

TABLE DES MATIERES

	<u>Page</u>
RAPPEL DES FAITS	1
1. INTRODUCTION	3
1.1 Définition du problème	3
1.2 Epuration à terre et élimination en mer	3
1.3 Objet des lignes directrices	7
2. CONDITIONS PREVALANT EN MEDITERRANEE	8
3. OBJECTIFS DE MILIEU ET NORMES DE QUALITE D'EAU	9
3.1 Protection de la santé publique et des écosystèmes marins	9
3.2 Normes de qualité d'eau	10
3.3 Normes d'effluent	12
4. CARACTERISTIQUES DES EAUX USEES ET DU MILIEU	12
4.1 Caractéristiques des eaux usées	12
4.2 Caractéristiques du milieu	13
5. PROCEDURE ET CALCULS DE CONCEPTION	19
5.1 Options de traitement préalable	19
5.2 Principes de conception	21
5.3 Méthode de calcul	22
5.4 Exemple d'application	24
6. SURVEILLANCE DES EMISSAIRES SOUS-MARINS	25
7. PRECAUTIONS DE CONSTRUCTION ET MAINTENANCE	26
APPENDICE I	29
APPENDICE II	31
APPENDICE III	33
BIBLIOGRAPHIE	36

RAPPEL DES FAITS

En vertu de l'article 4 de la Convention pour la protection de la mer Méditerranée contre la pollution, adoptée et signée par les Etats riverains de la région à Barcelone en 1976, les Parties contractantes s'engagent, sur un plan général, à prendre individuellement ou conjointement toutes mesures appropriées pour prévenir, réduire et combattre la pollution dans la zone de la mer Méditerranée et pour protéger et améliorer le milieu marin dans cette zone. En vertu de l'article 8 de la Convention, les Parties contractantes sont tenues de prendre toutes mesures appropriées pour prévenir, réduire et combattre la pollution de la zone de la mer Méditerranée due aux déversements par les fleuves, par les établissements côtiers ou les émissaires, ou émanant de toute autre source située sur leur territoire.

En vertu de l'article 7.1 du Protocole relatif à la protection de la mer Méditerranée contre la pollution d'origine tellurique, adopté et signé à Athènes en 1980, les Parties élaborent et adoptent progressivement, en collaboration avec les organisations internationales compétentes, des lignes directrices et, le cas échéant, des normes ou critères commun concernant notamment la longueur, la profondeur et la position des canalisations utilisées pour les émissaires côtiers, en tenant compte, notamment, des méthodes utilisées pour le traitement préalable des effluents.

A leur Quatrième réunion ordinaire, tenue à Gênes en 1985, les gouvernements méditerranéens, au titre de Parties contractantes à la Convention pour la protection de la mer Méditerranée contre la pollution et aux Protocoles y relatifs, ont examiné leur coopération dans le cadre du Plan d'action pour la Méditerranée (adopté à Barcelone en 1975) au cours des dix dernières années et ont adopté la Déclaration de Gênes sur la deuxième décennie méditerranéenne. Dans le cadre de cette Déclaration, ils ont adopté dix objectifs à atteindre en priorité. Ces objectifs comprennent notamment la mise en place en priorité de stations d'épuration dans toutes les villes du pourtour de la Méditerranée de plus de 100.000 habitants, et d'émissaires et/ou autres équipements appropriés dans toutes les villes de plus de 10.000 habitants.

Un projet de directives pour le calcul des émissaires de rejet en mer d'effluents liquides a été établi par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) et soumis à la première réunion d'experts sur l'application technique du Protocole relatif à la protection de la mer Méditerranée contre la pollution d'origine tellurique qui s'est tenue à Athènes en décembre 1985. Ces directives contiennent une analyse détaillée du comportement des eaux usées rejetées dans le milieu marin, avec un ensemble complet de procédures de calcul, tant numériques que graphiques, pour la prévision de la dilution, de la dispersion et de la décroissance des polluants.

Un projet pilote sur la surveillance du rendement de certains émissaires dans la région méditerranéenne a été par la suite organisé par l'OMS dans le cadre du Programme à long terme de surveillance continue et de recherche en matière de pollution de la mer Méditerranée (MED POL - Phase II) et exécuté par des institutions d'Egypte, d'Espagne, de Grèce et d'Italie. Ce projet pilote a été achevé en juin 1989. Une réunion consultative sur les principes directeurs pour les émissaires sous-marins en Méditerranée a été ultérieurement organisée par l'OMS, à Madrid du 3 au 5 juillet 1989. La réunion a pris note des résultats du projet pilote sur la surveillance continue et des informations disponibles à partir d'autres études menées dans la région. Il a été convenu que les conditions et caractéristiques de la Méditerranée étaient spécifiques et devaient être prises en compte lors de la conception et de la construction d'émissaires sous-marins.

La réunion a examiné le projet d'esquisse de Lignes directrices pour les émissaires sous-marins en Méditerranée ainsi que les objectifs, la portée et les utilisateurs potentiels d'un tel document qui devrait viser les émissaires sous-marins de petites et moyennes dimensions de localités de moins de 100.000 habitants. La réunion est convenue que les procédures courantes, dont la préparation était prévue aux termes de l'article 7.1 (a) du Protocole, devraient comporter une description des types possibles de traitement préalable au rejet, des niveaux recommandés de qualité pour la région concernée et des normes de contaminants spécifiques, avec la présentation des méthodes de calcul et des études d'environnement nécessaires à la prévision de la dilution et de la dispersion des rejets. Des conditions minimales de conception devaient également être fournies dans le cadre des méthodes de calcul.

Le projet établi conformément aux recommandations de la réunion de Madrid a été examiné lors d'une réunion consultative sur les programmes et mesures de protection de la mer Méditerranée contre la pollution d'origine tellurique organisée par l'OMS à Alexandrie du 5 au 9 novembre 1989. La réunion est convenue de la présentation générale et de la teneur du document et elle formulé les recommandations ci-après:

- a) Le champ d'application des lignes directrices devrait rester dans les limites de l'article 7.1 (a) du Protocole et il ne devrait y être procédé à aucune comparaison entre les diverses méthodes disponibles de rejet/élimination.
- b) Les normes et critères déjà officiellement adoptés par les Parties contractantes sur une base commune à la Méditerranée devraient être utilisés chaque fois qu'ils sont disponibles et applicables. Dans les autres cas, les normes et critères déjà en usage dans tel ou tel pays Méditerranéens devraient servir de guides.
- c) Les lignes directrices devraient énoncer clairement les avantages et limitations des émissaires sous-marins, notamment les limitations dans les cas où prévalent des conditions ou des situations spécifiques.
- d) Les prescriptions en matière de construction d'émissaires sous-marins devraient être incluses en annexe, en plus d'une bibliographie suffisamment détaillée.
- e) Les lignes directrices devraient fournir une indication pertinente des options et procédures à appliquer dans des cas particuliers tels que: importantes variations saisonnières du débit, différents niveaux de traitement avant rejet, rejets multiples dans la même zone, et existence de zones sensibles à proximité du point de rejet, comme les herbiers de posidonies.

Les présentes lignes directrices, établies pour l'OMS par le professeur J. Ganoulis, sont pour l'essentiel un collationnement du projet originel de directives de 1985 pour le calcul des émissaires de rejet en mer d'effluents liquides, élaboré par M. Gervais de Rouville, et du projet de lignes directrices de 1989 sur les émissaires sous-marins des collectivités de petite et moyenne taille en Méditerranée, élaboré par M. G. Marino, ainsi que d'autres documents pertinents. Elles sont avant tout destinées à fournir une information de base aux autorités locales et aux municipalités de la région méditerranéenne en vue de la conception d'émissaires sous-marins desservant des collectivités de moins de 100.000 habitants, conformément à l'article 7.1 du Protocole d'Athènes de 1980.

1. INTRODUCTION

1.1 Définition du problème

Dans la région méditerranéenne, notamment au cours des vingt dernières années, s'est fait sentir la nécessité de combattre la pollution du milieu occasionnée par le rejet dans la mer de divers polluants d'origine tellurique. Les quantités sans cesse croissantes de ces polluants rejetées dans la mer a suscité des préoccupations qui ont conduit à mener un certain nombre d'études en vue de définir les conditions dans lesquelles les eaux usées contenant divers types de polluants pouvaient être rejetées sans préjudice pour le milieu marin.

S'agissant des déchets prenant naissance à terre et rejetés en mer par des systèmes d'émissaires côtiers immergés, la méthodologie de calcul de ces émissaires a revêtu diverses formes, chacune fournissant des solutions spécifiques selon la méthode de formulation du problème.

La justification scientifique et les calculs contenus dans le présent document répondent à la formulation du problème où:

- a) les caractéristiques du déchet sont données (débit, type et teneur en polluants)
- b) le déchet doit être rejeté dans la mer en une zone englobant des sites sensibles bien définis à protéger contre la pollution
- c) ces zones sont assujetties à des normes de niveaux maximaux de concentration pour l'un ou plusieurs des polluants contenus dans le déchet.

Le problème consiste alors à définir les caractéristiques particulières du système d'émissaire de manière à remplir les conditions précédemment fixées, à savoir de répondre aux normes en vigueur dans les zones à protéger.

Compte tenu des quantités de déchet à rejeter et des conditions géographiques et météorologiques locales, on peut choisir une méthode apportant une solution avec un degré plus ou moins grand de précision dans le calcul des concentrations de polluants à diverses distances autour du point de rejet.

1.2 Epuration à terre et élimination en mer

Comme l'illustre la figure 1, le rejet d'eaux usées dans la mer au moyen d'un émissaire est le dernier maillon d'une chaîne dont le premier correspond à la source de ces eaux usées: foyer domestique, établissement industriel ou agricole. Entre les deux extrémités, la chaîne comporte essentiellement un réseau collecteur et une ou plusieurs stations d'épuration.

Les eaux usées brutes sont généralement traitées dans des stations spéciales au moyen de diverses techniques. Puis ces eaux usées sont rejetées dans la mer au moyen d'émissaires sous-marins. Ce procédé est très utile pour assurer une dilution suffisante des divers polluants et prévenir des répercussions dommageables sur le milieu marin.

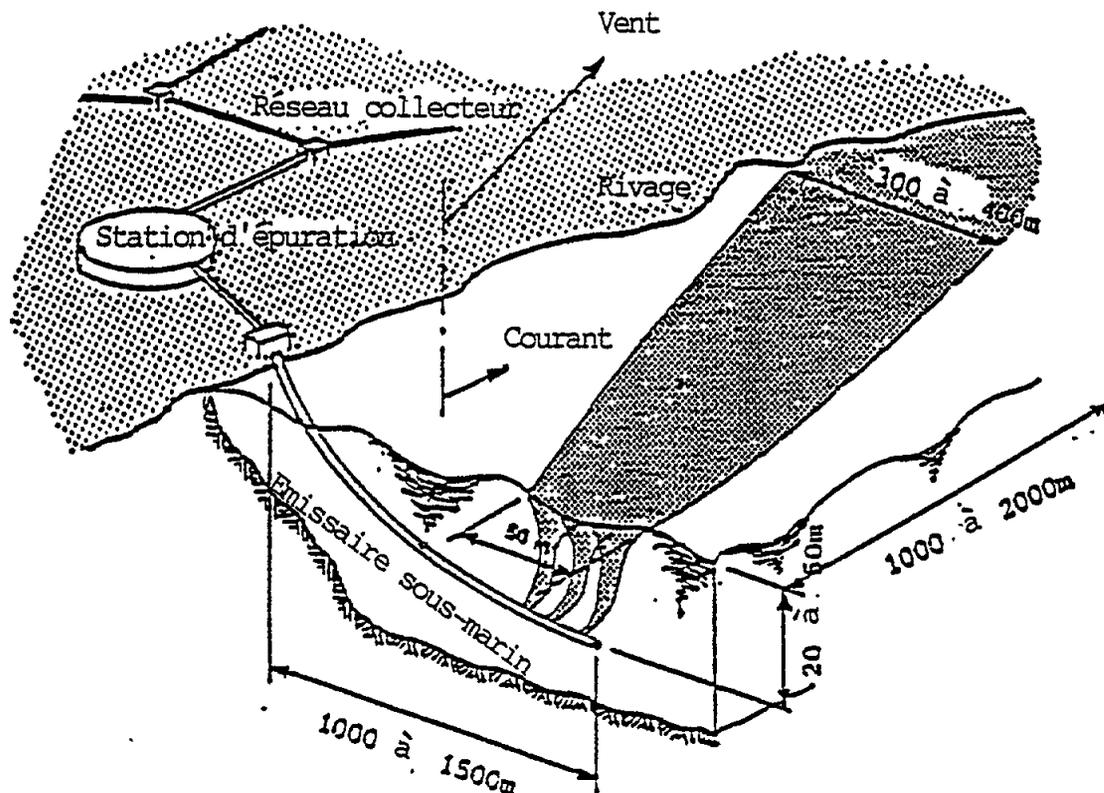
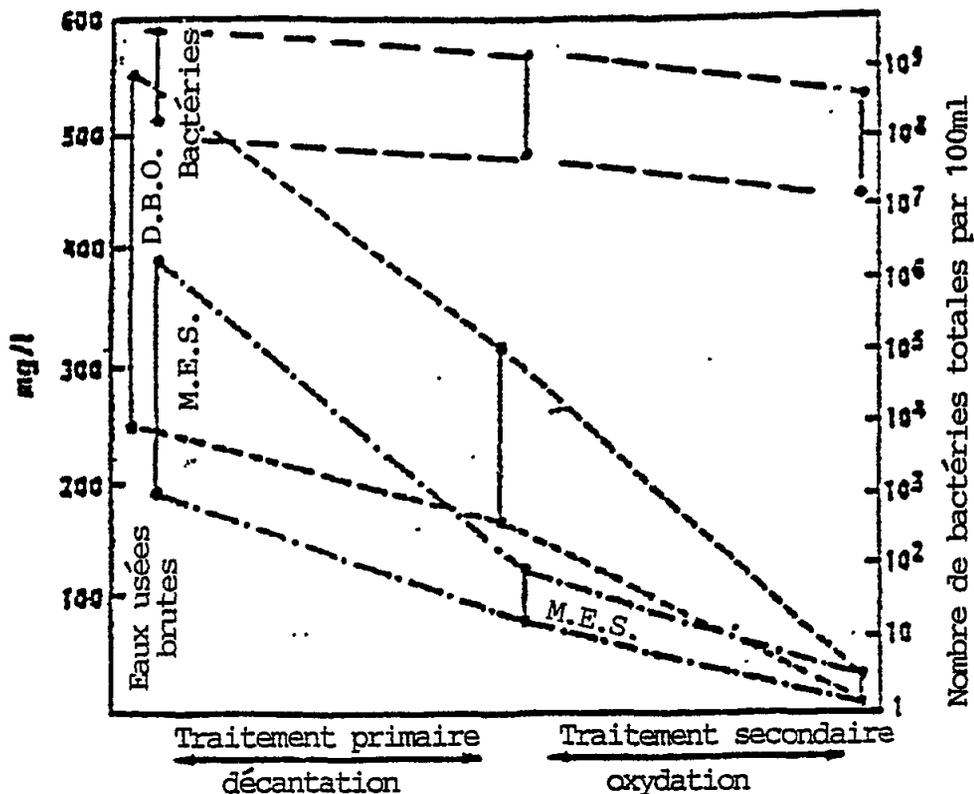


Figure 1. Collecte, épuration et élimination dans la mer des effluents.

Les présentes lignes directrices n'ont pas pour objet de procéder à une comparaison entre les diverses méthodes disponibles d'épuration des eaux usées ou entre l'épuration à terre et l'élimination en mer. Pour chaque cas particulier, on peut trouver une solution optimale en combinant l'épuration et l'utilisation d'un émissaire en mer. Cela dépend des conditions du milieu local, de la composition des effluents, des différents usages des eaux marines, et des contraintes locales d'ordre technique et humain. D'une manière générale, un certain degré de traitement préalable des eaux usées est absolument nécessaire avant de rejeter les effluents dans la mer. C'est pourquoi nous procédons ci-après à un examen succinct de l'épuration à terre et de l'élimination en mer.

Un classement des divers polluants contenus dans les eaux usées urbaines figure à l'appendice I. Comme le montre la figure 2, lors du traitement primaire et secondaire (décantation et oxydation biologique), les matières en suspension (MES) et les matières organiques (DBO) subissent une réduction de deux ordres de grandeur. Cependant, les concentrations bactériennes ne subissent un abattement que d'un facteur 10.

Etant donné que, dans la plupart des cas, la pollution microbienne est le facteur critique pour les zones sensibles, la première idée qui vient à l'esprit pour résoudre le problème est de détruire les bactéries avant que l'effluent ne pénètre dans la conduite de l'émissaire, lequel pourrait alors être plus court et moins coûteux. En outre, on peut avancer que le procédé existe déjà sur le papier: il s'agit de la "désinfection" des eaux usées. Les problèmes et questions en rapport avec la désinfection sont indiqués à l'appendice II.



Légende:
 M.E.S. = matières en suspension
 Bactéries = bactéries totales

Figure 2. Caractéristiques de l'épuration à terre (White, 1970).

Les matières en suspension sont extrêmement nocives pour le milieu marin. C'est pourquoi certains pays interdisent toute espèce de rejet sans élimination préalable partielle des matières en suspension. En France, par exemple, après traitement préliminaire (dégrillage, dessablage, dégraissage), il est obligatoire d'éliminer avant rejet 90% des matières en suspension décantables (soit 50 à 60% des matières en suspension totales). Ces réglementations se fondent sur le fait qu'un tel rendement se situe dans les possibilités du procédé physique de décantation gravitaire simple. Si l'on souhaite obtenir un meilleur rendement - jusqu'à 90% des matières en suspension totales -, on doit recourir à un procédé physico-chimique de coagulation - floculation des diverses substances colloïdales au moyen d'adjuvants de floculation tels que chaux, chlorure ferrique, sulfate d'alumine, polyélectrolytes.

Les procédés biologiques (lits bactériens, disques biologiques, boues activées, filtres bactériens) donnent des résultats au moins aussi bons sur les matières en suspension totales; ils sont recommandés dans les zones côtières sensibles quand la majeure partie des matières organiques doit être éliminée avant que les effluents soient rejetés dans la mer.

Comme l'illustre la figure 3, la dilution des polluants rejetés par un émissaire sous-marin se produit dans deux zones distinctes: a) la zone proche ou de jet, et b) la zone distante ou de dispersion.

Dans la zone de jet, de l'eau de la région ambiante est entraînée par les eaux usées à mesure que celles-ci remontent légèrement du point de rejet vers la surface de la mer. Une dilution importante atteignant jusqu'à 10^3 se produit en fonction de la profondeur de l'eau, de la stratification du flux et des caractéristiques du diffuseur. Dans la zone de dispersion, la dilution due aux remous cisailants et turbulents est inférieure d'un ou deux ordre de grandeurs à celle de la zone de jet. Dans cette région, une dilution supplémentaire se produit par suite d'interactions chimiques et biologiques (comme la décroissance bactérienne).

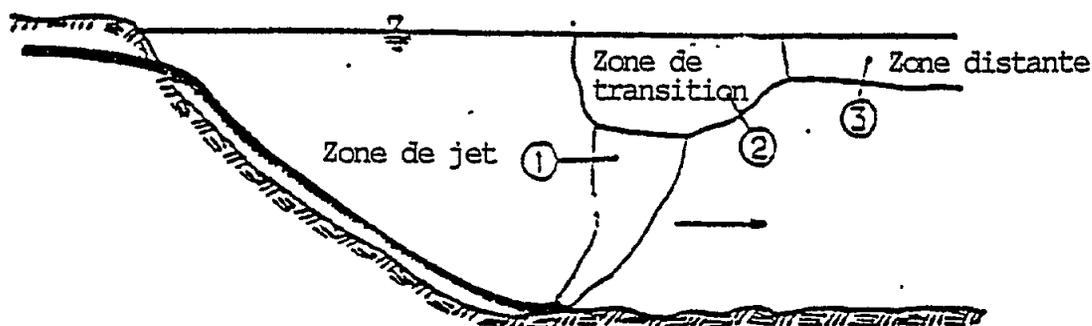


Figure 3. Dilution des eaux usées à partir d'un émissaire sous-marin.

En ce qui concerne les bactéries totales, le tableau suivant donne les ordres de grandeur de la baisse de la concentration à chaque phase.

<u>Première phase</u> Panache ascensionnel	Dilution par diffusion turbulente	sans diffuseur avec diffuseur	2 à 100* 10 à 1000*
<u>Deuxième phase</u> Transport horizontal sur 1000m	Dilution par dispersion verticale et horizontale		5 à 20
<u>Troisième phase</u> Décroissance bactérienne	Equivalente à une dilution	après 3h après 6-8h après 10-15h	10 100 1000

* Croît approximativement comme la puissance 3/2 de la profondeur

Dans la conception d'un réseau d'assainissement côtier, la station d'épuration et l'émissaire en mer sont les deux éléments d'un ensemble qui ne peut être dissocié et qui doit faire l'objet d'une étude commune. Cette étude doit prendre en compte les conditions du milieu local et les normes de qualité d'eau de mer à respecter dans le milieu récepteur.

1.3 Objet des lignes directrices

Deux utilisateurs des lignes directrices ont été identifiés: les administrateurs chargés de la gestion des eaux usées des villes côtières de petite et moyenne taille (moins de 100.000 habitants) et les ingénieurs chargés de la conception, de la construction et de la maintenance des émissaires sous-marins de petites à moyennes dimensions.

Les administrateurs locaux peuvent utiliser les lignes directrices pour prendre une décision sur les options qui s'offrent à eux pour l'élimination des eaux usées et, avec les autres sources d'information et de conseil, pour se renseigner sur les avantages et les conditions requises d'un émissaire sous-marin. Les administrateurs régionaux ou nationaux peuvent les utiliser comme référence pour l'établissement de normes nationales, de spécifications minimales de ces ouvrages et pour la conception de programmes de surveillance.

Les ingénieurs chargés de la conception, de la construction, de la maintenance et de la supervision d'un émissaire sous-marin peuvent utiliser les lignes directrices comme référence et comme guide pour les méthodes de calcul, le type et le degré de détail des études d'environnement requises.

La théorie courante du comportement des eaux usées rejetées dans les eaux marines et le vaste domaine de l'expérience acquise sur le terrain et en laboratoire en la matière ont généré de nombreuses méthodes de calcul et modèles de prédiction fiables pour la conception des émissaires sous-marins avec des résultats acceptables. Bien que les méthodes de calcul présentent des différences de moins de 10 à 20% entre elles et que les modèles de prédiction puissent avoir une assez bonne précision, la mesure nécessaire des conditions de l'environnement est une activité généralement onéreuse dénuée du même degré de précision.

Pour la conception de gros émissaires sous-marins (effluents des villes de plus de 100.000 - 200.000 habitants), on a généralement accès à des enquêtes de terrain de grande envergure, à la modélisation et à une bonne compétence technique. En revanche, pour la plupart des émissaires de villes de moins de 100.000 habitants, la conception et la mise en place doivent être effectuées sur la base de rares études antérieures (quand elles existent) relatives aux conditions des eaux réceptrices et aux paramètres inhérents au projet, en l'absence de modélisation et avec un moindre recours des ingénieurs-concepteurs à une compétence technique spécialisée. Les présentes lignes directrices sont destinées à compléter et assister la conception des émissaires de ce dernier type, et elles sont applicables aux cas d'élimination des eaux usées dans la mer au moyen d'ouvrages de petites ou moyennes dimensions (villes de moins de 100.000 habitants, de préférence de moins de 50.000 habitants).

2. CONDITIONS PREVALANT EN MEDITERRANEE

Parmi les diverses options acceptables pour l'élimination des eaux usées urbaines dans les localités côtières, la réutilisation et le rejet dans la mer d'effluents complètement ou partiellement épurés sont les deux options le plus couramment retenues pour les villes de petite et moyenne taille, alors que l'on utilise les fosses septiques et l'infiltration dans le cas des hôtels et des logements individuels. Une fois que la décision concernant le rejet a été prise, les conditions prévalant en Méditerranée font du recours aux émissaires sous-marins une bonne option car:

- a) leur construction est relativement aisée en raison du temps généralement beau durant l'été et de la faiblesse des courants.
- b) Les conditions oligotrophes dans la plupart des zones ouvertes permettent des charges relativement élevées de déchets domestiques si une dilution suffisante est assurée.
- c) L'exposition au soleil et la transparence des eaux entraînent une importante destruction des indicateurs bactériens et une dégradation photolytique rapide de certaines substances organiques non persistantes.
- d) L'absence générale de fort courants de marée et l'absence consécutive de dispersion en Méditerranée confèrent une grande importance à l'obtention d'une dilution initiale maximale et de la plus grande distance possible entre le point de rejet et les zones d'impact prévues.

Pour les substances tensio-actives et les micro-organismes - les virus notamment - qui sont les principaux contaminants générés par les villes de petite à moyenne taille (1.000 à 100.000 habitants) avec un fort impact potentiel sur le milieu marin, les procédés de traitement sont ou bien généralement inefficaces ou bien trop coûteux. De plus, les courants et marées de la Méditerranée ne permettent pas une dispersion suffisante des effluents si le rejet est opéré à proximité de la côte.

Bien que, dans certains cas, des émissaires immergés aient présenté de faibles performances en raison de problèmes de maintenance et des dommages occasionnés par les tempêtes de l'hiver, par les bateaux de plaisance et de pêche, une conception judicieuse, les mesures de protection disponibles¹ et des programmes réguliers de maintenance et de surveillance peuvent garantir le fonctionnement approprié de ces dispositifs d'élimination qui présentent, entre autres avantages, de faibles coûts de fonctionnement et d'entretien, la possibilité de faire face à d'importantes variations saisonnières du débit et d'obtenir une dilution efficace qui est habituellement suffisante pour prévenir les effets négatifs dus au rejet de matières organiques et d'éléments nutritifs.

Pour ces raisons, dans la plupart des cas en Méditerranée, les émissaires d'eaux usées restent une meilleure option et une nécessité pour les déchets domestiques à

¹ La protection adéquate des émissaires est l'une des plus importantes précautions à observer de la part de l'ingénieur-concepteur. Des crédits suffisants devraient être réservés à cette fin lors de la construction de l'émissaire étant donné que les frais de réparation sont généralement élevés.

condition que des rejets multiples dans une même zone ne modifient pas les niveaux de fond. Pour les rejets industriels, on devrait toujours envisager leur épuration, qu'ils soient ou non éliminés par émissaire.

Le recours aux émissaires comme seul moyen d'élimination des eaux usées domestiques brutes peut toutefois comporter des limitations dans des situations bien particulières. Les principales situations que l'on peut recenser sont:

- a) Des rejets multiples de villes moyennes et petites dans la même zone, concentrés sur une faible distance, car leurs effets combinés peuvent modifier les niveaux de fond, notamment en ce qui concerne l'accumulation de matières organiques et d'éléments nutritifs. Dans ces cas, l'élimination des matières solides ou même le traitement biologique peuvent être nécessaires et ces petits émissaires multiples devraient être considérés comme constituant un rejet important et traités en conséquence.
- b) Les mers ou zones peu profondes où les modalités de circulation régionales bloquent le renouvellement des eaux, car les rejets non traités peuvent entraîner une accumulation de contaminants, un appauvrissement accru en oxygène et l'apparition de proliférations anormales d'algues. Quand ce sont là les conditions des eaux réceptrices, une épuration complète peut être également nécessaire.
- c) Quand la conchyliculture et d'autres activités d'aquaculture sont des ressources importantes dans la zone de rejet, la décroissance bactérienne ne peut être assurée et ne devrait pas être incluse dans la méthode de calcul. Dans ces cas, la désinfection et l'élimination des matières solides devraient toujours être envisagées.

En outre, les émissaires ne constituent pas une solution définitive mais temporaire. Les charges de matières décantables, d'éléments nutritifs et de substances toxiques devraient être réduites par un traitement approprié chaque fois qu'il est possible de le faire. Le traitement préalable par dégrillage devrait toujours être opéré avant rejet, de même qu'il conviendrait, au stade de la planification, d'évaluer les possibilités de réutilisation.

3. OBJECTIFS DE MILIEU ET NORMES DE QUALITE D'EAU

3.1 Protection de la santé publique et des écosystèmes marins

Pour comprendre les raisons ayant conduit à établir des lignes directrices concernant les émissaires de rejet en mer des eaux usées contenant des polluants, il y a lieu de récapituler les éléments du problème. Il y a des considérations d'ordre écologique et sanitaire en vue de préserver un niveau satisfaisant de qualité des eaux côtières, en prenant en compte le risque que la pollution de ces eaux fait courir aux espèces animales et végétales vivant dans la mer ainsi qu'à l'homme par son usage du milieu marin (baignade) et de ses produits (consommation d'organismes marins). Bien que moins fréquemment, le problème peut également s'énoncer ainsi: quelle est la "capacité réceptrice maximale" d'une zone côtière bien définie pour un polluant spécifique, par exemple des eaux usées urbaines, et quel est la meilleure configuration d'un émissaire pour répondre à cette capacité maximale?

Le risque que des êtres humains peuvent encourir par suite de la pollution marine provient avant tout de deux "usages" de la mer, à savoir la baignade et la consommation de produits de la mer (notamment s'ils sont consommés crus, ce qui concerne principalement les coquillages). Par conséquent, les réglementations instaurées comprennent habituellement deux séries de normes concernant la "baignade" et la "conchyliculture" et elles reposent sur la teneur maximale en polluants de l'eau de mer à des niveaux qui sont considérés comme acceptables pour ces deux risques.

3.2 Normes de qualité d'eau

La distinction entre risques pour l'environnement et risques pour l'homme des divers usages de l'eau devrait conduire à la formulation de "normes", exprimées en capacité réceptrice maximale de l'eau de mer pour des catégories précises de polluants les plus fréquemment rejetés dans le milieu marin avec les eaux usées.

Des objectifs de qualité d'eau pour la protection des usages bénéfiques du milieu marin ont été tenus pour nécessaires par la plupart des pays méditerranéens. Des critères de qualité des eaux de baignade et, dans une moindre mesure, des eaux conchylicoles, ont été publiés par ces pays, par la Communauté économique européenne et par les organisations internationales. Des plans de protection d'autres usages bénéfiques comme la pêche, l'agrément esthétique ou la faune et la flore sauvages n'ont généralement pas donné lieu à la mise au point de critères similaires.

Il est évident que les dispositifs d'élimination des eaux usées dans le milieu marin devraient être avant tout conçus en tenant compte des usages bénéfiques à protéger dans la zone affectée par le rejet. Par conséquent, les critères de qualité d'eau établis à partir de ces usages sont les principaux paramètres dans les calculs concernant le rendement d'un émissaire sous-marin.

Pour servir à la conception et au calcul d'un émissaire sous-marin, les critères de qualité d'eau doivent remplir les conditions de base ci-après:

- a) Les critères devraient être exprimés en termes de paramètres et valeurs susceptibles d'être directement intégrés dans la procédure de conception.
- b) Les critères et paramètres devraient se rapporter à l'usage bénéfique que l'émissaire sous-marin a pour fin de protéger. Ils doivent être associés aux conséquences sanitaires et écologiques, soit par une relation cause-effet directe soit par une relation statistique clairement définie.
- c) Les critères devraient pouvoir être atteints par les procédés techniques courants et prendre en compte les concentrations naturelles de fond dans les eaux de la Méditerranée.
- d) Bien que, aux fins du calcul des émissaires sous-marins, seules des valeurs moyennes seront utilisées, de manière à tenir compte de la variabilité naturelle et des modifications des paramètres de l'environnement, les critères de qualité d'eau devraient être définis sous une forme statistique.

Tableau 1

Critères de qualité des eaux de baignade recommandés aux fins de calcul

Paramètre	Unité	Percentiles		Remarques
		50%	90%	
A. Bactériologique				
1. Coliformes fécaux	n/100 ml	100	1.00	Baignade
2. Streptocoques fécaux	n/100 ml	100	1.00	Baignade
B. Physique				
3. Couleur	mg Pt-Col/l	10	30	*
4. Matières en suspension	mg/l	1.3VN	1.5VN	**
C. Chimique				
5. Oxygène dissous	mg/l	6	5	Surface
6. Azote ammoniacal	mg N/l	0.05	0.12	
7. Orthophosphate dissous	mg P/l	0.02	0.05	

* A observer au point de remontée à la surface du panache

** VN = Valeur normale dans la zone avant le rejet

Les critères de qualité de l'eau de baignade recommandés qui peuvent servir de paramètres pour la conception des émissaires sous-marins sont énumérés sur le tableau 1. En 1985, les Etats méditerranéens ont adopté des critères provisoires basés uniquement sur les coliformes fécaux, mais les streptocoques fécaux constituent un important paramètre complémentaire. Dans le cas des eaux conchylicoles, les critères et normes actuellement utilisés sont basés sur les concentrations bactériennes dans les mollusques, et non dans les eaux proprement dites. En raison des variations du facteur de concentration et de l'apport, aucune corrélation déterminée n'a été établie jusqu'à présent entre les concentrations dans les mollusques et celles dans l'eau ambiante. Une recommandation formulée en 1986 par l'OMS et le PNUE a proposé une concentration maximale de 10 coliformes fécaux par 100 ml dans au moins 80% des échantillons, et une concentration maximale de 100 coliformes fécaux par 100 ml dans 100% des échantillons. Les critères de qualité adoptés en commun par les Etats méditerranéens en 1987 imposent une concentration maximale de 300 coliformes fécaux par 100 ml de mollusque (chair + liquide intervalvaire) dans au moins 75% des échantillons pour l'acceptabilité de l'eau d'élevage.

Pour le calcul et le contrôle de l'impact de l'émissaire, les coliformes fécaux et les streptocoques fécaux peuvent être retenus comme polluants non conservatifs soumis à une décroissance bactérienne exponentielle. L'oxygène dissous devrait être évalué en prenant en compte la consommation d'oxygène due à la dégradation bactérienne des matières organiques. L'azote ammoniacal et l'orthophosphate dissous devraient enfin être considérés comme des polluants conservatifs tandis que les critères de couleur, de matières en suspension et de pH sont fournis pour être appliqués au point supérieur du panache ascensionnel. Tous ces critères présentés sur le tableau 1 sont des recommandations techniques; seule la limite pour les coliformes fécaux dans les eaux de baignade est une norme acceptée sur une base commune en Méditerranée.

La réunion consultative sur les principes directeurs pour les émissaires sous-marins en Méditerranée (EUR/ICP/CAH 085), tenue à Madrid du 3 au 5 juillet 1989, a proposé que la conception et le calcul des émissaires immergés de rejet des eaux usées ménagères dans la mer prennent toujours en compte le degré d'ouverture de la zone affectée et la réserve d'une bande de 300 m de large, parallèle à la ligne de base de la côte ou de la zone affectée, où aucun rejet ne devrait être effectué quel que soit le traitement appliqué à l'effluent ou la dilution obtenue dans l'émissaire. Aux fins de calcul, les critères de qualité d'eau devraient être appliqués à la limite externe de cette bande.

Des critères de qualité d'eau peuvent aussi être fixés de manière à servir d'instrument de contrôle et d'évaluation du rendement des émissaires sous-marins. Un ensemble complet de critères destinés à cet usage est inclus dans le tableau "normes d'effluent" des présentes lignes directrices. Ils ne sont inclus ici qu'au titre de références pour la surveillance continue des rejets d'eaux usées ménagères dans la mer et ne devraient pas être retenus comme paramètres de conception ou comme substituts de normes nationales quand celles-ci sont disponibles.

3.3 Normes d'effluent

Le rejet des eaux usées brutes ou prétraitées par des émissaires sous-marins devrait être limité aux effluents domestiques ne contenant pas de charges élevées de substances persistantes, bioaccumulables ou toxiques. Les rejets industriels devraient toujours être soumis à traitement avant rejet dans le milieu marin.

Dans la plupart des situations prévalant en Méditerranée et pour les émissaires de petites à moyennes dimensions, il devrait être normalement suffisant, pour rester en deçà de la capacité réceptrice des eaux côtières, que les conditions sus-mentionnées soient maintenues lorsqu'on envisage l'ensemble des rejets dans la zone affectée.

Au titre de garantie supplémentaire que le rejet n'excédera pas la capacité réceptrice du milieu marin, certaines normes d'effluent de base peuvent être appliquées aux émissaires de moyennes à grosses dimensions desservant des villes de plus de 50.000 habitants. Un ensemble de ces normes est proposé sur le tableau 2. Ces normes d'effluent sont exprimées sous une forme statistique pour permettre leur contrôle par l'autorité qualifiée.

4. CARACTERISTIQUES DES EAUX USEES ET DU MILIEU

4.1 Caractéristiques des eaux usées

Les caractéristiques des eaux usées (débit et charge) sont normalement obtenues à partir de diagrammes ou par extrapolation de valeurs unitaires courantes relevées dans la bibliographie. Comme il s'agit d'un des principaux paramètres pour la plupart des calculs concernant l'émissaire, il convient de mener une courte campagne d'échantillonnage pour vérifier l'ordre de grandeur de ces valeurs, en mesurant au moins la répartition horaire du débit du rejet sur une journée (la fin de la semaine ouvrable étant le meilleur choix, avec la saison pluvieuse), ainsi que les concentrations moyennes d'ammoniac, de matières en suspension et la couleur moyenne des eaux usées. Pour les concentrations moyennes de coliformes fécaux, de streptocoques fécaux et d'orthophosphate dissous, il suffit habituellement d'utiliser les valeurs communiquées dans la bibliographie (voir tableau 3). Dans tous les cas, les données obtenues *in situ* devraient être confrontées avec le débit

théorique obtenu à partir du nombre d'habitants desservis par le réseau d'assainissement, de la superficie drainée et du régime de pluies propre à la zone.

4.2 Caractéristiques du milieu

Bien que les présentes lignes directrices soient destinées à aider à la conception d'émissaires sous-marins de petites à moyennes dimensions pour lesquels on ne dispose guère de crédits pour l'étude des paramètres environnementaux servant au choix du site d'implantation et au calcul, certains travaux préliminaires sont néanmoins indispensables à une conception correcte. L'étendue et le degré de détail de ces études sera indubitablement fonction de des dimensions de l'émissaire. Trois fourchettes de dimensions peuvent être envisagées quand on décide de l'étendue et du degré de détail: "très petites" ou desservant moins de 1.000 habitants, "petites" ou desservant de 1.000 à 10.000 habitants, et "moyennes" ou desservant plus de 10.000 habitants.

Les paramètres ou caractéristiques du milieu à prendre en compte ou à étudier dans le choix du site d'implantation et le calcul d'un émissaire sous-marin de petites à moyennes dimensions dans les situations prévalant en Méditerranée sont:

- a) Caractéristiques requises pour la construction de l'émissaire:
 - Topographie et bathymétrie (diagrammes et cartes à l'échelle appropriée);
 - Matériaux et morphologie du fond.
- b) Caractéristiques requises pour l'établissement des objectifs de qualité d'eau:
 - Degré d'ouverture de la côte;
 - Activités et rejets d'eaux usées dans un secteur de 20 km autour du site d'implantation retenu pour l'émissaire et zones sensibles de ce secteur.
- c) Paramètres requis pour le calcul du rendement de l'émissaire:
 - Courants de surface prédominants et régime des vents;
 - Débit d'eaux usées et charge de contaminants.
- d) Autre paramètres que l'on devrait seulement mesurer dans des situations spéciales²:
 - Mesures continues des courants;
 - Coefficients de dispersion;
 - T90 pour les coliformes fécaux et les streptocoques fécaux;
 - Profil des températures;
 - Peuplements benthiques.

² Bien que ces paramètres ne soient pas toujours utilisés dans le mode de calcul proposé dans les lignes directrices, il doivent être pris en compte quand les crédits disponibles ou la fragilité des zones d'impact permettent et nécessitent une analyse plus détaillée.

Tableau 2

Normes d'effluent courantes

Contaminants	Unités	Valeurs des limites					
		Zones ouvertes			Zones confinées		
		Percentiles			Percentiles		
	50%	90%	Maxim.	50%	90%	Maxim.	
1. Graisses et huiles	mg/l	25	40	75	5	10	30
2. Matières décantables	mg/l	1	1.5	3	2	3	6
3. Turbidité	FTU	75	100	250	50	75	150
4. pH	--	--	--	6-9	--	--	6-9
5. DBO ₅	mg/l	300	400	600	100	150	250
6. Azote organique*	mgN/l	--	--	--	5	7	20
7. Azote oxydé*	mgN/l	--	--	--	3	6	12
8. Phosphore total*	mgP/l	--	--	--	1	1.5	3
9. Couleur	**	--	--	1:40	--	--	1:20

* Ces limites sont à observer dans les zones où une eutrophisation est possible.

** Plus de 10% de la valeur de référence ne devrait être décelé au delà de 10 cm avec la dilution indiquée

Tableau 3

Paramètres de conception pour les eaux usées domestiques (temps sec)

Débit de conception	7 l/s.1000 hts
Coliformes fécaux	10 ⁷ CF/100 ml
Streptocoques fécaux	2,10 ⁶ SF/100 ml
Azote ammoniacal	7,5 kg/j.1000 hts
Orthophosphate dissous	3 kg/j.1000 hts
Matières en suspension	80 kg/j.1000 hts

L'étendue et le degré de détail des études servant à identifier et à mesurer ces caractéristiques seront fonction des dimensions de l'émissaire. La méthodologie à employer pour chacune d'entre elles et les valeurs par défaut pour la plupart des situations méditerranéennes sont récapitulées au paragraphes suivants.

4.2.1 Topographie et bathymétrie

Des cartes de bonne qualité et détaillées des zones du littoral et du fond où l'émissaire est prévu sont toujours nécessaires. Des échelles de 1:50.000 avec les courbes de niveau du fond marin sont normalement suffisantes pour l'étude de la zone de rejet et le choix du site d'implantation adéquat de l'émissaire.

La plupart des pays méditerranéens ont publié des cartes topographiques et des cartes nautiques de bonne qualité à l'échelle voulue que l'on peut se procurer sur place sans grandes difficultés. Néanmoins, il est toujours recommandé de réaliser un profil bathymétrique détaillé du tracé en long total de l'émissaire pour identifier d'éventuelles barres de sable, les matériaux du fond, les saillies rocheuses ou tout autre facteur susceptible d'entraver la construction. En recourant à des sondes manuelles et une petite embarcation, ces profils détaillés peuvent être réalisés en une seule journée à un coût très modique³.

4.2.2 Matériaux et morphologie des fonds

Des échantillons des fonds peuvent être obtenus aisément au moment du sondage du profil que l'on vient de mentionner. Une inspection directe par des plongeurs à scaphandre autonome dans la zone de houle est aussi utile pour décider des options possibles de protection. Il est également commode et réalisable à faible coût d'effectuer une reconnaissance superficielle des communautés benthiques les plus importantes, telles que les herbiers de posidonies⁴.

³ La mesure simultanée de la surface de la mer est toujours nécessaire pour corriger les sondages et les rapporter au niveau zéro.

⁴ On devrait éviter autant que possible les rejets à proximité immédiate (moins de 250-300m) des herbiers de posidonies. Les procédés de pose des conduites devraient être conçus en tenant compte de la limitation des dommages et des possibilités de restauration de ces communautés.

4.2.3 Degré d'ouverture de la côte

Le degré d'ouverture et la morphologie de la côte est l'une des principales caractéristiques à prendre en compte lors du choix du site d'implantation, de la conception et du calcul d'un émissaire sous-marin, car ils conditionnent la capacité de renouvellement. Il n'est pas rare d'avoir affaire à des émissaires sous-marins dont la longueur paraît suffisante pour une élimination efficace des eaux usées dans la mer, mais dont la longueur effective, du fait qu'ils prennent naissance à l'extrémité interne de zones fermées ou semi-fermées, se trouve grandement réduite quand le rejet n'atteint pas le large et a lieu au sein de la zone semi-fermée.

Le degré d'ouverture ou de confinement d'une zone donnée dépend manifestement de la rose des courants. Toutefois, pour la conception d'un émissaire sous-marin, dans la plupart des situations de la Méditerranée, la ligne de base définie à la section 3.2 devrait être tracée en reliant tous les points côtiers externes libres de la zone de l'émissaire qui ne sont pas séparés de plus de cinq milles marins (soit approximativement 9 km) et de moins de trois milles marins (soit approximativement 5,5 km).

4.2.4 Activités, zones sensibles et rejets

Dans un secteur couvrant 20 km autour du site d'implantation proposé de l'émissaire sous-marin, toutes les zones donnant lieu à des activités assujetties à des objectifs de qualité d'eau et toutes les zones sensibles susceptibles d'être affectées par le rejet devraient être étudiées et reportées sur des cartes appropriées. La distance entre le point de rejet et la ligne entourant ces zones et sites, en ménageant une bande de réserve de 300 m de large, servira aux calculs concernant la dilution obtenue par l'émissaire.

En vue d'évaluer le degré de saturation dans la zone affectée par suite d'autres rejets d'eaux usées, tous les rejets de ce type devraient être identifiés dans le secteur de 20 km autour du site d'implantation proposé de l'émissaire. La charge combinée de l'émissaire projeté et de tous les rejets existants dans l'aire de dilution ne devrait pas dépasser 10.000 personne-équivalents par hectomètre cube d'eau de mer⁵.

4.2.5 Courants et vents prédominants

L'étude des courants de surface prédominants devrait toujours être incluse dans la conception d'émissaires sous-marins. Bien que, pour des émissaires de très petites dimensions, on puisse admettre que les courants de surface se produisent en ligne droite entre le point de rejet et les zones affectées, à une vitesse de 30 cm/s, il est souhaitable de réaliser une courte enquête à l'aide de flotteurs à drogues au point de rejet projeté.

⁵ Pour vérifier cette condition, le volume correspondant à l'ensemble de la bande de 20 km avec une largeur égale à deux fois la longueur moyenne des émissaires qu'elle renferme peut être prise en compte. Il s'agit là, bien sûr, d'une méthode très approximative qui devrait être confirmée autant que possible par d'autres méthodes plus précises.

Ce type d'enquête est facile à réaliser à un coût modique puisqu'environ 10 à 20 flotteurs répartis par groupes peuvent être mis à l'eau et suivis par un seul bateau. Les trajectoires peuvent être suivies sans difficulté depuis la côte (en repérant le bateau servant à mettre à l'eau et à suivre les flotteurs) ou à partir du bateau lui-même (en mesurant la distance et la direction par rapport à une bouée ancrée au point de rejet), en relevant les positions à des intervalles de temps réguliers d'une heure à deux heures, puis en les reportant sur la carte.

Les études des courants de surface pour la conception des émissaires sous-marins devraient de préférence être effectuées sous diverses conditions climatiques, mais porter au moins sur une période estivale, quand les activités liées à la mer atteignent un point culminant. Trois à quatre jours d'enquête sont habituellement suffisants pour recueillir assez de données pour la conception.

L'étude du régime des vents dans la zone de rejet doit compléter les données des enquêtes *in situ* sur les courants de surface. Chaque fois qu'il existe, près du site d'implantation proposé de l'émissaire, une station météo dont les relevés peuvent servir à prédire la rose des vents dans la zone de rejet, les courants de surface peuvent être estimés en admettant qu'ils ont une vitesse égale à 1% de celle du vent, dans la même direction.

4.2.6 Autres caractéristiques

La plupart des manuels et lignes directrices pour la conception et le calcul des émissaires sous-marins recommandent la mesure et l'étude d'autres paramètres et caractéristiques des eaux réceptrices. Parmi les plus couramment préconisés, on citera les roses des courants obtenues au moyen de mesures continues, les coefficients de dispersion horizontale et verticale, le taux de décroissance bactérienne ou T90, les profils de température et de densité de l'eau, et les communautés benthiques. Bien qu'à l'évidence les renseignements fournis par ces paramètres permettent de mieux connaître la zone de rejet, s'agissant de la plupart des situations méditerranéennes et des émissaires de petites à moyennes dimensions, ils ne sont pas indispensables à une conception et à des calculs corrects, et les efforts nécessités par leur mesure à la précision voulue excèdent habituellement les ressources disponibles. Les valeurs normales sont données sur le tableau 4:

Tableau 4

Valeurs proposées pour les paramètres de calcul

Courants de surface	20-30 cm/s
Coefficient de dispersion horizontale	300 cm ² /s
Coefficient de dispersion verticale	100 cm ² /s
Coliformes fécaux T90	1,5-2,5 heures
Streptocoques fécaux T90	2,5-3,5 heures

Des mesures continues des roses de courants nécessitent le déploiement d'un groupe de courantomètres à diverses positions et profondeurs, sur de longues périodes de temps. Les mesures près de la surface présentent l'extrême difficulté de devoir recourir à un dispositif atténuateur de la houle. Le déploiement continu de courantomètres expose un

matériel très coûteux à des actes de vandalisme, de vol, ou à des dommages dûs au mauvais temps, et il réclame la compétence d'experts pour le traitement et l'interprétation de l'énorme masse de données obtenue. Ce type d'effort se justifie dans le cas de gros et longs émissaires, tandis que pour les émissaires de moyennes dimensions l'utilisation de flotteurs à drogues est habituellement suffisante.

Les coefficients de dispersion horizontale et verticale entrent dans la méthode de calcul de la dispersion ultérieure de la nappe d'eaux usées, une fois que le panache a atteint la surface. La mesure de ces paramètres nécessite la réalisation de campagnes *in situ* sous des conditions climatologiques différentes, en utilisant des drogues ou des colorants, et il faut la répéter un bon nombre de fois pour obtenir des résultats fiables. Les valeurs normales, en Méditerranée, du coefficient de dispersion horizontale se situent autour de 200-300 cm²/s, alors que celles du coefficient de dispersion verticale varient entre 70 et 100 cm²/s.

Comme la dispersion ultérieure ne contribue guère à la dilution totale dans les conditions prévalant habituellement en Méditerranée, il ne serait pas pleinement justifié d'entreprendre la mesure des coefficients de dispersion pour la conception des émissaires sous-marins de petites à moyennes dimensions. Les valeurs normales données ci-dessus, l'utilisation de la formule d'Elder ou de la "loi de 4/3" offrent en général une précision suffisante.

La détermination correcte de la décroissance bactérienne constante est encore plus compliquée que celle des coefficients de dispersion. De plus, le T90 varie grandement selon les organismes. Selon qu'il est mesuré au cours de la journée ou de la nuit, les résultats peuvent varier d'un ordre de grandeur et les virus ont une décroissance très faible lorsqu'ils sont rejetés dans l'eau de mer. Les valeurs normales de salubrité pour les conditions méditerranéennes sont de l'ordre de 2,5 heures pour les coliformes fécaux et de 3,5 heures pour les streptocoques fécaux, et l'on considère généralement qu'il suffit d'adopter ces valeurs pour la conception d'émissaires de dimensions petites à moyennes.

Les profils de température dans la zone de rejet servent à estimer la possibilité d'une capture du panache sous la surface en raison de la stratification densimétrique de l'eau de mer. La capture du panache réduit l'impact à la surface et le transport des polluants vers la côte, mais il peut entraîner une accumulation excessive de contaminants dans les couches du fond suivie d'une remontée à la surface et à proximité de la côte. La détermination précise des profils densimétriques est un exercice difficile et prenant du temps et qui nécessite également le recours à des enregistreurs permanents de température et de salinité. En outre, la stratification des masses d'eau de mer est un phénomène instable qui ne peut être prédit avec une grande précision. Par conséquent, pour la plupart des émissaires de petites à moyennes dimensions, il ne se justifierait pas de mener une telle étude.

La cartographie et la caractérisation des communautés benthiques constituent une autre étude du milieu généralement recommandée pour la conception des émissaires sous-marins. Toutefois, pour la plupart des situations, une enquête superficielle est habituellement suffisante et, comme dans le cas des paramètres exposés ci-dessus, des études détaillées excéderaient les ressources disponibles avec des incidences négligeables pour l'élaboration du projet.

5. PROCEDURE ET CALCULS DE CONCEPTION

Les procédures, simplifications et modèles proposés pour la conception ont été adoptés à la consultation sur les principes directeurs pour les émissaires sous-marins en Méditerranée (EUR/ICP/CAH 085) qui s'est tenue à Madrid du 3 au 5 juillet 1989. Il a également été décidé à cette réunion que la méthode de conception, le degré de détail et l'étendue des études de l'environnement seraient différents si l'émissaire était de très petites dimensions (villes de moins de 1.000 habitants), de petites dimensions (entre 1.000 et 10.000 habitants environ) ou de dimensions moyennes (plus de 10.000 habitants mais moins de 100.000-200.000).

5.1 Options de traitement préalable

Une certaine forme de prétraitement des eaux usées avant rejet est tenue pour essentielle à un fonctionnement correct d'un émissaire sous-marin. Les options s'offrant en matière d'épuration comprennent: (a) le dégrillage, (b) le contrôle de la pénétration d'air, (c) l'élimination des graisses et des boues flottantes, (d) le dessablage, (e) l'élimination des matières solides et (f) la désinfection par des processus naturels. Si la désinfection est appliquée, le calcul de la longueur d'émissaire nécessaire devra la prendre en compte, en ajustant en conséquence les valeurs initiales du rejet.

Un traitement biologique secondaire des eaux usées n'est pas jugé nécessaire pour les émissaires sous-marins de moyennes à petites dimensions étant donné la capacité réceptrice dans la plupart des situations en Méditerranée, les difficultés et le coût de l'exploitation et de la maintenance de ces procédés, lesquels sont néanmoins techniquement valables. C'est seulement quand l'effet combiné des rejets multiples dans la même zone peut excéder cette capacité réceptrice que le traitement secondaire devrait être envisagé.

La désinfection au chlore n'est également pas recommandée en raison des problèmes d'exploitation et de maintenance, du rendement peu fiable et de la possibilité d'effets adverses sur l'environnement (voir appendice II). Bien que la décroissance bactérienne et la dilution ne garantissent pas pour leur part la disparition des virus dans l'eau de mer, de même, à moins qu'on ne dispose dans la région d'une bonne compétence technique, la désinfection à l'ozone n'est pas recommandée non plus pour les petits émissaires en raison de ses coûts plus élevés et des difficultés d'exploitation.

La commodité d'exploitation et de maintenance, la faible consommation d'énergie, les faibles coûts de construction et de main d'oeuvre, et le traitement approprié destiné aux contaminants afférents à un rejet dans le milieu marin devraient être les principales conditions à prendre en considération quand on décide du traitement à appliquer. Les principales caractéristiques des traitements recommandés pour les émissaires sous-marins sont:

Dégrillage. Le traitement par passage à travers des grilles est nécessaire dans tous émissaires (même les très petits) pour l'élimination des grosses matières solides qui auraient sinon un effet négatif important sur la qualité esthétique des eaux réceptrices. Les grilles sont également nécessaires pour empêcher l'obstruction des diffuseurs.

Les **grilles**, qui peuvent être nettoyées mécaniquement ou manuellement, sont un dispositif courant et simple, ne présentent pas de perte de charge importante (environ 10 cm) et sont faciles à construire et entretenir. Pour les émissaires sous-marins, deux ou plusieurs unités devraient être installées, de préférence du type nettoyage mécanique, avec un écart des barres de 1-2 cm.

Contrôle de la pénétration d'air. Le contrôle de la pénétration d'air dans la canalisation est d'une suprême importance pour prévenir l'un des principaux risques qu'encourent les émissaires sous-marins: la flottaison. Les dispositifs de régulation de l'air doivent être intégrés dans la conception; ils peuvent être associés à l'élimination des écumes et boues flottantes, mais les meilleurs résultats sont obtenus quand ils consistent en une simple cheminée d'équilibre. Le temps de séjour minimum pour la cuve située sous la cheminée devrait être de 1-5 mn à débit maximal.

Élimination des graisses, des écumes et boues flottantes. La séparation des matières flottant facilement véhiculées par les eaux usées peut être opérée dans des cuves où on les laisse remonter à la surface, tandis que les eaux usées s'échappent sous un écumeur situé à l'extrémité opposée à l'arrivée. Les temps de séjour types se situent entre 5 et 15 minutes.

Les **séparateurs de graisses**, ainsi qu'ils sont communément appelés, sont des dispositifs simples, faciles à construire et ayant une incidence favorable sur la partie la plus visible du rejet. Mais leur emploi est restreint aux émissaires petits à très petits en raison de problèmes d'exploitation associés à l'indispensable élimination régulière des matières qui s'accumulent à la surface de la cuve. La production d'odeurs complique également le recours à ces séparateurs.

Dessablage. L'élimination du sable transporté par les eaux usées est habituellement jugée nécessaire afin de prévenir son accumulation dans la conduite. Cependant, dans la plupart des émissaires, les vitesses de transfert suffisantes qui sont prévues permettent d'éviter ce problème sans avoir à encourir les coûts et les problèmes d'exploitation entraînés par ce traitement.

Quand le dessablage est nécessaire du fait de vitesses insuffisantes dans la canalisation ou d'une production excessive, on le réalise au moyen d'une chambre à sable où ce dernier dépose, tandis que la plupart des particules organiques restent en suspension. Pour les émissaires de petites à moyennes dimensions, le meilleur choix consiste en un canal horizontal à vitesse constante et à section parabolique conçue pour maintenir une vitesse aussi proche que possible de 0,3 m/s.

Élimination des matières solides. L'élimination des matières en suspension est une opération coûteuse qui nécessite la construction et l'exploitation d'une station d'épuration des eaux usées. En dépit du coût et des problèmes d'exploitation d'une telle station, l'élimination des matières solides devrait être intégrée dans tout émissaire desservant des villes de plus de 50.000 habitants, et elle est recommandée dans les émissaires desservant plus de 10.000 habitants, car la sédimentation des matières et la turbidité comptent parmi les plus importants impacts écologiques néfastes des rejets d'eaux usées dans le milieu marin.

L'élimination des matières solides peut être réalisée par micro-criblage, sédimentation et flottaison. Pour la plupart des situations, le micro-criblage et notamment la sédimentation constituent le meilleur choix en raison de leur faible coût et de leur simplicité, bien que la maîtrise des odeurs ait à être envisagée quand la station est située à proximité de la côte. La flottaison assure le meilleur degré d'épuration, mais il s'agit d'un procédé complexe qui requiert davantage d'énergie et de maintenance que la sédimentation ou le micro-criblage. Les critères de conception et les valeurs normales sont disponibles dans la bibliographie.

Désinfection par les procédés naturels. La désinfection chimique par le chlore ou l'ozone présente des problèmes en raison de son coût, des difficultés d'exploitation et du rendement peu fiable. Quand la désinfection est nécessaire par suite de l'existence d'activités sensibles dans la zone affectée par le rejet, la meilleure solution pratique consiste à utiliser des bassins peu profonds, qui assurent aussi une bonne élimination des matières solides et un certain degré d'épuration. Le lagunage des eaux usées avant rejet est vivement recommandé pour les sites où l'espace au sol fait défaut.

Le **lagunage** devrait consister en deux ou trois bassins en série, l'un à côté de l'autre, d'un demi-mètre de profondeur, avec un temps de séjour d'environ trente jours pour l'ensemble du système (1 à 2 hectares par millier d'habitants sont généralement suffisants). Bien que le lagunage nécessite habituellement le pompage de l'effluent à terre, dans de nombreuses petites villes méditerranéennes il y a suffisamment d'espace au sol disponible à faible coût pour ce type de traitement qui offre en outre l'avantage de permettre l'utilisation agricole de tout ou partie de l'effluent. Le lagunage, qu'il s'agisse d'épuration par désinfection naturelle ou d'un traitement préalable pour réutilisation agricole, est une bonne option pour les petits émissaires (jusqu'à 10.000 habitants) et son effet sur l'effluent devrait être pris en compte dans le calcul de la longueur requise d'émissaire. Une étanchéisation adéquate du bassin de lagunage pour éviter la contamination de la nappe aquifère est aussi une importante précaution à prendre.

5.2 Principes de conception

Les principaux principes devant régir la conception, le choix du site et le calcul d'un émissaire sous-marin dans la plupart des situations de la Méditerranée sont:

- a) Les émissaires sous-marins devraient toujours se terminer dans des eaux côtières ouvertes où des rejets multiples dans la même zone n'affectent pas les niveaux naturels de fond. Les rejets au sein de zones confinées ou dans la bande de réserve de 300 m devraient être évités autant que possible.
- b) Comme la dilution initiale est essentielle, il faudrait absolument s'employer à aménager l'émissaire de manière à ce que le point de rejet soit situé à la plus longue distance des zones à protéger et à la plus grande profondeur que l'on puisse atteindre compte tenu du coût. Les techniques modernes de pose des conduites confèrent moins d'importance à la longueur et à la profondeur totales de l'émissaire dans le coût global du projet⁶.

L'utilisation de diffuseurs augmente la dilution initiale au point de rejet. Les orifices des diffuseurs doivent avoir un diamètre minimum de 10-15 cm, une surface combinée totale n'excédant pas 75% de la section transversale de la conduite et un espacement égal au quart de la profondeur. Pour les petits émissaires, il est souhaitable d'adopter un exutoire de rejet unique au bout de la conduite pour prévenir l'obstruction des diffuseurs.

⁶ L'utilisation de conduites en plastique permet de poser en une journée un segment d'émissaire pouvant atteindre 1.000 m de longueur et 1 m de diamètre. Ces matériaux résistent à la corrosion, s'adaptent aux mouvements normaux du fond marin et sont exempts de fuites car ils ne comportent pas de joints.

La longueur effective (distance entre le point de rejet et la limite externe de la bande de réserve de 300 m) doit être supérieure à 1.500 m et la profondeur du point de rejet ne devrait pas être inférieure à 15 m. Ces conditions étant réunies, il peut être admis que le rejet de très petits émissaires n'aura pas d'effets négatifs dans la plupart des situations prévalant en Méditerranée, quels que soient les résultats du calcul de la dilution, de la dispersion et de la décroissance bactérienne.

La dilution à la limite externe de la bande de réserve de 300 m devrait atteindre une valeur minimum de 10^5 quand on combine les effets de l'ascension du panache, de la décroissance bactérienne et de la dispersion du nuage par les courants de surface. La contribution de la décroissance bactérienne devrait être limitée à un maximum de 10^2 . La réunion d'experts de Madrid a même recommandé que la dilution apparente due à la décroissance bactérienne ne soit pas prise en compte lors des calculs du rendement des émissaires. Cette ferme recommandation se fonde sur les valeurs nocturnes du T90 pour la plupart des organismes indicateurs et sur la persistance prolongée des virus pathogènes dans l'eau de mer.

La conception devrait être adaptée à la pire situation possible. Par conséquent, les avantages éventuels de la capture de l'effluent ne devraient pas être pris en compte étant donné l'instabilité de ce phénomène.

La vitesse de conception dans la conduite devrait être d'environ 1 m/s. Pour prévenir l'obstruction des diffuseurs, la vitesse du rejet devrait atteindre 1 m/s à une fréquence suffisante, mais ne devrait pas dépasser 2 m/s pour réduire les pertes de charge.

Le pompage devrait être évité si une charge suffisante est disponible, en raison des coûts d'énergie et de maintenance qu'il implique.

Dans les lieux où des variations spectaculaires du débit se produisent entre les saisons estivale et hivernale, l'égalisation et le pompage devraient être envisagés. Le recours au lagunage est aussi très efficace et devrait être pris en considération chaque fois qu'il est réalisable.

Le choix du site de l'émissaire devrait autant que possible être décidé en tenant compte de l'existence de communautés benthiques sensibles comme les herbiers à posidonies. Pour prévenir tout dommage, le rejet devrait être placé à une distance de 250 à 300 m de ces communautés, si cela est possible au plan économique.

5.3 Méthode de calcul

La présente méthode de calcul est une version simplifiée pour les caractéristiques spéciales des émissaires de petites à moyennes dimensions en Méditerranée et elle n'est pas incompatible avec d'autres méthodes recommandées dans la bibliographie.

Pour le calcul du rendement des émissaires sous-marins, les critères de qualité fixés en fonction des activités ayant lieu dans la zone affectée sont confrontés avec la concentration des polluants pertinents après dilution, dispersion et dégradation, dans le cas de paramètres non conservatifs. Les étapes à suivre sont les suivantes:

- a) Sur les cartes appropriées, tracer la ligne de base côtière et recenser les activités affectées dans la zone. Pour chacune de ces activités, fixer les objectifs et critères de qualité d'eau et tracer la bande de réserve de 300 m autour d'elles pour obtenir la distance de parcours à partir du point de rejet. Au moyen de la vitesse des courants de surface (mesurée ou fixée à 30 cm/s) calculer le temps de parcours.
- b) Avec le débit maximal d'eaux usées par temps sec et le rejet par temps de pluie, établir le diamètre de la conduite, le nombre d'orifices, leurs diamètres et leur espacement.

Comme le montre la figure 4(a), si P_0 est l'orifice de rejet, où les eaux usées ont une concentration initiale C_0 , le problème de calcul consiste à estimer les concentrations C_s et C_c (fig. 4(b)) aux points P_s (surface) et P_c (ligne côtière).

La dilution initiale due à la dispersion du panache et la dilution apparente due à la décroissance bactérienne pour la distance et le temps de parcours calculés ci-dessus sont obtenues au moyen des formules données à l'appendice III. Corriger la décroissance bactérienne au maximum de 10^2 et calculer la dilution globale en multipliant ces trois dilutions.

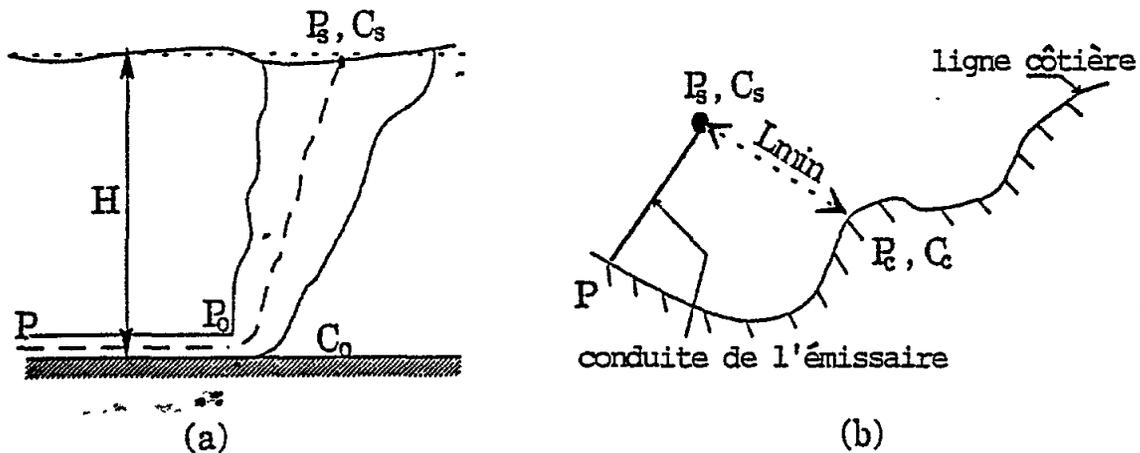


Figure 4. Dilution des eaux usées: (a) sur un plan vertical, et (b) à la surface de la mer.

Vérifier que la dilution initiale est supérieure à 150 et la dilution globale à 10^5 . Comparer les critères de qualité d'eau avec les concentrations de contaminants obtenues dans les zones affectées pour les débits de rejet maximaux par temps sec et à la saison pluvieuse.

Après avoir comparé les critères de qualité avec la concentration des contaminants pertinents à la limite de la bande de réserve, corriger en conséquence le site d'implantation, la longueur et la profondeur de l'émissaire, et répéter le calcul jusqu'à ce que la conception

soit ajustée pour obtenir les critères d'eau requis dans les zones auxquelles s'appliquent lesdits critères.

5.4 Exemple d'application

Soit l'émissaire d'une ville côtière de la Méditerranée de 30.000 habitants que l'on a à concevoir. Un site d'implantation disponible, où la profondeur de l'eau est de 20 m, est situé à une distance de 1.800 m d'une plage de baignade.

Calculer la dilution des eaux usées et vérifier si les normes de qualité d'eau sont remplies à la plage de baignade.

- (a) Pour le débit par temps sec, les paramètres de conception donnés sur le tableau 3 peuvent être retenus. Le débit d'eaux usées à l'émissaire se calcule comme suit:

$$Q = (30.000) \times 7 / (1.000) = 30 \times 7 = 210 \text{ l/s} = 21 \text{ m}^3/\text{s}$$

Si un diffuseur de longueur $L = 300 \text{ m}$ est fourni, le débit par unité de longueur est donné par la formule suivante:

$$q = Q/L = 0,21/300 = 7 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s/m}$$

- (b) La dilution initiale (D_1), la décroissance bactérienne (D_2) et la dispersion ultérieure (D_3) sont estimées au moyen des formules données à l'appendice III.

Dilution initiale (D_1) (appendice III, formule III.2(a))

$$D_1 = (0,38)g^{1/3} Hq^{-2/3} = (.38)(.267)^{1/3}(20)(7 \times 10^{-4})^{-2/3} \approx 620$$

Décroissance bactérienne (D_2) (appendice III, III.3)

Si l'on admet une vitesse de courant: $V = 30 \text{ cm/s}$, le temps de parcours t à la plage de baignade est

$$t = \frac{1800}{(30 \cdot 10^{-2})3600} = 1.67 \text{ h}$$

Avec $T_{90} = 2,5 \text{ h}$, nous avons la décroissance bactérienne ci-après:

$$D_2 = 10^{(t/T_{90})} = 10^{(1.67/2.5)} \approx 4.66$$

Dilution due à la dispersion (D_3): on admettra qu'elle est égale à 10 (appendice III, III.4).

- (c) La concentration des eaux usées après la dilution initiale, la décroissance bactérienne et la dispersion sera obtenue par la formule suivante:

$$C = \frac{C_0}{D_1 D_2 D_3}$$

où C_0 est la concentration initiale. Pour les coliformes fécaux, $C_0 \approx 10^7$ FC/100 ml (tableau 3). Par conséquent, nous obtenons

$$C = \frac{10^7}{(620)(4.66)(10)} = 346 \text{ FC/100 ml}$$

Si l'on compare avec les critères de qualité d'eau de baignade (tableau 1), cette valeur se situe entre 90% (1000) et 50% (100) des percentiles acceptables. Ce pourrait être une concentration acceptable. Une dilution plus poussée des eaux usées peut être obtenue en augmentant la profondeur de l'eau (H) ou la distance (L) du site de l'émissaire.

6. SURVEILLANCE DES EMISSAIRES SOUS-MARINS

Une surveillance régulière devrait être exercée sur tous les émissaires de dimensions moyennes à importantes desservant des villes de plus de 50.000 habitants, et sur les rejets industriels. Les normes d'effluent devraient être contrôlées tous les mois, les critères de qualité d'eau tous les cinq ans. Le rendement des petits émissaires urbains peut être contrôlé indirectement par des programmes de surveillance régulière des eaux de baignade et des eaux conchylicoles.

Pour permettre le contrôle des effluents, tous les émissaires, même ceux de petite taille, devraient être conçus avec des installations adéquates pour l'échantillonnage et la mesure du rejet.

Les dispositifs de mesure susceptibles d'être employés pour les émissaires sous-marins comprennent les déversoirs de Parshall et les déversoirs de Palmer-Bowlus, s'ils sont situés dans le canal à ciel ouvert, et les tubes ou tuyères de Venturi s'ils sont situés dans la conduite. Des récipients gravimétriques et volumétriques servent à calibrer ces dispositifs dont la description et les critères de conception figurent en détail dans la bibliographie courante (consulter Metcalf et Eddy pour les références). Un accès commode aux trous d'homme et aux conduites de décharge constitue habituellement la meilleure solution pour l'échantillonnage de l'effluent.

Le programme de surveillance continue de la qualité d'eau devrait consister en enquêtes intensives. Des mesures répétées à la surface et le long du profil vertical d'un maillage d'environ 12 points situés à la terminaison de l'émissaire et autour de celle-ci, avec un prélèvement de sédiments à des distances de 100 et 500 m, devraient être effectuées pour permettre une évaluation correcte du rejet. Deux à quatre enquêtes de ce type, portant sur chaque saison pendant environ une semaine tous les cinq ans, doivent être en principe suffisantes pour l'évaluation du rendement et des effets de l'émissaire.

La surveillance des émissaires sous-marins ne devrait pas se borner aux études de qualité d'eau, des concentrations d'effluent ou de contamination des sédiments. Le contrôle régulier, de préférence chaque année, de l'état matériel de l'ouvrage est également important. Il devrait comporter l'identification des dommages éventuels provoqués par la houle et par la navigation, ainsi que de la perte de la capacité de charge de la canalisation en raison des dépôts des eaux usées ou de l'obstruction des diffuseurs.

L'inspection directe de la conduite est une activité difficile et onéreuse. Des résultats bien meilleurs s'obtiennent avec l'adjonction d'une petite quantité d'un colorant traceur qui permet de repérer l'existence de tout jeu des joints, d'une fuite ou d'une rupture de la conduite, ainsi que l'état des orifices de rejet. Ce type d'inspection peut être effectué chaque année, au cours du printemps, après les tempêtes de l'hiver, afin de recenser les dommages subis par l'émissaire tout en disposant d'un temps suffisant pour les réparer avant le début de la saison estivale (bien que de meilleures conditions météorologiques semblent favoriser la réalisation de ces contrôles au cours de l'été, l'émission de colorants est à restreindre à cette époque de l'année en raison de l'impression fâcheuse qu'elle pourrait faire sur les baigneurs et les estivants).

Des pertes de charge excessives dans la conduite peuvent être vérifiées en mesurant la charge hydraulique disponible à l'entrée et la vitesse d'écoulement. Grâce à de simples calculs hydrauliques de ces mesures et aux pertes de charge théoriques obtenues au moyen des données de conception, il est facile d'évaluer une éventuelle obstruction dans la conduite.

7. PRECAUTIONS DE CONSTRUCTION ET MAINTENANCE

Les émissaires sous-marins sont une bonne solution pour l'élimination des eaux usées des villes de moyenne à petite taille en Méditerranée car ils sont d'une construction facile, ne comportent pas de maintenance importante, de grosses difficultés de fonctionnement et de coûts élevés, et ils permettent de protéger efficacement la qualité des eaux côtières. Les conditions adéquates de rejet exposées plus haut étant acquises, la conception et la construction de ces ouvrages devraient viser avant tout à réduire les problèmes d'exploitation et de maintenance.

La maintenance régulière requise pour les émissaires est minime. Elle se borne principalement à des activités de contrôle, à l'exploitation et au nettoyage du système de traitement préalable, conjointement à l'élimination appropriée des résidus solides générés. Une maintenance importante n'est nécessaire que lorsque l'émissaire subit des dommages et des fuites qui réduisent la distance et la profondeur du rejet, ou lorsqu'il est obstrué par des dépôts solides ou l'envahissement d'organismes marins.

L'obstruction de l'émissaire peut être évitée par une conception pertinente des orifices de rejet et par des inspections régulières, ainsi qu'il a été exposé plus haut. Si malgré tout elle survient, il est facile et peu coûteux de dégager la conduite, soit manuellement, soit en pompant des débits élevés sur une courte période. Des ruptures de l'émissaire, ou même des fuites réduites, nécessitent beaucoup plus de crédits car la réparation des dommages des ouvrages sous-marins est généralement une tâche difficile et coûteuse. On devrait donc s'efforcer dans toute la mesure du possible d'assurer une protection suffisante de l'émissaire à la phase de construction; le coût est moins élevé et il est plus facile d'obtenir des fonds pour une action préventive représentant une faible dépense supplémentaire que pour une action réparatrice.

Les principales causes des ruptures, fuites ou même détérioration complète des émissaires sont l'action de la houle, l'impact direct des ancres et engins de pêche des bateaux de plaisance et de pêche, et la flottaison. Les variations saisonnières naturelles des profils du fond avec défaut d'adaptation de la conduite sont également une cause importante de fuite de l'émissaire.

Pour éviter la flottaison, il est important et généralement suffisant d'empêcher la pénétration d'air dans la conduite en aménageant une chambre à air avant son extrémité côté terre, et d'adopter un profil vertical ne présentant pas de courbures ou de poches où l'air pourrait s'accumuler. Le lestage de la conduite, ou même son ancrage, dépendra du type de matériaux utilisés. On trouve dans la bibliographie de nombreux exemples pouvant servir à décider du type et du poids du lest requis, et les fabricants communiqueront au concepteur les renseignements complémentaires utiles plus spécifiques à chaque matériau.

La protection contre l'action de la houle peut être obtenue en enfouissant la conduite ou en la recouvrant d'une digue, et devrait porter sur toute la bande d'action de la houle pour les différentes saisons de l'année⁷. Une conception détaillée de cet ouvrage de protection nécessite de déterminer la hauteur de la houle de projet (comme les vagues retombent à une profondeur égale à leur hauteur x 0,7, on a donc là la profondeur que la protection devrait atteindre), mais pour la plupart des situations en Méditerranée, et notamment dans le cas des émissaires de moyennes à petites dimensions, la meilleure solution consiste à enfouir la conduite à une profondeur égale à 4 m, mesurée à partir de la surface de l'eau lors du niveau le plus bas de la marée.

Pour protéger la conduite contre les ancres et les engins de pêche, la seule solution satisfaisante consiste à l'enfouir ou à la couvrir avec du lest et des enrochements à une profondeur de 10-15 m. Bien que le lest jeté de la surface soit onéreux, c'est la meilleure option pour les émissaires de moyennes à petites dimensions, et qui est payante à long terme. Pour enfouir la conduite, il existe diverses solutions qui comprennent l'ouverture d'une tranchée avant la pose de l'émissaire ou son creusement parallèlement à la conduite au moyen d'un matériel actionné à la main (voir figure 3 pour le détail des mesures de protection proposées).

La nature mobile du fond de la mer entraîne la nécessité de prescriptions supplémentaires pour l'émissaire sous-marin; ce dernier doit pouvoir s'adapter aux modifications et mouvements légers sans que se produisent de ruptures ou de fuites au niveau des joints. Bien qu'elle soit plus coûteuse que l'utilisation du béton, pour les émissaires de taille moyenne à petite, la meilleure solution est de recourir à des matières plastiques ou à l'acier qui peuvent s'adapter sans problème à ces modifications. Les plastiques du type polyéthylène à haute densité ou PCV sont devenus une bonne alternative ces dernières années comme ils n'entraînent pas de problèmes de corrosion et peuvent être assemblés sur la côte en très longues sections (jusqu'à 1.000 m) sans joints qui sont posés en une journée.

Au titre de précaution supplémentaire contre les dommages dus aux ancres et aux engins de pêche, les émissaires sous-marins devraient être signalés par des bouées bien

⁷ Il est bien connu, mais rarement mis en pratique par les ingénieurs-concepteurs, que les profils côtiers changent selon la saison et que les linéaires côtiers constituent un système mobile et changeant.

visibles à leur extrémité terminale et à chaque courbure de la partie non protégée, pourvues de panneaux également bien visibles interdisant de jeter l'ancre ou de pêcher dans un rayon de 200 m, et mettant en garde contre la baignade ou la pratique de la planche à voile à proximité⁸.

Les émissaires devraient également être signalés dans les cartes du commerce et les cartes nautiques, en indiquant clairement que la zone entourant ces ouvrages est interdite au mouillage et au chalutage.

Il existe une abondante bibliographie sur les méthodes de construction et les matériaux à employer pour les émissaires sous-marins de rejet des eaux usées dans la mer, et certaines des publications les plus importantes et d'un accès facile sont recensées sur la liste bibliographique ci-jointe. Pour les émissaires de dimensions moyennes à petites, on a relevé que, avec les technologies et les matériaux disponibles, la meilleure option consistait à recourir à des conduites en polyéthylène de haute densité lestées qui peuvent être posées sur des longueurs de plus de 1.000 m en l'absence de joints. Ces conduites peuvent être facilement remorquées en flottant lorsque leurs deux extrémités sont obturées. Une fois qu'il est orienté le long de son tracé définitif, l'émissaire est alors immergé en laissant l'eau le pénétrer et en ajoutant du lest supplémentaire pour assurer sa stabilité.

D'autres méthodes de construction pour les émissaires de moyennes à petites dimensions comprennent le remorquage de la conduite à partir d'un ponton ancré à une certaine distance de la côte, soit flottant soit en travers du fond. Dans tous les cas, il est toujours conseillé d'assembler tous les joints et d'opérer l'étanchéisation de l'émissaire à terre, hors de l'eau, où le travail et l'inspection des résultats peuvent être effectués plus facilement.

Il est aussi toujours conseillé d'éviter la méthode simple consistant à poser l'émissaire lesté directement sur le fond, sans le fixer par un dispositif d'ancrage. Bien que cet ancrage ou, ce qui est une meilleure solution, l'enfouissement de l'émissaire représente un supplément de coût pour le projet, il empêche la conduite de bouger avec le risque de rupture qui peut en résulter, et il l'empêche également de vibrer sous la charge, notamment dans la section des diffuseurs.

⁸ Il n'est pas rare de voir des bateaux ancrés dans les parages du bout de l'émissaire ou les bouées servir de point de référence à la baignade ou à la navigation.

APPENDICE I

CLASSEMENT DES DIVERS POLLUANTS

Du point de vue de la pollution marine, on devrait analyser les diverses catégories de polluants contenus dans les eaux usées et le degré de nocivité de chacune pour le milieu marin.

Les polluants, notamment ceux contenus dans les eaux usées urbaines, peuvent être répartis en quatre grandes catégories en fonction de leur comportement dans l'environnement.

I.1 Matières en suspension

Il a été établi qu'elles sont très nocives pour le milieu marin, et d'autant plus qu'elles sont très fines. Elles constituent les polluants les plus nocifs contenus dans les eaux usées urbaines, et ce pour les raisons suivantes:

- Les matières en suspension réduisent la pénétration de la lumière solaire dans l'eau, ce qui est particulièrement nocif dans les zones où la limpidité du milieu permet à certaines espèces végétales de former de véritables "prairies sous-marines", comme par exemple les herbiers à zostères ou à posidonies en Méditerranée. La turbidité entraînée par les matières en suspension élève la limite inférieure de ces herbiers.
- Les matières en suspension peuvent provoquer le colmatage des zones de frayère; elles compromettent ainsi la reproduction de nombreuses espèces et peuvent, dans les cas extrêmes, entraîner la disparition des poissons et des animaux filtreurs sensibles à l'obstruction des branchies.
- Les matières en suspension servent de support à de nombreux polluants qui s'y adsorbent. C'est notamment le cas des bactéries et des virus qui sont transportés sur les particules fines, ce qui entrave l'action auto-épuratrice du milieu marin.
- La fraction décantable des matières en suspension s'accumule par sédimentation sur le fond de la mer, entraînant, notamment dans les zones à faible renouvellement d'eau, une asphyxie du milieu benthique. En outre, les polluants sédimentés, remis en suspension par les fortes agitations, peuvent affecter la qualité de l'eau dans une zone sensible.

I.2 Matières organiques

Comme presque tous les types de matières organiques sont biodégradables, ce qui est également le cas dans les eaux usées urbaines, elles peuvent être bien acceptées par le milieu marin; elles apportent à celui-ci la nourriture indispensable aux organismes vivants et l'aident ainsi, dans une certaine mesure, à reconstituer les quantités prélevées par la pêche.

Le risque d'incidence néfaste ne se manifeste que lorsqu'on affine à l'une ou l'autre de ces deux conditions:

- la teneur ou le renouvellement en oxygène dissous ne suffit pas à assurer la biodégradation;
- l'eau stagne ou est insuffisamment renouvelée.

Ces deux conditions se rencontrent soit dans les baies côtières fermées où les courants ne pénètrent pas et où il serait contre-indiqué d'aménager un système d'émissaire, soit sous la couche de discontinuité de densité ou "thermocline", laquelle est fréquente en Méditerranée pendant la saison estivale.

Dans les deux cas, la biodégradation des matières organiques est entravée par un renouvellement d'oxygène insuffisant s'accompagnant d'une réduction des composés oxygénés (sulfates, nitrates, phosphates). Ainsi toutes les conditions d'un déséquilibre dystrophique du milieu végétal sont réunies (eutrophisation).

C'est pourquoi, si l'on prévoit un faible renouvellement des eaux à une certaine profondeur, cas très fréquent en été dans les mers sans marées, il est déconseillé de rejeter les effluents à cette profondeur en raison du risque que le panache ascensionnel puisse être capté sous la thermocline.

1.3 Substances toxiques

Elles peuvent être d'origine minérale ou organique et sont fréquemment non dégradables, conservant leurs propriétés toxiques sur une période assez longue. De nombreux métaux lourds rentrent dans cette catégorie. Les eaux usées urbaines contiennent peu de ces substances. Lorsque les effluents industriels contiennent des substances toxiques en quantités assez importantes pour créer un risque inacceptable pour le milieu, leur élimination ou la réduction suffisante de leur concentration avant rejet ne peuvent être assurées par une station d'épuration conçue avant tout pour des eaux usées urbaines. Cette opération devrait intervenir comme traitement préliminaire de l'effluent à l'usine sous la responsabilité de l'entreprise qui produit pareilles substances, et toujours en recourant au procédé recommandé pour la substance toxique spécifique à éliminer.

1.4 Micro-organismes pathogènes

La variété considérable de micro-organismes pathogènes et l'extrême difficulté de l'opération rendent impossible leur détection et leur dénombrement systématiques dans n'importe quel type d'effluent. Comme ils suivent le plus souvent une filière digestive, on estime que la probabilité de leur présence et, dans une certaine mesure, de leur concentration dans un effluent sont fonction de la présence et de la quantité de rejet organique plus spécifiquement d'origine humaine. Dans ce groupe, on a retenu les bactéries coliformes intestinales comme indicateurs du fait qu'elles sont faciles à détecter et à dénombrer. Cependant, il faut garder à l'esprit que ces bactéries coliformes ne sont pas des organismes pathogènes et qu'elles servent seulement d'indicateurs de probabilité de présence de ceux-ci, et aussi que les liens quantitatifs entre coliformes et agents pathogènes n'ont pas été établis sur une base ferme et générale.

Le seul paramètre mesuré par le dénombrement des germes tests de contamination fécale est le nombre d'habitants dont les eaux usées sont rejetées dans la mer. Toutefois, dans les réglementations internationales, on n'a pas jusqu'à présent trouvé de meilleur indicateur de pollution microbienne éventuellement dangereuse que les trois familles de bactéries tests de contamination fécale.

APPENDICE II

LA DESINFECTION DES EAUX USEES URBAINES

La fourchette de réduction des concentrations bactériennes à obtenir entre celles relevées dans les eaux usées brutes et les normes s'appliquant aux "eaux de baignade" et aux "eaux conchylicoles" se situe entre 10^{-5} et 10^{-6} . Un facteur 10 - ordre de grandeur possible pour une station d'épuration - représente une contribution négligeable à la réduction et sur laquelle, en outre, on ne peut même pas se reposer absolument. Par conséquent, l'élimination des bactéries avant qu'elles ne passent dans l'émissaire s'impose dans de nombreux cas en recourant à des procédés de désinfection. Il convient ici d'opérer la distinction entre les procédés de désinfection naturelle et ceux de désinfection chimique.

II.1 Désinfection chimique

Ce procédé repose sur les propriétés bactéricides des agents oxydants (chlore, bromure, ozone). En règle générale, il n'est pas souhaitable d'y recourir, et ce pour un certain nombre de raisons.

Comme on l'a vu plus haut, une corrélation quantitative entre les organismes indicateurs bactériens et les agents pathogènes n'a pas encore été établie, et la même incertitude reste de mise quand les mêmes indicateurs servent à évaluer l'efficacité du traitement de désinfection. Il faut l'attribuer au fait que le pouvoir destructeur des agents oxydants (le chlore le plus souvent) n'est pas le même pour tous les micro-organismes, et de nombreux agents pathogènes, en particulier les virus, manifestent une plus grande résistance au traitement que les germes indicateurs. Comme, en pratique, l'efficacité de la désinfection n'est habituellement mesurée qu'en déterminant les concentrations des organismes indicateurs avant et après traitement, on ne peut dire que les résultats obtenus fournissent une indication précise de la réduction des agents pathogènes.

Il existe d'autres raisons pour lesquelles ce procédé est contre-indiqué, à savoir:

- Les effluents contiennent des composés azotés, notamment de l'ammoniaque, qui fixent une grande partie du chlore en créant des composés tels que les chloramines, qui sont moins bactéricides que le chlore, mais sont toxiques pour la faune marine, même à des concentrations aussi faibles que 0,02 mg/litre.
- Le matériel de désinfection est d'un fonctionnement délicat, il se dérègle facilement et, comme on ne peut pas toujours assurer sa surveillance permanente, on ne peut se fier à la continuité de l'exploitation et donc à l'efficacité du dispositif. Toute interruption aboutirait à un défaut de conformité aux normes microbiennes dans les zones à protéger.
- Enfin, les frais d'installation et d'exploitation d'un dispositif de désinfection chimique qui nécessite une surveillance constante et très soignée sont élevés et même souvent prohibitifs.

Pour récapituler, on peut dire que les inconvénients de ce type de traitement, dont l'efficacité sur les micro-organismes pathogènes n'est ni garantie ni contrôlable, l'emportent sur les avantages que seule pourrait offrir l'assurance d'une continuité de l'exploitation.

II.2 Désinfection par les procédés naturels

Si l'on peut considérer comme faible la fiabilité de la désinfection chimique, un procédé naturel comme l'utilisation du rayonnement solaire dans une série de bassins est bien plus efficace car il a une action relativement homogène sur toutes les espèces de micro-organismes et sa continuité est assurée. Que l'on envisage un système complet de bassins pour le traitement des eaux usées brutes garantissant la décantation des matières en suspension, la biodégradation de la matière oxydable et la désinfection microbienne, ou cette dernière phase seule dans un traitement en bassin tertiaire, en aval d'une station d'épuration classique, ce procédé est d'un faible coût, fiable, et devrait être retenu chaque fois qu'il est techniquement réalisable. Les conditions à réunir sont les suivantes:

- une surface plane et assez étanche, de 1 à 2 hectares par millier d'habitants;
- un climat chaud et ensoleillé.

Comme ces deux conditions se retrouvent souvent dans de nombreuses régions du pourtour de la Méditerranée, le traitement complet ou partiel des déchets en recourant à un système de bassins devrait être envisagé chaque fois que la situation locale le permet.

Son plus grand avantage est que les déchets ainsi traités sont décontaminés et d'une très faible nocivité; ainsi, ils peuvent être rejetés à une faible distance des zones marines à protéger. Ils est possible de réaliser d'importantes économies sur l'investissement total d'un émissaire sous-marin classique.

De fait, l'effluent sortant de l'émissaire peut aisément répondre aux normes requises pour les eaux de baignade, soit environ 10^2 à 10^3 coliformes totaux par 100 millilitres.

Cependant, il n'est pas possible de recourir à cette méthode dans tous les cas. Le site, pour diverses raisons, peut ne pas s'y prêter, ou bien la superficie disponible n'être pas assez importante, notamment dans les grandes villes. La solution consisterait alors à obtenir une réduction de la charge microbienne par un facteur se situant entre 10^4 et 10^5 , grâce à un procédé différent appliqué à l'effluent entre la sortie de la station d'épuration et la qualité de l'eau de mer dans une zone de baignade. Le facteur de réduction s'élève à 10^6 si la zone considérée est une aire conchylicole.

Pour les raisons précitées, il est très rarement souhaitable de recourir à la désinfection chimique; il est toujours préférable d'essayer d'obtenir le résultat recherché par la dilution, car dans ce cas on est certain qu'elle s'applique uniformément à tous les micro-organismes. La solution consisterait alors de rejeter l'effluent à une certaine distance des zones sensibles, ce qui garantirait à la fois une dilution hydraulique et un temps de séjour suffisants; ainsi, s'agissant des germes, leur propre décroissance s'ajouterait à la dilution, étant donné le pouvoir auto-épurateur du milieu marin.

L'un et l'autre effet sont équivalents à une dilution, et le facteur de réduction final est le produit des deux. La méthode permettant de tirer le meilleur parti des deux consiste donc à rejeter les eaux usées dans la mer à travers un émissaire de longueur appropriée.

APPENDICE III

METHODES DE CALCUL POUR LA PREDICTION DE LA DILUTION DES EAUX USEES

III.1 Paramètres

- L = longueur totale de l'émissaire (m)
la longueur effective ne devrait pas être inférieure à 1.500 m.
- D = diamètre de l'émissaire (m).
- X = distance entre le point de rejet et la ligne externe de la bande de réserve (m).
- H = profondeur du point de rejet (m)
elle ne devrait pas être inférieure à 15 m.
- t = temps de parcours (heures).
- C(t) = concentration d'un polluant non conservatif.
- V = vitesse des eaux usées dans la conduite (m/s).
- l = longueur de la section diffuseurs (m)
elle ne devrait pas être inférieure à 5% de L, sauf si $D < 0,25$ m, quand on a recours à un exutoire unique.
- d = diamètre de la section transversale des conduits des diffuseurs (m).
- 2r = diamètre des pores des diffuseurs (m)
il devrait être supérieur à 0,10 - 0,15 m.
- n = nombre de pores des diffuseurs;
la surface totale des pores des diffuseurs ne devrait pas dépasser les 75% de la section transversale de la conduite.
- s = espacement des diffuseurs (m)
il doit être égal à environ H/4.
- v = vitesse d'écoulement à travers les diffuseurs (m/s)
elle devrait atteindre 1 m/s sur une base régulière et ne pas dépasser 2m/s.
- Q = débit total du rejet (m^3/s).
- q = débit relatif de la section diffuseurs. $q=Q/l(m^3/s.m)$.
- Q_d = débit du rejet à travers un diffuseur (m^3/s).
- h = charge hydraulique au diffuseur (m)
elle doit atteindre 0,5 m au dernier exutoire.

- m = coefficient de frottement de la conduite (Manning).
- g = gravité (9,81 m/s²).
- δ_a = densité des eaux usées (g/cm³)
on admet qu'elle est égale à 1.000.
- δ_m = densité de l'eau de mer (g/cm³)
on admet qu'elle est égale à 1.028.
- $\delta_m(z)$ = densité de l'eau de mer à la profondeur z (g/cm³).
- g' = accélération gravitationnelle effective $g' = g \cdot (\delta_m - \delta_a) / \delta_a$ (m/s²)
on admet qu'elle est égale à 0,267.
- u = vitesse du courant (m/s).
- D1 = dilution due à l'ascension du panache
elle doit être supérieure à 150:1.
- D2 = dilution apparente due à la dégradation ou la disparition progressive des polluants non conservatifs;
elle doit être supérieure à 100:1 pour les indicateurs bactériens.
- D3 = dilution entraînée par la dispersion et la convection du nuage par les courants de surface.
- K_y = coefficient de dispersion horizontale (m²/s)
on peut admettre qu'il est égal à 0,02 m²/s
- K^z = coefficient de dispersion verticale (m²/s)
on peut admettre qu'il est égal à 0,007.
- Zmax = hauteur maximale d'ascension du panache dans les eaux stratifiées.
- Γ = coefficient de stratification. $\Gamma = g \cdot (\delta_m(H) - \delta_m(z)) / z \cdot \delta_a$ (m/s).
- T90 = taux de disparition des polluants non conservatifs (heures)
on admettra qu'il est égal à 2,5 heures pour les coliformes fécaux et à 3,5 heures pour les streptocoques fécaux.
- F = nombre de Froude $F = v \cdot (g' \cdot 2r)^{-1/2}$.

III.2 Calcul de la dilution dans le panache.

Le calcul de la dilution dans le panache devrait être opéré au moyen des formules ci-dessous. Bien que, dans la plupart des situations, il n'y ait pas à tenir compte de la stratification, les formules permettant le calcul de la hauteur d'ascension du panache et de la dilution à ce point sont également données. Ces formules supposent qu'aucun courant n'agit sur le panache. Pour le calcul de la dilution dans les cas où l'on tient compte de courants ambiants, on devrait utiliser le graphique de Robert.

a) Emissaires munis de diffuseurs:

Eaux homogènes

$$D1 = 0,38.g^{1/3}.H.q^{-2/3}$$

Stratification:

$$D1 = 0,31.g^{1/3}.Z_{max}.q^{-2/3}$$

$$Z_{max} = 2,84.(g'.q)^{1/3}.f^{-1/2}$$

b) Emissaires munis d'un exutoire unique:

Eaux homogènes:

$$D1 = 0,089.g^{1/3}.H^{5/3}.Q^{-2/3}$$

Stratification:

$$D1 = 0,071.g^{1/3}.Z_{max}^{5/3}.Q^{-2/3}$$

$$Z_{max} = 3,98.(g'.Q)^{1/3}.f^{-3/8}$$

III.3 Paramètres non conservatifs

Pour le calcul de la dilution apparente entraînée par la décroissance microbienne, on devrait utiliser la formule suivante:

$$D2 = C(0)/C(t) = 10^{t/T90}$$

où C(0) est la concentration initiale du polluant et C(t) la concentration au bout du temps de parcours t.

III.4 Dispersion et convection du nuage

La dilution provoquée par la dispersion et la convection du nuage a moins d'importance et une contribution plus faible que les deux autres dilutions mentionnées plus haut. On peut admettre qu'elle est égale à 10^1 pour les émissaires de petites et très petites dimensions.

BIBLIOGRAPHIE

- Abraham, G. and Brolsma, A.A. (1965) *Diffusers for Disposal of Sewage in Shallow Tidal Water*. Delft Hydraulics Lab. Pub. No. 37.
- Bowden, K.F. (1983) *Physical Oceanography of Coastal Waters*. Ellis Horwood, Chichester.
- Brooks, N.H. (1960) Diffusion of sewage effluent in an ocean current. In *Waste Disposal in the Marine Environment*, Ed. E.A. Pearson, Pergamon Press, Oxford.
- Charlton, J.A. (1985) Sea Outfalls. In *Developments in Hydraulic Engineering -3*. Ed. P. Novak, Elsevier Applied Science, Barking.
- Fischer, H.B., List, E.J., Koh, R.C.Y., Imberger, J. and Brooks N.H. (1979) *Mixing in Inland and Coastal Waters*, Academic Press, New York.
- Ganoulis, J. (ed.) (1991) *Water Resources Engineering Risk Assessment*, NATO ASI Series, Vol. G29, Springer-Verlag.
- Ganoulis, J. (1992) *Dispersion et disparition des bactéries coliformes dans la baie de Thessaloniki*. *Revue des Sciences de l'Eau*, 5, 541-554.
- Gauthier, M.F. and Quentin, B. (1977) Modèles mathématiques de calcul des écoulements induits par le vent. *17th Congress of the International Association of Hydraulic Research* 3, 69-76.
- Gould, D.J. and Munro, D. (1981) Relevance of microbial mortality to outfall design. *Coastal Discharges*. Thomas Telford, London.
- Grace, R.A. (1985) Sea outfalls - a review of failure damage and impairment mechanisms. *Proc. Instn. Civ. Engrs. Part 1*, 77, 137-52.
- Ippen, A.T. (1966) *Estuary and Coast-line Hydrodynamics*, McGraw-Hill, New York.
- Lacombe, H. (1965) *Cours d'Océanographie Physique*, Gauthier-Villars, Paris.
- Neville-Jones, P.J.D. and Dorling, C. (1986) *Outfall Design Guide for Environmental Protection, a Discussion Document*. ER 209E, WRc Wiltshire.
- Pond, S. and Pickard, G.L. (1978) *Introductory Dynamic Oceanography*, Pergamon Press, Oxford.
- Quétin, B. and DeRouville, M. (1986) Submarine sewer outfalls: a design manual. *Marine Pollution Bulletin*, 17, No. 4, 132-183.
- Roberts, P.J.W. (1986). Engineering of ocean outfalls, *The role of the oceans as a waste disposal option*, G. Kullenberg, ed., NATO ASI Series C, Vol. 172, 73-109.
- White, J.B. (1970) *The Design of Sewers and Sewage Treatment Works*. E. Arnold, London.