

COMITE INTERAFRICAIN D'ÉTUDES HYDRAULIQUES  
(C I E H)

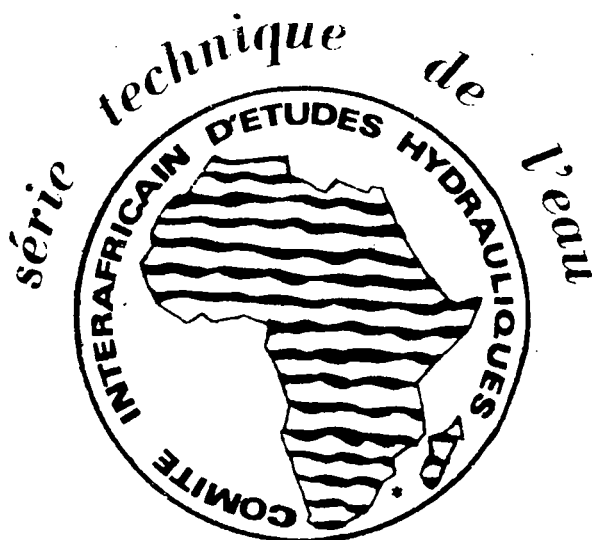
3 4 1 . 4

8 1 D I

**DIFFUSION DES REJETS EN MER**

par

**C. PUECH**



COMITE INTERAFRICAIN  
D'ETUDES HYDRAULIQUES

(C.I.E.H.)

SECRETARIAT GENERAL  
BP 369 - TEL 334-76  
335-18  
OUAGADOUGOU (R.H.V.)

-:-:-

DIFFUSION DES REJETS EN MER

par

C. PUECH  
Ingénieur Hydrologue  
C.I.E.H.

LIBRARY, INTERNATIONAL REFERENCE  
CENTRE FOR CLEAN WATER SUPPLY

~~2827~~ ISBN 377  
341.4 81DI

Avril 1981

## INTRODUCTION

=====oOo=====

Cet article entre dans le cadre de l'étude n° 21 proposée au Conseil des Ministres du CIEH à Bamako en février 1980 et qui s'intitule "Etude de l'élimination des déchets liquides dans les villes côtières africaines - Etude bibliographique".

Cette étude a pour but la connaissance des méthodes actuellement utilisées en Afrique de l'Ouest pour les rejets en mer, des problèmes qu'ils posent, en vue à plus long terme d'édicter des critères et normes de rejets valables dans toute la zone côtière. En préalable à cette recherche, nous donnons ici dans un premier chapitre qui se veut général, un aperçu sur les problèmes que posent les rejets d'eaux usées en mer particulièrement sur l'évolution des effluents et les méthodes de calcul de la dilution dans le milieu marin. Le 2ème chapitre est plus appliqué à l'Afrique de l'Ouest puisqu'il concerne le projet de rejet en mer des eaux usées de la ville d'Abidjan ; on y parle en particulier des raisons qui ont amené au choix de la solution par émissaire en mer.

Enfin en annexe nous avons repris des extraits d'un texte [4] décrivant la situation des différents pays côtiers de l'Afrique de l'Ouest, texte publié lors de l'atelier international d'Abidjan en 1978 sous l'égide de l'OMS et dont le thème était "La pollution de la mer dans le Golfe de Guinée et les zones adjacentes".

---

CHAPITRE 1 : TECHNIQUE DU REJET EN MER ET ETUDE DE LA DIFFUSION  
=====

Nous avons pris comme base de ce chapitre le rapport de l'AFEE de janvier 1975 traitant des "Aspects règlementaires et technologiques posés par le rejet en mer des eaux usées". Nous allons détailler plus précisément le chapitre concernant le diffuseur et les méthodes d'estimation de la diffusion.

Avant toutes choses précisons que le rejet des eaux usées en mer est une solution de facilité, qu'il n'est qu'un pis aller et qu'il ne devrait s'effectuer que pour des eaux déjà épurées et débarassées des matières flottantes. Au début du siècle des villes côtières importantes comme Nice ou Marseille ont été dotées d'un réseau d'égout arrivant vers un émissaire qui aboutissait sur une plage non fréquentée, dans une crique ou dans un amas de rocher. Cette solution est inacceptable. La technique actuelle s'oriente vers des conduites immergées entraînant les eaux usées vers le large en des points éloignés, dans des zones où la pollution est jugée peu gênante. En France le rejet d'eau n'ayant subi aucun traitement est désormais interdit en mer.

Le calcul d'un émissaire sous marin et sa factibilité reposent sur deux préoccupations distinctes :

- La première concerne les effets du rejet sur le milieu marin. Par les techniques de calcul de la diffusion du rejet, de la variation de concentration en matières polluantes de l'effluent on peut juger de l'effet du rejet et déterminer la zone et la profondeur où devra aboutir l'émissaire et par voie de conséquence la longueur nécessaire. On peut aussi arriver à la conclusion qu'aucun point de rejet n'est acceptable.

- La deuxième concerne le calcul de la canalisation d'aménée une fois connues la position de la station de refoulement et celle du rejet sous-marin. Si la section intérieure de la canalisation résulte d'un calcul classique de perte de charge il ne faudra pas perdre de vue les problèmes de résistance du matériau tant du point de vue chimique (substances transportées, eau salée) que physique (efforts sur le fond marin, effets des courants, de la houle...).

Nous allons détailler ci-après ces deux préoccupations en nous attachant plus particulièrement au problème de l'effet du rejet sur le milieu marin.

I - EVOLUTION DU REJET - CALCUL DE LA POLLUTION - DETERMINATION DE LA POSITION OPTIMALE DU REJET.

Déterminer la position optimale du rejet consiste à faire plusieurs hypothèses pour l'implantation du débouché sous-marin et pour chacune d'entre elles à calculer l'évolution des concentrations en matières polluantes. On se préoccupe en particulier des zones dites "utiles"

pour lesquelles on vérifie si les concentrations des divers composants de l'effluent sont inférieures aux normes admises. Si tel n'est pas le cas on devra soit allonger la longueur de l'émissaire, soit diminuer les concentrations initiales (avant rejet).

### I.1. Eléments de base

L'implantation et le calcul d'un diffuseur d'eaux usées en mer est un problème faisant intervenir de nombreux facteurs techniques et socio-économiques. Les aspects les plus importants concernant pour la partie technique :

- les caractéristiques de l'effluent
- les caractéristiques physico-chimiques du milieu receveur
- la topographie et la nature du fond marin
- les divers mouvements de la mer (houle, courants, marée)
- l'interaction eaux usées - eau salée

auxquels il faut ajouter les aspects concernant :

- l'utilisation de la zone littorale
- la mise en valeur éventuelle (industrie - loisirs).

#### a) Caractéristiques de l'effluent

Les caractéristiques de l'effluent varient bien entendu en fonction de l'origine de cet effluent. On distinguera parmi les eaux usées domestiques, celles provenant d'un réseau unitaire où le débit est créé essentiellement par les eaux de ruissellement, et celles provenant d'un réseau d'égout séparatif : dans ce cas le débit est plus faible et sujet à des variations quotidiennes et saisonnières que l'on peut estimer par les courbes de consommation d'eau. Les caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques de ces eaux domestiques sont assez stables et bien connues. La densité est proche de 1. En France la température est de l'ordre de 20 à 25° même l'hiver du fait que la consommation d'eau chaude est plus forte. La viscosité varie quelque peu en fonction de la composition, mais le PH est proche de la neutralité.

Pour les eaux industrielles ces caractéristiques varient énormément d'une industrie à l'autre et chaque cas est un cas d'espèce. On devra en préalable à tout projet, déterminer densité, température, viscosité, PH, matières en suspension et composition chimique des eaux à rejeter.

On peut enfin distinguer les eaux résiduelles très chargées (boues ou saumures) pour lesquelles la densité et la viscosité sont très fortes. Alors les lois de l'écoulement dans le collecteur sont modifiées (écoulement "non Newtonien"), tandis que les phénomènes de diffusion au point de rejet sont différents par suite d'une densité de l'effluent supérieure à celle de l'eau de mer.

## b) Caractéristiques du milieu récepteur

On devra faire une distinction en ce qui concerne le milieu marin, entre les eaux profondes où va se faire le rejet et les eaux superficielles. Les eaux profondes sont peu mobiles et il s'y forme des couches de température et de densité différentes qui varient très lentement d'une saison à l'autre. L'été en particulier on a très souvent formation de 2 couches bien distinctes à température différente donc à densité différente. Le passage d'une couche à l'autre est brusque et joue le rôle d'un écran thermique qui est un obstacle au passage des eaux usées. La couche superficielle par ailleurs est soumise à des mouvements divers (marée, houle, courants).

L'étude de la diffusion va donc être découpée en deux parties : dilution profonde qui va dépendre essentiellement des caractéristiques du diffuseur, de son débit, de sa profondeur, de la densité de l'effluent ; diffusion superficielle dépendant des mouvements de surface. L'étude de ces divers mouvements est donc un préalable important puisqu'il va permettre entre autres de connaître la vitesse du rejet après sa remontée à la surface et surtout sa direction : éloignement ou rapprochement des côtes des matières polluantes.

## c) Interactions eaux usées - eau salée

Deux points sont à prendre en compte : la combinaison physique de ces deux milieux (mélange) ; les réactions chimiques qui découlent de ce mélange.

Les différences entre les caractéristiques physiques de ces deux types d'eau (densité, viscosité, température) font que leur mélange s'avère difficile. Le point essentiel à considérer est que le mélange s'effectue au niveau de l'interface des eaux. En conséquence l'amélioration de l'efficacité de la diffusion se fera en augmentant la surface de contact entre les deux milieux : séparation du diffuseur en plusieurs jets, rejets progressifs le long de la canalisation.

Du point de vue chimique il faut se préoccuper des interactions possibles entre les effluents et l'eau salée. Cette dernière pouvant favoriser des phénomènes de précipitation, de dissolution par suite des différences de température et de PH, ou encore du fait de sa propriété de tampon pouvant neutraliser rapidement des eaux acides ou basiques.

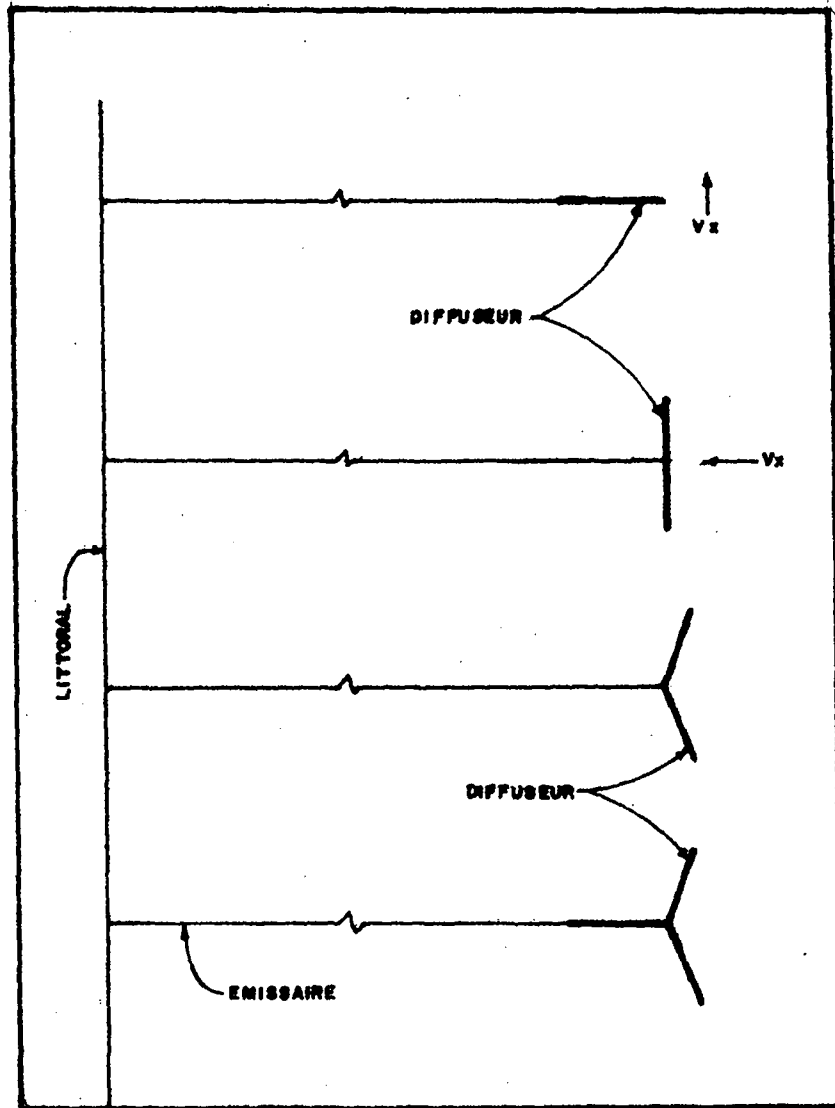
L'action bactéricide de l'eau de mer est également un point important. La destruction des germes pathogènes et la dégradation des matières organiques en milieu marin est lente. Le délai de survie des germes est de plusieurs jours.

## 1.2. Le diffuseur - le rejet, son évolution

### a) Le rejet

Le dispositif de diffusion établi à l'extrémité de l'ouvrage est un élément essentiel car c'est lui qui détermine la dilution initiale : Celle-ci est due à l'action de la turbulence résultant de l'introduction

Figure 1



Dispositions types du diffuseur

de l'effluent dans le milieu marin et à la différence de densité entre l'effluent et l'eau de mer. Le dispositif préconisé par Pearson consiste soit en une séparation de l'émissaire en deux branches formant entre elles un angle obtus (obtention de deux jets éloignés l'un de l'autre) soit en un ensemble d'orifices placés sur la partie terminale de l'émissaire (ligne d'émission) - (figure 1).

A la sortie du diffuseur sont mis en contact brutalement deux milieux à caractéristiques différentes. Les cas où l'effluent est constitué d'eau douce ou saumâtre doivent être l'objet d'une attention particulière en raison de la difficulté de mélange qui résulte de la différence de densité entre fluide rejeté et eau de mer, difficulté qui est encore accrue lorsque l'effluent peu ou pas salé a une température supérieure à celle de l'eau de mer. Cet écart de densité est dû en effet surtout à la salinité et à un degré moindre à la température.

#### b) Evolution sous marine

Au sortir du diffuseur les grosses particules ( $> 20 \mu$ ) sédimentent rapidement en eau de mer (pour éviter un ensablement la tête de l'émissaire est légèrement surelevée par rapport au fond). Cette sédimentation joue un rôle secondaire du point de vue bactériologique : on considère en effet qu'environ 98 % des bactéries se fixent sur les fines particules ( $< 20 \mu$ ) qui se comportent selon les lois de la diffusion turbulente et remontent vers la surface en emportant la majorité des bactéries.

La remontée vers la surface se fait selon un cône d'axe incurvé. Dans le cas de densités plus fortes que l'eau de mer, le cône est incurvé vers le bas. Les risques de pollution en surface sont moindres mais on peut craindre alors des engorgements du diffuseur qui devra être fréquemment surveillé. La dilution sous marine de l'effluent dépend du rejet et des caractéristiques de l'émissaire : diamètre, nombre de Froude, nombre de Reynolds. L'angle du cône de dilution avec la surface joue également un rôle (figure 2).

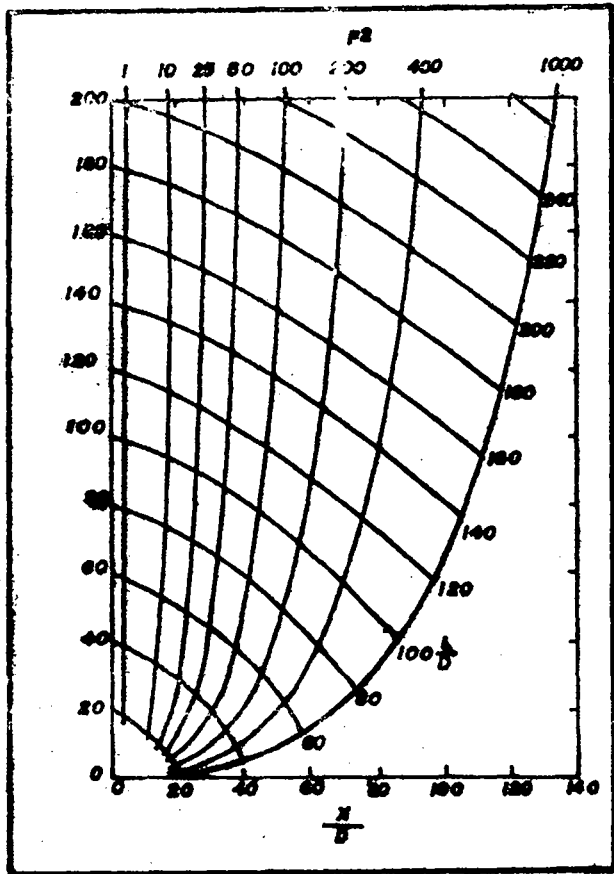
Les couches sous-marines peuvent présenter des variations brusques de densité dues en particulier à des variations de température. La zone de transition épaisse de quelques mètres est appelée couche du saut thermique ou thermocline. L'évolution du cône de dilution est bien entendu différente suivant que l'on aura présence ou non de ces zones de transition car les conditions hydrauliques seront différentes de part et d'autre. On considère qu'un effluent peut difficilement traverser la thermocline, et qu'il se propage horizontalement au contact de celle-ci (figure 3). On aura donc intérêt à placer l'extrémité de l'émissaire sous la thermocline si elle existe (à condition également que l'effluent emprisonné se dirige alors vers le large).

#### c) Evolution en surface

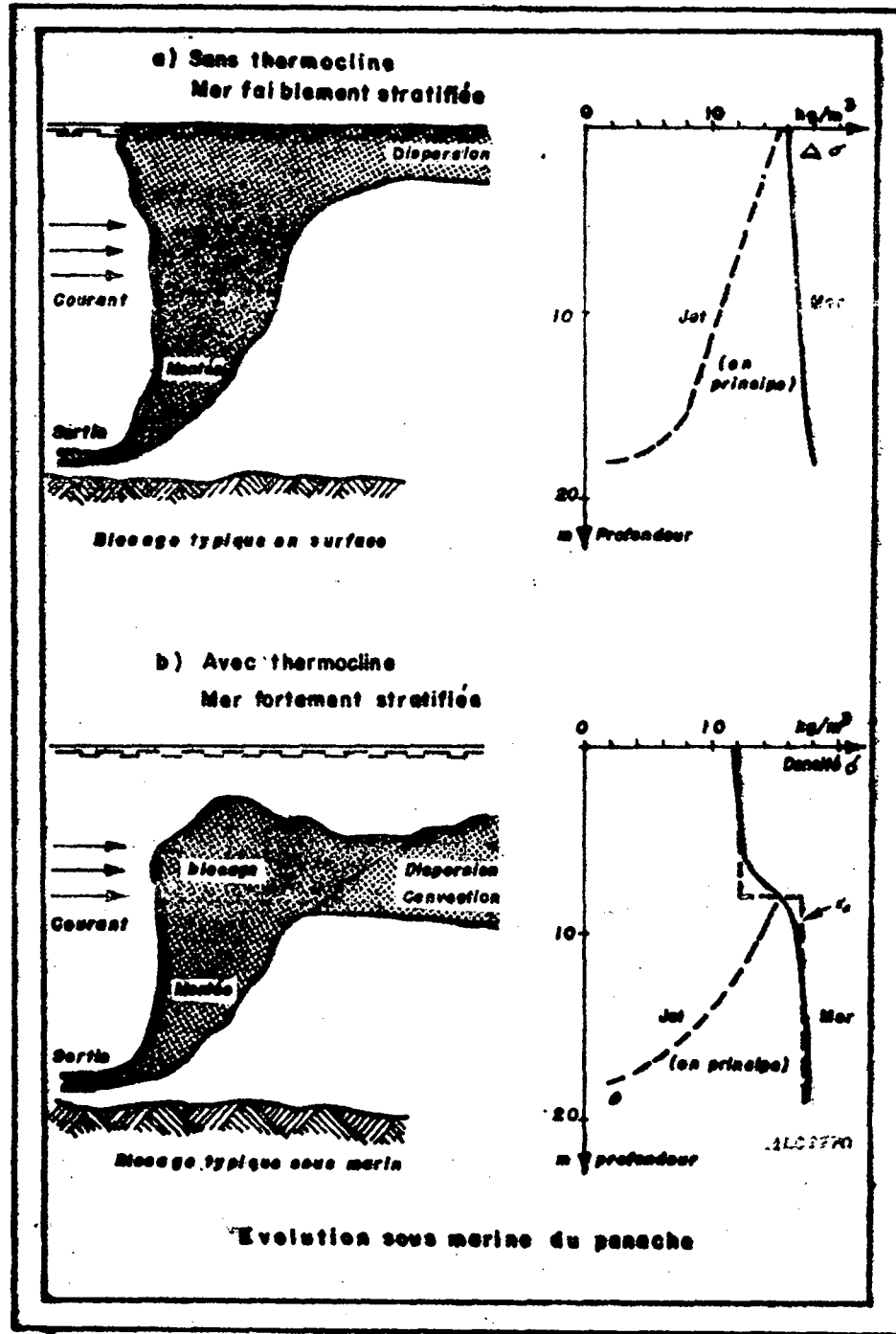
Si le diffuseur est bien conçu et si l'on a un effet de thermocline on ne doit pas voir apparaître de lentille d'eau douce en surface. Dans l'hypothèse défavorable l'effluent atteint la surface, s'y étale, est



Figure 2



Forme du jet d'eaux usées après passage par les orifices du diffuseur.



Evolution sous marine du panache

alors soumis à l'emprise des vents, courants littoraux et marées. L'expérience montre que ces eaux s'incorporent très lentement à la masse océanique. Tout se passe comme si elles restaient accrochées à la côte, s'étirant parallèlement au rivage s'il y a peu de marée ou se mélangent par le bord extérieur de la frange intertidale dans les zones à marée.

Il faut s'arranger alors pour que la durée de parcours depuis le point d'émission jusqu'à l'arrivée à la zone à protéger (plage, zone de culture de coquillages...) soit suffisamment longue pour que la quasi totalité des bactéries (bactéries pathogènes notamment) ait disparu.

### 1.3. Evaluation chiffrée de la pollution

Pour chiffrer cette pollution on doit répondre aux 3 questions suivantes : Comment calculer la durée de parcours des effluents en surface ? Comment déterminer l'évolution du nombre de bactéries au cours du temps ? Quel est le nombre limite à ne pas dépasser ?

La question des limites est bien entendu une question de normes à définir par pays. A titre d'exemple, en annexe 2 ont été indiqués les "nombres guides" pour les côtes françaises concernant la qualité minimale des eaux de mer pour zone de baignade et zone de conchyliculture.

#### a) Méthodes classiques

La baisse du taux de bactéries au cours du temps est due à la combinaison de 2 phénomènes combinés : la dispersion bactérienne et la disparition bactérienne. L'expérience montre que les bactéries diminuent beaucoup plus vite que ne le laissent présager les seuls phénomènes de dilution : les agents microbiens provenant des eaux continentales sont ainsi sensibles à un certain pouvoir autoépurateur de la mer. Il faudra donc dans les calculs affecter la dilution d'un coefficient lié aux actions bactéricides intervenant dans le milieu marin.

La durée de parcours peut se déterminer par mesures expérimentales, en étudiant la dérive en mer de flotteurs (on a ainsi un aperçu des temps de parcours et des directions de dérive des effluents), ou s'appréhender par un calcul mathématique complexe (modèle mathématique de diffusion). Des procédés de détections de courants plus sophistiqués que les flotteurs existent, en particulier les traceurs radioactifs (ou les colorants). L'évolution de la radioactivité étant due à la dilution on peut assimiler les courbes d'isradioactivité avec des courbes d'isoconcentration. Mais ce faisant on fait un calcul pessimiste puisqu'on ne tient pas compte du pouvoir auto-épurateur de la mer (figure 4).

Au point de vue calcul de cette diffusion et de l'évolution des concentrations bactériennes plusieurs degrés sont possibles : du plus simple qui consiste à tenir compte uniquement des temps de parcours au plus complexe par modèle mathématique. Les plus simples suivent la loi expérimentale d'Aubert-Desirotte qui traduit la baisse de concentration bactérienne des eaux brutes par dilution et action bactériologique de l'eau de mer. La baisse de concentration étant exponentielle on chiffre le facteur de dilution à partir du temps mis pour éliminer un certain pourcentage  $\alpha$  de coliformes.

Figure 4

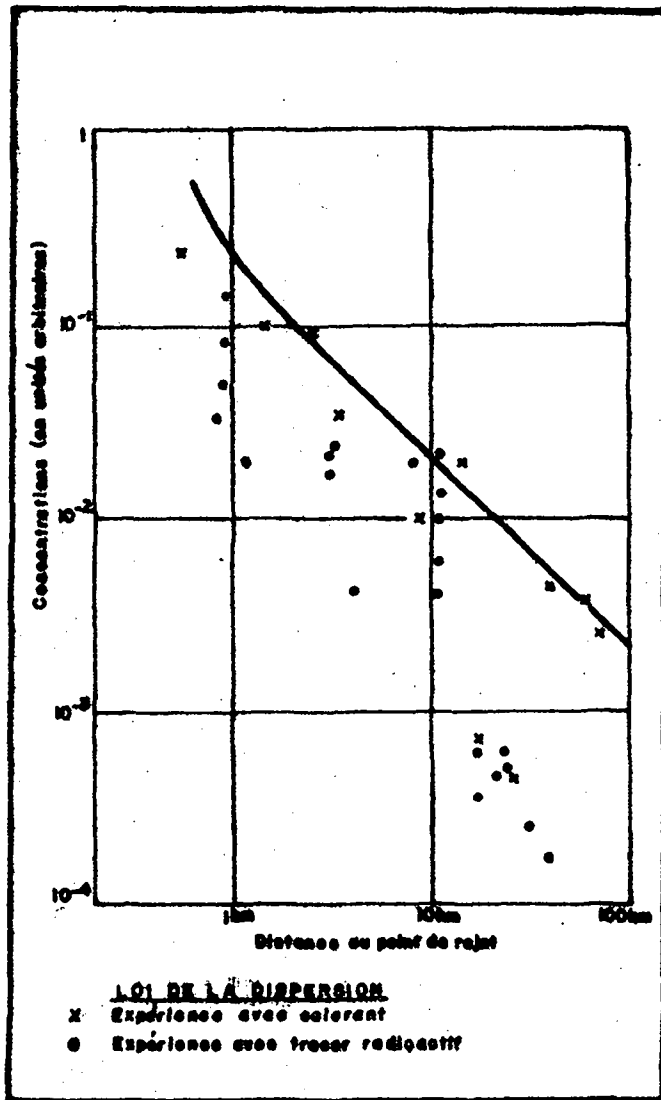
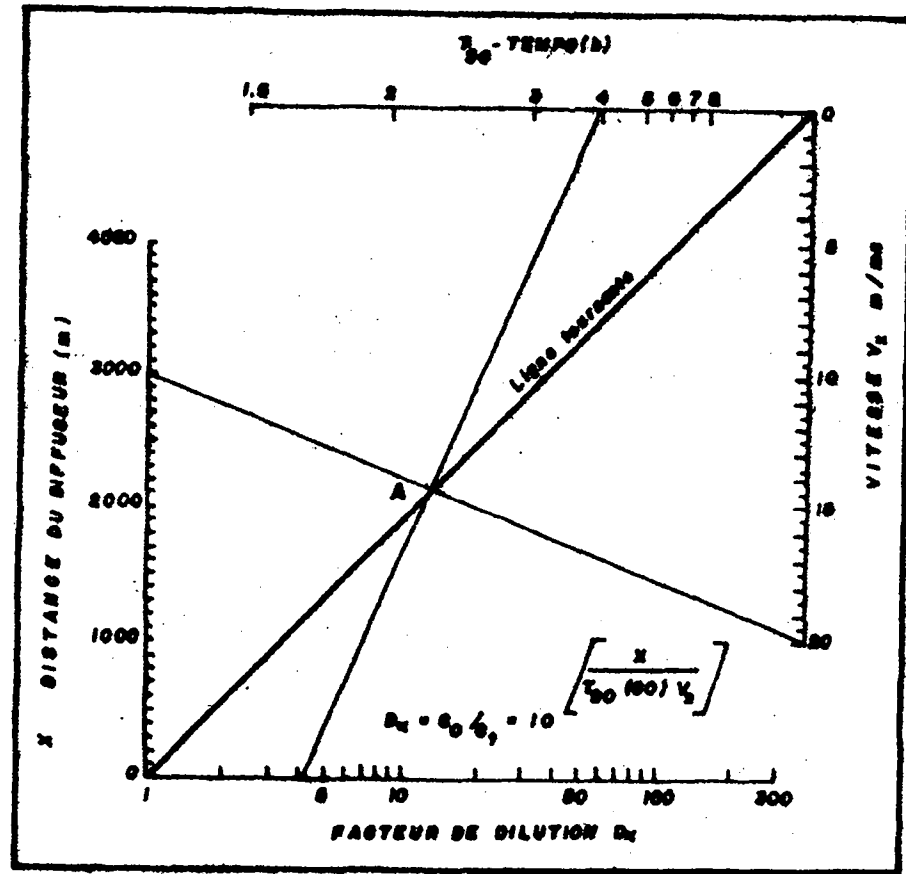


Figure 5



Abaque permettant de résoudre l'équation de la diminution du nombre de bactéries.

Joignant X (distance) et  $V_4$  (vitesse) on détermine sur la "ligne tournante" un point A (représentatif du temps de parcours).  
 Joignent alors  $T_{90}$  et ce point A on obtient le facteur de dilution D.

On prend généralement  $\alpha = 90 \%$  et la dilution est donc chiffrée par D90.

$$D_{\alpha} = \frac{C_0}{C_t} = 10 \left( \frac{X}{V_m} \cdot \frac{1}{T_{\alpha}} \right)$$

- $T_{\alpha}$  = temps d'élimination de  $\alpha \%$
- $X$  = distance parcourue depuis le rejet jusqu'à la zone à protéger.
- $V_m$  = vitesse moyenne de parcours
- $C_0$  = concentration bactérienne initiale
- $C_t$  = concentration bactérienne au point étudié.

Cette expression est traduite par l'abaque 5. On trouve dans la littérature des valeurs de  $T_{90}$  pour plusieurs points géographiques, par exemple d'après Sacramento (01-06-73).

Gottborg (Suède)	5 H
Dakar (Sénégal)	2,1 H
Santos (Brésil)	0,8 à 1,7 H
Accra (Ghana)	1,3 H
Nice (France)	1,1 H

La valeur de  $T_{90}$  donc la rapidité de diminution des coliformes dépend en grande partie de la température de l'eau, donc de la latitude, de la saison, etc... Par exemple en Floride, en décembre  $T_{90} = 7,4$  H et en août  $T_{90} = 1,5$  H.

Les modèles mathématiques ne posent pas de problèmes en eau calme. La diffusion de surface y est alors un problème purement hydraulique. En régime turbulent (océan, houle) le phénomène de diffusion est plus complexe. Il faut parfois tenir compte de l'effet de paroi du fond. L'équation générale de la diffusion d'un élément polluant dans un espace à 3 dimensions a été établie en faisant intervenir deux facteurs :

- la diffusion moléculaire (équation de Fick :

$$\frac{\partial c}{\partial t} = K \left( \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \right)$$

où  $K$  est un coefficient de diffusion moléculaire) et sa transposition aux écoulements turbulents due à Boussinesq qui introduit la "diffusivité turbulente" avec une pseudo-constante  $K$  dont l'évaluation pose des problèmes ;

- la mortalité des bactéries, souvent assimilée à une expression de forme  $\frac{\partial c}{\partial t} = -\lambda \cdot c$  par suite de considération sur la cinétique des réactions chimiques ;  $\lambda$  est fonction des éléments en présence, du milieu marin, de la température...

L'équation générale de la diffusion est ainsi la suivante :

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \sum_i \frac{\partial}{\partial x_i} \left( K_i \frac{\partial c}{\partial x_i} \right) - \sum_i u_i \frac{\partial c}{\partial x_i} - \lambda c$$

En ce qui concerne la seule turbulence, le calcul de la pseudo constante  $K$  a été étudié suivant deux approches :

- Kolmogorof indique  $K = a L^{4/3} \omega^{1/3}$  est la taille moyenne des tourbillons et  $a$  une constante variant de 0,002 à 0,05 en unités CGS. Cette loi est connue sous le nom de "loi des 4/3" et est bien vérifiée en haute mer.
- Taylor et Elder proposent  $K_i = \epsilon_i h \sqrt{j}$  dans le cas où les parois viennent influencer le phénomène (cas d'un canal). Ici  $\epsilon_i$  est un coefficient adimensionnel déterminé expérimentalement,  $h$  est le tirant d'eau et  $j$  la pente de la ligne de charge.

Cette équation de diffusion a conduit à des solutions analytiques dans certains cas où les hypothèses permettent de la simplifier. Ainsi si l'on suppose que la vitesse est constante, que la diffusivité turbulente est constante et que la source polluante est ponctuelle on aboutit à :

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u \cdot \frac{\partial c}{\partial x} = \sum_i K_i \frac{\partial^2 c}{\partial x_i^2} - \lambda c$$

On peut alors mettre en évidence des surfaces d'isoconcentration ellipsoïdales, calculables par des systèmes simplifiés d'équations.

Par exemple le rejet permanent effectué à la surface peut s'appréhender par :

$$c = \frac{Q c_0}{2\pi K} \cdot \frac{1}{r'} \cdot \exp(ax') \cdot \exp(-br')$$

$$r'^2 = x'^2 + y'^2 - z'^2$$

$$a = u/2\sqrt{K \cdot K_x} \quad b = \sqrt{a^2 + \lambda/K}$$

$Q$  : débit de l'effluent rejeté dont la concentration est  $c_0$   
 ( $Q c_0$  représente le débit masse du contaminant).

$c_0/c$  représente la dilution de l'effluent.

tandis que le rejet continu par émissaire sous marin peut être abordé en supposant une source théorique ponctuelle située loin à l'amont de la verticale du rejet et telle qu'au niveau où le panache réel rencontre la surface, concentration et dimensions des panaches réels et calculés soient identiques.

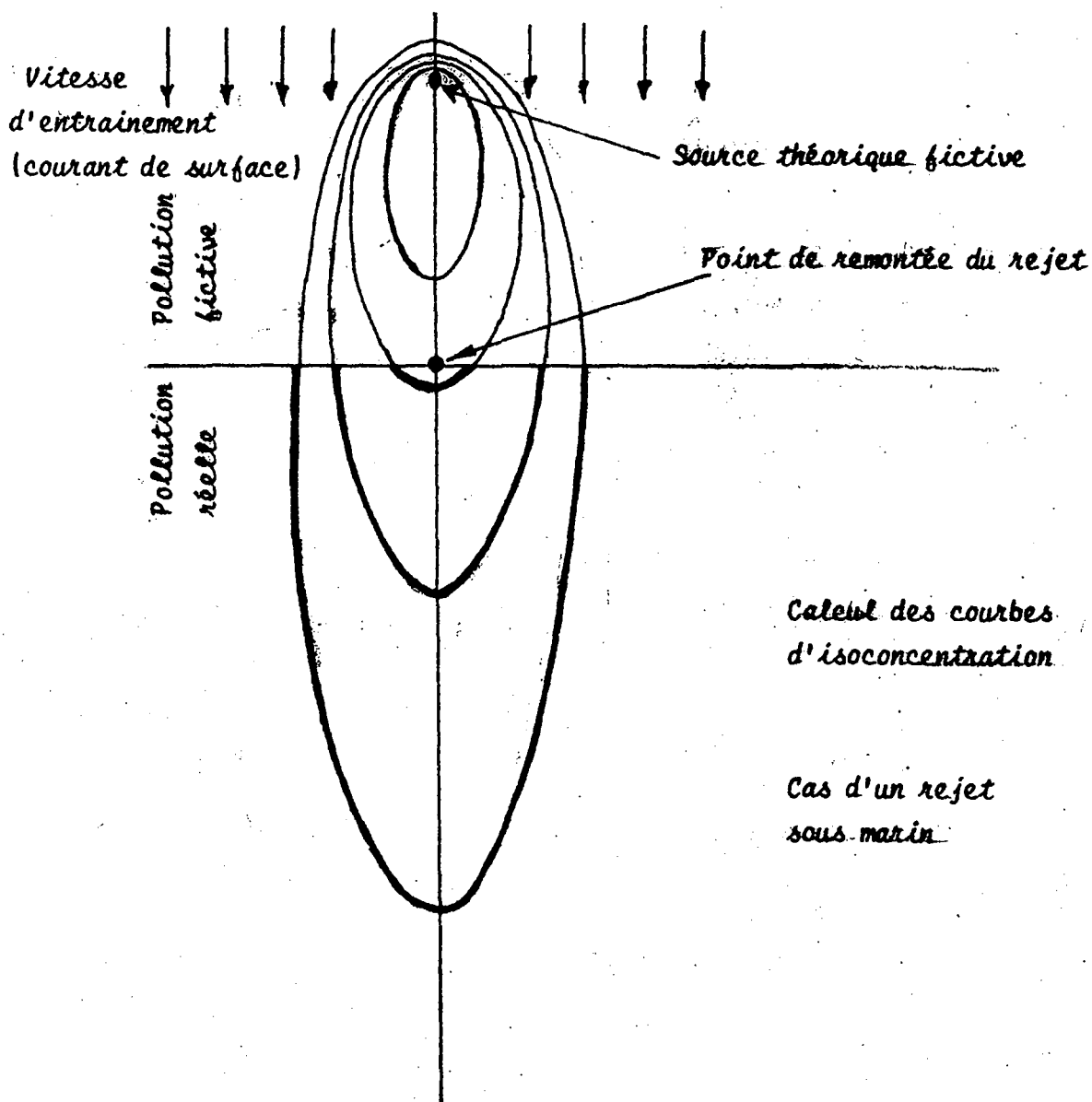
En appelant :  $c_0$  concentration de la source ponctuelle  
 $x_0$  son abscisse en amont du panache  
 $c_p$  concentration sur l'axe du panache à la surface de la mer  
 $\sigma_p$  écart-type de la répartition des concentrations dans la section du panache (l'attention  $\sigma_p$  est calculé sur une surface d'où en diffusion isotrope  $\sigma_p^2 = \sigma_y^2 + \sigma_z^2 = 2\sigma_y^2$ ).

$$x_0 = b \sigma_p^2 / 2 - 1/b$$

$$c_0 = \frac{2\pi K c_p}{Q} \cdot x_0 \cdot \exp[(b-a)x_0]$$

Signalons enfin que la linéarité de l'équation de diffusion conduit à deux principes très intéressants :

- le principe de superposition : l'effet d'un diffuseur multiple pourra ainsi être étudié en superposant les champs de concentration élémentaires ;
- le principe de réflexion sur une paroi. Un flux ne pouvant traverser une paroi ou introduira une "source image" identique et symétrique de la source réelle par rapport à la paroi. La superposition des champs de concentration définissant alors un flux nul à la traversée de la paroi.



b) Insuffisance des méthodes classiques

a. Le taux de coliformes n'est pas toujours un bon indicateur de pollution.

En fait l'étude de la dilution et du taux de coliformes n'est pas toujours suffisante pour juger de la pollution. Il y a tout d'abord le fait que si les concentrations diminuent rapidement (en qq heures) par contre la destruction des germes pathogènes et la dégradation des matières organiques en milieu marin est lente. Le délai de survie des germes est de plusieurs jours (24H à 1 semaine). D'autre part l'autoépuration dépend du type de bactéries : ainsi le calcul pessimiste qui ne tient compte que de la dilution peut être parfois préférable.

Si l'on étudie l'efficacité des stations d'épuration, on s'aperçoit qu'elle est spécifique : l'efficacité à 95 % pour les matières organiques, tombe à 50 % pour les bactéries et à 0 % pour les virus. Ceci est grave parce que l'eau sortant des stations est claire semble donc propre. On a alors tendance à la croire saine et donc à réduire la longueur de l'émissaire ce qui est une grave erreur.

On note (rapport de l'OMS 639 - 1979) que la présence d'un nombre minime de coliformes dans les échantillons d'eau est sans rapport avec le degré de contamination virale. La découverte de virus intestinaux dans l'eau de mer en l'absence de coliformes fécaux ( $< 1/100$  ml) a été signalée dans plusieurs études. Cela implique qu'un indicateur bactérien comme la présence de coliformes fécaux peut être parfois inadéquat ou insuffisant. Les techniques de surveillance de la qualité des eaux devrait comprendre des indicateurs distincts pour bactéries et virus.

b. Il n'y a pas que les bactéries qui introduisent une gêne pour le milieu marin.

En effet les thèmes classiques exposés rapidement ci-dessus se basent sur le choix d'un seul indicateur de pollution. Or si la gêne pour la baignade ou la culture de coquillages y est directement liée il y a d'autres nuisances moins faciles à chiffrer mais parfois aussi pernicieuses. On peut ainsi citer :

- le cas des rejets de substances toxiques (métaux lourds notamment). Même si la dilution est élevée il y a possibilité de concentration dans les différentes chaînes biologiques (depuis le phytoplancton jusqu'aux poissons) et donc un danger pour la consommation en bout de chaîne. Dans ce cas allonger l'émissaire ne sert à rien. Il faut éliminer les produits toxiques avant de les envoyer à l'égoût ou mieux changer le processus de fabrication.

- la pollution chimique : très rares, sont les rejets dont on peut affirmer a priori qu'ils sont totalement inertes du point de vue chimique. On peut s'attendre à des désordres dans les mécanismes de régulation assurant l'équilibre biologique des populations planctoniques et bactériennes.

Au point de vue PH l'eau de mer est légèrement alcaline (PH de 8,2 à 8,3). Les rejets alcalins sont ainsi mieux supportés que les rejets acides bien que le milieu marin compense aisément les variations de PH qui lui sont imposées (pouvoir tampon).

- la pollution thermique : la faune marine est très sensible à une élévation de température : les êtres marins fixent souvent davantage de polluant quand la température s'élève et surtout montrent vis-à-vis des polluants une sensibilité accrue. Il faut remarquer que l'influence de la température est variable suivant les espèces et entraîne un déséquilibre du peuplement. A titre d'exemple dans les cas d'utilisation de l'eau de mer comme agent de refroidissement on note que la production de phytoplancton dans l'eau de transit diminue nettement (20 %) dès que l'on approche ou dépasse les températures maximales annuelles de la région.

#### I.4. Nécessité d'une épuration préalable.

Il résulte de ce qui précède qu'une épuration préalable est la condition nécessaire d'un rejet marin acceptable. Les études de dilution et de suivi des concentrations bactériennes sont des études d'évolution à court terme, qui ne préoccupent que les zones côtières. Or la mer n'est pas une poubelle. Il n'est pas sage de croire que l'on puisse sans danger y introduire de façon incontrôlée des quantités de plus en plus grandes de matières organiques, bactéries, ou produits toxiques.

Il faut donc essayer de réduire au maximum le taux de matières polluantes avant le rejet : une décantation de 2 heures entraîne une diminution de la charge bactérienne d'un facteur 10, une sédimentation de 4 heures d'un facteur 100 (rapport CERBOM U40 de janvier 73).

D'autre part il faut prescrire tout rejet en surface (qui va avoir tendance à s'étaler). Le rejet en profondeur a l'avantage de diluer fortement les effluents avant leur remontée éventuelle en surface.

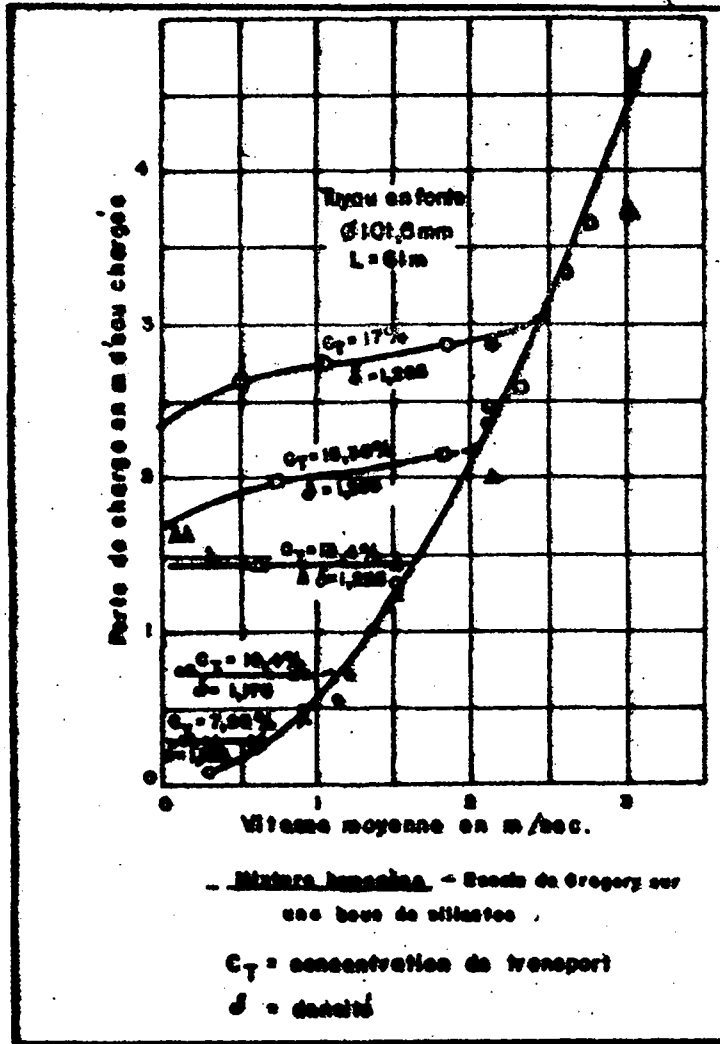
Enfin au point de vue épuration proprement dit, il faut noter que la pratique de la dilacération est mauvaise car elle multiplie le nombre de particules fines, celles justement qui fixent les bactéries et les transportent.

## II - CALCUL DE L'EMISSAIRE

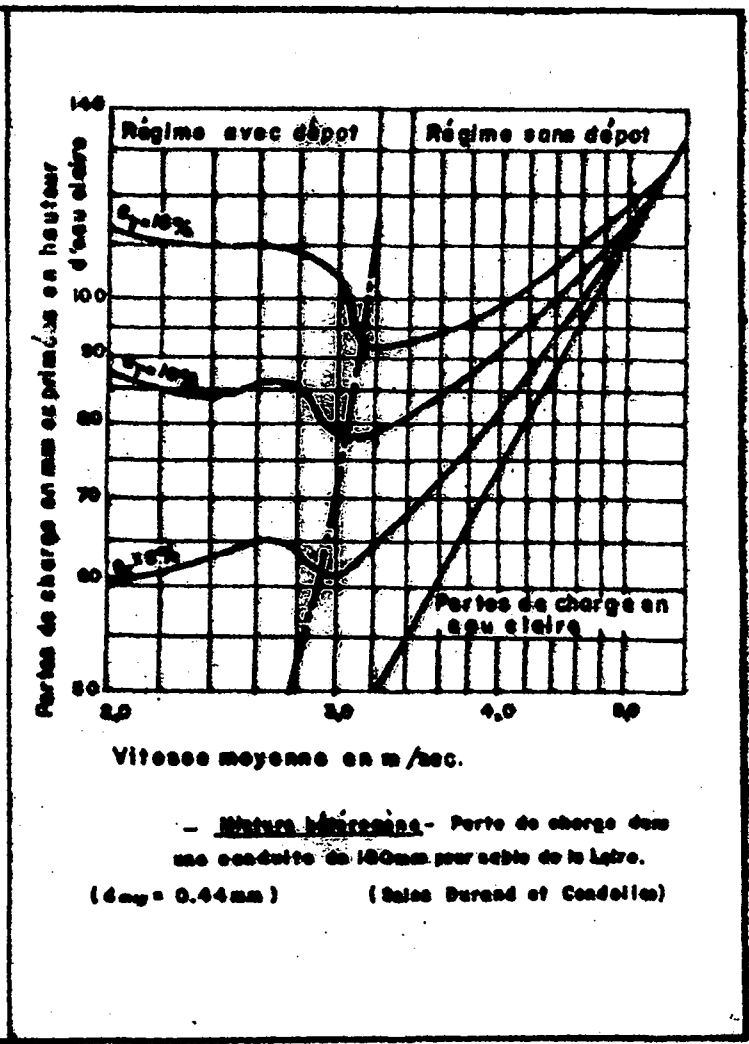
Le choix d'une canalisation sous-marine et sa pose nécessitent la prise d'un certain nombre de précautions plus contraignantes que celles de la pose de conduites à terre. Nous avons vu que la longueur de l'émissaire résultait de ~~considérations sur~~ l'effet de l'effluent sur le milieu marin. Le calcul du diamètre intérieur de la conduite repose sur le calcul des pertes de charge et des vitesses limites acceptées. En ce qui concerne le matériau, l'épaisseur de conduite et les conditions de pose, le choix des caractéristiques de l'ouvrage est très lié à l'influence de l'environnement marin.



**Figure 6**



**Figure 7**



**Exemples de pertes de charge dans le cas d'eau chargée**

## II.1. Choix du diamètre intérieur : Evaluation des pertes de charge

- a) Lorsque le liquide transporté consiste en des eaux domestiques, il se dépose sur les parois de la canalisation une pellicule grasse qui améliore l'écoulement. Les pertes de charge peuvent alors se calculer par les formules classiques par exemple celle de BAZIN :

$$V = c\sqrt{Ri} \text{ avec } c = 87/(1 + \delta/R) \text{ et } \delta = 0,25$$

ou plus simplement celle de MANNING STRICKLER avec un coefficient de rugosité de 70 :

$$V = 70 R^{2/3} I^{1/2}$$

la vitesse choisie pour l'écoulement est généralement proche de 1 m/s.

- b) Dans le cas de rejets liquides industriels ou de produits de dragage, les éléments entraînés en suspension conditionnent l'écoulement. Le transport hydraulique des eaux usées dans les canalisations d'amenée se ramène alors à un problème de transport solide. En préalable au calcul des pertes de charges de la mixture il faudra déterminer la perte de charge du liquide seul (pur) par les formules classiques sans oublier de faire un correctif pour tenir compte de la viscosité réelle, de la densité et de la température du liquide en mouvement. La prise en compte des éléments solides dépend essentiellement de la grosseur des éléments transportés.

Pour les boues (très fines particules  $< 20 \mu$ ) le mouvement relatif des particules par rapport à l'eau suit la loi de chute des corps dans l'eau (loi de Stokes) on parle alors de liquide visqueux que l'on assimile à une phase unique. Pour les faibles vitesses (régime laminaire) les pertes de charge sont quasiment indépendantes du débit et ne dépendent que de la "concentration de transport" CT (débit solide / débit total). Au delà d'une certaine vitesse de changement de régime ( $Re > 2000$ ) l'écoulement devient turbulent et la perte de charge prend alors la même valeur que dans l'eau pure à condition de l'exprimer en hauteur de mixture. La concentration et la viscosité du liquide n'interviennent plus tandis que l'influence de la rugosité des parois devient prépondérante (cf. figure 6).

Pour le transport des particules plus grosses (sables) le liquide ne peut plus être considéré comme homogène. Plusieurs types d'entraînement de matériaux apparaissent : les sables fins (50 à 150  $\mu$ ) sont entraînés en suspension (les grains progressent sans toucher le fond), les sables plus gros ( $> 1,5$  mm) progressent par saltation (par bonds successifs). Les lois régissant ce genre de transport solide sont très différentes suivant que l'on est à faible vitesse avec apparition de dépôts immobiles sur le fond de la conduite, ou à forte vitesse avec un écoulement sans dépôt. La perte de charge, forte avec dépôt du fait en particulier de la réduction de diamètre passe par un minimum pour la "vitesse limite de dépôt" puis augmente régulièrement avec la vitesse pour rattraper asymptotiquement la perte de charge en eau claire (sans tenir compte des correctifs de densité). Cette vitesse limite de dépôt dépend de la granulométrie des matériaux transportés, elle est de l'ordre de 2,50 m/s pour des conduites  $\varnothing$  150. On montre que c'est la vitesse économique de refoulement (cf. figure 7).

Figure 8

LES DIFFERENTS MODES DE LESTAGE D'UNE CONDUITE  
SOUS-MARINE PAR CORPS-MORTS ET COLLIER

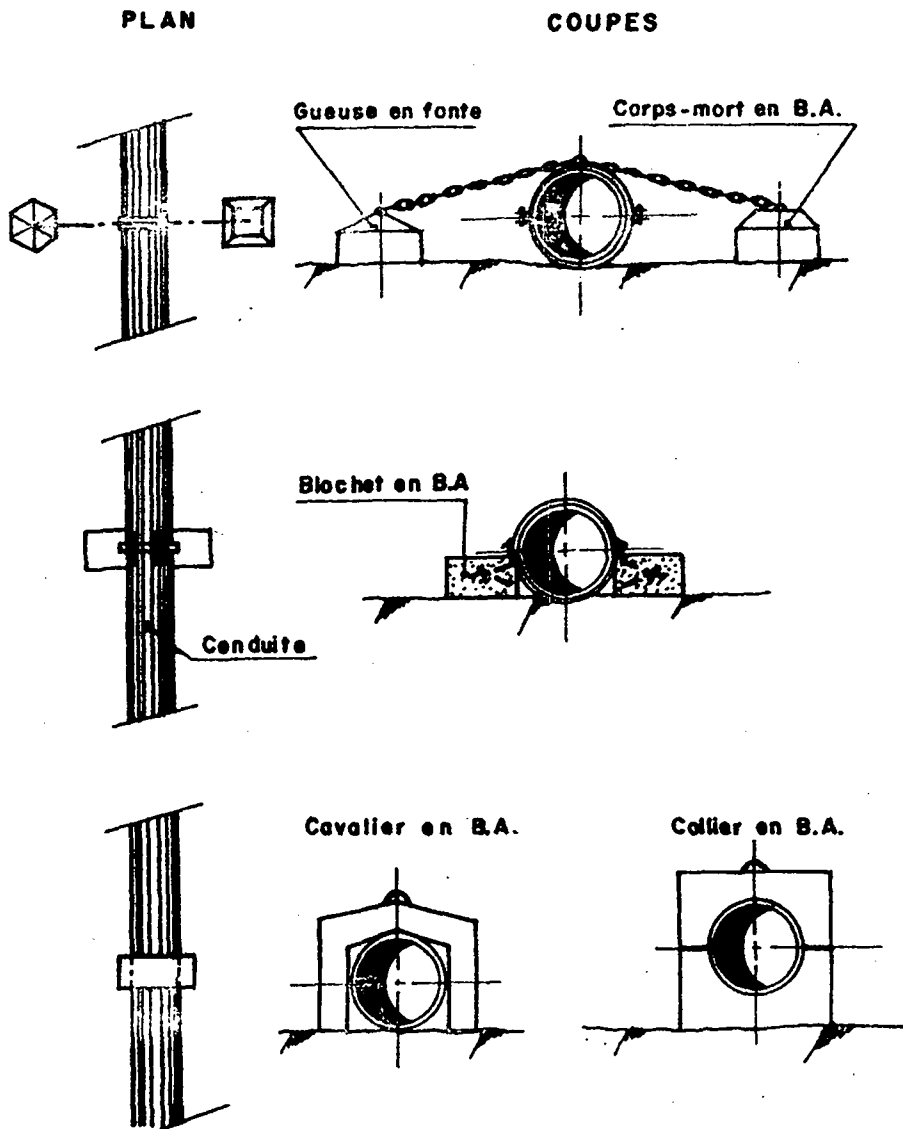
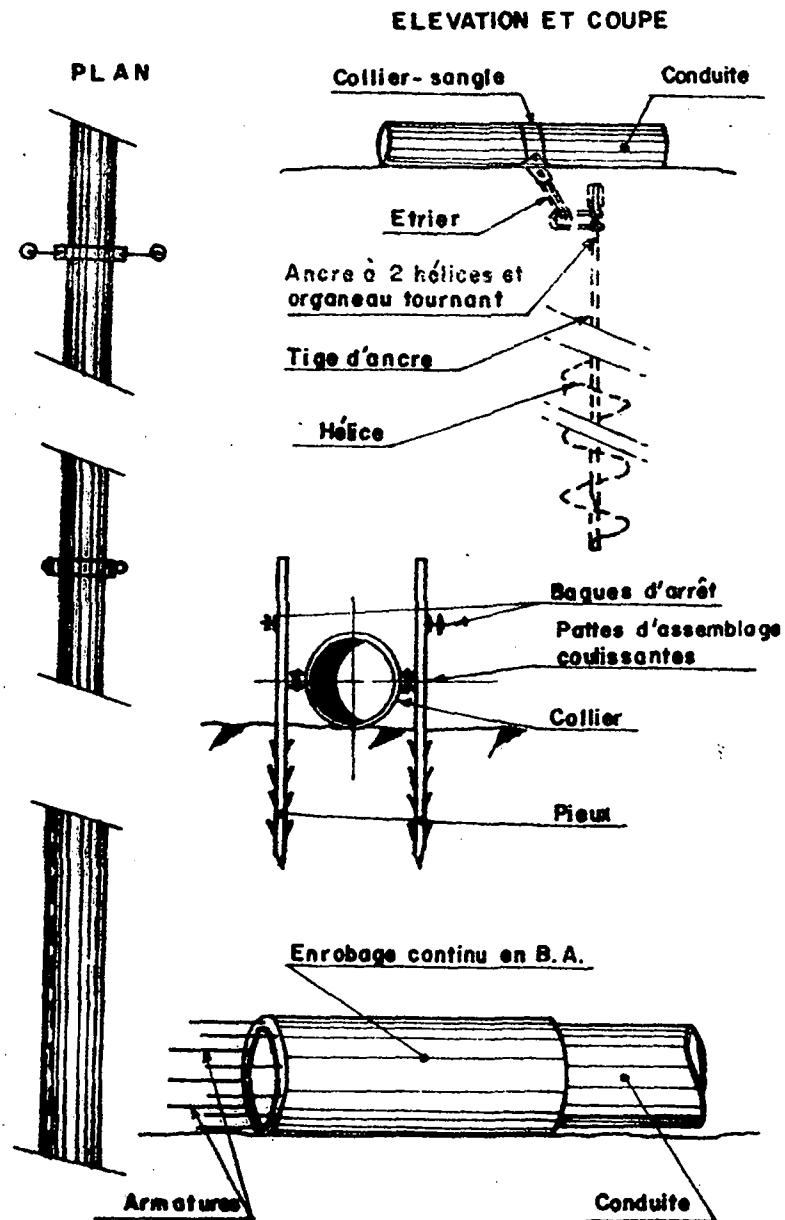


Figure 9

LES DIFFERENTS MODES D'ANCRAGE ET D'ENROBAGE  
CONTINU D'UNE CONDUITE SOUS-MARINE



## II.2. Choix des autres caractéristiques : Influence de l'environnement marin.

Les divers mouvements de la mer (marée, houle, courants) concernent d'énormes masses d'eau et correspondent à des énergies énormes qui sont libérées lorsque la masse d'eau heurte des obstacles. Les sollicitations de la conduite sous marine sont proportionnelles au diamètre de l'ouvrage et au carré des vitesses. Pour calculer les efforts imposés à l'ouvrage il faut donc connaître courants (direction, intensité, profondeur) et houles (amplitude, période, longueur d'onde). Les courants doivent s'étudier sur une année complète par suite du caractère saisonnier de leurs caractéristiques. La houle est un phénomène qui peut être considéré comme aléatoire et peut donc être étudié par les procédés de la statistique et de la probabilité. On détermine ainsi la houle exceptionnelle de durée de retour 20 ou 50 ans à laquelle devra résister la canalisation. Du fait du caractère oscillatoire de la houle, des phénomènes de résonance peuvent également apparaître.

La tenue de la conduite sous l'effet de la houle et des courants dépend entre autres facteurs du poids apparent de la conduite dans l'eau. Pour obtenir un poids apparent suffisant on choisit souvent une épaisseur de paroi excédentaire par rapport aux contraintes internes de l'ouvrage mais permettant une bonne tenue globale.

Pour diminuer l'effet des mouvements de la mer sur l'ouvrage on peut utiliser deux procédés : soit dédoubler les diamètres, soit "en souiller" la canalisation. Ce dernier procédé supprime totalement l'action de la houle et des courants mais a l'inconvénient d'être très coûteux surtout sur fond rocheux.

La pose de la conduite sur le fond marin peut se faire suivant plusieurs procédés. Nous venons de parler de pose en souille qui n'est réalisable que si la densité du sol est inférieure à la densité de la conduite (sinon celle-ci remonte à la surface). La canalisation peut également être posée directement sur le fond si la résistance du sol à la pression est supérieure à la pression exercée par la conduite, et si la conduite est susceptible de ne pas se mouvoir latéralement (coefficient de frottement perpendiculairement à la conduite suffisamment élevée pour que la conduite résiste aux courants traversiers). Il faut également que le poids apparent de la conduite soit suffisant sinon on doit procéder au lestage ou à l'ancrage de la conduite (figures 8 et 9).

Signalons enfin que le choix du matériau et de l'épaisseur de la conduite sera guidé outre les considérations de résistance physique aux sollicitations (courant, houle, poinçonnement sur le sol si le fond est rocheux, conditions de pose) par les problèmes de résistance chimique aux agressions de l'effluent d'une part et de l'eau de mer d'autre part. Généralement le choix s'oriente vers des conduites en acier éventuellement protégées par un revêtement passif ou par un dispositif de protection cathodique.

\*

\* \*

### III - CONCLUSION

Bien que le rejet direct en mer ne soit qu'un volet de la pollution marine (la pollution vient également des rivières - émissaires naturels, des déversements d'hydrocarbure) et que garder une mer propre ne puisse s'obtenir que par des mesures globales, la technique du rejet en mer n'est en définitive acceptable que pour des eaux ayant suivi au préalable un traitement d'épuration au moins physique d'égrillage, de décantation primaire ou d'effleurage après oxydation naturelle. Si les méthodes décrites sommairement dans ce chapitre permettent de définir les grandes lignes que doit suivre le projet d'un émissaire en mer, il est bon de rappeler que les méthodes de calcul de la pollution et des nuisances qui en résultent sont malheureusement limitées dans le temps (évolution des bactéries sur quelques heures voire quelques jours) dans l'espace (on ne s'intéresse qu'à la frange côtière et aux zones utiles), et ne s'intéressent qu'à un certain nombre de facteurs (taux en coliformes notamment) les autres facteurs étant rarement étudiés à cause de leur complexité (pollution chimique, thermique ou en matières toxiques).

Il reste d'énormes progrès à faire avant de pouvoir prétendre rejeter en mer des eaux usées inoffensives.

\*

\* \*

CHAPITRE 2 : UN CAS PARTICULIER EN AFRIQUE DE L'OUEST : LE PROJET DE REJET  
===== EN MER DES EAUX USEES D'ABIDJAN =====

En 1974 le PNUD a demandé une étude de factibilité des systèmes d'assainissement et de drainage de la ville d'Abidjan. Le rapport élaboré par les ingénieurs conseils Holfelder, et la SCET International traite en particulier de la pollution de la lagune Ebrié avec comme possibilité l'évacuation des eaux usées par un émissaire en mer. Nous allons indiquer ici les raisons de ce choix.

I - ETAT ACTUEL

a) Rejets.

La situation actuelle du réseau d'assainissement d'Abidjan est déplorable. Malgré quelques nouveaux lotissements dotés de station de traitement pour des ensembles de 10.000 habitants et la présence de fosses septiques et de puits perdus dans les quartiers résidentiels, une grande partie des rejets urbains est évacuée sans aucun traitement : Sortie des fosses septiques dans les fossés des rues, rejets directs dans les canaux ou conduites enterrées. Le type de réseau d'assainissement n'est pas bien défini : tantôt unitaire pour les quartiers anciens, tantôt séparatif pour les lotissements plus modernes avec une tendance au retour à l'unitaire par suite des déversements sauvages. L'ensemble des eaux récoltées aboutit à la lagune Ebrié en de nombreux points de rejet. D'autre part l'industrialisation de la ville d'Abidjan introduit de nouvelles sources de pollution (cimenterie, brasserie, fabrique de détergents, savonnerie, raffinerie, centrales thermiques). La part annuelle de ces deux sources d'eaux usées est estimée ainsi :

	<u>Volume</u>	<u>Pollution</u>
Eaux domestiques	15,8 10 <sup>6</sup> T	14 200 T
industrielles	13 10 <sup>6</sup> T	4 800 T

soit environ 1/3 pour l'industrie, 2/3 pour les rejets urbains. Ainsi on peut dire en première approximation que l'ensemble des eaux usées d'Abidjan rejoignent directement la lagune sans traitement. L'inconvénient de cet état de fait est de deux ordres : tout d'abord au niveau des quartiers l'état sanitaire est insuffisant et les maladies hydriques constituent un risque constant. Un développement du réseau d'assainissement y est envisagé.

L'autre point est la dégradation rapide de la lagune. Plusieurs hypothèses sont envisagées pour tenter de freiner cette tendance, et bien que la solution soit liée à la façon de traiter le réseau d'assainissement nous allons nous intéresser ici à la seule régression de la pollution de la lagune.

b) La lagune, unique récepteur.

Actuellement donc, la lagune Ebrié reçoit l'ensemble de la pollution de la ville d'Abidjan dont la population doit passer de 550 000 hab. en 1970 à environ 1,5 Million d'habitants en 1985. Cette lagune est très

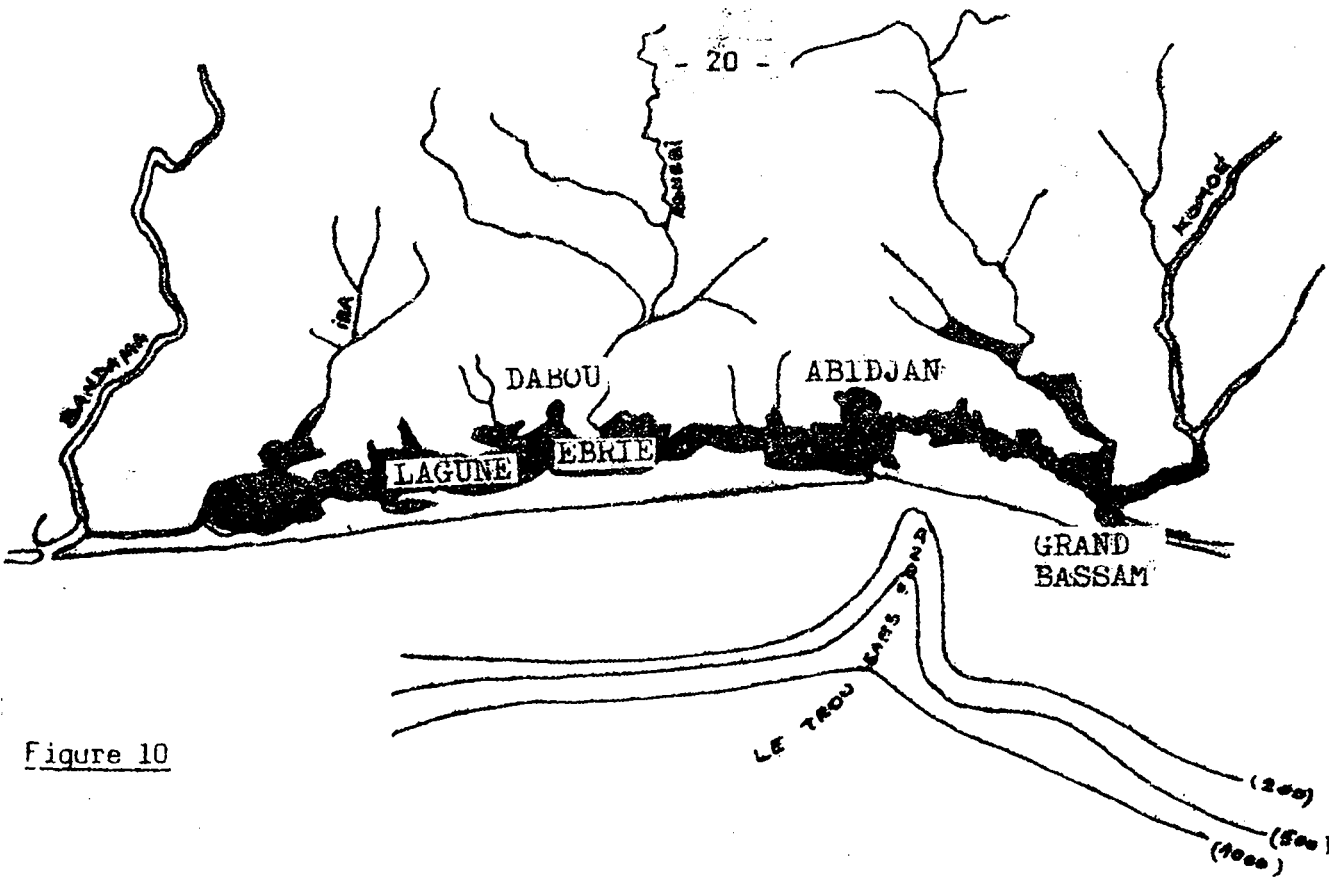
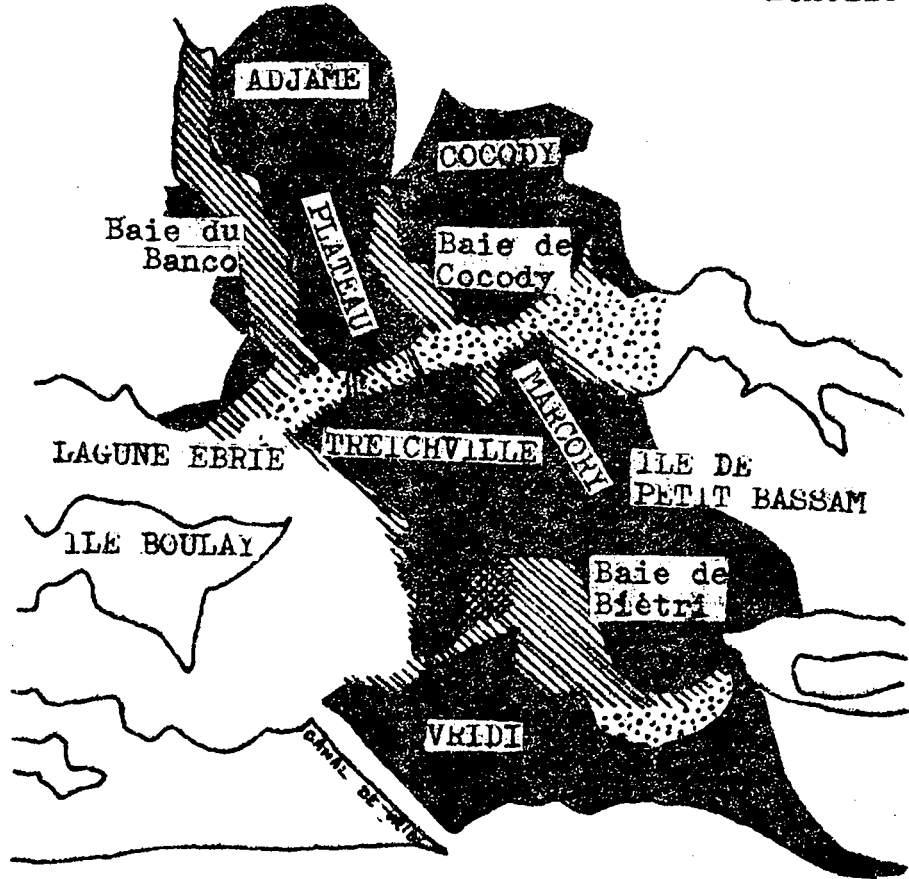





Figure 10

Echelle 1/1.000.000



ABIDJAN :  
LA LAGUNE EBRIE ET SA POLLUTION EN 1974

-  zones mortes
-  zones en danger immediat
-  zones vulnérables

longue (120 km) et est alimentée en eau douce par fleuves et rivières, et en eau salée par sa communication avec l'océan (canal de Vridi à Abidjan). D'assez forts courants y circulent dus à la marée et aux apports d'eau douce. On y note un changement saisonnier de la salinité.

Du fait du manque de réglementation pour le rejet des eaux et pour la nappe, le risque de pollution ne peut qu'augmenter. On craint même de voir apparaître la pollution dans les deux sources d'eau prévues pour l'avenir : la nappe et la lagune d'Aghien.

Une étude de l'état de la lagune dans la zone d'Abidjan a été faite par la recherche du pourcentage de saturation en oxygène, critère commode pour déterminer les pollutions toxiques. L'évolution de l'oxygène en fonction de la profondeur de la mesure renseigne sur la vie de la lagune et son éventuelle eutrophisation. On a ainsi pu montrer que certaines baies fermées étaient entièrement mortes, tandis que de grands plans d'eau comme le port, la baie de Cocody et celle de Biétri étaient en grand danger (fig.10)

Or cette lagune est un atout économique par plusieurs côtés. La pêche tout d'abord qui a beaucoup regressé dans les dernières années est menacée à court terme. L'industrie de la crevette n'est pourtant pas négligeable puisqu'elle rapporte 600 Millions CFA par an. En ne regardant que la quantité de poissons pêchés on voit un net recul : avant 1940 les pêcheurs "à l'épervier" ramenaient jusqu'à 300 kg/jour. Après ouverture du canal de Vridi (1954) et la modification de la salinité de la lagune le montant quotidien est tombé à 10 kg/jour environ avec modification des espèces prédominantes. Actuellement l'augmentation de la pollution inaugure une deuxième chute de production.

L'attrait de la lagune pour Abidjan est également un point fort. La pollution généralisée entraînerait une baisse des revenus du tourisme, des sports nautiques ainsi qu'une dévalorisation des zones polluées avec migration de population. Enfin à plus long terme l'état sanitaire des populations riveraines pourrait s'en ressentir.

## II - LE PROJET

L'on a donc étudié des solutions d'amélioration et des variantes. Quatre niveaux de réduction de pollution ont été envisagés.

30 % par traitement mécanique (T.M.)	coût	550 millions/an
90 % T.M. suivi d'épuration biologique (E.B.)	"	1300 " "
98 % T.M. puis E.B. suivi de traitement tertiaire	"	1800 " "
100 % rejet à la mer.	"	830 " "

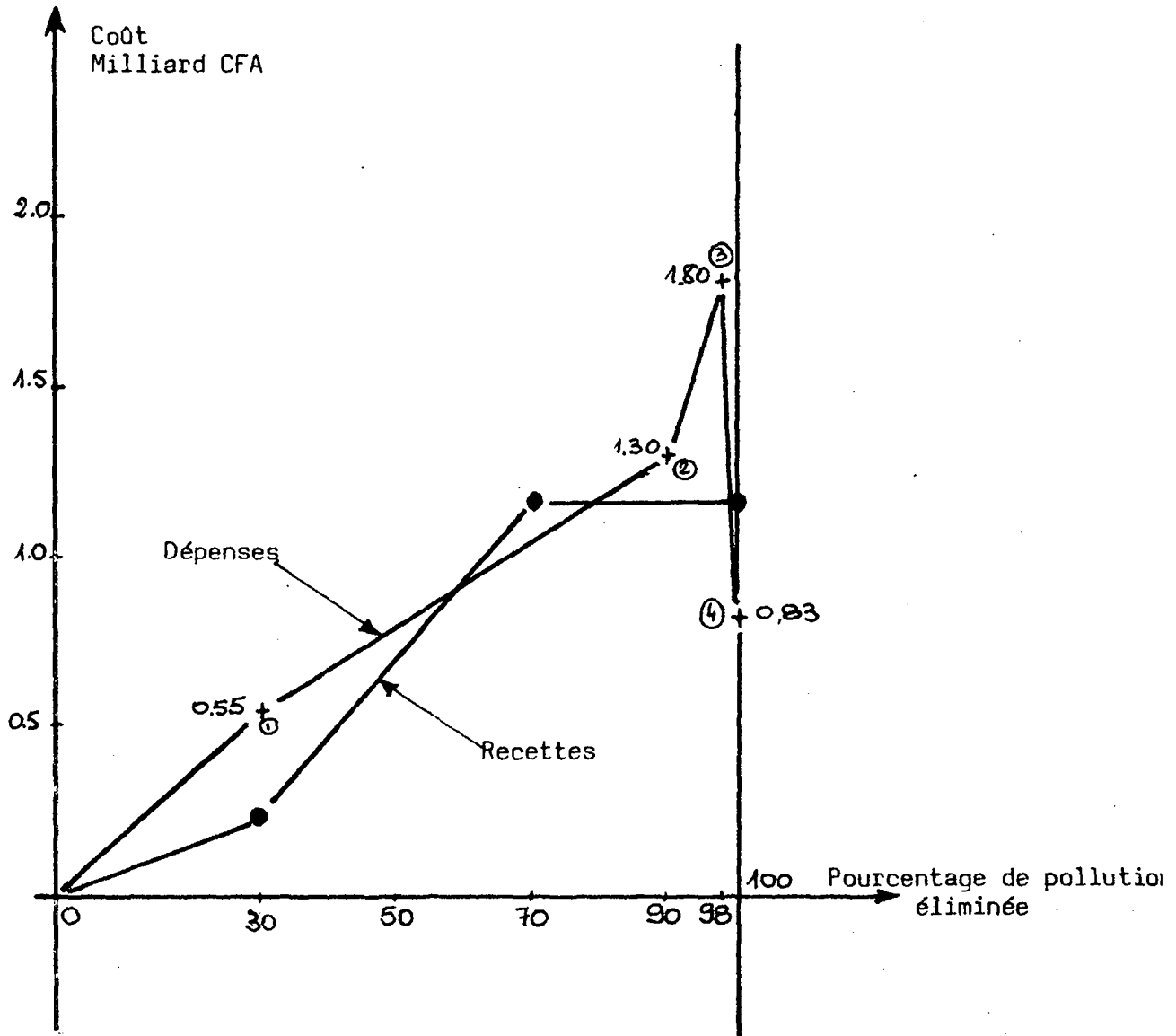
Les quatre solutions ont été étudiées du point de vue bilan économique. Bien que la lère solution soit la moins chère, il apparaît que la solution rejet à la mer lui est nettement préférable car elle ne correspond qu'à un surcoût assez faible avec possibilité de mise en valeur de la lagune sous tous ses aspects (pêche, tourisme...).

La solution par rejet en lagune après épuration est beaucoup plus chère. Le degré de pollution économique étant de 70 % dans le cas où le rejet en mer ne pourrait pas se faire (figure 11).



Figure 11

ASSAINISSEMENT D'ABIDJAN  
DEGRE DE POLLUTION ECONOMIQUE



- ① Traitement mécanique.
- ② Traitement mécanique + Epuration biologique
- ③ Traitement mécanique + Epuration biologique + Traitement tertiaire
- ④ Rejet en mer

- a) Caractéristiques du milieu marin. Le milieu marin au niveau d'Abidjan est caractérisé par de forts courants (de surface en direction W.E., de profondeur en direction E.W.). La stratification de l'eau en densité est bien développée en saison chaude (thermocline) mais on a une densité sensiblement constante en saison froide. Il existe une vallée sous marine relativement profonde au large d'Abidjan ("Trou sans fond").
- b) Contraintes de pollution : à court terme il y a peu de contraintes vis-à-vis de la pollution dans l'océan. D'une part la frange côtière est peu ou pas accessible aux baigneurs (houle très forte) et aucune culture de coquillage n'y est pratiquée. C'est au contraire dans la lagune que de telles contraintes apparaissent (crevettes, sports nautiques). A l'heure actuelle la pollution d'Abidjan gagne de toute façon au moins partiellement l'océan par l'intermédiaire du canal de Vridi.
- c) Grandes lignes du projet. Diverses hypothèses de projet sont en cours. Mais il semble que l'on doive s'orienter vers un réseau d'assainissement à sortie unique vers un émissaire en mer. Cet émissaire aurait une longueur de 15 km environ et atteindrait "le trou sans fond" au-dessous de la thermocline.

La durée de vie prévue pour l'émissaire est de 25 ans. Sa construction est prévue en 2 phases en relation avec la restructuration du réseau d'assainissement d'Abidjan. La première phase consisterait à drainer vers l'océan, les rejets des zones les plus menacées de la lagune (port, baie de Cocody et baie de Bietri). Elle devrait être mise en place au bout d'environ 5 ans, tandis que la phase 2 interviendrait au bout de 10 ans et drainerait l'ensemble des eaux usées de la ville.

Le rejet unique a pour avantage de permettre un contrôle fréquent et précis de la toxicité des rejets. Le rapport prévoit que devront être éliminés tous les rejets toxiques, et tous les rejets nocifs par accumulation dans les chaînes alimentaires. Cette élimination devra se faire au niveau des usines avant dilution dans la grande masse des eaux usées. Enfin notons qu'un traitement préalable complet est prévu à long terme.

Au point de vue transport hydraulique sur les 15 km, il y a à priori 3 choix possibles : conduites de refoulement, conduites gravitaires et régime mixte. Les conduites gravitaires sont préconisées d'un point de vue de sécurité. On note également qu'elles sont plus adaptées au contexte africain : les canalisations gravitaires peuvent être de construction locale, d'autre part les stations de relèvement type vis d'Archimède sont beaucoup moins complexes que les stations de refoulement sous pression (niveau de technicité plus faible). On peut enfin noter que le transport gravitaire assure l'aération de l'effluent ce qui élimine les risques d'évolution anaérobie.

Les débits d'eaux usées à rejeter sont les suivants :

moyenne annuelle	7500 m <sup>3</sup> /h
maximum journalier	9700 m <sup>3</sup> /h
maximum horaire	12500 m <sup>3</sup> /h

### III - CONCLUSION

Le rejet en mer des eaux usées d'Abidjan entre dans le cadre de l'amélioration générale de l'assainissement de la ville. Vu le contexte, les problèmes de pollution de l'océan dus à ce rejet passent au second plan bien qu'il soit prévu d'en tenir compte à l'avenir. A court terme on cherche à mettre un frein au dépérissement de la lagune Ebrié qui reçoit jusqu'à présent la totalité des rejets, et ce sans traitement. La zone qui baigne Abidjan est pratiquement morte ou en voie de le devenir, et la pêche dans la lagune est fortement menacée. La solution par rejet en mer a été pressentie comme plus économique et plus performante qu'un épurement complet avant rejet dans la lagune.

---

EXAMEN DES INFORMATIONS DISPONIBLES A L'EGARD DES  
DIFFERENTS PAYS

Annexe 1

Texte extrait de [4] "Evacuation des déchets liquides dans le Golfe de Guinée et les zones adjacentes". Atelier international sur la pollution de la mer - Abidjan 1978, avec l'auto-risation de l'O.M.S.

On trouvera ci-après de brèves fiches signalétiques résumant la situation de l'assainissement dans les pays du Golfe de Guinée pour lesquels on dispose d'informations.

a) Bénin

Il n'existe pas de véritable réseau d'égouts à Cotonou, les eaux usées étant rejetées en partie dans la lagune et en partie dans des caniveaux conduisant à la mer. Les gadoues et les boues des fosses septiques et autres déchets sont directement rejetés dans la lagune.

En 1972, un Plan directeur d'assainissement a été envisagé en même temps qu'une étude sur les eaux réceptrices. Pour parvenir au plan d'assainissement optimum, quatre solutions différentes ont été mises à l'étude. Elles se distinguaient les unes des autres tant par le nombre et le type des stations de traitement envisagées que par le recours aux émissaires marins pour l'évacuation.

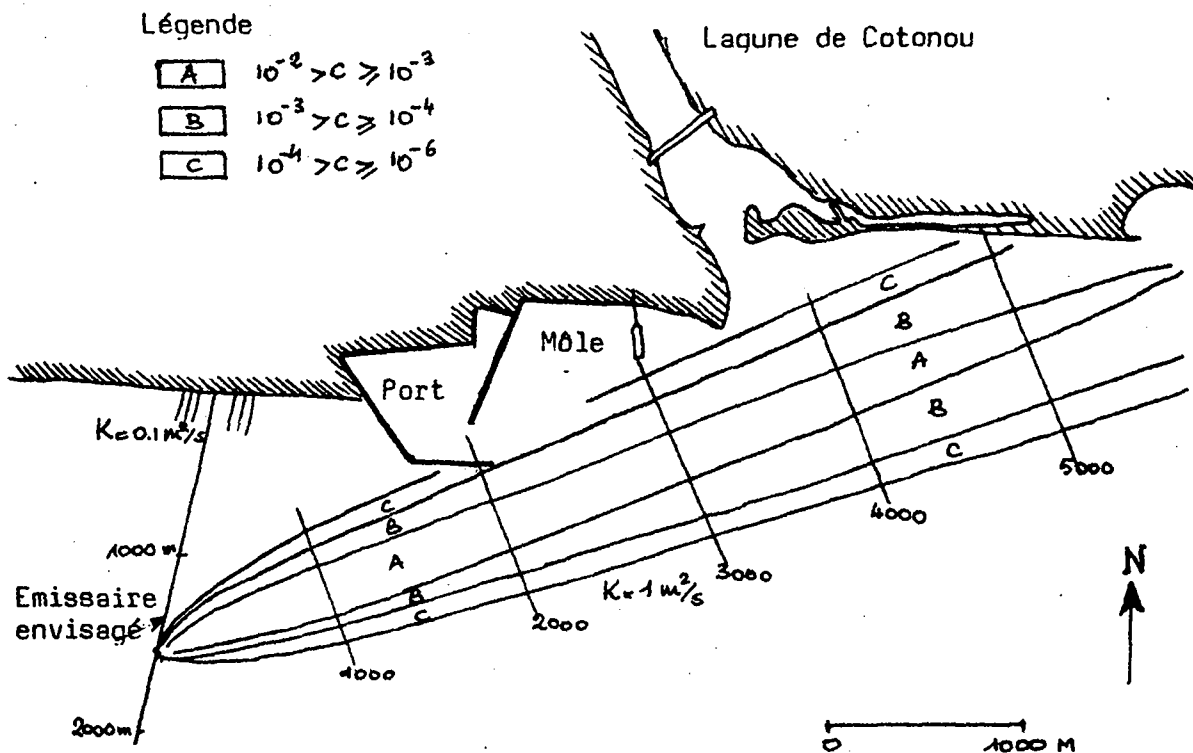
La solution la moins coûteuse consisterait à créer un réseau de canalisations par gravité et de stations de pompage équipées de pompes à vis d'Archimède qui transporterait les eaux usées jusqu'à deux stations de traitement mécanique et à des émissaires marins disposés de part et d'autre de la lagune de Cotonou. Quant aux projets qui feraient appel au traitement mécanique-biologique avec rejet dans la lagune ou le lac Nokoué, ils seraient évidemment beaucoup plus coûteux.

Les hypothèses sur lesquelles reposaient les différents projets d'assainissement envisageables ont été recoupées au moyen d'études complémentaires avant présentation des recommandations définitives. Ces enquêtes ont comporté une étude des eaux réceptrices destinée avant tout à recueillir des données permettant de calculer l'emplacement optimum des points de rejet, ainsi que les caractéristiques des conduites de l'émissaire, des orifices, etc. Le transport des sédiments, les caractéristiques du fond, ainsi que la salinité et la distribution des températures ont été examinés, tandis que l'on procédait à une étude des courants au moyen d'ancre flottantes et de traceurs.

Ces études ont permis de conclure que le maximum d'avantages serait réuni par un point de rejet situé à l'ouest du port, à plus d'un kilomètre du rivage. C'est à des critères d'hygiène, et surtout au dénombrement des coliformes sur les plages, que l'on a fait appel pour calculer la longueur exacte de la canalisation de l'émissaire, en retenant pour hypothèse certains ordres de grandeur, qu'il s'agisse du taux de décroissance des coliformes ou du coefficient de diffusion des remous. Même avec

des écarts, ces constantes garantissaient des conditions d'hygiène acceptables pour la longueur retenue, soit 1,5 km. La figure 12 présente la dilution des eaux usées entraînées par les courants orientés à l'est, dans les conditions moyennes.

FIG. 12 - COURBES D'ISOCONCENTRATION DES COLIFORMES (CALCULS)



Une recommandation a été proposée sur la base de l'étude détaillée des eaux réceptrices et acceptée dans le Plan directeur. L'option envisagée présente le double avantage d'être peu coûteuse et de constituer un moyen d'élimination acceptable du point de vue de l'hygiène. On escompte que les eaux usées ne modifieront que très exceptionnellement la qualité de l'eau à proximité du port et à l'entrée de la lagune de Cotonou.

b) Congo

Une étude sectorielle de l'OMS sur l'adduction d'eau et l'assainissement est en cours.

c) Gabon

L'OMS a dressé un Plan directeur d'assainissement et de drainage de la ville de Libreville, lequel a été remis au gouvernement en novembre 1977. Le système proposé envisageait le traitement des eaux usées au moyen de bassins d'oxygénation, avec rejet de l'effluent loin des zones bâties.

d) Ghana

Tema est la seule ville du Ghana qui dispose d'un réseau d'égouts complet. Les eaux usées brutes sont recueillies dans un réservoir puis rejetées périodiquement à la mer par un émissaire marin d'environ 1,6 km de long.

Le Centre d'Accra a été doté d'un réseau d'égouts, mais les habitations ne sont que très lentement raccordées à l'égout. Certains ont fait valoir que la pratique qui consiste à créer un système d'égouts dans les villes existantes en commençant par les parties les plus anciennes comportait de graves inconvénients techniques. C'est pourquoi on a recommandé, une fois mis au point le plan directeur d'assainissement d'une ville, de commencer par les quartiers neufs et de les doter de stations de traitement provisoires compatibles avec l'environnement local. Le système d'égouts pourrait ensuite être étendu des quartiers neufs en cours de construction aux parties anciennes de la ville.

Une fois terminé, le système d'égouts de la ville d'Accra comportera deux émissaires marins qui s'avanceront dans la mer sur une longueur d'environ 1,5 km. Les 90 derniers mètres de chaque émissaire seront dotés d'orifices destinés à améliorer la dispersion et la dilution initiale. Les plans prévoient un traitement préalable à l'évacuation en mer, qui consistera en une dilacération pouvant être suivie de l'élimination des matières flottantes si l'expérience en montre la nécessité.

Le reste de la ville d'Accra, qui n'est pas encore desservi par le nouveau système, ainsi que d'autres villes du Ghana font appel aux égouts d'établissements publics ou privés, aux fosses septiques individuelles, aux cabinets à eau et aux tinettes. Les gadoues sont rejetées à la mer, au niveau de la barre, ou enterrées dans des tranchées peu profondes. On estime toutefois que le système des tinettes devrait être remplacé et que, tant qu'elles restent en usage, le rejet dans l'océan devrait être remplacé par l'usage de tranchées ou de bassins de stabilisation.

e) Côte-d'Ivoire

(cf. chapitre 2).

f) Libéria

A l'heure actuelle, il n'existe au Libéria aucun projet OMS d'hygiène du milieu. Toutefois, l'aide bilatérale américaine a contribué à améliorer le système d'égouts de Monrovia, encore que l'on ne dispose pas de renseignements détaillés sur cette opération.

g) Mauritanie

Seule Nouakchott est équipée d'ouvrages d'assainissement. Ils se composent de réseaux séparés pour les eaux usées et les eaux d'orage, d'une station de pompage et d'une station de traitement biologique avec chloration ultérieure de l'effluent. Un quart des eaux usées traitées (sur un total de 800 m<sup>3</sup>/j) est vendu aux maraîchers pour l'irrigation. On a constaté que des eaux insuffisamment traitées étaient également utilisées à l'occasion, ce qui crée un risque épidémiologique.

h) Nigéria

Bien que sept villes (Lagos, Epe, Warri, Port Harcourt, Opobo, Oron et Calabar) soient, en puissance, des pollueurs du littoral, les archives de l'OMS ne disposent d'aucune documentation à ce sujet.

i) Sénégal

A l'heure actuelle, seuls certains secteurs des villes de Dakar et de Saint-Louis disposent de l'égout : ces ouvrages sont du reste souvent en mauvais état, insuffisants, voire complètement hors service. Dix pour cent seulement de la population urbaine du Sénégal est raccordée à l'égout. En outre, le nombre de fosses septiques est très limité.

Toutefois, l'exécution des travaux envisagés dans le cadre du Plan directeur d'assainissement de Dakar, projet PNUD/OMS, devrait commencer très prochainement, le financement étant du reste assuré. Il est prévu que les égouts en place à Dakar seront utilisés à pleine capacité, les nouveaux ouvrages devant les englober. En outre, les réseaux d'évacuation des eaux usées et des eaux d'orage seront complètement séparés, à l'inverse de ce qui se passe à l'heure actuelle, puisqu'une partie des eaux usées se déverse dans des caniveaux à ciel ouvert, au mépris des règles de l'hygiène.

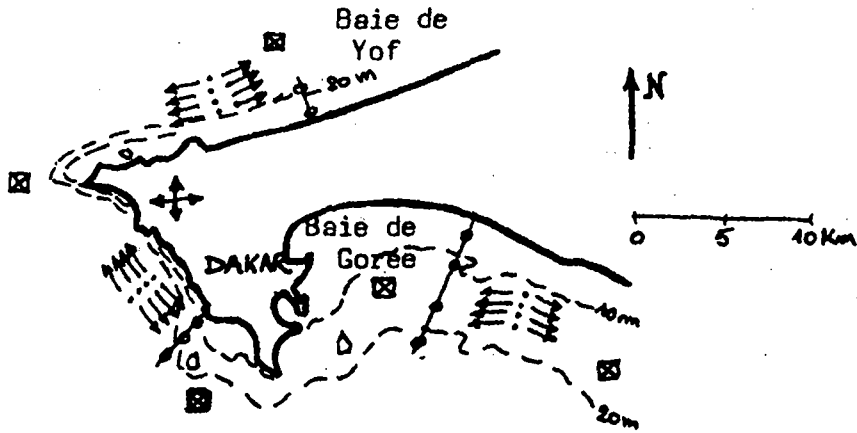
Les quartiers les plus déshérités de Dakar ne seront, pour la plupart, raccordés à l'égout que lorsque 25 % des ménages disposeront de l'eau courante potable. Ces quartiers où les terrains sont constitués de sols sablonneux et perméables seront dotés de fosses septiques et de puits perdus. L'évacuation définitive des eaux usées recueillies sera assurée au moyen d'émissaires océaniques.

La méthode d'évacuation des eaux usées faisant appel au traitement suivi du réemploi pour les usages agricoles a été écartée dans le plan directeur de Dakar. Il se peut qu'à l'avenir de nouvelles techniques de traitement des eaux usées permettent cette réutilisation, particulièrement importante dans les régions où l'eau est peu abondante. On a proposé de procéder à l'infiltration des eaux usées traitées dans certains secteurs du Cap Vert pour regarnir la nappe phréatique ou empêcher l'infiltration d'eaux saumâtres.

La pollution de la baie de Soubédioune a nécessité le regroupement des déversoirs de la côte et la construction d'un émissaire sous-marin à la pointe de Fann. Au cours de la période de transition qui précédera la mise en place des différents émissaires actuellement à l'étude, on envisage de construire un certain nombre de petites installations de traitement des eaux usées de conception simple.

Les travaux de recherche océanographique ont orienté le choix des implantations d'émissaires sous-marins : à Cambérène (sur la côte nord), Rufisque (pour la côte sud) et Pointe de Fann (pour la côte occidentale). Les études ont comporté : 1) le recueil et une première évaluation des données relatives aux vents, à la marée, aux courants, à la salinité et à la température, 2) des expériences sur l'inactivation bactérienne au large de Dakar et 3) des études destinées à prévoir, au moyen de traceurs, la dispersion des eaux usées selon certaines conditions océanographiques. On trouvera à la figure 13 une carte du secteur.

FIG. 13 - DISPOSITIF DE RELEVÉ HYDROGRAPHIQUE AU LARGE DE DAKAR

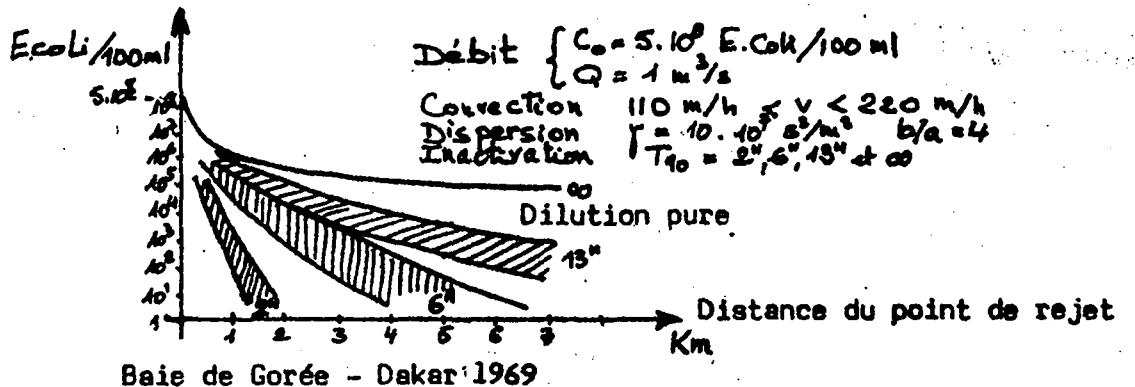


Légende :

- Injection de traceurs instantanés
- Observation de la dérive par flotteurs
- Tracé d'émissaire
- Enregistrement horaire du vent
- Salinité et température.

On a pu montrer que les systèmes de courants variaient en chacun de ces points, et dresser quatre séries de cartes pour les époques de grande marée et de mortes eaux en hiver et en été. On a pu déterminer expérimentalement que dans le secteur de Dakar le taux de décroissance des coliformes était de  $T_{90}^* = 8$  à 10 heures dans les conditions naturelles. Les résultats des recherches pratiquées au moyen de traceurs, présentés à la figure 14, montrent comment l'on peut déterminer des fourchettes prévisibles de concentration bactérienne, dans les conditions océanographiques du moment, en combinant les processus de la dilution et de l'inactivation bactérienne. Enfin, la quantité d'eaux usées à évacuer en chacun de ces points a été incorporée aux calculs de façon à déterminer la longueur d'émissaire requise pour satisfaire à la norme retenue, soit un maximum de 1000 coliformes pour 100 ml sur les plages de Dakar.

FIG. 14 - PREVISION DE LA COLIMETRIE D'APRES LE RELEVÉ HYDROGRAPHIQUE DE LA FIG. 13, POUR LA BAIE DE GOREE - ESTIMATION DES VARIATIONS DE LA CONVECTION ET DE L'INACTIVATION BACTERIENNE



\* Temps requis pour que la concentration de bactéries décroisse selon un facteur de 10.



j) République Unie du Cameroun

Dans une étude sectorielle récente OMS/BIRD sur l'adduction d'eau et l'assainissement, il est dit que la mise en place de systèmes d'égout et d'écoulement des eaux d'orage dans les centres urbains ne vient pas à l'heure actuelle en priorité, étant donné les nombreux autres impératifs auxquels il faut faire face avec les maigres ressources dont on dispose. Toutefois, on admet que les ouvrages de Douala et de Yaoundé, les seuls qui existent à l'heure actuelle, mériteraient d'être améliorés. Ailleurs, l'évacuation des eaux usées, lorsqu'elle est assurée, fait appel aux fosses septiques ou, à la campagne, aux latrines à fosses.

k) Zaïre

L'étude sectorielle OMS/BIRD de 1974 indique que la majorité des grandes villes du Zaïre sont dotées d'un petit réseau d'égouts qui dessert généralement le centre ville. Les fosses septiques sont également très répandues.

La ville de Matadi, située à l'extrémité orientale de la partie navigable de l'estuaire du Zaïre, doit faire face à un grave problème de drainage et d'assainissement. Etant donné la nature généralement imperméable du sous-sol, il n'est généralement pas possible de recourir aux installations individuelles d'évacuation des déchets. Les petites vallées qui confluent avec le fleuve sont devenues de véritables cloaques et posent un grave problème d'hygiène. A titre de mesure d'urgence, on envisage de poser des canalisations en acier après avoir cimenté et recouvert ces canaux naturels par où s'écoulent les eaux usées.

---

N O M B R E S   G U I D E S

Annexe 2

(Exemple de normes françaises)

1/ "Nombre-guides" pour zone de baignade

- . pH compris entre 5 et 9
- . index de saturation en oxygène : 70 %
- . concentration en substances toxiques ou indésirables (biocides) : non décelable
- . couleur et odeur : ni odeur, ni couleur anormale
- . huiles et graisses : non visibles à l'oeil nu
- . caractéristiques microbiennes, déterminées par des mesures des concentrations de coliformes et streptocoques :

pour 90 % des mesures, taux inférieurs à	5.000 coliformes totaux 2.000 coliformes fécaux 500 streptocoques fécaux	} pour 100 ml
pour 95 % " " " " " "	10.000 coliformes totaux 5.000 coliformes fécaux 2.000 streptocoques fécaux	} pour 100 ml

ces mesures étant faites en nombre suffisant et à intervalles rapprochés.

2/ "Nombre-guides" pour zone de conchyliculture

- . température : comprise entre + 3°C et 25°C sans modification brutale
- . concentration en matières en suspension :
  - < 20 mg/l pour les huitres plates
  - < 100 mg/l " " " portugaises
- . coloration : couleur naturelle de la zone inchangée
- . pH : compris entre 7 et 9
- . salinité : 15 g/l sur le fond à marée haute pour portugaises  
20 g/l " " " " " huitres plates
- . teneur en oxygène dissous : >70 % de la saturation
- . teneur en matières organiques :
  - . DCO < 30 mg/l
  - . O<sub>2</sub> emprunté au permanganate < 10 mg/l
  - . DBO<sub>5</sub> < 10 mg/l
- . teneur en hydrocarbures : < 2 mg/l
- . teneur en polluants rémanants : inférieure à la concentration tolérée dans les eaux destinées à la consommation humaine
- . caractéristiques microbiennes : celles-ci sont basées sur les mesures de concentrations de E. Coli dans la chair des coquillages. Trois zones sont ainsi distinguées :

a) zone salubre pour laquelle les concentrations en E. Coli sont inférieures à 300 pour 100 mg de chair.

(tolérance de dépassement : 5 % < 1.500)  
1 % < 3.000)

Les coquillages sont consommables sans épuration préalable.

b) zone exploitable pour laquelle les concentrations en E. Coli sont inférieures à 5.000 pour 100 mg de chair.

(tolérance de dépassement : 5 % < 25.000)

Pour que les coquillages soient reconnus propres à la consommation, ils devraient subir une épuration durant deux à trois jours dans des bassins d'eau de mer stérilisée.

c) zone insalubre pour laquelle les concentrations en E. Coli sont supérieures à 5.000 pour 100 mg de chair.

Les coquillages sont formellement interdits à la consommation sauf précautions exceptionnelles.

BIBLIOGRAPHIE

- [ 1 ] AFEE - Aspects règlementaires et technologiques posés par le rejet en mer d'eaux usées. Rapport de synthèse - Paris - Janv. 1975.
- [ 2 ] BALATON - Les rejets en mer - Informations et documents BCEOM - 4ème trimestre 73.
- [ 3 ] Dr. G. HOLFELDER  
Ing. Conseil et  
SCET International - Etude de factibilité d'investissement des systèmes d'assainissement et de drainage de la ville d'Abidjan. Projet PNUD IBC 73/008 - Mars 1974.
- [ 4 ] Dr. R. HELMER et M.U.W. Mörgeli - Division de l'Hygiène du Milieu OMS - Genève.  
- "Evacuation des déchets liquides dans le Golfe de Guinée et les zones adjacentes". Atelier international sur la pollution de la mer dans le Golfe de Guinée et les zones adjacentes. Abidjan - 1978.
- [ 5 ] DURAND et  
CONDOLIOS - Etude expérimentale de refoulement des matériaux en conduites, en particulier produits de dragage et schlams. Journées de l'Hydraulique. SHF - Grenoble - 52.
- [ 6 ] GARANCHER, LYS  
et PRAND - L'assainissement des agglomérations littorales -  
1) la pollution des côtes et les émissaires en mer.  
Techniques et Sciences municipales 10/73.
- [ 7 ] J.M. PERES - La pollution des eaux marines. Gauthier Villars.
- [ 8 ] O.M.S. - Les virus humains dans l'eau, les eaux usées et le sol. Série de rapport technique 639 - Genève 79.
- [ 9 ] PEARSON E.A. - Some developments in marine waste disposal. Journal and Proceedings of the institute of servage purification n° 3 - 1966.
- [ 10 ] Rejets en mer - Transport et dispersion d'un effluent. Service Central Hydrologique - Ministère de l'Equipement. Sogreah Grenoble 1975.
- [ 11 ] Mémento du Ministère de l'Equipement sur les jets et panaches.