

## Restructuration des rivages

Breitimayer J.M.

La mer Méditerranée

Paris : CIHEAM  
Options Méditerranéennes; n. 19

1973  
pages 108-114

Article available on line / Article disponible en ligne à l'adresse :

<http://om.ciheam.org/article.php?IDPDF=CI010518>

To cite this article / Pour citer cet article

Breitimayer J.M. **Restructuration des rivages**. *La mer Méditerranée*. Paris : CIHEAM, 1973. p. 108-114 (Options Méditerranéennes; n. 19)



<http://www.ciheam.org/>  
<http://om.ciheam.org/>

Jean-Philippe BREITTMAYER

C.E.R.B.O.M.  
(I.N.S.E.R.M.)  
Nice (France)

## Restructuration des rivages

La côte méditerranéenne est devenue en quelques années une région touristique extrêmement importante. Simultanément les industries qui exploitent le tourisme et les vacances se sont développées rapidement. La conséquence la plus spectaculaire est la restructuration des rivages. Par un souci de rentabilité immédiate, on s'est efforcé d'adapter les sites naturels aux besoins d'une population estivale sans cesse grandissante. On a vu ainsi se multiplier les ports de plaisance, les plages artificielles, les terre-pleins gagnés sur la mer à des fins immobilières ou pour faciliter la circulation et le stationnement.

Les conséquences néfastes d'un aménagement mal compris sont souvent ignorées. Nous voulons les rappeler ici, après quoi nous donnerons un aperçu des méthodes qui permettent de les éviter, en nous appuyant sur l'exposé exhaustif de ces problèmes qui est présenté dans l'ouvrage de M. et J. Aubert intitulé : « Pollutions marines et aménagement des rivages », écrit à la demande du Ministère de l'Équipement.

### LES RISQUES DE POLLUTION DUS AUX RESTRUCTURATIONS

Parmi les différents aménagements, nous distinguerons trois types qui sont susceptibles de porter atteinte au milieu naturel. Ce sont :

- les remblais,
- les barrages des zones d'échanges,
- les cloisonnements.

Nous étudierons successivement les conséquences de chacun de ces types de construction.

#### Les remblais

Les remblais sont des terrains gagnés sur la mer pour permettre la construction de routes, de parkings, d'aéroports ou d'immeubles. Cette dernière utilisation a d'ailleurs été interdite récemment en plusieurs endroits.

En Méditerranée, les fonds descendent généralement rapidement, si bien que les petits fonds se trouvent exploités au maximum. La conséquence directe est la disparition des « frayères » des poissons côtiers. Ces poissons se déplacent quand cela est possible mais les zones acceptables se font de plus en plus rares et ne peuvent subvenir aux besoins de tous. C'est pourquoi de nombreuses espèces disparaissent souvent de certaines zones.

D'autre part, un remblai modifie la pente des fonds côtiers et, de ce fait, peut perturber les échanges d'eaux verticaux indispensables au renouvellement de la bande littorale. De plus, l'action de la houle n'a plus les mêmes effets : au lieu de mourir doucement sur un fond en pente douce, la vague conserve sa vitesse jusqu'à la digue où elle se brise et une partie de l'énergie brutalement libérée se trouve dirigée vers le fond. Cela crée des risques d'érosion si le sous-sol n'est pas stable. La combinaison de ces deux phénomènes peut être fatale aux herbiers : la mauvaise qualité de l'eau les affaiblit et les houles les déracinent. On peut expliquer ainsi la disparition des posidonies en rade de Hyères et l'érosion rapide qui menace le double tombolo de Giens depuis l'installation des remblais qui supportent la route.

Enfin, toujours à cause de la rareté des sols sous-marins utilisables, on choisit souvent d'exploiter les terrains alluvionnaires des embouchures de fleuves : tel est le cas de l'énorme terre-plein qui, à l'embouchure du Var, supporte l'aéroport de Nice-Côte-d'Azur. Il est évident que la dynamique des eaux fluviales en mer s'est trouvée perturbée par la prolongation artificielle de la rive gauche du fleuve. Par vent d'Est, même faible, ces eaux suivent la côte jusqu'à Cros-de-Cagnes et parfois jusqu'à Antibes, ce qui entraîne des plaintes de la part des pêcheurs locaux sur les conséquences néfastes de cet apport terrigène. En été, les baigneurs sont rebutés par l'eau trouble et souvent chargée de déchets. On s'aperçoit donc qu'une simple digue le long de la côte peut créer un déséquilibre local, et a fortiori les conséquences d'un remblai important risquent de se faire sentir sur une dizaine de milles.

## Le barrage des zones d'échanges

Pour bien comprendre ce problème, il faut se rappeler que la mer n'est pas une masse d'eau homogène. Particulièrement en bordure des côtes, les eaux sont différenciées horizontalement et verticalement. Cependant, l'équilibre de l'ensemble nécessite des échanges entre ces différentes masses d'eaux. Ces échanges permettent d'une part les mécanismes de diffusion et d'autre part le renouvellement des masses d'eaux en nutrilités ou en prédateurs.

Les échanges peuvent s'effectuer d'une façon homogène à travers toute l'interface séparant deux masses d'eaux. Dans ce cas, ils sont très lents mais à double sens. Si l'on rend imperméable l'interface d'échange par la construction d'une digue par exemple, on diminue les divers transferts proportionnellement à la surface barrée.

Ce schéma est assez rare : le plus souvent, les transferts se font par l'intermédiaire de courants. Ceux-ci, par la turbulence qu'ils créent, favorisent les échanges à travers une surface beaucoup plus faible. Le danger tient à ce que la zone « critique » est beaucoup plus petite que dans le cas précédent, mais son blocage correspond à l'enclave de toute la masse d'eau. Ceci d'autant plus que s'il existe quelquefois une « entrée » et une « sortie » différenciées dans l'espace, elles peuvent être aussi différenciées dans le temps dans le cas d'un courant périodique, généralement lié à la marée. Dans ce cas, si l'on croit que les quelques centimètres de marée méditerranéenne sont négligeables, on risque de supprimer à la fois les apports et la possibilité d'évacuer les substances ou les organismes trop nombreux.

Nous avons un exemple de ces dangers dans les Alpes-Maritimes et un autre dans le Var. Dans les Alpes-Maritimes, il s'agit de la passe séparant la pointe de la Croisette de l'île Sainte-Marguerite où un projet visait à utiliser ces hauts-fonds pour construire un port et un ensemble immobilier. Or, il s'agit d'une zone d'échanges très importante pour l'équilibre entre la haute-mer, le Golfe-Juan et la Baie de Cannes-La Napoule où l'équilibre est déjà précaire comme le montre l'apparition régulière « d'eaux

rouges ». Les conséquences de ce barrage mises en évidence par le C.E.R.-B.O.M. ont fait modifier le projet qui se trouve maintenant réduit à des dimensions raisonnables.

Certains s'étonneront que la nature ait su ménager cette passe juste pour préserver l'équilibre de la rade de Cannes. A cela on peut répondre que si la passe n'existait pas, la stagnation des apports terrigènes des différents fleuves de la rade aurait créé une zone alluvionnaire plus grande, la baie serait moins profonde et il suffirait d'un échange du premier type étudié, qui se ferait entre Saint-Honorat et la Pointe de l'Esquillon. En effet, les échanges nécessaires pour emporter les alluvions sont généralement suffisants pour renouveler la zone qui les contient.

Dans le Var, la rade du Brusca a subi des modifications considérables, conséquences de la construction d'un remblai entre la côte et l'île la plus proche. Or, cette passe était peu profonde et ne mesurait qu'une dizaine de mètres de largeur. C'est pourtant par là que l'eau du large venait renouveler l'eau de la rade, usée par les rejets urbains, les ports et les innombrables bateaux qui la parcourent. Les autres passes entre les îles, du fait de leur orientation par rapport aux courants dominants, se sont révélées incapables d'assurer le rôle de communication nécessaire. La conséquence de cette situation est la dystrophisation de dizaines d'hectares de plan d'eau où l'on trouve de plus en plus, dans les sédiments, des bactéries anaérobies sulfato-réductrices dont l'activité tend à incommoder les riverains par l'odeur de l'hydrogène sulfuré que l'on voit se dégager du fond en chapelet de bulles. Ceci, bien sûr, au détriment des autres formes de vie qui manquent d'oxygène dans ces eaux stagnantes ou qui sont intoxiquées par l'hydrogène sulfuré. De plus, l'existence de décharges fait monter peu à peu le fond, si bien que le type de pollution décrit ci-dessus gagnera peu à peu toute la rade, d'autant plus que, à sa sortie, l'île de Bendor a été reliée aussi à la terre.

Si l'on considère uniquement la rentabilité des terres, la tentation est grande de relier une île au continent par une route. Mais il faut savoir que

cela crée presque toujours un déséquilibre local. Et avant qu'un nouvel équilibre soit atteint par modification de la ligne du rivage, il peut se passer des siècles pendant lesquels les eaux seront troubles, malodorantes et avec un taux élevé de dinoflagellés ou de bactéries anaérobies, responsables de transformations chimiques dangereuses, ou plus simplement par la survie de bactéries terrigènes dans des zones qui ne seront pas renouvelées en plancton producteur d'antibiotiques par exemple.

## Les cloisonnements

Nous appelons cloisonnements les endroits où l'on a volontairement créé une nouvelle masse d'eau, à l'intérieur d'une masse plus grande, lorsqu'on l'a délimitée par des constructions imperméables. Les exemples les plus courants sont les ports et les plages artificielles.

### Les plages

La réalisation d'un cloisonnement entre l'eau bordant la plage et l'eau du large va diminuer les phénomènes d'échanges entre les différentes masses hydrologiques en restreignant les courants, en diminuant la surface des zones de diffusion et en amoindrissant les mouvements d'eau dus au déferlement des vagues. Cette zone aquatique va donc voir son taux d'oxygène dissous diminuer, d'abord par affaiblissement de l'aération due au déferlement et aussi par un processus biochimique plus complexe : en effet, ces zones cloisonnées deviennent le réceptacle spontané de toutes les particules organiques sédimentaires, en particulier algues en décomposition, carapaces d'animaux morts, etc... Cette richesse en matières sédimentaires favorise la prolifération d'une flore algacée qui, à sa mort, augmente encore le taux en matières organiques de cette zone aux échanges restreints et dont la stagnation des eaux entraîne l'évolution eutrophique, puis dystrophique des formes planctoniques et microbiologiques. C'est ainsi que deux phénomènes typiques de la pollution peuvent s'instaurer : d'une part la production d'hydrogène sulfuré par l'évolution de la flore microbiologique vers les espèces anaérobies, d'autre part la prolifé-

ration d'espèces planctoniques à flagellés, ou dinoflagellés dont l'ultime phase évolutive se caractérisera par l'apparition « d'eaux rouges » plus ou moins toxiques.

Certes, de telles modifications sont encore peu fréquentes sur nos rivages, mais on est frappé par l'accroissement de tels phénomènes, que ce soit en Méditerranée ou en Bretagne, dans des baies qui ont fait l'objet de restructuration abusives (rade de Juan-les-Pins, rade de Cannes, rade du Brus, rade de Concarneau, etc...). Il est évident que nombre de ces aménagements n'étaient pas indiqués ni nécessaires et qu'ils n'ont été réalisés que sous l'impulsion d'intérêts économiques à court terme ou d'intérêts financiers privés. On peut espérer que les récents arrêtés ministériels mettront un frein à cette tendance de refaçonnage la nature, démarche non dénuée de danger pour la conservation de l'espace vital de l'homme.

Cependant, il est des cas où des raisons économiques impérieuses obligent à envisager ce genre d'action. C'est donc avec la plus extrême prudence qu'on pourra s'y livrer, en étudiant très soigneusement le site marin et en multipliant les mesures et les expérimentations. Etudes des courants dans diverses conditions météorologiques ou de marées, tracés des courbes isothermiques et isohalines, études de la répartition de la flore et de la faune, études bathymétriques soigneuses représenteront les mesures analytiques de base pour se faire une opinion sur l'évolution prévisionnelle de la zone restructurée. Ce bilan étant fait, il y aura intérêt à faire en bassin hydraulique des études complémentaires, en utilisant les facteurs de mesure « in situ » et ramenés à une juste homothétie fonctionnelle.

Toutes ces précautions ne mettront pas à l'abri d'évolutions imprévues. C'est la raison pour laquelle, les réalisations achevées, il sera nécessaire de suivre attentivement l'évolution de la zone marine remaniée, tant dans le domaine physico-chimique que dans le domaine biologique, et de pouvoir intervenir à temps si l'écologie de la zone basculait vers des aspects par trop dystrophiques.

#### Les ports

##### a) Les ports de plaisance

Le développement de la plaisance, lié à un phénomène de psychologie

sociale et à des incitations économiques plus ou moins artificiellement créées, a obligé les Pouvoirs Publics à créer ou à faire créer des ports affectés uniquement au yachting. La disposition de leurs structures s'est trouvée, de ce fait, souvent orientée par des problèmes de rentabilité, d'autant que le financement privé a été la règle de ce genre de réalisation, tout au moins en France. Il en résulte une série de contraintes dans leur construction qui sont loin d'être toujours en accord avec l'écologie et la conservation des richesses naturelles. Sans entrer dans le détail technique de ces réalisations, nous étudierons uniquement les phénomènes polluants qui découlent de cet état de fait et, bien souvent, des considérations économiques qui sont à l'origine de ces réalisations. En effet, les endiguements sont calculés dès le départ pour donner avec un moindre coût un maximum de places de stationnement de navires. Ainsi, la surface et le volume des plans d'eaux sont, relativement à leurs possibilités d'accueil, aussi utilisés que possible. Enfin, le développement artificiellement poussé de la plaisance entraîne la fabrication pour ce type d'activité de ports très fermés, où la circulation des eaux est réduite et dont les plans d'eaux ne sont balayés ni par les vents vifs (du fait des constructions qui, souvent, les entourent) ni par des courants (susceptibles de gêner les manœuvres de plaisanciers inexpérimentés) ni par le ressac (qui risquerait de nuire à l'utilisation souvent purement portuaire de ces navires choisis dès le départ comme une habitation secondaire).

Il résulte de l'ensemble de ces faits que l'on se trouve confronté à un type de pollution nouveau, lié à ces aménagements particuliers, ignoré il y a seulement une ou deux décennies. Cette pollution est double : le premier type correspond au rejet dans la zone portuaire des eaux usées de navires en stationnement ; le deuxième est l'aboutissement du stockage des matières organiques en enceintes closes, qui se traduit par des phénomènes eutrophiques et dystrophiques de la vie dans ces eaux sans mouvement et sans échange avec la mer du large. Nous étudierons successivement les problèmes ainsi posés et les solutions que l'on peut conseiller.

Les eaux résiduaires issues des navires de plaisance sont d'une part des eaux de type domestique avec leur charge en matières organiques et en

bactéries, d'autre part des eaux polluées chimiquement, dues au pompage des cales, aux fuites de combustibles et au lavage des coques et superstructures avec des détergents variés.

En ce qui concerne les pollutions consécutives au sujet des eaux chimiquement polluées, on doit édicter des règlements interdisant la vidange des huiles et mettre à la disposition des usagers des bacs à terre qui seront régulièrement évacués. Il est plus difficile d'empêcher les rejets de combustibles car d'une part, lors du remplissage des réservoirs, il est fréquent que des gestes bien intentionnés mais plus ou moins adroits laissent s'écouler du fuel ou de l'essence à la mer, et d'autre part le pompage des eaux de cale entraîne obligatoirement avec elles une certaine quantité de combustibles et d'huiles provenant des machines, même correctement surveillées et entretenues. Il y aura de ce fait pratiquement en permanence dans chaque port une légère couche d'hydrocarbures sur laquelle il y a peu de moyens d'action. Par contre, l'administration portuaire doit être armée pour lutter contre un déversement accidentel important. Compte tenu de l'usage des plans d'eaux portuaires, la seule solution est de faire couler rapidement la nappe en pulvérisant à sa surface des produits pulvérulents de forte densité, à caractère hydrophobe, tout au moins si la nappe est de faibles dimensions. Si, au contraire, la nappe est importante et d'une certaine épaisseur, le déploiement d'un barrage flottant et son repompage sont possibles, d'autant que l'industrie met actuellement à disposition tout un matériel construit pour lutter contre ce type de pollution. Chaque port d'une certaine importance devrait être équipé, car le succès dans cette lutte est en grande partie dû à la rapidité avec laquelle on aura pu agir pour isoler le bassin pollué et pour couler ou repomper les hydrocarbures avant qu'ils ne s'étendent et ne gagnent la sortie du port d'où ils iront polluer les plages voisines.

Dans le cadre des pollutions chimiques, restent les détergents. Ils sont très employés actuellement, à des taux souvent injustifiés pour le résultat à atteindre. Si une partie flotte sur les plans d'eaux en flocons abondants, une autre partie se dilue dans l'eau et dérive progressivement hors du port, entraînant des conséquences néfastes pour la faune et la flore. Devant les dégâts écologiques créés par les détergents, les Pouvoirs Publics ont interdit

la vente et l'usage de détergents non biodégradables. Les détergents dits biodégradables ne semblent pas maintenant avoir l'inocuité que l'on espérait. Il faut attendre la commercialisation d'une nouvelle génération de ce produit qui, pour le moment, n'est pas considérée comme dangereuse pour le milieu aquatique.

En ce qui concerne les eaux domestiques issues des navires en stationnement, nous devons considérer deux aspects différents : l'un est d'ordre microbiologique, l'autre est d'ordre biochimique.

Considérons d'abord les pollutions microbiologiques : elles sont dues principalement aux rejets des excréments qui, habituellement, sur des yachts de petit tonnage, sont faits par l'intermédiaire de pompes dilacératrices, manuellement ou électriquement mises en action. D'après les études faites par le C.E.R.B.O.M. à la demande de la Direction de l'Équipement des Alpes-Maritimes, on se rend compte que les eaux des ports de plaisance contenant une forte densité de navires sont riches en bactéries et en germes dits fécaux. Cette considération n'a pas grande importance, compte tenu que les ports ne sont pas des lieux de baignade. Par contre, on peut s'inquiéter de l'évolution de ces bactéries vers les zones balnéaires ou conchylicoles voisines. C'est un problème qui n'est pas à négliger et qui doit être résolu par une disposition de la structure portuaire tenant compte des courants selon la disposition des lieux et de la vocation des rivages adjacents. Certains ont préconisé des mesures plus radicales, quelquefois utopiques, mais toujours contraignantes :

— soit le raccordement des buses d'évacuation de chaque navire à des tuyaux souples, eux-mêmes raccordés au réseau d'égouts urbains, solution onéreuse pour la construction du port et finalement répercutée sur les frais de stationnement ;

— soit l'obligation du W.C. chimique ou à recyclage filtré, solution onéreuse et incommode pour l'usager.

En réalité, le problème de la pollution microbiologique des ports de plaisance ne nous apparaît pas comme majeur et ne correspond pas à l'importance que certains ont voulu lui donner.

Plus urgente, par contre, nous apparaît la nécessité de nous intéresser aux phénomènes d'eutrophisation et de dys-

trophisation liés à la stagnation des matières organiques dans ces plans d'eaux.

Dans le cadre des études faites par le C.E.R.B.O.M., ce problème a été abordé à plusieurs reprises et a abouti à un certain nombre de conclusions : dans les zones cloisonnées par endiguement portuaire, on voit apparaître une dérive écologique planctonique caractérisée par une augmentation des flagellés et des dinoflagellés. Cette prolifération est une fonction décroissante des capacités de renouvellement des eaux. Elle constitue le premier stade de l'eutrophisation et de la dystrophisation qui aboutit progressivement aux phénomènes d'anaérobiose avec libération d'hydrogène sulfuré.

On conçoit l'importance conceptuelle initiale à donner à l'architecture du port en fonction des courants, de la situation hydrologique, des conditions météorologiques et de la structure des fonds, car ce sont ces divers facteurs qui vont régir l'évolution des eaux à l'intérieur du plan d'eaux portuaires.

Il est donc capital, avant de définir la forme de la structure d'un port, d'étudier minutieusement tous ces facteurs, d'en faire un bilan statistique et de le confronter avec les données biologiques prévisibles. Ces études « in situ » seront utilement complétées par des études en bassin hydraulique dont la sophistication technique sera suffisante pour reproduire ces facteurs, tout en sachant cependant que les résultats obtenus en maquette sont toujours sujets à caution et que les éléments importants peuvent avoir échappé à l'analyse.

En terminant l'évocation de ces problèmes, nous tenons à souligner qu'ils ont un caractère actuel et qu'ils étaient peu manifestes dans les constructions anciennes, d'abord parce que la densité des navires était moindre pour un même volume d'eau endigué, ensuite, et surtout, parce que les ingénieurs des époques passées attachaient moins d'importance au ressac et aux courants intra-portuaires et qu'ils avaient comme souci principal d'éviter l'envasement contre lequel on était moins armé qu'actuellement par manque d'énergie motrice. Il en résultait des ports plus ouverts avec, très souvent, principalement sur les côtes méditerranéennes, l'existence d'un goulet plus ou moins étranglé à l'enracinement des digues, ce qui permettait la circulation des eaux de leur renouvellement. Le choix de la situation de ce goulet nous renseigne

souvent sur la connaissance approfondie de la dynamique des eaux qu'avaient à cette époque les constructeurs de ces ports. On peut y suppléer d'une manière plus onéreuse en créant des buses à travers les digues, mais l'effet des buses noyées est beaucoup moins efficace car elles ne bénéficient pas de la dérive des couches superficielles entraînées par le vent. C'est la raison pour laquelle il est quelquefois conseillé de rattraper une structure inadaptée à ce problème en utilisant des buses animées qui transfèrent l'eau sous l'action d'une force motrice.

Cette méthode sera d'autant plus nécessaire que le plan d'eau portuaire sera entouré de constructions élevées qui feront écran aux vents et limiteront ainsi la dérive des couches superficielles qui leur est due.

#### b) Les ports de commerce.

Les ports de commerce présentent vis-à-vis de la pollution les mêmes impératifs que les ports de plaisance avec cependant des aspects particuliers dus à leur dimension et à leur genre d'activité. En effet, nous pouvons considérer que, selon leur usage, on peut envisager soit des ports de pêche, soit des ports de transfert de substances liquides, soit des ports de transit de passagers, soit des ports de construction ou d'armement de navires. Les contraintes imposées à chacune de ces activités peuvent être différentes, d'autant que peuvent s'y ajouter des variantes, dues à la présence ou non sur le port même d'industries issues de ces importations ou exportations, qui retiendront à leur tour sur la qualité des eaux ou sur les structures à donner à la zone portuaire. Très souvent d'ailleurs, plusieurs de ces activités se trouvent regroupées dans un port, mais la tendance actuelle évolue vers une spécialisation, tout au moins pour chaque groupe de bassin.

Nous étudierons successivement les principaux types de pollutions qui peuvent être issus de chacune de ces activités.

Les ports de pêche sont occupés par des navires de petit et moyen tonnage, généralement à moteur Diesel. De ce fait, on a le plus souvent affaire à des pollutions d'eaux résiduaires domestiques associées à des pollutions par les hydrocarbures. Il s'y associe une pollution par les nettoyages de cales à poissons ou de chambres frigorifiques,

ainsi que toutes sortes de déchets de type organique.

Les ports de transit de passagers, au contraire, sont occupés par des paquebots, généralement de gros tonnage, le plus souvent modernes. Ces navires sont astreints à posséder des caisses à eaux usées qui ne peuvent être vidangées qu'au large, si bien que l'importante population que représentent l'équipage et les passagers ne sont pas un sujet de pollution de ce type. Par contre, il est difficile d'empêcher les rejets par négligence de déchets en provenance des cuisines, les règlements dans ce domaine semblant peu respectés. Des barges de vidange d'ordures devraient être en service dans chaque port, principalement lorsque le mouillage des paquebots se fait en rade.

Les ports de chargement ou de déchargement de marchandises reçoivent des navires de tonnages et d'âge très différents. De ce fait, leurs eaux peuvent être souillées comme celles des ports de pêche et comme celles des ports à passagers. Mais indépendamment de ces pollutions provenant des bateaux eux-mêmes, il faut tenir compte que, lors des opérations de manutention, il n'est pas rare qu'une minime partie des produits chargés en vrac soit répandue dans la mer. C'est le cas principalement des produits pulvérulents (ciments, bauxites, granits, charbon, etc...). Le fait de les entreposer sur les quais ajoute souvent à cet épandage, surtout sous l'action du vent. Ces produits en flottaison sont souvent entraînés hors du port et forment, aux abords des zones portuaires, des nappes d'eaux plus ou moins colorées, surtout qu'il s'y ajoute souvent les résidus des eaux de cales et fréquemment, également, les eaux résiduaires des industries de production ou de transformation installées à proximité des quais, qui sont rarement épurées. Cette situation se retrouve très voisine pour les ports utilisés au transfert de substances liquides. Il s'agit le plus souvent d'hydrocarbures dont il est difficile d'éviter toute fuite pendant la manutention. C'est la raison pour laquelle tout pétrolier en chargement ou en déchargement devra être automatiquement ceinturé par un barrage flottant dont l'étanchéité et l'importance seront systématiquement vérifiées. Ce barrage pourra éventuellement être remplacé par un barrage à bulles qui permettra, par des tubulures mises en place sur le fond, de pouvoir isoler un bassin. Bien entendu, un matériel de repompage des nappes accidentellement déversées sera toujours prêt

à entrer en action avec la célérité nécessaire. Tous les autres moyens pour neutraliser de petites fuites seront prêts à être utilisés, en particulier des produits hydrophobes à haute densité, de préférence aux détergents qui ont peu d'action et associent vis-à-vis de la faune et de la flore avoisinantes leur propre toxicité à celle des hydrocarbures.

Mais, indépendamment des produits pétroliers, on peut avoir affaire à d'autres produits liquides plus ou moins polluants (pesticides liquides, métaux en solution, acides, etc...). Les moyens de lutte à mettre en œuvre devront tenir compte de leur densité et de leur solubilité dans l'eau de mer. On est généralement très mal armé pour éviter leur diffusion hors des enceintes portuaires et par conséquent les dangers éventuels qu'ils peuvent porter à la vie marine.

Cette description peut s'appliquer également aux ports d'armement ou de construction de navires. Les huiles des machines, les vidanges de cales ou de bassins de carénage, les peintures plus ou moins imprégnées de substances toxiques finissent pour une bonne part dans les eaux des ports dans lesquels sont installés les chantiers navals. Ces impératifs industriels rendent en grande partie illusoire l'idée de conserver exemptes de pollutions de telles zones portuaires. On pourra remédier à l'extension de ces pollutions en isolant le bassin par des barrages flottants, des rideaux de bulles sous-marines, et on essayera d'imposer, à l'intérieur de ces limites, repompage et ramassage des corps flottants par des équipes et du matériel spécialisés.

L'expérience montre que les ports de commerce sont rarement le siège d'une eutrophisation, ce fait étant dû au faible volume des rejets organiques, comparé au volume des bassins, à la largeur des passes et aux larges échanges qui peuvent s'y faire avec les eaux du large. Cependant, nombre d'entre eux servent de réceptacle à des eaux résiduaires, quelquefois urbaines, le plus souvent industrielles. Cette pratique ne peut qu'engendrer un état de pollution atteignant toute la zone marine avoisinante et pouvant même, dans certains cas particulièrement aigus, entraîner des phénomènes de corrosion des coques métalliques des navires, ainsi que nous avons pu l'observer en quelques circonstances, qui ont provoqué des actions juridiques avec dédommagements financiers.

## LES MOYENS D'ÉTUDES

### Les modèles mathématiques

Les modèles de diffusion des produits polluants ont été présentés par M. Aubert et nous ne reviendrons pas dessus : ils permettent dans les cas simples de calculer rapidement les apports polluants et les taux de renouvellement nécessaires.

### Les traceurs colorés

Dans des situations complexes, les modèles mathématiques nécessitent l'emploi d'ordinateurs et il peut s'avérer plus économique de procéder à une simulation par traceurs colorés ou radio-actifs qui permet de connaître à la fois la courantologie d'une zone, ses possibilités d'échanges avec l'extérieur et les passages privilégiés par où se font les échanges.

### Les modèles réduits

Les études sur modèle peuvent permettre d'éviter de coûteuses erreurs et d'obtenir des renseignements qui seront utiles pour l'étude du prototype. Comme il est relativement peu onéreux de modifier la construction du modèle, on peut envisager une méthode par essais successifs alors qu'elle aurait constitué une très lourde charge s'il avait fallu la mettre en œuvre « in situ ».

Toutefois, il faut signaler que l'étude sur modèle ne peut donner de réponses exactes à toutes les questions.

De toute manière, on ne peut réaliser un essai sur modèle valable et en interpréter les résultats correctement, à moins de bien comprendre les bases théoriques du phénomène à étudier.

De même, il faut bien noter qu'il est plus onéreux en général de faire appel à une étude sur maquette que d'obtenir les résultats par une étude purement théorique, car très souvent la réalisation et l'essai d'un modèle s'avèrent plus coûteux qu'une analyse théorique.

Néanmoins, les essais sur modèle se sont montrés dans bien des cas d'une valeur inestimable et leur emploi augmente de plus en plus.

Quelle que soit la discipline, il est vain de réaliser un essai sur modèle qui ne représente pas d'une manière adéquate le prototype, ce qui implique d'établir très soigneusement les similitudes suivant les lois qui les régissent.

La base de toute création de modèle est l'analyse dimensionnelle et l'application du théorème des  $\pi$ .

Il est d'usage courant de réaliser une maquette de dimensions aussi grandes que possible, compte tenu de l'espace, des facilités et des possibilités dont on dispose (C.A. Barnes et coll., 1957). L'échelle horizontale est habituellement déterminée à partir de ces critères empiriques.

Quant à l'échelle verticale, elle est souvent définie à partir de considérations essentiellement pratiques de profondeur minimum à maintenir, d'échelles de temps commodes dans certains cas et par la théorie des similitudes dynamiques et cinématiques.

Cela étant, nous avons construit au C.E.R.B.O.M. un bassin d'études hydrologiques constitué d'une cuve réceptacle carrée de 2,50 m de côté et de 0,40 m de profondeur, en tôle galvanisée et comportant des hublots sur tous ses côtés.

Cette technique permet une observation latérale aisée des phénomènes de diffusion sous-marine, un éclairage qui évite au maximum les reflets pour les prises de vues et enfin la pose en un seul tenant d'une gouttière périmétrique.

### Création des courants.

Les courants vecteurs d'agents polluants dont nous voulons étudier les effets dynamiques se divisent « in situ » en courants de pente et en courants de dérive. Ces deux types d'évolution des masses d'eau seront reconstitués dans notre bassin d'études hydrologiques. Nous présenterons maintenant les moyens que nous avons utilisés pour en réaliser la simulation.

#### a) Courants de pente.

La difficulté principale étant de créer des courants de pente réguliers et constants, nous avons été amenés, après plusieurs essais, à retenir la solution des gouttières latérales.

A cet effet, le bassin est entouré de quatre gouttières destinées soit à l'alimentation, soit à la déverse des eaux. Cette méthode permet d'éviter les ac-

tions pariétales parasites existant en bassins entièrement fermés pour les couches superficielles, seules pratiquement intéressées par la diffusion des eaux résiduaires, bactériologiquement polluées.

De ce fait, un milieu infini étant créé dans le bassin, les courants « de pente » sont dirigés dans la direction générale des gouttières d'alimentation vers les gouttières d'évacuation.

En réalité, le fluide de notre modèle parcourt un circuit fermé ainsi constitué : il est aspiré par une pompe à palettes dont le débit est contrôlé par un rhéostat, puis il arrive dans les gouttières d'alimentation, traverse le modèle, est ensuite récupéré dans des gouttières d'évacuation et finalement passe dans une cuve d'expansion (ce tampon permet de faire varier les courants sans risque de désamorçage de la pompe) où il sera réaspiré et remis en circuit.

Un jeu de raccords et de tuyaux permet de faire varier les alimentations et les dérives de façon à régler les courants en direction et en vitesse.

Le recyclage de l'eau de mer du bassin hydraulique pouvait, au bout d'un certain temps, modifier la salinité de l'eau de mer, donc sa densité, d'une part du fait des processus d'évaporation et d'autre part du fait des injections d'eaux douces marquées permettant l'étude des rejets.

C'est pourquoi, au cours du développement de nos expérimentations, nous avons suivi, par une série de mesures faites à la burette de Knudsen, l'évolution de la salinité du bassin en divers points répartis dans sa totalité, permettant ainsi d'y apporter les corrections éventuellement nécessaires.

#### b) Courants de dérive (création des vents).

Le bassin est surmonté d'un tunnel transparent de 0,40 m de hauteur en chlorure de vinyle destiné à guider les filets d'air mis eux-mêmes en mouvement par une soufflerie constituée de quatre ventilateurs indépendants fonctionnant en aspiration pour limiter au maximum les turbulences parasites susceptibles de se produire. Le débit de ces ventilateurs est réglable grâce à un rhéostat intercalé dans le circuit électrique.

La conception carrée de ce bassin permet de créer quatre vents principaux en quadrature en déplaçant la soufflerie sur chacun des côtés.

Pour faciliter les mesures de vitesses, nous avons installé un réseau de points de repère en tendant à 0,40 m au-dessus de la surface du modèle un quadrillage de fils d'acier de mailles de 0,5 m de côté.

La maquette est alimentée en eau de mer, tandis que les émissaires et les fleuves sont alimentés en eau douce dont le marquage est réalisé par un colorant adéquat (par exemple, encre diluée, charbon de bois immergé) pour maintenir une différence de densité entre les fluides et avoir ainsi une reproduction plus fidèle des phénomènes « in situ ».

De fait, comme nous nous intéressons spécialement aux phénomènes de surface, puisque la dérive des eaux douces s'y fait presque exclusivement, il était absolument nécessaire que les eaux dont nous voulions étudier le comportement en maquette évoluent également en surface, d'où l'importance de connaître la vitesse et la direction du vent créé par la soufflerie. Ces paramètres sont obtenus par l'analyse du comportement de bulles de savon injectées à l'entrée du tunnel.

#### *Reproduction des reliefs.*

Le relief des fonds à représenter est construit à l'intérieur du bassin, en sable et en terre glaise cimentée, les bathymétries sont matérialisées par des feuilles d'aluminium implantées verticalement.

#### *Thermocline.*

On peut noter également qu'après avoir laissé la maquette reposer quelques jours, nous avons constaté l'établissement d'une thermocline marquée par une différence de 1° à une profondeur de 0,15 m. Nous reviendrons ultérieurement sur l'analyse des résultats obtenus concernant cette stratification des masses d'eau.

#### *Méthode de prise de vue.*

Nos mesures ont été réalisées sur des clichés photographiques, pris avec un appareil Zeiss Ikon donnant un champ de 110° sans distorsion (format 24 × 36).

Cet appareil était placé à 1,50 m au-dessus du centre du modèle.

Les photos sont prises en instantané au 1/8 de seconde, le dispositif permettant la prise de clichés en série rapide de manière à étudier successivement les diverses phases de la diffusion du traceur.

## CONCLUSION

Les problèmes de restructuration des rivages sont peut-être moins connus du grand public que ceux posés par les pollutions chimiques ou bactériennes. Cependant, nous venons de voir qu'ils peuvent être très importants, même si la restructuration est minime. Heureusement, les organismes responsables commencent à en prendre conscience, en particulier le Ministère de l'Équipement qui, systématiquement, charge les laboratoires d'océanographie de le conseiller en ces matières. Nous espérons que cette volonté de comprendre les phénomènes naturels sera suivie, de façon à éviter le gâchis des côtes en général et des côtes méditerranéennes en particulier, par le seul souci de la rentabilité à court terme.