PROTECTION DES COTES CONTRE L'ÉROSION MARITIME ET FORMATION DES PLAGES DE SABLE

DEUX PROBLÈMES SUR LA COTE DU MOZAMBIQUE

PAR
NELSON GOMES *

Introduction

Quelques commentaires généraux

Le problème de la défense des côtes contre l'action maritime peut d'une manière générale prendre deux formes bien distinctes, suivant les objectifs à atteindre et les facteurs déterminant le comportement de la zone à protéger :

- dans le premier cas, le problème est de pure défense de la ligne du rivage contre l'érosion maritime — la solution à adopter est généralement du type longitudinal (adhérent au rivage ou détaché de lui), mais peut aussi parfois être du type transversal (épis ou brise-lames); cet ouvrage de défense pourra avoir une forme active, en ce qui concerne la captation des sédiments, ou simplement passive;
- dans le second cas, lorsqu'il y a un intérêt délibéré à faire avancer la ligne du rivage ou à lui donner une configuration adéquate, la solution à adopter sera essentiellement du type transversal, et active, conjuguée ou non avec des protections ou de simples finitions du type longitudinal.

On peut encore considérer un troisième cas, bien que moins fréquent, qui consiste à rechercher la protection de la côte par une action à distance sur les courants et la houle qui affectent la zone à protéger.

Nous analyserons deux exemples différents : celui de la protection de la côte de la ville de Beira et

celui de la protection des plages de la ville de Lourenço Marques.

**

Quoique les problèmes de défense de la côte contre l'érosion maritime requièrent une technique hautement spécialisée, on voit souvent, spécialement dans les territoires neufs, les autorités locales, sans études techniques spéciales, commencer à s'occuper de ces problèmes, et même les aggraver, en construisant des ouvrages d'urbanisation ou de pseudo-protection placés par rapport aux plages dans une position qui perturbe la libre expansion de la houle dans son jeu permanent autour de certaines situations moyennes d'équilibre. Néanmoins, la juridiction existante, relativement aux zones en cause, oblige les organismes qui l'exercent à prendre, avec les moyens qu'ils ont sous la main, les mesures que les circonstances du moment imposent.

Nous souhaitons que les deux exemples que nous allons analyser — et dont les observations ont été effectuées dans la nature — puissent collaborer à la confirmation ou à l'éclaircissement des quelques principes techniques déjà énoncés, et en même temps contribuer à prévoir une meilleure solution lorsque nous essaierons de résoudre des problèmes analogues.

Défense de la côte de Beira

La ville de Beira est située à l'embouchure du fleuve Pungué, sur la formation dunaire qui, de

* Ingénieur Civil, Portugal.

la rive gauche de ce fleuve, s'étend sur la côte nord de la grande anse de Sofala, en face du canal de Mozambique.

Les conditions physiographiques du lieu et les conditions océanographiques générales confèrent à l'anse de Sofala et à l'estuaire du Pungué un régime spécial de marées, dont l'amplitude dépasse 7 m, alors que dans les autres ports du Mozambique cette amplitude est de l'ordre de 4 à 4,50 m. Les courants de marée atteignent dans l'embouchure du Pungué des valeurs de l'ordre de 5 nœuds, et se tiennent aux environs de 1,5 à 2 nœuds dans les chenaux secondaires entre les divers bancs de sable qui s'étendent depuis le tronçon de plage étudié, jusqu'au chenal principal de la barre d'entrée du Port de Beira.

Il existe une étroite connexion entre la conception du type de défense définitive à adopter pour la zone côtière de la ville tournée vers le sud et les conditions de protection du port et de son chenal d'accès contre les alluvions qui progressent intensément le long de la côte est, mais ici nous nous occuperons seulement du problème technique qui se rattache directement et immédiatement au type de défense qui a été mis en pratique, et sur lequel il est déjà possible de rassembler une abondante expérience et de vérifier la valeur de nombreuses conceptions techniques. Nous traiterons ultérieurement tout le problème sur des bases plus amples.

Les vents les plus fréquents à Beira sont ceux du secteur E-SE; les plus forts sont du quadrant E-S et du secteur S-SO (fig. 3). D'une façon générale, la houle prédominante accompagne la direction des vents. D'où il résulte un cheminement intense des alluvions de sable le long de la côte de l'est vers l'ouest, en direction de l'entrée du port.

Un profond chenal, dont le fond descend à environ 6 m au-dessous du zéro hydrographique, s'approche assez de la côte de la ville, en face du tronçon de la plage tourné vers le sud, si bien qu'il influence sensiblement le régime d'ensablement et d'érosion de cette zone, non seulement à cause de la proximité de courants plus forts de marée le long de ce chenal, mais aussi à cause de la plus grande déclivité du fond au-dessous de la limite inférieure de l'estran sur toute la bande côtière adjacente au chenal.

Il est incontestable que l'élément déterminant de l'alimentation de la plage est la houle, qui transporte les sables au long de l'estran de l'est à l'ouest

Port de Beira. Courbes de marée /2
Beira harbour. Tide curves

Port de Beira. Roses des vents /3/ Beira harbour. Wind roses

/4 a

/4 b

/4 e

/4 f

Défense de la côte de Beira. Position des profils /5/ Coastal protection at Beira. Position of cross-sections

Les premières tentatives de défense de Beira contre l'action de la mer commencèrent tout de suite après la fondation du bourg à la fin du siècle passé, au moyen de vieux bateaux échoués ou par la construction d'épis sommaires isolés — authentiques murs aux faces presque verticales, avançant depuis la dune jusqu'au milieu de l'estran. En 1954, on ne comptait pas beaucoup plus d'une demi-douzaine de ces épis, et ceux qui furent exécutés au cours des années suivantes obéirent au même type et à la même conception. Nous signalerons quelques avantages de ces épis, mais nous montrerons surtout leurs inconvénients.

La cote des pleines mers de vives-eaux exceptionnelles est de + 7 m, mais le niveau de la mer atteint fréquemment + 7,50 m près de la ville, à cause de la surélévation due au vent pendant les tempêtes qui coïncident avec ces marées. Quelques zones de la ville ont des cotes de ce même ordre de grandeur, étant protégées par le cordon de la dune littorale, plus ou moins consolidée par la végétation et les arbres, ou par la route (fig. 4).

La figure 1 montre la situation de la zone de plage en cours d'étude par rapport à l'estuaire et à la barre du fleuve Pungué, ainsi que l'ébauche du développement de la côte vers le nord-est et vers

/4 c

/4 g

/4 d

4/ Défense de la côte de Beira Coastal protection at Beira

le sud. La figure 5 donne le plan de situation des profils transversaux à la plage et de quelques épis, montrant le régime d'évolution de 1954 à 1959.

On peut observer sur les graphiques des profils (fig. 6) quelques variations appréciables des cotes de la plage entre les deux côtés des épis, et dans le tableau ci-contre, les diverses pentes moyennes de la plage au long de l'estran. Les photos de la figure 4 nous documentent sur quelques états de la plage et sur les effets des tempêtes, en particulier au voisinage des épis. Jusqu'au second trimestre de 1958, il n'existait pas d'épis vers l'ouest depuis les environs du profil P.2, ni vers l'est de E.17 jusqu'à P.6 A depuis le premier trimestre 1959, période à laquelle la municipalité a procédé à leur construction dans ces deux zones.

Il devient évident que la plage dans la zone des épis était beaucoup plus étroite et plus inclinée que dans la zone hors de leur influence. Entre les épis, les pentes de la plage arrivent, sur de petites distances, à atteindre des valeurs de l'ordre de 25 à 30 %, du côté ouest, d'où viennent les sédiments.

Sur les profils P.4 et P.5 A, dans la zone où avant le début de 1959 les épis n'existaient pas, les principales ruptures de pente de la plage dans l'estran se trouvent à peu près autour des cotes + 3,50 m et + 1 m, et les pentes sont de l'ordre de 6,7 à 8,4 % entre les cotes + 7,50 m et + 3 m, et de 2,5 à 3,6 % entre + 3 m, et + 1 m; alors que sur les profils P.2 A et P.3, sur le tronçon de la plage doté d'épis depuis des dates antérieures à 1954, la principale rupture de pente de la plage dans l'estran se trouve plus ou moins autour de + 2,50 m, la

Profils		Pentes moyennes % entre		Extension des profils entre	Pentes moyennes % entre	
		+ 7,50 ± 3,00	+ 3,00 ± 1,00		+ 7,50 ± 0,00	+ 3,00 ± 0,00
P.1	Quelques profils 1954-1959..	11,8	2,2	209	3,6	
	4 ^e trimestre : 1954 à 1959..	12,1	4,2	106	7,1	
P.2 A	1955.	12,7	5,0	105	7,1	
	1956.	12,7	5,4	100	7,5	
E.3	1954	Côté ouest.	12,2	7,3	à + 1,00	
		Côté est	15,6		76	10,6
E.4	1954	Côté ouest.	8,3	3,4	à + 1,50	
		Côté est	13,6		77	7,8
P.3	Quelques profils 1954-1959..	11,5	4,5	118	6,3	
E.5	1954	Côté ouest.	10,7	6,7	à + 1,00	
		Côté est	16,6		57	11,4
	1959	Côté ouest.	7,0	3,6	à + 1,00	
		Côté est	8,3		98	6,6
P.4	4 ^e trimestre : 1954 à 1959..	8,2	3,5	130	5,8	
	1955.	7,9	3,6	132	5,7	
	1956.	7,6	3,5	130	5,8	
P.5 A	Quelques profils 1954-1959..	6,7	2,5	174	4,3

Défense de la côte de Beira. Profils transversaux /6/ Coastal protection at Beira. Cross-sections

pente se maintenant plus uniforme de ce point vers le bas jusqu'au Z.H.; elles sont de l'ordre de 11,5 à 12,7 % entre + 7,50 et + 3 m et de 4,2 à 5,4 % entre + 3 et + 1 m.

Le profil P.1 est un cas particulier, situé sur un point singulier de changement de régime physiographique.

Les pentes moyennes de l'estran qui, hors du tronçon protégé avec des épis courts, avait une longueur de près de 130 à 170 m entre + 7,50 m et le Z.H., et de près de 100 à 120 m sur le tronçon des épis, sont de l'ordre de 4,3 à 5,8 % dans ce premier tronçon, et de 6,3 à 7,5 % dans le second. Toutefois, la pente de la plage est plus douce sur le tronçon orienté à peu près E-NE, où se trouve le profil P.5 A.

Faisons une rapide étude critique.

On sait que la vitesse d'un courant littoral sensiblement parallèle à la plage (dans ce cas le flot

et le jusant augmentent en face de la tête d'un ouvrage transversal à celle-ci et qui est enraciné, ce qui conditionne nécessairement la longueur à donner à cet ouvrage transversal de défense.

Le transport littoral, venant de l'est — sous l'action des houles dominantes renforcée en certains points par celle du courant de la marée — accumule à l'abri des épis, de ce même côté, du sable jusqu'à des cotes assez élevées. Il se forme le long de ce côté est de l'épi une plage ensablée, à forte pente au voisinage de l'extrémité de l'épi, et descendant brusquement en dépassant sa tête, jusqu'à rejoindre la déclivité de la plage érodée du côté ouest.

La plage descend brusquement en tête de tous les épis, formant plus loin presque une plate-forme qui s'étend sur quelques dizaines de mètres jusqu'à la ligne de basse mer (voir les photographies de la figure 4 et les profils des épis de la figure 6).

Ce phénomène, provoqué par des épis élevés à

parements verticaux qui se terminent au milieu de l'estran, conduit à la formation d'une plage de pente très accentuée (plus que dans la zone sans épis). En conséquence lors des marées hautes de vives-eaux, la zone de déferlement y est beaucoup plus rapprochée de la crête des dunes.

Dans ces circonstances, la houle, avec toute son énergie qui n'est pas encore diminuée par le contact avec le fond — contrairement à ce qu'il arriverait si la plage était en pente douce — déferle violemment et dangereusement tout contre les dunes.

Ce dispositif neutralise donc toute action importante bénéfique à long terme des épis tels qu'ils sont construits, et même, pendant les marées hautes de vives-eaux, rend l'action directe des vagues sur les dunes de la limite supérieure de l'estran beaucoup plus violente. Les inconvénients de cette action d'affouillement s'accroissent quand la houle est du secteur S-SO. Elle réfléchit alors le long de la face verticale des épis du côté ouest et érode fortement la plage, mettant en danger les fondations des épis eux-mêmes et l'intégrité de la ligne de côte établie.

La fonction des épis doit être de créer et de fixer une plage de pente douce qui neutralise graduellement l'assaut des vagues et des courants le long de l'estran. Le type d'épis utilisé n'est pas celui à conseiller à cet effet.

Nous ne voulons pas omettre de signaler qu'au cours d'une visite technique sur le littoral et dans les ports de quelques pays d'Europe en 1957, nous avons observé en divers endroits des erreurs analogues dans la conception des défenses côtières — ce qui heureusement n'arrive pas dans les cas mieux étudiés et d'un meilleur niveau technique.

**

L'un des objectifs à atteindre dans la défense de la côte de Beira est de faire avancer en certains points la ligne de plage, ce qui confère aux travaux de la première phase de défense en ces endroits un caractère transitoire — et bien sûr les rend plus simples et plus expéditifs — visant plus spécialement à obtenir des effets rapides et immédiats, pour que postérieurement l'ouvrage de défense prenne son aspect définitif, et celui-ci se réduit, spécialement l'ouvrage longitudinal, aux proportions que la nouvelle situation permet.

Comme, en dernière analyse, un problème de défense de la côte est aussi fondamentalement un problème économique, c'est à la lumière de l'intérêt économique de chaque type de défense, de la valeur des zones marginales intéressées par la défense propre et par la mise en valeur de l'urbanisation du littoral, et de l'utilité à donner aux zones disponibles et aux ouvrages à réaliser, que la solution finale doit être choisie.

On ne devra pas oublier qu'une fois obtenues des pentes de plage faibles, et la continuité de ces pentes assurée autour d'une certaine position moyenne d'équilibre, l'une des meilleures défenses contre l'action marine est celle qui est naturellement offerte par une pente douce du sable de la plage, et par sa réserve à la limite supérieure de l'estran. Cette considération a un intérêt tout particulier quand le transport littoral est intense — comme c'est le cas à Beira.

Jusqu'au premier trimestre de 1958, il existait à peine six épis, situés sur le tronçon de la plage tourné vers le sud, aux points appelés maintenant E.9, E.13, E.14, E.15 et E.17. Pendant le reste de cette année et le premier trimestre de 1959, la municipalité de Beira a construit plus de 34 épis, s'étendant sur près de 7 km de côte, entre E.1 et P.6 A, en prolongeant de quelques dizaines de mètres les épis existants. Les épis, espacés de près de 200 m, avaient dans la première phase à peine 70 à 80 m, leur prolongement alterné étant prévu de 400 en 400 m, jusqu'à ce que leur tête plonge au-dessous du Z. H.

Pour atténuer les inconvénients d'une forte érosion à l'ouest de la face verticale des épis, des talus d'enrochement ont été adossés de ce côté à la face verticale des épis, aux endroits où le besoin s'en est montré le plus pressant.

A la fin de cette communication, nous énonçons quelques conclusions sur cette étude, dans lesquelles il sera tenu compte des résultats de l'expérience de la défense de la côte de Beira, que nous avons suivie de près, bien qu'en dehors de toute activité d'exécution.

Défense des plages de Lourenço Marques

Les plages de Lourenço Marques se situent sur le tronçon de la côte de la baie du même nom entre la Polana et la Costa do Sol (fig. 7). Dans la baie de Lourenço Marques se jettent, au nord le fleuve Incomati, presque parallèlement à la côte, au nord-ouest de l'estuaire d'Espirito Santo, où se trouve le port, et au sud le fleuve Maputo, presque parallèlement à la côte sud.

L'entrée de la baie est tournée vers le nord-est; les grandes lames des tempêtes de l'océan Indien déferlent à l'entrée de la baie, sur le cordon discontinu de bancs qui prolonge l'île Inhaca à l'extrémité de la côte qui vient du sud. La figure 8 montre un plan de houle à l'entrée de la baie (houle de l'est), on y voit la façon dont cette houle se propage et s'adapte au tronçon de côte où se situent les plages, après avoir contourné l'île Xefina — la source la plus proche des sables marins qui atteignent la plage.

Toutefois, les vents dominants soufflent des secteurs SES-S-SO, et c'est leur action locale sur la surface des eaux de la baie qui produit les effets les plus nocifs sur les plages*.

Le tronçon de côte étudié peut se subdiviser en deux, chacun d'eux sujet à des régimes de houle différents :

— le premier, depuis la Ponta Vermelha jusqu'au point X, sur la carte est sujet à une houle qui peut survenir frontalement ou obliquement à la plage, du sud ou de l'est suivant la direction du vent;

* Pour une information plus détaillée, consulter les Communications n° 3 de la section II, et n° 2 de la section II, que l'auteur a présentées aux « Congrès international de Navigation » respectivement de 1957 et de 1961, en qualité d'Ingénieur en Chef de la Brigade technique d'études, construction et d'inspection d'ouvrages maritimes du Mozambique (Zone Sud).

Baie de Lourenço Marques. Défense de la plage /7/ Lourenço Marques bay. Beach protection

— le second, depuis le point X jusqu'à la Costa do Sol, est soumis d'une façon générale à l'action d'une houle survenant frontalement ou obliquement du sud ou du sud-est. Pour cette raison, l'extrémité nord-est de ce tronçon est un point d'ensablement normal de la plage.

Le fetch dans la baie peut atteindre 20 km et les vagues ne dépassent pas 2,5 m de hauteur aux environs de la zone étudiée.

Il y a encore peu de temps, une modeste route longeait la côte sur une distance de 6 km le long de la dune littorale entre la ville de Lourenço Marques et la Costa do Sol, et au bord de cette route il y avait de petits centres urbains destinés à desservir les plages, généralement pauvres en sable.

Depuis plusieurs années on a procédé à l'urbanisation le long du premier tronçon de plage, proche de Lourenço Marques — Plage de la Polana, —

et à mesure que le mur longitudinal initialement construit et successivement prolongé a fait fuir les sables jusqu'alors existants sur le contour littoral, on risquait de voir disparaître graduellement les plages, qui ont un si grand intérêt touristique pour la ville et pour les territoires voisins.

Ce mur longitudinal dont le parement est presque vertical ou d'inclinaison égale ou supérieure à 1/1, oppose à la houle une surface réfléchissante qui à certaines périodes de la marée provoque un brusque déferlement de la houle et de violentes infraexcavations. A d'autres périodes de la marée, la houle est réfléchiée avec tous les inconvénients qui résultent de la superposition de la houle réfléchiée et de la houle incidente. Les courants littoraux, dûs à la houle ou à la marée, entraînent dans les deux sens au long de la côte les sables mis en suspension par les vagues en face du mur.

Ce dernier cessa bientôt d'être la toile de fond d'une plage, bien que modeste, pour revêtir l'aspect d'un authentique obstacle opposé à l'action fron-

Baie de Lourenço Marques /8/ Lourenço Marques bay
Un plan de houle au voisinage de la plage A wave chart near the beach

Port de Lourenço Marques. Roses des Vents /9/ Lourenço Marques harbour. Wind roses

Port de Lourenço Marques Courbes des marées /10/
Lourenço Marques harbour Tide curves

PROFIL DU PÉRÉ
sur quelques tronçons de la défense longitudinale.
PITCHED STONE FACING CROSS-SECTION
as used on some longitudinal protection sections.

PROFIL TYPE DE L'ÉPI
TYPICAL GROYPE CROSS-SECTION

Défense des Plages de Lourenço Marques /11/
Profils types des épis et du perré
Lourenço Marques beach protection
Groyne and stone pitching cross-sections

tale et brusque de la mer, surmontant des fonds argileux et pierriers vides de sable, qui pendant les marées basses de vives-eaux se voient depuis la base du mur jusqu'à quelques dizaines de mètres en direction de la mer.

La vieille route au long des dunes littorales a été transformée récemment en une large avenue, qui a été défendue en certains points de l'action de la mer par un ouvrage de défense longitudinal adhérent au rivage. En d'autres points, on a provoqué la formation de la plage au moyen d'une défense transversale (épis), aux endroits où s'imposait le plus la mise en valeur de l'urbanisation et l'intérêt touristique.

Nous avons élaboré le projet de la défense de la côte et des plages à la fin de 1959, et les travaux ont été exécutés l'année suivante. Les figures 11, 12 et 13 montrent quelques profils de la plage, et les profils types de la défense transversale (épis) et de la défense longitudinale (perré). Ce dernier a des cotes de fondation variables, suivant qu'il se situe dans la zone entre les épis — où sa fonction est plus simple et constitue une léger ouvrage de délimitation longitudinale à l'extrémité supérieure de l'estran engraissé de sable à l'abri des épis — ou dans la zone en dehors des épis, où la mer atteint l'ouvrage directement, rencontrant en elle un talus doux qui absorbe, au lieu de la réfléchir l'énergie des vagues.

La pente de la plage est de l'ordre de 7 à 9 % entre des cotes de près de +4 et +1,20 m, avec aux environs de la cote +1 m une sorte de plateforme qui s'étend vers la mer sur près de 130 à 230 m; sur quelques profils transversaux à la

Défense des plages de Lourenço Marques /12/ Lourenço Marques beach protection
Plan de situation des épis Groyne positions

plage, spécialement au nord-est de la zone où ont été construits les épis, le Z.H. se situe à quelques centaines de mètres de la cote + 4 m, qui est approximativement la ligne de la marée haute des vives-eaux d'équinoxe.

L'un des buts à atteindre est d'obtenir une pente plus uniforme de la plage et de réduire l'extension de l'estran, par l'avancement de la limite supérieure, ce qui permet, en même temps, qu'une cou-

che de sable recouvre le fond subjacent, constitué généralement par un sol argilo-sablonneux, quelquefois avec des pierres disséminées. Le transport littoral au long de l'estran dans la zone des épis n'étant pas très abondant, il importe fondamentalement de capter les sables qui divaguent dans un sens ou dans l'autre, suivant l'incidence de la houle, de façon à faciliter la distribution qui convient le mieux entre les épis.

Défense des plages de Lourenço Marques 14 a et b Lourenço Marques beach protection

Les résultats obtenus furent franchement favorables. On a obtenu entre les trois épis construits une plage substantiellement plus fournie qu'avant leur construction, et mis définitivement un terme à l'érosion qui progressait le long des ouvrages longitudinaux construits antérieurement et qui avait fait disparaître les plages existantes.

Les structures projetées pour les ouvrages récents de défense ont montré un très bon comportement face à l'action de la mer. Les photographies de la figure 14 montrent déjà une amélioration notable du contour de la plage, bien qu'elles aient été prises pendant la phase de construction des épis, en 1960.

Ceci est un exemple de défense de côte du type transversal, dans lequel l'élément complémentaire de défense du type longitudinal peut se réduire à un simple empiérement ou à un muret de délimitation à l'extrémité supérieure de l'estran, comme limite de la zone urbanisée du littoral.

Conclusion

1. En considérant d'un point de vue général les deux exemples analysés — la protection de la côte de Beira et la protection des plages de Lourenço Marques — deux aspects essentiels sautent immédiatement aux yeux :

- En étudiant la protection de la côte aux environs des zones urbaines ou des ports et de leurs chenaux d'accès, on doit chercher à analyser le degré d'inter-liaison entre les phénomènes qui éventuellement affectent ces trois secteurs ou bien les intérêts respectifs, pour que, de la solution à adopter et de l'investissement correspondant résultent le plus grand profit et la plus grande économie;
- La planification de tout travail de défense contre l'érosion côtière, ou d'une simple construction sur le domaine maritime dans une position qui normalement interfère ou risque d'interférer avec la libre propagation de la houle ou avec le jeu des courants de marée, doit obligatoirement être effectuée ou au moins être appréciée avec compétence par des organismes spécialisés en hydraulique maritime, même lorsque la zone est située sous la juridiction d'autorités locales.

2. En considérant ces deux problèmes dans leur individualité on pourra en tirer quelques éclaircissements sur des points qui ont été l'objet de discussion, et formuler quelques recommandations générales, bien que conditionnées et liées aux particularités de chacun des cas traités :

- L'expérience de la défense de la côte de Beira condamne d'une manière formelle la conception d'épis élevés à parement vertical, bien qu'elle révèle que la verticalité est acceptable sur des tronçons intermédiaires du développement longitudinal de chaque épi, seulement du côté d'ensablement systématique de la plage. En fait,

à cause de l'intense cheminement littoral des sédiments en provenance de l'est et à la prédominance de la houle incidente, le côté est des épis se maintient en permanence ensablé sur les tronçons intermédiaires de ceux-ci, même en face d'un parement vertical;

- S'il était légitime de défendre, dans le cas de Beira, l'application d'épis de profil type à faces verticales et élevées, leur orientation devrait autant que possible coïncider avec les orthogonales aux lignes de crête des vagues qui provoquent l'action accentuée d'amaigrissement du côté ouest des épis, tout en tenant compte des autres facteurs intervenant dans l'implantation des épis;
- Les épis transversaux à la plage qu'on prétend engraisser avec des sables cheminant le long de l'estran devront avoir un profil type de contour périphérique surbaissé, aux talus doux, peu élevé, avec un développement longitudinal tel que sa pente cherche à traduire la pente finale que nous prétendons donner aux plages sur lesquelles ils se trouvent; l'expérience des plages de Beira et de Lourenço Marques confirme que l'inclinaison des talus du profil transversal type d'épi ne devra pas être inférieure à $1/3$, ou à $1/2$ avec une petite berme intermédiaire au milieu du talus;
- Les épis ne devront pas se terminer au milieu de l'estran, leur longueur devant être conditionnée par le développement de l'estran cité et de façon que leur limite inférieure soit atteinte avec la pente moyenne qu'on prétend garantir; une phase transitoire de travaux pourrait éventuellement se justifier, en vue de provoquer un premier et rapide ensablement, sur lequel reposera, en meilleure position, l'ouvrage définitif de défense;
- L'amplitude des marées a une influence effective sur la conception du type de défense des plages, notamment du type transversal, les cas de défense avec de grandes amplitudes de marée demandant une attention toute particulière; dans ce cas s'impose encore plus l'avantage d'une pente douce et approximativement uniforme de l'estran, pour éviter qu'aux marées hautes de vives-eaux une forte houle puisse atteindre l'extrémité supérieure de l'estran, les ouvrages simples de délimitation de la plage, ou les dunes de faible puissance, ou encore l'ouvrage complémentaire, du type longitudinal et adhérent au rivage, qu'il conviendrait dans ce cas de faire léger;
- Comme dans beaucoup d'autres secteurs importants du génie, il existe une étroite interconnexion entre les problèmes économiques et techniques posés par les types de défense, la finalité et l'utilité des ouvrages et des investissements à réaliser devant être analysés avec une vision ample et renseignée.

**

Nous ne voulons pas terminer sans exprimer nos remerciements aux organismes qui nous ont facilité l'élaboration de cette étude.

Abstract

The protection of coasts against sea erosion, and sand beach formation Two problems on the Mozambique coast

by Nelson Gomes *

Two cases of coastal protection against erosion by the sea are discussed. In one, near Beira, the main object is to preserve the coastline; the other, near Lourenço Marques, is more directly concerned with the formation and protection of beaches for tourists. The report also shows how administrative routine is liable to affect or cause difficulties in the solution of hydraulic engineering problems associated with the sea.

1) Brief reference is made in Section I to active and passive coastal protection structures of the longitudinal (connected to or separate from the shore) and transverse (groyne or breakwater) types. The possibility is mentioned of protecting a coast in certain cases by remote action on currents and waves affecting the area concerned.

The high degree of technical specialisation required to deal with problems of coast protection against sea erosion is emphasised, also the difficulty that local authorities lacking the necessary specialised means and facilities frequently attempt to solve such problems without competent outside assistance. Typical instances are the construction by such authorities of inadequate structures for town-planning or other purposes along stretches of coast under their control, in positions that can be affected by the free wave expansion within the various configurations the unprotected beach is liable to assume about its mean equilibrium position.

2) Section II—"Protection of the coast at Beira"—more specially considers (a) the considerable tide range at Beira, which exceeds 7 metres, (b) the existence of a deep underwater depression with strong tide flows, which extends between part of the beach and offshore sandbanks to the main harbour channel through the Punguê estuary bar, and (c) the predominance of east south-easterly waves and the pronounced east-to-westerly sediment drift along the coast.

Beach cross-sections observed between 1954 and 1959 are analysed, and the behaviour of groynes built at various times by local authorities is discussed, considering the effects of their unsuitable cross-sectional designs, their insufficient length and the inadequate features of the protection pattern as a whole, this despite the fact that it has so far not progressed any further than a temporary intermediate stage pending its eventual completion at some future date.

Section II also briefly explains the effects observed near the groynes and along the foreshore, and draws attention to a sharp break in the slope of the beach half-way down it, just at the ends of these excessively short groynes. Because of this break, the waves more readily reach up to the vicinity of the dunes or the coastal road at peak spring tides, than would be the case with an even beach slope, which would more efficiently break their energy by progressive friction against the bed.

Attention is drawn to the serious drawbacks of tall vertical-fronted groynes exposed to direct wave attack especially from the west—i.e. the opposite to the direction of sediment inflow from the sea. The intended purpose of the groynes is described in its broad outlines, being mainly to establish a stable beach with a gentle slope gradually neutralising wave and current attack along the seashore. The economic aspect of the problem is stressed, which should not merely be confined to the structure, but must also consider the value of areas included in the protection scheme, or earmarked for some other useful purpose.

3) Section III—"Beach protection at Lourenço Marques"—describes how the longitudinal protection works along the initial built-up urban coastal stretch and the Costa do Sol coastal highway (vertical-fronted structures, or with a batter exceeding 1 : 1, as built by the local authorities for several years) were gradually causing the disappearance of the beaches along this sea front, making it necessary to design a transverse type of protection structure to keep the sand in place along the foreshore and thus to form a type of beach certain to attract tourists.

Cross-sections of the type of protection groyne finally adopted are described and its effectiveness discussed. These groynes were about 300 m long, with lateral slopes of about 1 : 3; they extended to the hydrographic datum level and were mainly effective (a) in stopping the erosion which had been developing in front of the marine drive sea wall, (b) in causing sand to accumulate on the sandy clay sea bed and to cover stones already laid bare, and (c) in causing the top of the dunes to advance seawards.

Notwithstanding the small alluviation taking place along the part of the beach on which the groynes stand, the essential aim was to capture the sand drifting in either direction—depending on wave incidence—in order to distribute it as evenly as possible between the groynes. The distance between individual groynes is about one and a half times their length; the groyne tips are roughly at the hydrographic datum level.

4) Section IV—"Conclusions"—sums up the inferences drawn from this work and the recommendations they enable to be made, which fall under separate general and specific headings. Those under the general heading essentially refer to the need to interrelate coastal protection works with other problems associated with town or harbour planning (especially the development or improvement of river estuaries to provide suitable shipping channels to harbours), or problems of any other nature, and to try to ensure the best possible return for the money invested in the project. It is recommended that any problem or structure along the coast likely to or capable of interfering with free wave expansion or tide flows be investigated, or at least checked, by a competent coastal engineering organisation, even if the area concerned is under the jurisdiction of a local authority.

Under the "specific" heading, general disapproval is expressed of tall vertical-fronted groyne designs. It is recommended that the longitudinal slope of the groynes be made roughly the same as the beach slope eventually to be achieved, and that—depending on requirements—the groynes should extend down to or beyond the hydrographical datum level. The importance of considering tide range when designing protection works against sea erosion is emphasised, also the need for a combined use of transverse and longitudinal protection works and the advisability of building the latter type as light as possible where the former type affords efficient protection.

* Ingénieur Civil, Portugal.