agitation et les courants y sont quasi-permanents.

En effet, l'avancée rocheuse à l'abri de laquelle a été construit l'ancien port, constitue un obstacle sur lequel les houles océaniques se diffractent, et délimite donc par rapport à ces houles des zones d'ombres et des zones éclairées. Sur le rivage, la ligne frontière entre ces deux zones se trouve de ce fait soumise à un courant latéral d'Est en Ouest qui dégarnit la région située au droit du point d'impact ; entraînant ainsi des départs de sables d'autant plus forts que la direction des houles correspondantes possède une fréquence élevée ; c'est donc ce déficit sédimentaire soutenu qui est à l'origine de l'apparition du platier rocheux.

A contrario, nous pouvons dire que la droite joignant le milieu du platier à la pointe de l'avancée rocheuse détermine la direction prépondérante des houles.

Autrement dit, le platier rocheux est, en quelque sorte, l'empreinte géologique fossilisée de la direction dominante.

Il est dorénavant clair que le platier rocheux agit comme un pont hydraulique. Il favorise l'aspiration des sables en provenance de la plage Monika, puis les canalise pour ensuite les déverser dans la plage de Mohammedia. Là, après une phase transitoire, ils ont tendance, par un phénomène d'étalement, à contourner l'avancée rocheuse, pour être progressivement emportés à nouveau par les courants de dérive vers le Sud, alimentant ainsi en permanence les plages de la région allant de Casablanca à Safi.

L. Impact de la digue portuaire sur le littoral de Mohammedia

L'action de l'homme peut être source de déséquilibre des littoraux à plages sableuses. Par exemple, ports et brises-lames bloquent le dépôt naturel de sable par dérive littorale, et les barrages sur les

oueds les empêchent de charrier leurs sédiments. Ces aménagements empêchent la mer de rendre ce qu'elle a emporté ailleurs.

Dans ce qui suit nous avons choisi d'étudier l'impact⁷ de la réalisation de la digue-abri⁸, voir figure (12), d'une part sur l'équilibre sédimentaire du littoral de Mohammedia tel que décrit au paragraphe précédent, et d'autre part sur le port lui-même, facteur souvent occulté, mais qui joue, comme nous le verrons, un rôle important dans la définition des contraintes d'exploitation des installations portuaires aussi bien nouvelles qu'anciennes.

Comme mentionné sur la figure (12), cet ouvrage est implanté parallèlement au rivage sur une longueur de 2 800 m environ.

Nous nous proposons dans ce qui suit de montrer comment cet aménagement, en modifiant les conditions d'attaque de la houle, a entraîné la rupture de l'équilibre naturel initial. Puis, dans un deuxième temps nous décrirons les mécanismes selon lesquels ce littoral a évolué vers un nouvel équilibre.

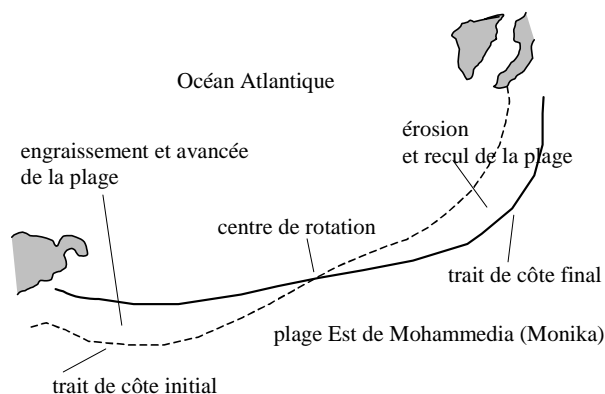


figure 13 : Rotation de la plage Est de Mohammedia autour de son centre suite à la construction de la grande jetée.

Tel qu'il apparaît sur la figure (12), il est tout d'abord clair, que le tracé adopté vise à assurer la protection du plan d'eau contre les houles de tempête fréquentes en hiver. Cependant, il reste ouvert vis à vis des houles d'été.

De plus, et par *pure coïncidence*, il se trouve que la droite orthogonale à la digue, menée à partir du musoir, coupe la plage Monika en son milieu. Cette ligne, de direction parallèle à celle de la houle dominante, délimite ainsi une zone d'ombre et une zone agitée. Il s'ensuit que tout le segment ainsi défini, est le siège d'un gradient d'amplitude de houle qui crée un courant dirigé vers l'enceinte portuaire, à ne pas confondre avec la dérive littorale qui, selon les cas peut s'y ajouter ou bien s'y opposer.

La zone exposée de la plage Monika se trouve alors soumise à une érosion soutenue, car ce courant emporte les sédiments mis en suspension par le déferlement, et les achemine alors vers la partie abritée, où ils se déposent, puis s'accumulent, avant de contourner le platier rocheux pour aller rejoindre la plage Ouest.

Il y a donc engraissement du flanc côté port, et recul de celui côté oued Nefifikh.

Nous pouvons résumer la situation en disant que, pour atteindre l'équilibre actuel, la plage Monika a effectué autour de son point central, une rotation dont l'angle, suivant les relevés réalisés in-situ, est de l'ordre de cinq degrés.

⁷ Dans son acception la plus large, une étude d'impact a pour objet l'évaluation systématique et formalisée des conséquences d'un projet sur le paysage, les milieux naturels comme l'eau, l'air, le sol, la faune ou la flore, ainsi que sur les populations concernées.

⁸ La grande digue du nouveau port de Mohammedia fut construite entre 1981 et 1984. Les travaux comprenaient également la création de 70 ha de terres-pleins et la construction d'une digue secondaire de 650 m de long restée inachevée sur ses 200 derniers mètres.

Face à cette menace les riverains ont réagi en installant des gabions, et en édifiant, le long de la ligne de rupture, sur une centaine de mètres, un mur de soutènement. Mais cette mesure a eu des effets contraires à ceux escomptés, car ces obstacles ont favorisé la création d'une zone de turbulence qui a accentué le départ des sables. Il s'en est suivi des affouillements qui se sont soldés par le basculement de l'ensemble du mur. Les débris de béton et de maçonnerie consécutifs à cet écroulement se sont alors éparpillés sur la plage, aggravant de la sorte le processus d'érosion.

Quant à la plage de Mohammedia, vu qu'elle est parfaitement abritée, le déferlement y est très faible ; avec en conséquence, un engraissement massif car les fonds ne sont pas remués.

Abordons maintenant la question de l'impact de la construction de la digue sur le port lui-même.

De manière générale, nous pouvons dire que l'ensemble du plan d'eau abrité se comporte comme une immense pompe aspirant en permanence les sables de la plage Monika.

C'est ainsi que l'ancien port s'est ensablé dans des proportions importantes. Les poussées des sables liquéfiés ont perméabilisé les petites digues délimitant la passe d'entrée, avec en conséquence une tendance à l'expansion de la plage Ouest vers les bassins portuaires. Par exemple, le bassin du club nautique s'est ensablé en totalité, et le port de pêche, fortement envasé, est devenu difficilement praticable.

De plus, la tenue du chenal d'accès est problématique, et certains quais sont exploités dans des conditions de tirant d'eau limites.

M. Sauvegarde du littoral

Nous venons de voir, à travers l'exemple du littoral de Mohammedia, comment les activités humaines sur le front de mer, peuvent modifier profondément la morphologie côtière.

Mais parfois, l'action des hommes, dans une région située loin à l'intérieur des terres, peut influencer sensiblement le régime sédimentaire des côtes.

C'est ainsi que la construction de plusieurs barrages sur un même cours d'eau s'accompagne toujours d'une forte diminution de la charge hydraulique, avec en conséquence un appauvrissement substantiel du stock solide alimentant les plages attenantes à l'embouchure.

En fait, les crues ne se produisant plus, il y a inversion de la tendance, dans le sens où l'océan alimente l'estuaire en sables. A partir de cette embouchure, ceux-ci remontent le lit de l'oued, sur plusieurs kilomètres, le rendant alors de moins en moins navigable ; c'est le cas de l'oued Sebou où l'envasement a asphyxié le port fluvial de Kénitra, car devenu inaccessible aux bateaux de commerce.

Revenons maintenant à l'érosion⁹ des plages. Face à cette problématique, deux solutions simples et efficaces sont couramment envisageables.

L'idée, empruntée d'ailleurs à la nature, est la suivante.

Puisque le transport des sables est produit par l'action conjointe du déferlement et des courants ; il en découle que pour stabiliser les fonds il suffit d'annuler l'effet de chacun de ces deux éléments en les supprimant séparément.

Le déferlement est empêché, aux abords de la zone endommagée, par l'implantation de brise-lames longitudinaux qui provoquent au loin l'éclatement des vagues.

⁹ Dans certains pays, l'érosion du littoral peut parfois prendre des proportions inquiétantes. Ainsi, l'Irlande perd annuellement 300 ha sous les assauts de l'océan.

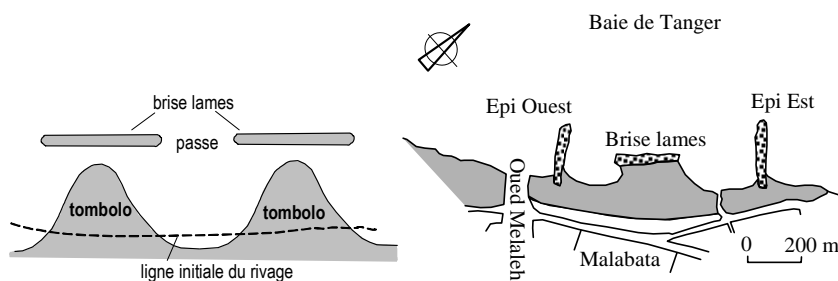


figure 14 : Un brise-lames a été construit, dans la baie de Tanger en 1985, pour protéger les abords de la résidence Malabata située au droit du point d'impact de la digue portuaire. Ce type de défense empêche la déperdition des matériaux vers le large. Les sables se déposent sous forme d'accumulations, appelées tombolos. En 1967, un dispositif analogue a été édifié, par des fonds de -4 m, pour préserver la partie centrale de la plage d'Agadir qui présente une situation similaire par rapport à la jetée principale du port.

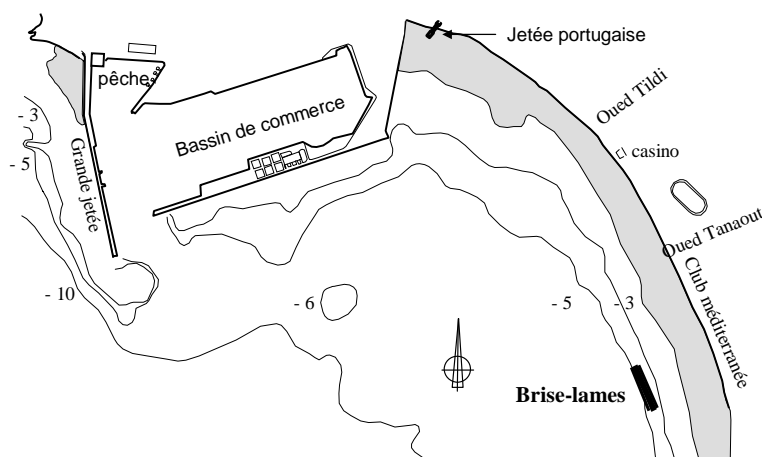


figure 15 : Pour respecter la vocation balnéaire du site d'Agadir, un brise-lames de 200 mètres est édifié, par des fonds de -5 mètres. Ce dispositif vise à empêcher l'érosion de la plage attenante aux installations touristiques.

L'action érosive des courants longitudinaux est neutralisée en édifiant, au droit de la zone menacée, des ouvrages transversaux, appelés épis, qui ont la double fonction de piéger les sables, et d'aligner de nouveau le tracé du trait de côte sur les crêtes des houles dominantes.

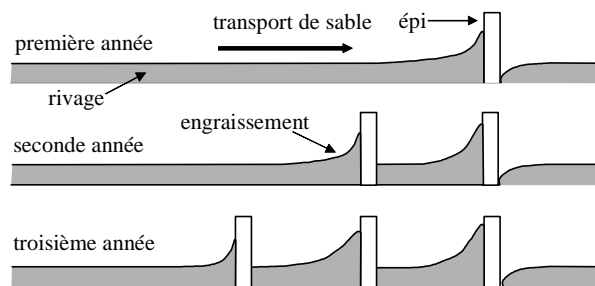


figure 16 : Trente sept épis furent construits en 1925, pour stabiliser les rives de l'oued Sebou.

N. L'onde solitaire sableuse de la baie de Dakhla

L'entrée de la baie de Dakhla¹⁰ se caractérise par la présence d'une flèche de sable de 12 km de long sur un 1 km de large, pour une hauteur de 12 mètres. Cet obstacle sous-marin limite l'accès à la baie. Seuls les navires possédant un tirant d'eau inférieur à 2.5 mètres peuvent entrer au port. Cependant, un chenal naturel de 150 m de large, découvert aux environs de 1820, a permis le passage de navires ayant un tirant d'eau de l'ordre de 4.5 mètres. Aux alentours de 1975, l'accessibilité fut améliorée en élargissant et en approfondissant le chenal, dont la largeur fut portée à 200 m et la profondeur à 6 m. Mais les dragages quasi-annuels opérés pour améliorer les conditions nautiques ont perturbé l'équilibre sédimentaire du chenal originel qui a, depuis cette époque, tendance à migrer, telle une onde solitaire, vers le sud à raison d'une moyenne annuelle de l'ordre de 50 mètres¹¹.

O. De la nécessité de connaître l'Histoire d'un ouvrage portuaire

Les mêmes causes engendrent les mêmes effets.

Nous allons illustrer notre propos à travers l'exemple du port d'Asilah.

Jusqu'au début du XX^e siècle, le site portuaire d'Asilah correspondait à une crique de grès abritée par un platier rocheux sur lequel brisait la houle. Elle servait pour le mouillage aux pêcheurs. C'est là que la construction du port a débuté en 1914 et s'est poursuivie en plusieurs étapes jusqu'en 1936, par l'avancement des deux jetées Nord (levante) et Sud (poniente). Toutefois, le port se remplissait de sable.

¹⁰ Les conditions hydrologiques font de la baie de Dakhla un des rares abris des côtes ouest-africaines s'offrant aux espèces marines pour se reproduire et se nourrir avant de regagner le large pour reprendre leurs cycles. Ces conditions, qui s'étendent jusqu'au banc d'Arguin en Mauritanie, sont dues à un courant riche en sels nutritifs, appelé upwelling, qui engendre une abondance de nourriture et donc, de ressources halieutiques. De plus cette baie fait partie de ce que l'on appelle "zones humides", où abondent eau et nourriture et qui sont des possibilités d'escales pour les oiseaux migrateurs entre l'Europe et l'Afrique. Elle est l'une des rares zones humides ayant un point d'eau douce qu'est le banc d'Arguin. Son importance réside dans ses dimensions, près de 37 km sur 12 km, et dans l'absence de pollution. Aussi, est-elle un relais pour de nombreuses espèces menacées, tel le phoque moine, le dauphin bossu, la baleine franche ou bien encore le cachalot pygmée.

¹¹ Nous rencontrons le même phénomène à Jorf Lasfar où une onde solitaire, se présentant sous forme d'une colline sous-marine de sable, se déplace lentement vers la passe d'entrée du port, qui sera donc à terme obturée.

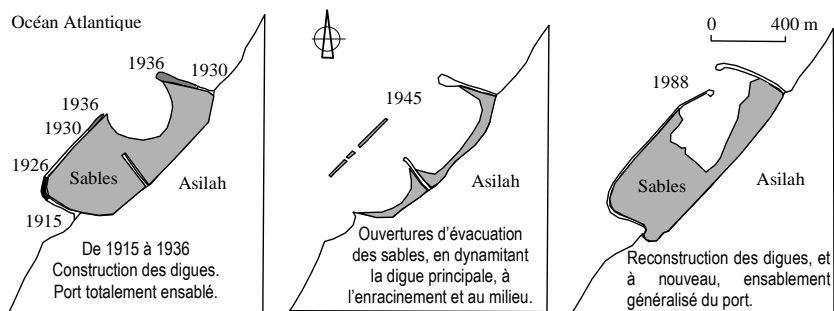


figure 17 : Evolution générale du port d'Asilah de 1914 à nos jours.

En 1945, l'enracinement de la jetée Ouest et certaines portions médianes furent dynamités. Cette action provoqua, avec succès, l'évacuation naturelle des sables.

Mais ne retenant pas la leçon de l'Histoire, ou du fait de sa méconnaissance, le port fut reconstruit, à partir de 1986, sur les vestiges des anciens aménagements. Avec l'achèvement des travaux, la dynamique d'ensablement continu des bassins a repris, gênant, à nouveau, l'activité portuaire.