



**MEDITERRANEAN ACTION PLAN
MED POL**

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME



WORLD HEALTH ORGANIZATION

**GUIDELINES FOR SUBMARINE OUTFALL STRUCTURES
FOR MEDITERRANEAN SMALL AND MEDIUM-SIZED
COASTAL COMMUNITIES**

**LIGNES DIRECTRICES POUR LES EMISSAIRES DES
COLLECTIVITES COTIERES DE PETITE ET
MOYENNE TAILLE EN MEDITERRANEE**

MAP Technical Reports Series No. 112

Note: The designations employed and the presentation of the material in this document do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of UNEP or WHO concerning the legal status of any State, Territory, city or area, or of its authorities, or concerning the delimitation of their frontiers or boundaries.

The first version of this document was prepared by Professor J. Ganoulis of the University of Thessaloniki. The overall technical responsibility was entrusted to WHO (Responsible Officer: Dr G. Kamizoulis).

Note: Les appellations employées dans ce document et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part du PNUE ou de l'OMS aucune prise de position quant au statut juridique des états, territoires, villes ou zones, ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites. La première version du document a été préparée par le Professeur J. Ganoulis (Université de Thessaloniki). L'OMS a été chargée de la responsabilité technique de l'ouvrage (Responsable pour l'OMS: Dr G. Kamizoulis).

© 1996 United Nations Environment Programme
P.O. Box 18019, Athens, Greece

ISBN 92-807-1618-2

This publication may be reproduced in whole or in part and in any form for educational or non-profit purposes without special permission from the copyright holder, provided acknowledgement of the source is made. UNEP would appreciate receiving a copy of any publication that uses this publication as a source.

No use of this publication may be made for resale or for any other commercial purpose whatsoever without prior permission in writing from UNEP.

For bibliographic purposes this volume may be cited as:

UNEP/WHO: Guidelines for submarine outfall structures for Mediterranean small and medium-sized coastal communities. MAP Technical Reports Series No. 112 UNEP, Athens, 1996.

Pour des fins bibliographiques, citer le présent volume comme suit:

PNUE/OMS: Lignes directrices pour les émissaires des collectivités côtières de petite et moyenne taille en Méditerranée. MAP Technical Reports Series No. 112 UNEP, Athens, 1996.



UNEP

**MEDITERRANEAN ACTION PLAN
MED POL**

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME



WORLD HEALTH ORGANIZATION

**GUIDELINES FOR SUBMARINE OUTFALL STRUCTURES
FOR MEDITERRANEAN SMALL AND MEDIUM-SIZED
COASTAL COMMUNITIES**

**LIGNES DIRECTRICES POUR LES EMISSAIRES DES
COLLECTIVITES COTIERES DE PETITE ET
MOYENNE TAILLE EN MEDITERRANEE**

MAP Technical Reports Series No. 112

This volume is the one hundred and twelfth of the Mediterranean Action Plan Technical Reports Series.

This series will collect and disseminate selected scientific reports obtained through the implementation of the various MAP components: Pollution Monitoring and Research Programme (MED POL), Blue Plan, Priority Actions Programme, Specially Protected Areas, Regional Marine Pollution Emergency Response Centre for the Mediterranean Sea, Environment Remote Sensing and Protection of Historic Sites.

Ce volume constitue le cent douzième de la série des Rapports techniques du Plan d'action pour la Méditerranée.

Cette série permettra de rassembler et de diffuser certains des rapports scientifiques établis dans le cadre de la mise en oeuvre des diverses composantes du PAM: Programme de surveillance continue et de recherche en matière de pollution (MED POL), Plan Bleu, Programme d'actions prioritaires, Aires spécialement protégées, Centre régional méditerranéen pour l'intervention d'urgence contre la pollution marine accidentelle, Centre méditerranéen de télédétection et Protection des sites historiques.

**GUIDELINES FOR SUBMARINE OUTFALL STRUCTURES
FOR MEDITERRANEAN SMALL AND MEDIUM-SIZED
COASTAL COMMUNITIES**

TABLE OF CONTENTS

	Page
BACKGROUND	1
1. INTRODUCTION	5
1.1 Definition of the problem	5
1.2 Land-based treatment and marine disposal	5
1.3 Aim of the guidelines	9
2. MEDITERRANEAN CONDITIONS	9
3. ENVIRONMENTAL OBJECTIVES AND WATER QUALITY STANDARDS	11
3.1 Protecting public health and marine ecosystems	11
3.2 Water quality standards	11
3.3 Effluent standards	13
4. WASTEWATER AND ENVIRONMENTAL CHARACTERISTICS	14
4.1 Wastewater characteristics	14
4.2 Environmental characteristics	14
5. DESIGN PROCEDURE AND COMPUTATIONS	20
5.1 Pretreatment alternatives	20
5.2 Design principles	22
5.3 Computation procedure	23
6. MONITORING OF SUBMARINE OUTFALLS	26
7. CONSTRUCTION PRECAUTIONS AND MAINTENANCE	27
APPENDIX I	29
APPENDIX II	31
APPENDIX III	33
BIBLIOGRAPHY	36

BACKGROUND

Serious concern about the state of pollution of the Mediterranean Sea, mainly as a result of uncontrolled discharges of municipal and industrial wastes, reached its climax in the early 1970s, and following a series of intergovernmental discussions, eventually led to the adoption of a comprehensive programme - the Mediterranean Action Plan - by the Governments of the region's coastal states at the Inter-Governmental Meeting on the Protection of the Mediterranean Sea, convened by the United Nations Environment Programme (UNEP) in Barcelona, Spain, from 28 January to 4 February 1975. The approved programme consisted of four main components (UNEP, 1992):

- (a) Integrated planning of the development and management of the resources of the Mediterranean Basin;
- (b) A coordinated programme for research, monitoring, and exchange of information, and for assessment of the state of pollution and of protection measures;
- (c) A framework convention and related protocols with their technical annexes for the protection of the Mediterranean environment;
- (d) Institutional and financial implications of the Action Plan.

The legal framework for the co-operative regional programme was adopted in the Final Act of the Conference of Plenipotentiaries of the Coastal States of the Mediterranean Region for the Protection of the Mediterranean Sea, convened by UNEP in Barcelona, Spain from 2 to 16 February 1976. In particular, the Conference adopted texts of three legal instruments, entitled:

- (a) Convention for the Protection of the Mediterranean Sea against Pollution, adopted and signed on 16 February 1976, entered into force on 12 February 1978;
- (b) Protocol for the Prevention of Pollution of the Mediterranean Sea by Dumping from Ships and Aircraft, adopted and signed on 16 February 1976, entered into force on 12 February 1978;
- (c) Protocol concerning Cooperation in Combating Pollution of the Mediterranean Sea by Oil and Other Harmful Substances in Cases of Emergency, adopted and signed on 16 February 1976, entered into force on 12 February 1978.

A further three legal instruments related to the 1976 Barcelona Convention (UNEP, 1980, 1992, 1995b) were developed as follows:

- (a) Protocol for the Protection of the Mediterranean Sea against Pollution from Land-based Sources, adopted and signed in Athens, Greece on 17 May 1980, entered into force 17 June 1983;

- (b) Protocol concerning Mediterranean Specially Protected Areas, adopted and signed in Geneva, Switzerland on 3 April 1982, entered into force on 23 March 1986;
- (c) Protocol for the protection of the Mediterranean Sea from Pollution resulting from exploration and exploitation of the Continental Shelf, the seabed and its subsoil, adopted and signed in Madrid, Spain on 14 October 1994, and not yet in force.

The 1976 Convention, the 1976 Dumping Protocol and the 1982 Specially Protected Areas Protocol were amended by the Ninth Ordinary Meeting of the Contracting Parties, held in Barcelona from 5 to 8 June 1995 (UNEP, 1995b), and the instruments, as amended, were formally adopted by an *ad hoc* Meeting of Plenipotentiaries convened, also in Barcelona, from 9 to 10 June 1995 (UNEP, 1995c).

In view of the fact that more than 80% of the pollution load of the Mediterranean Sea was estimated to originate from sources on land in the form of discharges of untreated and partially-treated municipal and industrial wastes reaching the Mediterranean both directly from coastal sources and indirectly through rivers, particular attention was devoted to the preparation of an appropriate legal instrument to cover this aspect of pollution. Following a number of expert consultations held between 1977 and 1979, the Protocol for the Protection of the Mediterranean Sea against Pollution from Land-based Sources was adopted and signed during the Conference of Plenipotentiaries of the Coastal States of the Mediterranean Region for the Protection of the Mediterranean Sea against Pollution from Land-based Sources, convened by UNEP in Athens, Greece, from 12 to 17 May 1980. The technical annexes to the protocol included a "black" list of substances by which pollution was to be eventually eliminated, and a "grey" list of substances by which pollution was to be restricted. In view of the legal, technical and economic implications involved, it was agreed that the protocol should be implemented progressively.

In conformity with the general trend of updating the Convention and Protocols, two meetings of legal and technical experts were convened by UNEP in Syracuse from 4 to 6 May 1995 and from 3 to 4 March 1996 respectively to examine proposed amendments to the 1980 Athens Protocol, UNEP, 1995a, 1996a). Following agreement at this level on a number of issues, including consolidation of Annexes I and II into one annex, which also includes a list of terrestrial activities linked with marine pollution, amendments to the 1980 Land-based Sources Protocol were formally adopted and signed during a Conference of Plenipotentiaries convened by UNEP in Syracuse from 6 to 7 March 1996, the new title of the Protocol becoming "Protocol for the Protection of the Mediterranean Sea against Pollution from Land-based Sources and Activities" (UNEP, 1996b).

The respective amendments to all these legal instruments are expected to come into force shortly.

Article 4 of the original Convention stipulates that Contracting Parties shall individually or jointly take all appropriate measures to prevent, abate and combat pollution of the Mediterranean sea Area and to protect and enhance the marine environment in that area. Article 8 of the Convention binds Contracting Parties to take all appropriate measures to prevent, abate and combat pollution of the Mediterranean Sea Area caused by discharges from rivers, coastal establishments or outfalls, or from any other land-based sources within their territories. Both these basic undertakings have been retained and strengthened in the new version of the Convention.

Article 7.1 of the Land-based pollution Protocol stipulates that Contracting Parties will progressively formulate and adopt, in cooperation with the competent international organizations, common guidelines and, as appropriate, standards or criteria dealing in particular with, *inter alia*, the length, depth and position of pipelines for coastal outfalls, taking into account, in particular, the methods used for pretreatment of effluents. This provision is unchanged in the new version of the Protocol.

At their Fourth Ordinary Meeting, held in Genoa in 1985 (UNEP, 1985a), Mediterranean governments, in their capacity of Contracting Parties to the Convention for the protection of the Mediterranean Sea against Pollution and its related Protocols, reviewed their cooperation within the framework of the Mediterranean Action Plan over the past ten years, and adopted a declaration, termed the Genoa Declaration on the second Mediterranean decade. As part of this declaration, they adopted ten targets to be achieved by the end of the second decade of the Mediterranean Action plan, *i.e.* by the end of 1995. These targets include the establishment, as a matter of priority, of sewage treatment plants in all cities around the Mediterranean with more than 100,000 inhabitants and appropriate outfalls and/or appropriate treatment plants for all towns with more than 10,000 inhabitants. This particular target was not achieved by the end of 1995, but the situation improved considerably during the decade in question.

Following the entry into force of the Protocol in June 1983, the technical preparations for its progressive implementation were carried out by the Mediterranean Action Plan Secretariat in collaboration with the UN Specialized Agencies involved within the framework of the scientific component of the Action Plan - the long-term Programme of Pollution Monitoring and Research in the Mediterranean Sea (MED POL Phase II). A meeting of experts on the technical implementation of the Protocol for the Protection of the Mediterranean Sea against Pollution from Land-based Sources was convened by UNEP in Athens, Greece, from 9 to 13 December 1985 (UNEP, 1985b). The meeting approved a calendar of activities covering the period 1985 to 1995, such activities consisting of (a) assessments of the state of pollution of the Mediterranean Sea by individual substances listed in Annexes I and II to the protocol, including proposed control measures for submission to, and adoption by, the Contracting Parties, and (b) guidelines on various waste management topics covered by the protocol, including the establishment of submarine outfall structures.

Draft guidelines for Computations concerning Marine Outfall Systems for Liquid Effluents were prepared by the World Health Organization (WHO) and submitted to the December 1985 meeting of experts. These guidelines contained a detailed analysis of the behaviour of wastewater discharged into the marine environment, together with a complete set of calculation procedures, both numerical and graphic, for the prediction of dilution, dispersion and decay of pollutants.

A pilot project on monitoring the efficiency of selected outfalls in the Mediterranean region was subsequently organized by WHO within the framework of the Long-term programme of pollution monitoring and research in the Mediterranean Sea (MED POL Phase II) and carried out by institutions in Egypt, Greece, Italy and Spain. This pilot project was completed by June 1989. A Consultation Meeting on Guidelines for Submarine Outfalls in the Mediterranean was subsequently organized by WHO in Madrid from 3 to 5 July 1989. The meeting noted the results of the pilot monitoring project and the information available from other studies carried out in the region. It was agreed that Mediterranean conditions and characteristics were specific and had to be taken into account when designing and constructing submarine outfalls.

The meeting discussed the draft outline of the Guidelines for Submarine Outfalls in the Mediterranean and the objectives, scope and potential users of such a document, which should be aimed to small and medium size submarine outfalls of localities with less than 100,000 inhabitants. The meeting agreed that common procedures, as were scheduled for preparation in terms of Article 7.1(a) of the Protocol, should include a description of possible types of pretreatment available before discharge, recommended quality levels for the affected region and standards for specific contaminants, together with the presentation of the calculation procedures and environmental studies necessary for predicting the dilution and spreading of the discharges. Minimum design conditions should also be given as part of the calculation procedures.

The draft prepared according to the recommendations of the Madrid meeting was discussed during a consultation meeting on programmes and measures for the protection of the Mediterranean Sea against pollution from land based sources organized by WHO in Alexandria from 5 to 9 November 1989. The meeting agreed with the general format and contents of the document and made the following recommendations:

- (a) The scope of the guidelines should be kept within the terms of Article 7.1. (a) of the Protocol and should not enter into any comparison between alternative methods of treatment/disposal.
- (b) Standards and criteria already formally adopted by Contracting Parties on a common Mediterranean basis should be utilized wherever available and applicable. In other cases, standards and criteria already in use in individual Mediterranean countries should be quoted as a guide.
- (c) The guidelines should clearly express the benefits and limitations of submarine outfalls, the latter in particular where specific conditions or situations prevail.
- (d) Construction requirements for submarine outfalls should be included as an annex, in addition to a reasonably comprehensive bibliography.
- (e) The guidelines should provide adequate indication of the options and procedures to be applied in particular cases, such as significant seasonal variations in flow, the different levels of treatment prior to discharge, multiple discharges in the same area, and the existence of sensitive areas in the vicinity of the discharge point, such as **Poseidonia** beds.

The present guidelines, which have been prepared for WHO by Professor J. Ganoulis (Greece), are essentially a collation of the original 1985 draft guidelines for computations concerning marine outfall systems for liquid effluents, prepared by Dr M. Gervais de Rouville, (France), and the 1989 draft guidelines on submarine outfall structures for Mediterranean small and medium-sized communities, prepared by Dr M.G. Mariño (Spain), together with relevant additional material. The background has also been updated to include information on the revision of the relevant regional legal instruments. The guidelines are essentially designed to provide basic information to local Authorities and municipalities in the Mediterranean region for the design of marine outfall structures to serve communities with less than 100,000 inhabitants, in line with the terms of Article 7.1 of the relevant Mediterranean Protocol.

1. INTRODUCTION

1.1 Definition of the problem

In the Mediterranean region, particularly during the last two decades, the need has been felt to combat environmental pollution caused by the discharge into the sea of various pollutants from land-based sources. The ever-increasing quantities of such pollutants discharged into the sea caused concern, which led to a number of studies with a view to defining the conditions under which wastewater containing various types of pollutants could be discharged, without damage to the marine environment.

With regard to wastes originating on land and discharged into the sea through coastal underwater outfall systems, the methodology for the computations concerning such outfalls has taken different forms, each providing specific solutions depending on the method of formulation of the problem.

The scientific rationale and the computations contained in this document match that formulation of the problem where:

- (a) the characteristics of the waste are given (flow, type and content of pollutant)
- (b) the waste is to be discharged into the sea in an area encompassing well-defined sensitive zones to be protected against pollution
- (c) these areas are covered by standards of maximum levels of concentration for one or more of the pollutants contained in the waste.

The problem then is to define the particular features of the outfall system in such a way as to satisfy the conditions already established, i.e. to comply with the standards in force in the areas to be protected.

By taking into consideration both the quantities of the waste to be discharged and the local geographical and meteorological conditions, one can select a method which would give a solution with a smaller or greater degree of accuracy in calculating pollutant concentrations at various distances around the point of discharge.

1.2 Land-based treatment and marine disposal

As shown in Figure 1, discharge of wastewater into the sea by means of an outfall system is the last link in a chain whose first element is the source of the wastewaters: home, industrial plant, agricultural undertakings. Between the two ends, the chain comprises basically a sewerage system and one or more treatment plants.

Raw sewage is generally treated in special plants by means of various techniques. Wastewaters are then discharged into the sea through submarine outfalls. This is very useful in order to ensure adequate dilution of different pollutants and prevent adverse impacts on the marine environment.

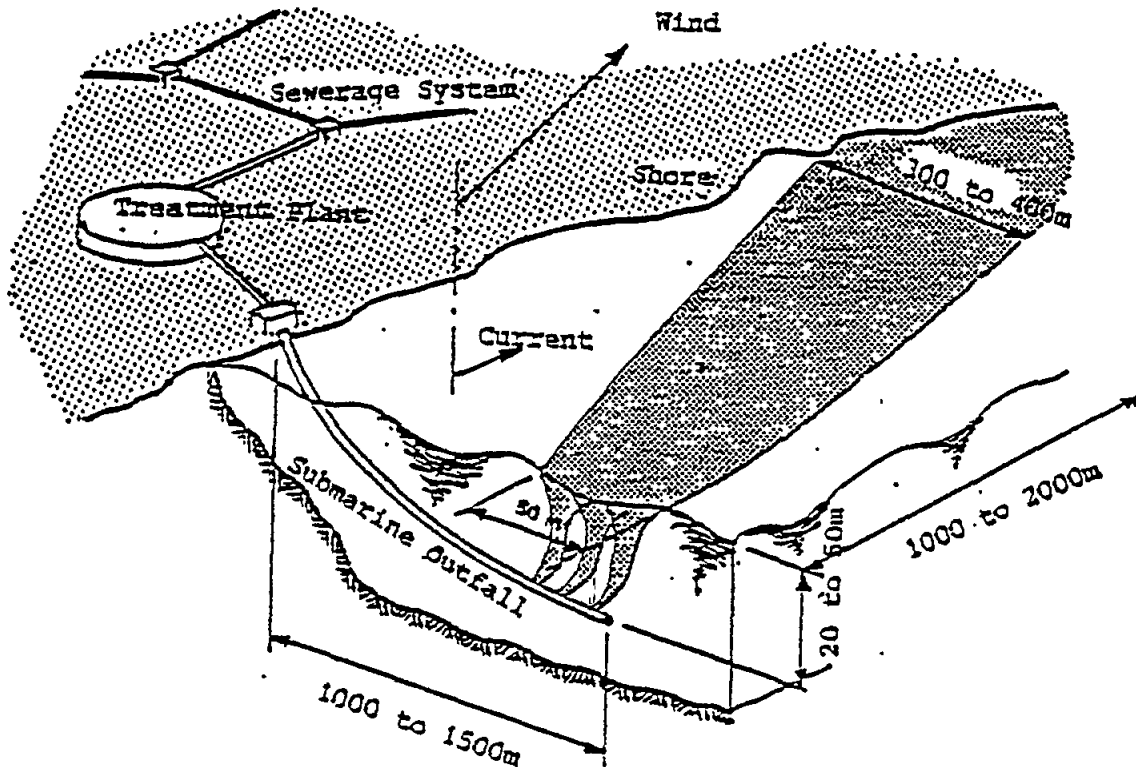


Figure 1. Collection, treatment and marine disposal of effluents.

It is not the objective of the guidelines to present a comparison between alternative methods of wastewater treatment or between land-based treatment and marine disposal. For every specific case an optimum solution can be found as a combination of the treatment applied and the use of a marine outfall. This depends on local environmental conditions, the composition of effluents, the different uses of marine waters, and local technical and human constraints. Generally, a certain degree of pretreatment of wastewaters is absolutely necessary before discharging the effluents into the sea. For this reason a brief review of the characteristics of land-based treatment and marine disposal is given here.

A classification of different pollutants contained especially in urban sewage is presented in Appendix I. As shown in Figure 2, in primary and secondary treatment (settlement and biological oxidation) the suspended solids (SS) and organic matter (BOD) are reduced by two orders of magnitude. However, bacterial concentrations are reduced by a factor of 10 only.

Since in most cases microbial pollution is the critical factor for sensitive areas, the first thing that comes to mind in order to resolve the problem is to destroy the bacteria before the effluent enters the outfall pipe, which in such case could be shorter and less costly. Furthermore, one can argue that the process already exists on paper; it is termed sewage "disinfection". Problems and issues related with disinfection are reported on Appendix II.

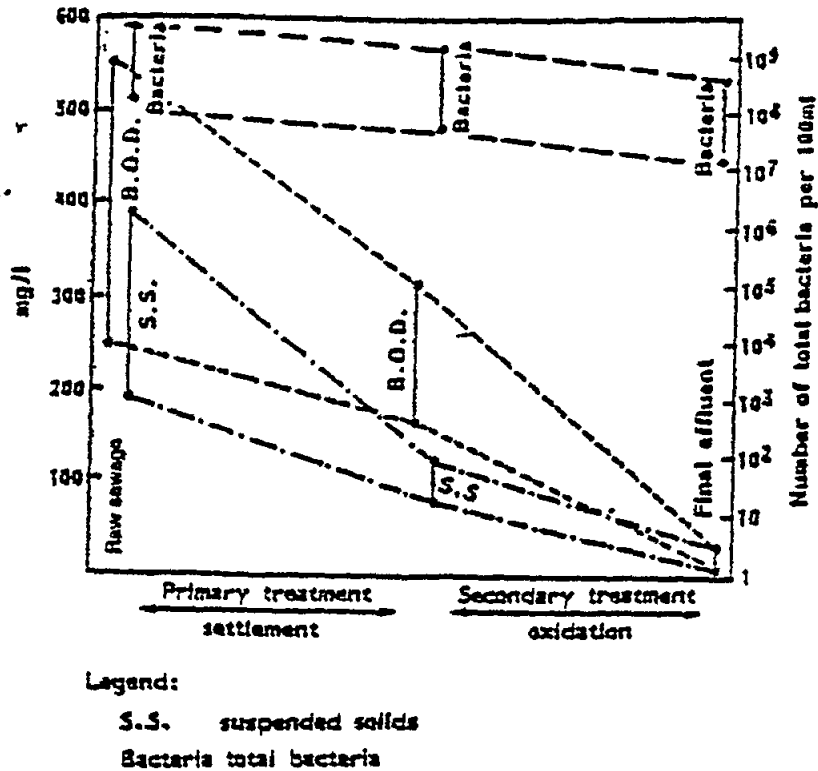


Figure 2. Characteristics of land-based treatment (White, 1970).

Suspended solids are extremely harmful to the marine environment. For this reason, some countries prohibit any kind of discharge without preliminary partial elimination of suspended solids. In France, for instance, after preliminary treatment (screening and removal of sand and grease) it is mandatory to eliminate, before discharge, 90% of the suspended settleable solids (or 50 to 60% of the total suspended solids). These regulations are based on the fact that such results lie within the scope of the physical process of simple gravitational settling. If better results are desired - up to 90% of total suspended solids - one must use a physico-chemical process of coagulation - flocculation of the various colloidal substances by means of flocculation catalysts such as lime, ferric chloride, aluminium sulphate, polyelectrolytes.

Biological processes (bacterial beds, biological discs, activated sludge, bacterial filters) give results at least as good on total suspended solids; they are recommended in sensitive coastal areas when most of the organic matter must be eliminated before effluents are discharged into the sea.

As shown in Figure 3, dilution of pollutants discharged by a submarine outfall takes place in two different zones: (a) the jet or near-field zone and (b) the dispersion or far-field zone.

In the jet zone, water from the ambient region is entrained by wastewater as it rises buoyantly from the discharging port to the sea surface. An important dilution up to 10^3 occurs depending on the water depth, the flow stratification and the characteristics of the diffuser. In the dispersion zone, dilution due to shear and turbulent eddies is one or two orders of magnitude less than in the jet zone. In this region, additional dilution takes place by chemical and biological interactions (e.g. bacterial decay).

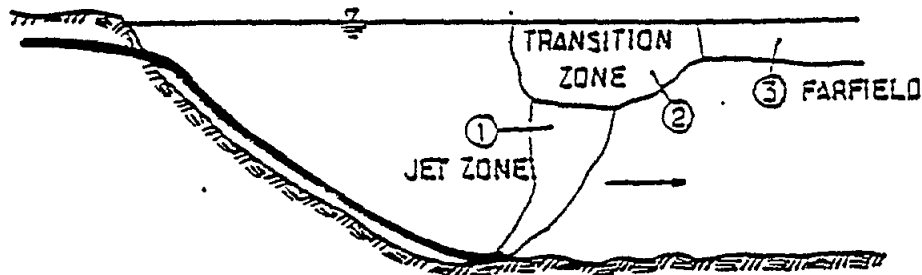


Figure 3. Dilution of wastewaters from a submarine outfall.

In the case of total bacteria, the following table gives the orders of magnitude of the decrease of concentration in each phase.

<u>First Phase</u> Rising Plume	Dilution by turbulent diffusion	without diffuser with diffuser	2 to 100* 10 to 1000*
<u>Second Phase</u> Horizontal transport for 1000m	Dilution by vertical and horizontal dispersion		5 to 20
<u>Third Phase</u> Bacterial Decay	Equivalent to dilution	after 3h after 6-8h after 10-15h	10 100 1000

* Increases roughly by the power of 3/2 of the depth.

In the design of a coastal sewerage scheme, treatment plant and sea outfall are two elements of a whole which cannot be separated and must be the object of a unified study. This study must take into account the local environmental conditions and seawater quality standards which have to be met in the receiving environment.

1.3 Aim of the guidelines

Two potential users of the guidelines have been identified: administrators responsible for wastewater management of small and medium size coastal cities (less than 100,000 inhabitants) and engineers responsible for the design, construction and maintenance of small to medium size submarine outfalls.

Local Administrators can use the guidelines to decide on the alternatives of sewage disposal, and together with other sources of information and advice, to know about the advantages and needs of a submarine outfall structure. Regional or National Administrators can use the guidelines as a reference for the setting of national standards, minimum requirements for these structures, and monitoring programs design.

Engineers in charge of the design, construction, maintenance and supervision of a submarine outfall can use the guidelines as a reference and guide on calculation procedures and type and depth of needed environmental studies.

The common theory on the behaviour of sewage discharged into seawater and the wide field and laboratory experience on this subject have produced many reliable calculation procedures and prediction models for the design of submarine outfall structures which give acceptable results. Although most calculation procedures differ in less than 10-20% among them and prediction models can have a fairly good accuracy, the necessary measurement of the environmental conditions is a generally costly activity without the same degree of precision.

For the design of large submarine outfalls (flows from cities of more than 100,000-200,000 inhabitants) it is normal to have access to extensive field surveys, modelling and good expertise. On the contrary, most outfalls of cities of less than 100,000 inhabitants have to be designed and situated with few, if any, previous studies on the receiving waters conditions and project parameters, no modelling and less access by the designing engineer to specialized expertise. The guidelines are intended to complement and help the design of these latter outfalls, and are applicable to cases of sewage disposal into the sea through small or medium size structures (cities of less than 100,000 inhabitants, preferably less than 50,000).

2. MEDITERRANEAN CONDITIONS

Among the different acceptable alternatives for the disposal of urban sewage in coastal localities, reuse and discharge into the sea of complete or partially treated effluents are the two more commonly used for small and medium size towns, while septic tanks and infiltration are applied in hotels and individual dwellings. Once the decision has been made on the discharge, Mediterranean conditions make the use of outfall structures a good option because:

- (a) There is a relative ease of construction due to the generally good weather during the summer and to the weak currents.

- (b) Oligotrophic conditions in most open areas allow relatively high loads of domestic wastes if sufficient dilution is assured.
- (c) Solar exposure and transparency of waters result in important apparent die-off of bacterial indicators and quick photolytic degradation of some non-persistent organic substances.
- (d) The general absence of strong tidal currents and the subsequent lack of dispersion in the Mediterranean give great importance to attaining the maximum possible initial dilution and distance between the point of discharge and the predicted impacted areas.

For tenso-active substances and micro-organisms, especially viruses, which are the main contaminants generated by small to medium sized cities (1,000 to 100,000 inhabitants) with a high potential impact on the marine environment, the actual treatment procedures are either not generally efficient or too expensive. In addition, Mediterranean currents and tides are not sufficient for enough effluent dispersion if the discharge is made close to the coast.

Although in some cases submarine outfalls have presented low performances due to maintenance problems and damage by winter storms and sailing and fishing vessels, sound design, available protective measures¹ and regular maintenance and monitoring programs can guarantee the adequate functioning of these disposal systems, which present among their principal benefits their low operating and maintenance costs, their ability to cope with significant seasonal variations in flow and to obtain an effective dilution that is normally enough to prevent negative effects due to the discharge of organic matter and nutrients.

Because of these reasons, for most situations in the Mediterranean, sewage outfalls remain a better option and a necessity for domestic wastes under the condition that multiple discharges in the same area do not affect the background levels. Industrial discharges should always be considered for treatment, whether they are discharged through an outfall or not.

The use of outfalls as the only means for the disposal of untreated domestic sewage can however have some limitations in specific situations. The main situations which can be identified are:

- (a) Multiple discharges of medium and small towns in the same area, concentrated within a short distance, as their combined effect can alter the background levels, especially regarding organic matter and nutrient build-up. In these cases, solids removal or even biological treatment can be necessary and these multiple small outfalls should be considered as part of a large discharge and treated accordingly.
- (b) Shallow seas or areas where regional circulation patterns block the renewal of water, as untreated discharges can lead to build-up of contaminants and increased oxygen depletion and algae blooms occurrence. When these are the oceanographic conditions of the receiving waters, full treatment can also be necessary.

¹ The adequate protection of the outfalls is one of the most important precautions to be observed by the designing engineer. Enough resources should be reserved to this end during the construction of the outfall as repair costs are normally high.

- (c) When shellfish farming and other aquaculture activities are important resources in the discharge area, bacterial decay cannot be assured and should not be included in the computation procedure. In these cases disinfection and solids removal should always be considered.

Furthermore, outfalls are not a definite solution but a temporary one. Loads of settleable solids, nutrients and toxic substances should be reduced through appropriate treatment whenever there is a possibility for that. Pretreatment with screen bars should always be carried out before discharge as well as the evaluation of the possibility for re-use during the planning stage.

3. ENVIRONMENTAL OBJECTIVES AND WATER QUALITY STANDARDS

3.1 Protecting public health and marine ecosystems

In order to understand the reasons that led to the development of guidelines concerning sea outfalls for wastewaters containing pollutants, it is necessary to summarize the elements of the problem. There are ecological and health considerations with a view to preserving a satisfactory level of quality in the coastal waters, taking into account the risk that the pollution of such waters involves for animal and plant species living in the sea, and for man through his use of the marine environment (bathing) and its products (consumption of marine animals). Even if less frequently, the problem can also be formulated as follows: what is the "maximum receiving capacity" of a well-defined coastal area for a specific pollutant, e.g. urban sewage, and which is the best configuration of an outfall system to meet this maximum capacity?

The risk that humans may incur from marine pollution comes primarily from two "uses" of the sea, i.e. bathing and consumption of sea products (especially if they are consumed raw, which relates mainly to consumption of shellfish). Therefore, regulations are generally formulated as two series of standards concerning "**bathing**" and "**shellfish culture**" and are based on the maximum content of seawater pollutants at levels which are considered acceptable in terms of these two risks.

3.2 Water quality standards

The distinction between environmental and human risks for different water uses should lead to the formulation of "standards", expressed in maximum receiving capacity of the seawater for specific categories of pollutants most frequently discharged into the marine environment along with the sewage.

Water quality objectives for the protection of beneficial uses of the marine environment have been seen as necessary by most Mediterranean countries. Criteria and standards for bathing and shellfish-growing waters are in force in practically all Mediterranean countries, which agreed on minimum common measures for bathing waters in 1985 (UNEP, 1985a) and shellfish waters in 1987 (UNEP, 1987). Plans for the protection of other beneficial uses such as fishing or wildlife, or for the maintenance of proper aesthetics, have not generally resulted in the development of similar criteria or standards.

It is evident that schemes for wastewater disposal into the marine environment should be designed primarily taking into account the beneficial uses to be protected in the area affected

by the discharge. Therefore, water quality criteria derived from these uses are the principal parameters in the computations concerning the efficiency of a submarine outfall.

In order to be used in the design and calculation of a submarine outfall, water quality criteria need to fulfil the following basic characteristics:

- (a) The criteria have to be expressed in terms of parameters and values which can be directly incorporated into the design procedure.
- (b) Criteria and parameters should be relevant to the beneficial use that the submarine outfall has to protect. They have to be associated with sanitary and ecological consequences, either through a direct cause-effect relationship or through a clearly-stated statistical relationship.
- (c) Criteria should be attainable by normal technical procedures and should take into account the natural base-line concentrations in Mediterranean waters.
- (d) Although, for purposes of the computation of submarine outfalls, only average values will be used, in order to take into account the natural variability and changes of environmental parameters, water quality criteria should be defined in a statistical form.

Table 1

Recommended Bathing Water Quality Criteria for Computation Purposes

Parameter	Unit	Percentiles		Remarks
		80%	95%	
A. Bacteriological				
1. Faecal Coliforms	n/100 ml	100	2,000	Bathing area
2. Faecal Streptococci	n/100 ml	100	400	
		50%	90%	
B. Physical				
3. Colour	mg Pt-Col/l	10	30	+ ++
4. Suspended Solids	mg/l	1.3NV	1.5NV	
C. Chemical				
5. Dissolved Oxygen	mg/l	6	5	Surface
6. Nitrogen Ammonia	mg N/l	0.05	0.12	
7. Dissolved Ortho-phosphate	mg P/l	0.02	0.05	

+To be observed at the plume surfacing point

++NV = Normal value in the area before the discharge

Recommended bathing water quality criteria which can be used as parameters for the design of submarine outfalls are listed in Table 1. In 1985, Mediterranean States adopted interim criteria based only on faecal coliforms, but faecal streptococci constitute an important additional parameter. In the case of shellfish waters, criteria and standards in current use are based on bacterial concentrations in the shellfish themselves, as opposed to the actual waters. Because of the concentration factor and uptake variations, no definite correlation has been established so far between concentrations in the actual shellfish and in the surrounding water. A recommendation made by WHO and UNEP in 1986 proposed a maximum concentration of 10 faecal coliforms per 100 ml in at least 80% of the samples, and a maximum concentration of 100 faecal coliforms per 100 ml in 100% of the samples. The quality criteria adopted on a joint basis by Mediterranean states in 1987 impose a maximum concentration of 300 faecal coliforms per 100 ml of shellfish (flesh + intervalvular fluid) in at least 75% of the samples for acceptability of the growing water.

For the computation and control of the outfall impact, faecal coliforms and faecal streptococci can be taken as non-conservative pollutants subjected to exponential bacterial decay. Dissolved oxygen should be evaluated taking into account the oxygen consumption due to bacterial degradation of organic matter. Nitrogen ammonia and dissolved ortho-phosphate should finally be considered as conservative pollutants, while colour, suspended solids and pH criteria are given to be applied in the upper point of the rising plume. All these criteria presented in Table 1 are technical recommendations; only the limit for faecal coliforms in bathing waters is an accepted standard on a joint Mediterranean basis.

The Consultation Meeting on Guidelines for Submarine Outfalls in the Mediterranean (EUR/ICP/CAH 085), convened in Madrid from 3 to 5 July 1989, proposed that the design and computation of submarine outfalls for the discharge of domestic wastewater into the sea should always take into account the openness of the affected area and the reservation of a 300 m wide band, parallel to the base line of the coast or the affected area, where no discharges should be made whatsoever the treatment applied to the effluent or the dilution obtained in the outfall. For computation purposes, water quality criteria should be applied in the outer border of this band.

Water quality criteria can also be set in order to be used as a tool for the control and evaluation of the efficiency of submarine outfalls. A complete set of criteria for this use is included in the "effluent standards" table of these Guidelines. They are included there only as references for the monitoring of domestic wastewater discharges into the sea and should not be taken as parameters of the design or as a substitute for national standards when they are available.

3.3 Effluent standards

The discharge of raw or pre-treated wastewaters through submarine outfalls should be restricted to domestic effluents which do not contain high loads of persistent, bio-accumulable or toxic substances. Industrial discharges should always be subjected to treatment before discharge into the marine environment.

In order to remain below the receiving capacity of coastal waters, for most Mediterranean situations and for medium to small submarine outfalls, it will be normally sufficient that the conditions mentioned earlier are maintained when considering all discharges in the affected area.

As a further guarantee that the discharge will not exceed the receiving capacity of the marine environment, some basic effluent standards can be applied on medium and large submarine outfalls of cities of more than 50,000 inhabitants. A set of these standards are proposed in Table 2. These effluent standards are expressed in a statistical form to allow their control by the corresponding Authority.

4. WASTEWATER AND ENVIRONMENTAL CHARACTERISTICS

4.1 Wastewater characteristics

Wastewater characteristics (flow and load) are normally obtained from charts or from the extrapolation of common unitary values found in the bibliography. As this is one of the main parameters for most of the calculations concerning the outfall, a short sampling campaign to check the order of magnitude of these values should be carried out, measuring at least the hourly flow distribution of the discharge for a day (the end of the working week is the best choice, together with the rainy season), and the wastewater's average color and ammonia and suspended solids concentrations. For faecal coliforms, faecal streptococci and dissolved ortho-phosphate average concentrations, it is normally sufficient to use the values given in the bibliography (see Table 3). In any case, field data should be checked against theoretical flow obtained from the number of people served by the sewerage system and the drained area and particular rainfall pattern of the zone.

4.2 Environmental characteristics

Although these Guidelines are intended to help in the design of medium to small submarine outfalls, where little resources are available for the study of the environmental parameters used for the siting and calculation, some preliminary work is nevertheless necessary for a correct design. The extent and detail of these studies will undoubtedly depend on the size of the outfall. Three size ranges can be considered when deciding on the extent and detail: "very small" or less than 1,000 inhabitants, "small" or between 1,000 and 10,000 inhabitants and "medium" or over 10,000 inhabitants.

The parameters or environmental characteristics to be considered or studied in the siting and calculation of a medium to small submarine outfall in Mediterranean situations are the following:

- (a) Characteristics needed for outfall construction:
 - Topography and bathymetry (charts and maps of adequate scale)
 - Bottom materials and morphology.
- (b) Characteristics needed for setting the water quality objectives:
 - Openness of the coast
 - Activities and sewage discharges in a 20 km sector around the selected outfall siting and sensitive areas in this sector.
- (c) Parameters needed for the calculation of the efficiency of the outfall:
 - Predominant surface currents and winds pattern
 - Wastewater flow and contaminant load.

Table 2

Normal Effluent Standards

Contaminants	Units	Values for the limits					
		Open areas			Enclosed areas		
		Percentiles			Percentiles		
		50%	90%	Maxim.	50%	90%	Maxim.
1. Greases and Oil	mg/l	25	40	75	5	10	30
2. Settleable Solids	mg/l	1	1.5	3	2	3	6
3. Turbidity	FTU	75	100	250	50	75	150
4. pH		--	--	6-9	--	--	6-9
5. BOD ₅	mg/l	300	400	600	100	150	250
6. Organic Nitrogen*	mgN/l	--	--	--	5	7	20
7. Oxidized Nitrogen*	mgN/l	--	--	--	3	6	12
8. Total Phosphorus*	mgP/l	--	--	--	1	1.5	3
9. Colour	**			1:40			1:20

* These limits will be observed in areas where eutrophication is possible

** Should not be detected over 10 cm with the indicated dilution more than 10% of the reference value.

Table 3

Design Parameters for Domestic Wastewater (dry weather)

Design Flow	7 l/s.1000 people
Faecal Coliforms	10^7 FC/100 ml
Faecal Streptococci	$2 \cdot 10^6$ FS/100 ml
Ammonia Nitrogen	7.5 kg/d.1000 people
Dissolved Ortho-phosphate	3 kg/d.1000 people
Suspended Solids	80 kg/d.1000 people

(d) Other parameters which should be measured in special situations only²:

- Continuous current measurements
- Dispersion coefficients
- T90 for faecal coliforms and faecal streptococci
- Temperature profile
- Benthic populations

The extension and detail of the studies to identify and measure these characteristics will depend on the size of the outfall. The methodology to use for each of them and the default values for most Mediterranean situations are summarized in the following paragraphs.

4.2.1 Topography and bathymetry

Good and detailed maps and charts of the coast and bottom areas where the outfall is planned are always necessary. Scales of 1:5,000 with 1 m bottom depth lines are normally sufficient for the study of the discharge area and the adequate siting of the outfall.

Most Mediterranean countries have issued good quality maps and sailing charts of the required scale which can be obtained locally without much problem. Nevertheless, it is always recommended to carry out a detailed bathymetric profile of the whole outfall length to identify possible sand bars, bottom material, rock outburst or any other factor which could interfere with the construction. Using manual depthmeters and a small vessel, these detailed profiles can be made in one single day, at a very low cost³.

4.2.2 Bottom materials and morphology

Bottom samples can be easily obtained simultaneously with the sounding of the profile as indicated above. Direct inspection using scuba divers in the surf area is also useful to decide on the possible protection options. Also convenient and feasible at low cost is the carrying out

² Although these parameters are not always used in the computation process proposed in the Guidelines, they should be considered when available resources or the fragility of the impacted areas allow and require a more detailed analysis.

³ The simultaneous measurement of the sea surface is always necessary to correct the soundings and refer them to the zero level.

of a superficial recognition of the most important benthic communities, such as **Poseidonia** beds⁴.

4.2.3 Openness of the coast

The openness and morphology of the coast is one of the main characteristics to be considered when siting, designing and calculating a submarine outfall, as it defines the renovation capacity. It is not uncommon to find submarine outfalls whose length appears to be sufficient for the efficient disposal of wastewaters into the sea, but because they start from the inner end of enclosed or semi-enclosed areas, the actual effective length is greatly reduced, when the discharge does not reach the open sea and is made inside the semi-enclosed area.

The degree of openness or enclosure of a certain zone clearly depends on the currents field. However, for the design of a submarine outfall, in most Mediterranean situations, the baseline defined in section 3.2 should be drawn linking all the clear outer coastal points in the zone of the outfall which are not separated more than five nautical miles (or approximately 9 km), nor less than three nautical miles (or approximately 5.5 km).

4.2.4 Activities, sensitive areas and discharges

In the sector comprising 20 km around the proposed siting of the submarine outfall, all zones which support activities with water quality objectives and all sensitive areas which could be affected by the discharge should be studied and plotted on appropriate maps. The distance between the discharge point and the line surrounding these zones and areas with a 300 m reserve band will be used for the computations concerning the dilution obtained by the outfall.

In order to evaluate the degree of saturation in the affected area due to other wastewater discharges, all such discharges should be identified in the 20 km sector around the proposed siting of the outfall. The combined load of the projected outfall plus that of the existing discharges in the dilution area should not exceed 10,000 person-equivalent per cubic hectometer of seawater⁵.

4.2.5 Predominant currents and winds

The study of predominant surface currents should always be included in the design of submarine outfalls. Although for very small outfalls the surface currents can be assumed to flow in a straight line between the discharge point and the affected areas, with a speed of 30 cm/s,

⁴ Discharges in the direct vicinity (less than 250-300 m) of Poseidonia beds should be avoided whenever possible. Pipe laying procedures should be designed taking into account the limitation of the damage and the possibility of the recovery of these communities.

⁵ In order to check this condition, the volume corresponding to the whole 20 km band with a width equal to twice the average length of the outfalls it contains can be considered. This is, of course, a very approximate approach that should be confirmed by other more precise methods whenever possible.

it is advisable to at least carry out a short survey using floating drogues released at the projected discharge point.

This type of survey is easy to make at little cost, as around 10 to 20 floats distributed in groups can be placed simultaneously and followed by a single boat. The trajectories can be traced without difficulty from the coast (marking the boat used to place and follow them) or from the boat itself (measuring the distance and direction to a buoy anchored at the discharge point), taking bearings at regular periods of time, for 2-3 hours, and later plotting them on the chart.

Surface current surveys for the design of submarine outfalls should preferably cover different climatic conditions, but must at least include the summer period, when seawater activities are at their highest. Three to four days of surveys are normally sufficient to obtain enough information for the design.

The study of wind patterns in the discharge area must complement the result of the field surveys on the surface currents. Whenever there is a meteorological station close to the proposed siting of the outfall, so that its measurements can be used for the prediction of the winds rose in the discharge area, surface currents can be estimated assuming that they have a velocity equal to 1% of the wind velocity, with the same direction.

4.2.6 Other characteristics

Most manuals and guidelines for the design and computation of submarine outfalls recommend the measurement and study of other parameters and characteristics of the receiving waters. Among the more commonly recommended are the currents field using continuous measurements, the horizontal and vertical dispersion coefficients, the bacterial die-away rate or T90, the water temperature and density profiles and the benthic communities. Although it is evident that the information provided by these parameters increase the knowledge of the discharge area, for most Mediterranean situations and for medium to small submarine outfalls, they are not indispensable for a correct design and calculations, and the effort necessary to measure them with the required precision normally exceeds the available resources. Normal values are given in Table 4:

Table 4

Proposed Values for Computation Parameters

Surface currents	20-30 cm/s
Horizontal dispersion coefficient	300 cm ² /s
Vertical dispersion coefficient	100 cm ² /s
Faecal coliforms T90	1.5-2.5 hours
Faecal streptococci T90	2.5-3.5 hours

Continuous measurement of the currents field requires the deployment of a group of current meters, at various locations and at various depths, for long periods of time. Near-surface measurements have the extra difficulty of needing some wave attenuating device. Continuous deployment of current meters subjects very expensive equipment to vandalism, theft or bad weather damage and needs expertise for the processing and interpretation of the huge amount of data produced. This type of effort is justified in the case of big and long outfalls, while for medium to small outfalls the use of floating drogues is normally sufficient.

Horizontal and vertical dispersion coefficients are part of the calculation procedure for the subsequent dispersion of the sewage field, once the plume has reached the surface. The measurement of these parameters requires the carrying out of field campaigns at different climatological conditions, using either drogues or dyes, which have to be repeated a good number of times in order to obtain reliable results. Normal values in the Mediterranean for the horizontal dispersion coefficient lay around 200-300 cm²/s, while the vertical coefficient is about 70-100 cm²/s.

As the subsequent dispersion does not contribute much to the overall dilution in normal Mediterranean situations, it would not be fully justified to undertake the measurement of dispersion coefficients for the design of small to medium submarine outfalls. Normal values given above, the use of the Elder's formula or the "4/3 law", generally have enough precision.

The correct determination of the bacterial die-away constant is even more complicated than the determination of the dispersion coefficients. Furthermore, the T90 varies greatly between some organisms and others. If it is measured during the day or during the night the results can be one order of magnitude different and viruses have very little die-away when discharged into seawater. Normal safe values for Mediterranean conditions lie in the order of 2.5 hours for faecal coliforms and 3.5 hours for faecal streptococci and it is normally regarded as sufficient to adopt these values for the design of medium to small outfalls.

The temperature profiles in the discharge area are used to estimate the possibility of plume entrapping under the surface due to density stratification of the seawater. Plume entrapping reduces the impact on the surface and the transport of pollutants towards the coast, but can lead to excessive accumulation of contaminants in the bottom layers and clouds upwelling near the coast. The precise determination of density profiles is a difficult and time-consuming exercise, which also requires the use of continuous temperature and salinity recorders. Furthermore, stratification of seawater masses is an unstable phenomenon which can not be predicted with great accuracy. Therefore, for most small to medium outfalls it would not be justified to carry out such a study.

The mapping and characterization of benthic communities is also another environmental study generally recommended for the design of submarine outfalls. For most situations, however, a superficial survey is generally sufficient and, as is the case for the parameters described above, detailed studies would go beyond available resources with only marginal repercussion on the design.

5. DESIGN PROCEDURE AND COMPUTATIONS

Design procedure, simplifications and proposed models were adopted at the Consultation Meeting on Guidelines for Submarine Outfalls in the Mediterranean (EUR/ICP/CAH 085), convened in Madrid from 3 to 5 July 1989. It was also decided in this meeting that the method of design and the detail and extent of the environmental studies should be different if the outfall is very small (cities of less than 1,000 people), if it is small (roughly between 1,000 and 10,000 people) or medium sized (over 10,000 people but less than 100,000-200,000).

5.1 Pretreatment alternatives

Some pretreatment of wastewaters before discharge is considered essential for the correct functioning of a submarine outfall. Possible treatment alternatives include: (a) bar screening, (b) air control, (c) grease, scum and floatings removal, (d) grit removal (e) solids removal and (f) disinfection through natural processes. If disinfection is applied, the computation of the necessary length of the outfall should take it into account, adapting the initial values of the discharge accordingly.

Secondary biological treatment of wastewaters is considered unnecessary for most medium to small submarine outfalls given the receiving capacity of most Mediterranean situations and the difficulties and cost of the operation and maintenance of these processes, which are nevertheless technically sound. Only when the combined effect of multiple discharges in the same area can exceed this receiving capacity should secondary treatment be considered.

Chlorine disinfection is also not recommended because of operation and maintenance problems, unreliable efficiency and possible adverse environmental effects (see Appendix II). Although die-away and dilution on their own do not guarantee the disappearance of viruses in seawater, similarly, unless there is good expertise available in the area, ozone disinfection is also not recommended for small outfalls because of its higher costs and operation difficulties.

Ease of operation and maintenance, low energy consumption, small construction and labour costs and adequate treatment directed towards those contaminants which are relevant in a discharge into the marine environment, should be the main conditions to take in consideration when deciding on the treatment to apply. The principal characteristics of the recommended treatments for submarine outfalls are:

Screening. Coarse screening of wastewaters through bar racks is necessary in all outfalls (even in the very small ones) for the removal of large solids, which will otherwise have an important negative effect on the aesthetic quality of the receiving waters. Bar racks are also necessary to prevent the blocking of the diffusers.

Bar racks, which can be mechanically or hand cleaned, are a common and simple device, do not have an important head loss (about 10 cm) and are easy to construct and maintain. For submarine outfalls two or more units should be installed, preferably of the mechanically cleaned type, with bars separation of 1-2 cm.

Air control. The control of air penetration into the pipeline is of paramount importance to prevent one of the main dangers for submarine outfalls: flotation. Air control devices must be included in the design of all submarine outfalls; it can be combined with floatings and scum removal, but best results are obtained when it consists of a simple equilibrium chimney. Minimum detention time for the tank under the chimney should be 1-5 min for maximum flow.

Floatings, grease and scum removal. The separation of easily floating material transported by the wastewater can be done in tanks where these materials are allowed to rise to the surface, while the wastewater leaves under a skimming trap situated at the other extreme of the inlet. Typical detention times are in the range of 5 to 15 minutes.

Grease traps, as they are normally called, are simple devices, easy to construct and with a good impact on the most visible part of the discharge. Their use, however, is restricted to small and very small outfalls because of the operation problems associated to the necessary regular removal of the materials which accumulate in the surface of the tank. Odour production also complicates the use of grease traps.

Grit removal. The removal of the grit transported by the wastewater is normally deemed as necessary to prevent its accumulation in the pipeline. However, the provision of adequate transport velocities is sufficient, in most outfalls, to avoid this problem without incurring in the cost and operation problems of this treatment.

When grit removal is necessary because of lack of adequate velocities in the pipeline or excessive production, it is done using a grit chamber where it settles, while most organic particles remain in suspension. For medium to small outfalls the best choice is the constant velocity horizontal channel with parabolic section designed to maintain a velocity as close to 0.3 m/s as possible.

Solids removal. Suspended solids removal is a costly operation, which requires the construction and operation of a sewage treatment plant. In spite of the cost and operational problems of such a plant, the removal of solids should be included in all submarine outfalls serving cities with more than 50,000 inhabitants, and it is recommended in outfalls for more than 10,000 people, as solids sedimentation and turbidity are among the most important adverse ecological impacts of sewage discharges into the marine environment.

Solids removal can be done by micro-screening, sedimentation and flotation. For most situations micro-screening and especially sedimentation are the best choice because of their low cost and simplicity, although odour control should always be considered when the plant is situated close to the coast. Flotation provides the best degree of treatment, but it is a complex process, which requires more energy and maintenance than either sedimentation or micro-screening. Design criteria and normal values are in the bibliography.

Disinfection through Natural Processes. Chemical disinfection using chlorine or ozone present problems because of their cost, difficult operation and lack of reliable efficiency. When disinfection is necessary because of the existence of sensitive activities in the area affected by the discharge, the best practical solution is the use of shallow lagoons, which also provide good solids removal and some degree of treatment. Lagooning of the sewage before discharge is strongly recommended for those places where there is enough available land.

Lagooning should consist of two to three lagoons in series, one to one and a half meters deep and around thirty days retention time for the whole system (one to two hectares per 1,000 people are normally sufficient). Although lagooning normally requires the pumping of the effluent inland, in many small Mediterranean small cities there is enough cheap land available for this type of treatment, which has the added advantage of allowing the agricultural use of all or part of the effluent. Lagooning, either as a natural disinfection treatment or as a pretreatment for agricultural reuse, is a good alternative for small outfalls (up to 10,000 people) and its effect on the effluent should be taken into account in the calculation of the required outfall length. Adequate sealing of the lagoon basin to avoid groundwater contamination is also an important precaution to take.

5.2 Design principles

The main principles which should guide the design, siting and computation of a submarine outfall in most Mediterranean situations are:

- (a) Submarine outfalls should always end in open coastal waters, where multiple discharges in the same area do not affect the background levels. Discharges inside enclosed areas or within the 300 reserve band should be avoided whenever possible.
- (b) As initial dilution is essential, every effort should be made to construct the outfalls with the discharge point situated at the longest distance from the areas to protect and to the greatest depth which can be economically reached. Modern pipe-laying techniques make the total length and depth of the outfall less important in the overall cost of the project⁶.

The use of diffusers increases the initial dilution at the discharge point. Diffusers ports must have a minimum diameter of 10-15 cm, a total combined surface not exceeding 75% of the pipeline cross section and a spacing equal to one fourth of the depth. For small outfalls it is advisable to adopt a single discharge outlet at the end of the pipeline to prevent the blocking of the diffusers.

The effective length (distance between the discharge point and the outer border of the 300 m reserve band) should be larger than 1,500 m and the depth of the discharge point should not be smaller than 15 m. Given these conditions, it can be accepted that the discharge of very small outfalls will have no negative effects in most Mediterranean situations, whatever be the results of the computation of dilution, dispersion and bacterial decay.

Dilution at the outer border of the 300 m reserve band should reach a minimum value of 10^5 when combining the effect of plume rising, bacterial decay and dispersion of the cloud by surface currents. The contribution of bacterial decay should be limited to a maximum of 10^2 . The Madrid expert meeting even recommended that the apparent dilution due to bacterial decay should not be considered when making the computations on the efficiency of the outfalls. This

⁶ The use of plastic pipes allows the laying of section of up to 1,000 m in one day, for diameters of up to 1 m. These materials are corrosion resistant, adapt to normal movements in the bottom and are leak free because do not present junctions.

strong recommendation is based on the high nocturnal values of T90 for most indicator organisms and the very long persistence of pathogenic viruses in seawater.

Design should be geared to the worst possible situation. Therefore the possible advantages of trapping will not be considered, given the instability of this phenomenon.

Design velocity in the pipeline should be around 1 m/s. To prevent the blocking of the diffusers the velocity of the discharge should reach with sufficient frequency 1 m/s, but should not exceed 2 m/s to reduce head losses.

Pumping should be avoided if sufficient head is available because of the energy and maintenance costs.

In those places where drastic flow variations take place between summer and winter seasons, equalization and pumping should be considered. The use of lagooning is also very effective and should be considered whenever possible.

The setting of the outfall should whenever possible be decided taking into account the existence of sensitive benthic communities such as **Poseidonia** beds. In order to prevent any damage, the discharge point should be placed at a minimum distance of 250-300 m from these communities if it is economically feasible.

5.3 Computation procedure

This computation procedure is a simplification for the special characteristics of small to medium submarine outfalls in the Mediterranean, and does not conflict with other methods recommended in the bibliography.

For the computation concerning the efficiency of submarine outfalls, the quality criteria set accordingly to the activities supported by the affected area are checked against the concentration of the relevant pollutants after dilution, spreading and degradation, in the case of non-conservative parameters. The steps to follow are:

- (a) On the appropriate maps and charts draw the coastal baseline and identify the affected activities in the area. For each of these activities set the water quality objectives and criteria and draw the 300 m reserve band around them in order to obtain the travel distance from the point of discharge. Using the surface current velocity (either measured or 30 cm/s) calculate the travel time.
- (b) With the maximum dry weather wastewater flow and the rainy season discharge set the pipeline diameter, number of ports, their diameters and their spacing.

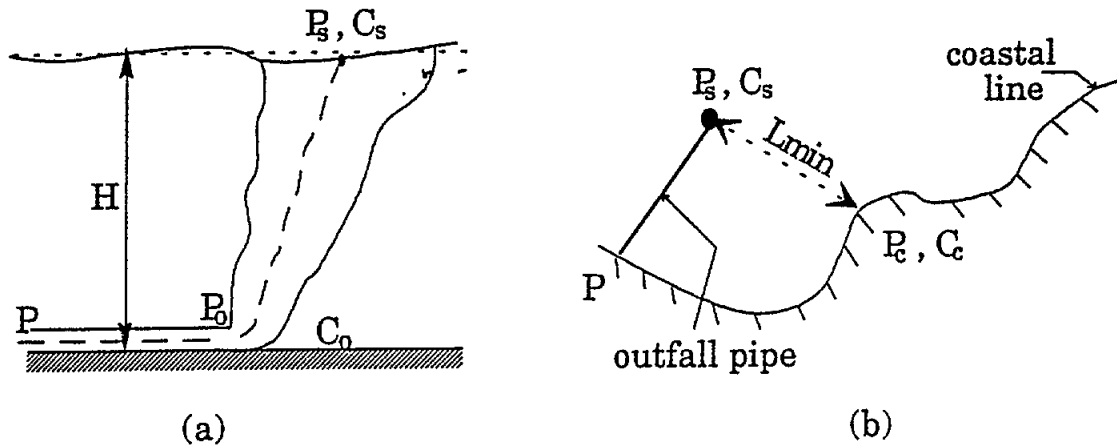


Figure 4. Dilution of wastewaters (a) on a vertical plane and (b) at the sea surface.

As shown in Figure 4(a), if P_0 is the discharging port, where wastewater has initial concentration C_0 , the computation problem is to estimate the concentrations C_s and C_c (Fig. 4(b)) at points P_s (surface) and P_c (coastal line).

The initial dilution due to dispersion of the plume and the apparent dilution due to bacterial decay for the travel distance and time calculated above are performed using the formulas given in Appendix III. Correct bacterial decay to the maximum of 10^2 and calculate overall dilution as the multiplication of these three dilutions.

Check that the initial dilution is higher than 150 and the overall dilution is over 10^5 . Compare water quality criteria with the contaminants concentrations obtained in the affected areas for maximum dry weather and rainy season discharge flows.

After comparing the quality criteria with the concentration of the relevant contaminants in the border of the reserve band, correct the siting, length and depth of the outfall accordingly and repeat the calculation until the design is adjusted to obtain the required water quality criteria in the areas where such criteria apply.

5.4 Example of application

The submarine outfall of a coastal Mediterranean city of 30,000 inhabitants is to be designed. An available outfall site, where the water depth is 20m, is located in a distance of 1800 m from a bathing beach.

Compute the sewage dilution and check if the water quality standards are fulfilled in the beach.

- (a) For dry weather flow, the design parameters given in Table 3 can be selected. The outfall flow rate of sewage is computed as follows:

$$Q = (30,000) \times 7 / (1,000) = 30 \times 7 = 210 \text{ l/s} = .21 \text{ m}^3/\text{s}$$

If a diffuser of length $L=300\text{m}$ is provided, the flow rate per unit length is given by the following expression:

$$q = Q/L = 0.21/300 = 7 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$$

- (b) Initial dilution (D_1), bacterial decay (D_2) and subsequent dispersion (D_3) are estimated by means of formulas given in Appendix III.

Initial dilution (D_1) (Appendix III, formula III.2(a))

$$D_1 = (0.38)g^{1/3} Hq^{-2/3} = (.38)(.267)^{1/3}(20)(7 \times 10^{-4})^{-2/3} = 620$$

Bacterial decay (D_2) (Appendix III, III.3)

Assuming a current velocity: $V=30 \text{ cm/s}$, the travel time t to the bathing beach is

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

With $T_{90} = 2.5\text{h}$, we have the following bacterial decay:

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

Dilution due to the dispersion (D_3): it will be assumed equal to 10 (Appendix III, III.4).

- (c) The sewage concentration after the initial dilution, bacterial decay and dispersion will be given by the following expression:

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

where C_0 is the initial concentration. For the Faecal Coliforms $C_0 = 10^7 \text{ FC}/100 \text{ ml}$ (Table 3). Therefore, we obtain

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

Comparing with the Bathing Water Quality Criteria (Table 1) this value lies between 90% (1000) and 50% (100) of the acceptable percentiles. It could be an acceptable concentration. Further dilution of sewage can be obtained by increasing the water depth (H) or the distance (L) of the outfall site.

6. MONITORING OF SUBMARINE OUTFALLS

Regular monitoring should be carried out on all medium and large submarine outfalls of cities with more than 50,000 inhabitants, and on industrial discharges. Effluent standards should be controlled on a monthly basis, water quality criteria every five years. Small urban outfalls performance can be controlled indirectly, through regular monitoring programs for bathing and shellfish growing waters.

In order to make the control of effluents possible, all outfalls, even the small ones, should be designed with adequate facilities for the sampling and gauging of the discharge.

Measuring devices that can be used for submarine outfalls include Parshall flumes, weirs and Palmer-Bowlus flumes, if situated in the open channel, and Venturi tubes or nozzles if situated in the pipeline. Gravimetric and volumetric containers are used to calibrate these devices, whose description and design criteria is fully explained in the common bibliography (see Metcalf & Eddy for references). Easy access to manholes and draining pipes are usually the best solution for effluent sampling.

The water quality monitoring program should consist of intensive surveys. Repetitive measurements in the surface and vertical profile of a grid of around 12 points situated in and around the outfalls end, together with sediments sampling at distances of 100 and 500 m, should be done for the correct evaluation of the discharge. Two to four such surveys, covering each season for a week or so every five years will normally be sufficient for the evaluation of the outfall performance and effects.

Submarine outfall monitoring should not be restricted to water quality, effluent concentrations or sediment contamination studies. Also important is the regular control, preferably every year, of the physical state of the structure. It should include the identification of the possible damages suffered by waves and vessels action and the loss of the carrying capacity of the pipeline by sewage deposits or diffusers blocking.

Direct inspection of the pipeline is a difficult and expensive activity. Much better results are obtained with the addition of a small amount of a dye tracer which will mark the existence of any loose junction, leak or rupture of the outfall, as well as the situation of the discharge ports. This type of inspections can be done every year, during the spring time, after the winter storms, to identify damages in the outfall with enough time for their repair before the summer season starts (although better weather conditions would seem to favour that this controls should be made during the summer, the release of dyes during this time of the year should be restricted because of the negative impression it can cause on bathers and vacationers).

Excessive head losses in the pipeline can be checked measuring the available hydraulic head at the beginning of the outfall and the flow velocity. With simple hydraulic calculations of this measurements and the theoretical head losses obtained using design data, a possible blocking in the pipeline can be easily evaluated.

7. CONSTRUCTION PRECAUTIONS AND MAINTENANCE

Submarine outfalls are a good solution for the disposal of sewage from medium to small cities in the Mediterranean because they are easy to construct, do not have important maintenance and operation difficulties and costs and are effective in protecting the quality of coastal waters. Given the adequate discharge conditions described above, the design and construction of these structures should therefore be aimed primarily at reducing the operation and maintenance problems.

The necessary regular maintenance of outfalls is very little. It is mainly limited to the control activities and the operation and cleaning of the pretreatment system, together with the adequate disposal of the generated solid residues. Important maintenance is only needed when the outfall suffers damages and leaks that reduce the distance and depth of the discharge or when it is blocked by solids deposits or overgrown marine organisms.

The blocking of the outfall can be prevented by an adequate design of the discharge ports and by regular control inspections as described above. When it still occurs, it is easy and not expensive to re-open the pipeline, either manually or by pumping high flows for a short period. Ruptures in the outfall, or even small leaks, require much more resources, as repairing damages in underwater structures is generally a difficult and expensive task. Every effort should therefore be directed to provide adequate protection of the outfall in the construction phase; it is always cheaper and funds are more easily obtained for a little extra expenditure in preventive action than for corrective action.

The main causes of outfalls ruptures, leaks or even their whole destruction are wave action, the direct impact of anchors and fishing gear of pleasure and sailing vessels, and flotation. Natural seasonal changes in the bottom profile with failure of adaptation by the pipeline are also an important cause of outfall leaks.

To avoid flotation, it is important and generally sufficient to prevent air penetration in the pipeline by installing an air chamber before its landward end, and to adopt a vertical profile that does not present bendings and pockets where air can accumulate. Ballasting of the pipeline, or even its anchoring, will depend on the type of materials used. There are many examples in the literature that can be used to decide on the type and weight of the ballast needed and manufacturers will provide the designer with useful extra information more specific to each material.

Protection against the action of waves can be obtained by burying the pipeline or covering it with a jetty, and should include the whole surf band for the different seasons of the year⁷. A detailed design of this protection work requires the determination of the project wave height (as waves break down at a depth equal to 0.7 their height, this is the depth to which the protection should reach), but for most Mediterranean situations, and especially in the case of medium to small outfalls, the best solution will normally be to bury the pipeline to a depth equal to 4 m, measured from the water surface at the lowest tide level.

⁷ It is well known, but seldom applied by designing engineers that coast profiles change according to the season and that coast lines are a mobile and changing system.

In order to protect the pipeline against the action of anchors and fishing gear, the only good solution is to bury it or to cover the outfall with ballast and rock-fill to a depth of 10-15 m. Although ballast thrown from the surface is expensive, it is the best alternative for small to medium outfalls, and usually pays for itself in the long term. To bury the outfall, there are different alternatives, which include the opening of a trench before laying the outfall or dredging it parallel to the pipe using manually operated equipment (see figure 3 for details of proposed protection measures).

The mobile nature of the sea bottom adds further requirements for a submarine outfall; it has to be able to adapt to small changes and movements without breaking up or leaking through the junctions. Although they are more expensive than concrete pipes, for medium to small outfalls the best option is the use of plastic materials or steel which can follow these changes without problem. Plastic material of the type of high density polyethylene or PVC has become a good alternative in recent years as it has no corrosion problems and can be set up on the coast in very long sections (up to 1,000 m) which are laid out in one day without junctions.

As a further precaution against damage by anchors or fishing gear, submarine outfalls should be marked with clear buoys at the end and at every bend of the unprotected part, fitted with clear signs prohibiting anchoring and fishing in a 200 m radius around it, and warning against swimming or wind-surfing in the vicinity⁸.

Outfalls should also be marked in commercial and sailing charts, clearly indicating that the area around these structures is forbidden for anchoring and trawl fishing.

There is an abundant bibliography on the construction methods and materials to be used with the submarine outfall structures for the disposal of sewage into the sea and some of the most important and readily accessible of these publications are listed in the attached table. For small and medium size outfalls it has been pointed out that the best option with available technology and materials is the use of ballasted high density polyethylene pipes which can be laid out in lengths of more than 1,000 m without junctions. These pipes can be easily towed out floating, keeping both ends closed. Once in the definite position the outfall is lowered by letting the water in, adding extra ballast to assure stability.

Other construction methods for small and medium size outfalls include the towing of the pipe from a pontoon anchored at a certain distance from the coast, either floating or through the bottom. In any case it is always advisable to make all the junctions and sealing of the outfall on land, out of the water, where the work and the inspection of its results can be carried out more easily.

It is also always advisable to avoid the simple method of laying the ballasted outfall directly on the bottom, without securing it with some anchoring mechanism. Although this anchoring or the even better burying the outfall is an expensive addition to the project, it prevents the pipe moving and the possible consequent rupture and its vibration under load, specially in the diffusers section.

⁸ It is not uncommon to see boats anchored around the outfall's end for fishing or that the buoy is taken as a reference point for swimming or sailing.

APPENDIX I

CLASSIFICATION OF VARIOUS POLLUTANTS

From the point of view of marine pollution, one should analyze the various pollutant categories contained in the wastewater and the degree to which each one is harmful for the marine environment.

Pollutants, especially those contained in urban sewage, can be distinguished into four large categories on the basis of how they behave in the environment.

I.1. Suspended solids

It has been established that these are very harmful to the marine environment, especially if they are of very small size. They are the most harmful pollutants contained in urban sewage because:

- Suspended solids reduce the penetration of sunlight into the water. This is particularly harmful in areas where the limpidity of the environment allows certain plant species to form true "underwater meadows", as is the case of *Zostera* and *Poseidonia* beds in the Mediterranean. Turbidity caused by suspended solids raises the lower limit of such beds.
- Suspended solids can bring about the clogging of spawning grounds, thus compromising the reproduction of many species and can, in extreme cases, lead to the disappearance of fish and filtering animals sensitive to the blocking of branchiae (gills).
- Suspended solids serve as support to many pollutants adsorbed into them. This is particularly true of bacteria and viruses carried about by small particles; this hinders the normal self-cleaning action of the marine environment.
- The settleable fraction of suspended solids accumulates, through sedimentation, on the sea bed bringing about the asphyxiation of the benthic environment, especially in areas with low rate of water renewal. In addition, sedimented pollutants, if put back in suspension because of heavy swells, may affect water quality in a sensitive area.

I.2. Organic matter

Since almost all types of organic matter are biodegradable, which is also the case with urban sewage, they can be accommodated by the marine environment; they bring to it the nourishment needed by living organisms and thus help replenish, to a certain extent, the quantities caught in fishing.

The risk for adverse impact appears only when either of the following two specific conditions is present:

- content or renewal of dissolved oxygen is inadequate to ensure biodegradation;
- the water is stagnant or insufficiently renewed.

Both situations are found either in enclosed coastal bays, where currents do not penetrate and where it would be counter-indicated to install an outfall system, or under the layer of density discontinuity or "thermocline". The latter is a frequent occurrence in the Mediterranean in the summer season.

In both cases, biodegradation of organic matter is inhibited by inadequate oxygen renewal, resulting in a decrease of oxygenated compounds (sulphates, nitrates, phosphates). Thus all conditions for a dystrophic imbalance of the plant environment are assembled (eutrophication).

For this reason, if poor renewal of the waters at a certain depth from the surface is expected, a situation which is quite frequent in the summer in tideless seas, it is not advisable to discharge effluents at a certain depth because of the risk that the rising plume might be trapped under the thermocline.

I.3. Toxic substances

These may be of either inorganic or organic origin and frequently non-degradable, retaining their toxic properties for a relatively long time. Many heavy metals fall in this category. Urban sewage contains few such substances. When industrial effluents contain toxic substances in quantities large enough to create an unacceptable risk to the environment, then their elimination or the adequate abatement of their concentration before discharge cannot be expected to come from a treatment plant designed primarily for urban sewage. This operation should be carried out as a preliminary treatment of the effluent at the industrial plant, through the care and under the responsibility of the firm producing such toxic substances, and always by using the process recommended for the specific toxic substance to be eliminated.

I.4. Pathogenic micro-organisms

The enormous variety of pathogenic micro-organisms, and the extreme difficulty of the operation, make it impossible to systematically detect and count them in any type of effluent. Since they most frequently move through the digestive tract, the probability of their presence and, to a certain extent, their concentration in an effluent are considered to be linked with the presence and the quantity of organic discharge, more specifically of human origin. Of this group, the intestinal coliform bacteria have been chosen as indicators, because they can easily be detected and counted. However, it should be kept in mind that these intestinal bacteria are not pathogenic organisms and are used only as probability indicators for the presence of pathogens; moreover, that quantitative links between coliforms and pathogens, have not been firmly established on a general basis.

The only thing measured by the counting of test germs of faecal contamination is the number of people whose sewage is discharged into the sea. In regulations worldwide however, no better indicator for possibly dangerous microbial pollution has so far been found than these three families of test bacteria of faecal contamination.

APPENDIX II

DISINFECTION OF URBAN SEWAGE

The abatement of bacterial concentrations from those found in raw sewage to the standards covering "bathing waters" and "shellfish growing waters", is in the range of 10^5 - 10^6 . A factor of 10 - an order of magnitude possible for a treatment plant - is a negligible contribution to abatement and moreover one on which we cannot even count absolutely. Therefore, elimination of bacteria before entering the outfall is necessary in many cases by the disinfection process. Here the distinction is made between natural and chemical disinfection processes.

II.1. Chemical disinfection

This process is based on the bactericidal properties of oxidizing agents (chlorine, bromine, ozone). Its use is not, as a rule, desirable for a number of reasons.

As has been explained, a quantitative correlation between bacterial indicator organisms and pathogens has still not been established, and the same uncertainty holds good when the same indicators are used to assess the effectiveness of disinfection treatment. This is due to the fact that the destructive capacity of chemical oxidizing agents (mainly chlorine) is not the same for all micro-organisms, and many pathogens, particularly viruses, have a much greater resistance to the treatment than indicator bacteria. As, in practice, the effectiveness of disinfection is normally only measured by determining concentrations of indicator organisms before and after treatment, the results obtained cannot be said to afford any accurate indication of pathogen reduction.

There are additional reasons for which this process is counter-indicated, namely:

- Effluents contain nitrogen compounds, especially ammonia, binding a large portion of chlorine in compounds such as chloramines, which are less bactericidal than chlorine, but toxic for marine fauna even in concentrations as low as 0.02 mg/litre.
- Disinfection equipment is delicate in its operation, gets deregulated easily and, since its constant monitoring is not always assured, one cannot rely on the continuity of the operation and thus on the system's efficiency. Any interruption would result in non-compliance with the microbial standards in the areas to be protected.
- Finally, the installation and operational costs of a chemical disinfection system, which needs constant and very careful monitoring, are high and in many cases prohibitive.

Summing up, it can be said that the disadvantages of this type of treatment, whose effectiveness on pathogenic micro-organisms is neither guaranteed, nor controllable in practice, outweigh the advantages which only the assured continuity of operation would procure.

II.2 Disinfection through natural processes

Although the credibility of chemical disinfection may be considered as low, a natural process such as the use of solar radiation in a system of tanks is a lot more effective, because it has a relatively homogeneous impact of all the species of micro-organisms and its continuity is assured. Whether one considers either a complete system of tanks for the treatment of raw sewage which guarantees the sedimentation of suspended solids, the biodegradation of oxidizable matter and microbial disinfection; or about this last phase only in tertiary tank treatment, downstream from a classic treatment plant, this process is both low-cost and reliable and should be opted for in all cases where it is technically feasible. The main prerequisites are the following:

- a flat and rather waterproof area, 1 to 2 hectares per 1000 inhabitants, in order that the waste to remain in the tanks between 6 weeks and 3 months;
- a warm and sunny climate.

Since both of these conditions are easily found in many regions around the Mediterranean, the complete or partial treatment of wastes by using a tank system should be considered wherever the local situation permits.

The greatest advantage is that the waste thus treated is decontaminated and of a very low noxiousness; it can therefore be discharged at a small distance from the marine areas to be protected. Large savings are possible on the total outlay for a classic sea outfall system.

In effect, the effluent coming out of the system can easily meet the required standards for bathing waters of about 10^2 to 10^3 total coliforms per 100 millilitres.

However, it is not possible to resort to this method in all cases; it may be that for various reasons the site does not lend itself, or that the available area is not large enough, especially in the case of big cities. The solution then would be to obtain an abatement factor of the microbial load of between 10^4 and 10^5 , through a different process, for the effluent between the treatment plant outlet and the quality of the seawater in a bathing area. The abatement factor rises to 10^6 if the area under consideration is a shellfish growing one.

For the reasons indicated above, it is very rarely advisable to resort to chemical disinfection; it is always preferable to try and obtain the desired result through dilution, because in that case one is certain that it applies uniformly to all micro-organisms. The solution would then be to discharge the effluent at a certain distance from the sensitive areas; this would guarantee both an adequate hydraulic dilution and sufficient transit time; thus, concerning germs, their own decay would be added to the dilution, given the self-cleansing capacity of the marine environment.

Both effects are equivalent to a dilution and the final abatement factor is the sum of the two. The method that takes greatest advantage of both is therefore the discharge of wastewater into the sea through an outfall system of appropriate length.

APPENDIX III

CALCULATION METHODS FOR THE PREDICTION OF WASTEWATER DILUTION

III.1 Parameters

- L = Total outfall length (m)
Effective length should not be smaller than 1,500 m.
- D = Outfall diameter (m).
- X = Distance between the discharge point and the outer line of the outer line of the reserve band (m).
- H = Depth of the discharge point (m)
It should not be less than 15 m.
- t = Travelling time (hours).
- C(t)= Concentration of a non-conservative pollutant.
- V = Wastewater velocity in the pipeline (m/s).
- l = Length of the diffusers sector (m)
It should not be less than 5% of L, except when $D < 0.25$ m, when a single outlet is preferred.
- d = Diameter of the diffusers pipe cross section (m).
- 2r = Diameter of the diffusers ports (m)
It should be larger than 0.10-0.15 m.
- n = Number of diffuser ports
Total diffuser port surface should not be bigger than 75% of the pipeline cross section.
- s = Diffuser spacing (m)
Must be about $H/4$.
- v = Velocity of wastewater outflow through diffusers (m/s)
Should reach 1 m/s on a consistent basis and not exceed 2 m/s.
- Q = Total discharge flow (m^3/s).
- q = Relative flow of the diffusers sector. $q=Q/l$ ($m^3/s.m$).
- Q_d = Discharge flow through a diffuser (m^3/s).
- h = Hydraulic head at a diffuser (m)
It must reach 0.5 m in the last outlet.
- m = Friction coefficient of the pipeline (Manning).
- g = Gravity ($9.81 m/s^2$).
- ρ_a = Wastewater density (g/cm^3)
It will be assumed to be equal to 1,000.

- \ddot{a}_m = Seawater density (g/cm³)
It will be assumed to be equal to 1,028.
- $\ddot{a}_m(z)$ = Seawater density at depth z (g/cm³).
- g' = Effective gravitational acceleration $g' = g \cdot (\ddot{a}_m - \ddot{a}_a) / \ddot{a}_a$ (m/s²)
It will be assumed to be equal to 0.267.
- u = Current velocity (m/s).
- D1 = Dilution due to plume rise
Must be larger than 150:1.
- D2 = Apparent dilution due to degradation or die-away of non-conservative pollutants.
Must not be higher than 100:1 for bacterial indicators.
- D3 = Dilution caused by cloud dispersion and convection by surface currents.
- K_y = Horizontal dispersion coefficient (m²/s)
It can be assumed to be equal to 0.02 m²/s.
- K_z = Vertical dispersion coefficient (m²/s)
It can be assumed to be equal to 0.007.
- Zmax = Maximum rising height of the plume in stratified waters.
- ! = Stratification coefficient. $! = g \cdot (\ddot{a}_m(H) - \ddot{a}_m(z)) / z \cdot \ddot{a}_a$ (m/s).
- T90 = Die-away rate for non-conservative pollutants (hours)
It will be assumed to be equal to 2.5 hours for faecal coliforms and 3.5 hours for faecal streptococci.
- F = Froude number $F = v \cdot (g' \cdot 2r)^{-1/2}$

III.2 Calculation of dilution in the plume

Calculation of the dilution in the plume should be made using the formulas presented herein. Although for most situations no stratification is to be considered, formulas for the calculation of the plume rise height and the dilution at that point are also included. These formula assume that no current is acting on the plume. For the calculation of dilution in cases where ambient currents are considered, Robert's graph should be used.

- (a) Outfalls fitted with diffusers:
- | | |
|---------------------|---|
| Homogeneous waters: | $D1 = 0.38 \cdot g'^a \cdot H \cdot q^{-b}$ |
| Stratification: | $D1 = 0.31 \cdot g'^{1/3} \cdot Z_{max} \cdot q^{-b}$ |
| | $Z_{max} = 2.84 \cdot (g' \cdot q)^a \cdot !^{-1/2}$ |
- (b) Outfalls with a single outlet:
- | | |
|---------------------|--|
| Homogeneous waters: | $D1 = 0.089 \cdot g'^a \cdot H^{5/3} \cdot Q^{-b}$ |
| Stratification: | $D1 = 0.071 \cdot g'^a \cdot Z_{max}^{5/3} \cdot Q^{-b}$ |
| | $Z_{max} = 3.98 \cdot (g' \cdot Q)^{1/4} \cdot !^d$ |

III.3 Non-conservative parameters

For the calculation of the apparent dilution caused by bacterial die-away the following expression should be used:

$$D_2 = C(0)/C(t) = 10^{t/T_{90}}$$

where $C(0)$ is the original concentration of the pollutant and $C(t)$ is the concentration after a travel time t .

III.4 Cloud dispersion and convection

The dilution caused by cloud dispersion and convection has less importance and contribution on the overall process than the other two dilutions mentioned above. It can be assumed as 10^1 for small and very small outfalls.

BIBLIOGRAPHY

- 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.
- Quélin, 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.
- UNEP (1985a) *Report of the Fourth Ordinary Meeting of the Contracting Parties to the Convention for the protection of the Mediterranean Sea against Pollution and its related protocols. Genoa, 9-13 September 1985*. Document UNEP/IG.56/5. United Nations Environment Programme, Athens.

- UNEP (1985b) *Report of the meeting of experts on the technical implementation of the Protocol for the protection of the Mediterranean Sea against Pollution from Land-based Sources, Athens, 9-13 December 1985.* Document UNEP/WG.125/10, United Nations Environment Programme, Athens.
- UNEP (1987) *Report of the Fifth Ordinary Meeting of the Contracting Parties to the Convention for the protection of the Mediterranean Sea against Pollution and its related protocols. Athens, 8-11 September 1987.* Document UNEP/IG.74/5. United Nations Environment Programme, Athens.
- UNEP (1992) *Mediterranean Action plan and Convention for the protection of the Mediterranean Sea against Pollution and its related protocols.* United Nations Environment Programme, Athens.
- UNEP (1995a) *Report of the Meeting of Legal and Technical experts to examine amendments to the Protocol for the Protection of the Mediterranean Sea against Pollution from Land-based Sources, Syracuse, 4-6 May 1995.* Document UNEP (OCA) MED WG. 92/4. United Nations Environment Programme, Athens.
- UNEP (1995b) *Final Act of the Conference of Plenipotentiaries on the amendments to the Convention for the Protection of the Mediterranean Sea against Pollution to the Protocol for the prevention of pollution of the Mediterranean sea by dumping from ships and aircraft and on the protocol concerning specially protected areas and biological diversity in the Mediterranean, Barcelona, 9 - 10 June 1995.* Document UNEP(OCA)/MED IG.6/7, United Nations Environment Programme, Athens.
- UNEP (1996a) *Report of the Second Meeting of Legal and Technical experts to examine amendments to the Protocol for the Protection of the Mediterranean Sea against Pollution from Land-based Sources, Syracuse, 3-4 March 1996.* Document UNEP (OCA) MED WG. 107/4. United Nations Environment Programme, Athens.
- UNEP (1996b) *Final Act of the Conference of Plenipotentiaries on the Amendment of the Protocol for the Protection of the Mediterranean Sea against Pollution from Land-based Sources, Syracuse, 6-7 March 1996.* Document UNEP(OCA)/MED IG.7/4, United Nations Environment Programme, Athens.
- White, J.B. (1970) *The Design of Sewers and Sewage Treatment Works.* E. Arnold, London.

**LIGNES DIRECTRICES POUR LES EMISSAIRES DES
COLLECTIVITES COTIERES DE PETITE ET
MOYENNE TAILLE EN MEDITERRANEE**

TABLE DES MATIERES

	<u>Page</u>
RAPPEL DES FAITS	43
1. INTRODUCTION	48
1.1 Définition du problème	48
1.2 Epuration à terre et élimination en mer	48
1.3 Objet des lignes directrices	52
2. CONDITIONS PREVALANT EN MEDITERRANEE	53
3. OBJECTIFS DE MILIEU ET NORMES DE QUALITE D'EAU	54
3.1 Protection de la santé publique et des écosystèmes marins	54
3.2 Normes de qualité d'eau	55
3.3 Normes d'effluent	57
4. CARACTERISTIQUES DES EAUX USEES ET DU MILIEU	57
4.1 Caractéristiques des eaux usées	57
4.2 Caractéristiques du milieu	58
5. PROCEDURE ET CALCULS DE CONCEPTION	64
5.1 Options de traitement préalable	64
5.2 Principes de conception	66
5.3 Méthode de calcul	67
5.4 Exemple d'application	69
6. SURVEILLANCE DES EMISSAIRES SOUS-MARINS	70
7. PRECAUTIONS DE CONSTRUCTION ET MAINTENANCE	71
APPENDICE I	74
APPENDICE II	76
APPENDICE III	78
BIBLIOGRAPHIE	81

RAPPEL DES FAITS

Les vives préoccupations concernant l'état de la pollution de la mer Méditerranée, en raison principalement des rejets incontrôlés de déchets municipaux et industriels, ont culminé au début des années 1970 et, à la suite de toute une série de concertations intergouvernementales, ont finalement conduit à l'adoption d'un programme global - le Plan d'action pour la Méditerranée - par les gouvernements des Etats côtiers de la région à la réunion intergouvernementale sur la protection de la mer Méditerranée, convoquée par le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) à Barcelone, Espagne, du 28 janvier au 4 février 1975. Le programme approuvé se composait de quatre grands volets (PNUE, 1992):

- a) Planification intégrée du développement et gestion des ressources du bassin méditerranéen;
- b) Programme coordonné de recherche, de surveillance continue et d'échanges de renseignements, et évaluation de l'état de la pollution et des mesures de protection;
- c) Convention-cadre relative à la protection du milieu marin en Méditerranée, protocoles connexes et leurs annexes techniques;
- d) Incidences institutionnelles et financières du Plan d'action.

Le cadre juridique du programme de coopération régionale a été adopté avec l'Acte final de la Conférence de plénipotentiaires des Etats côtiers de la région méditerranéenne pour la protection de la mer Méditerranée, convoquée par le PNUE à Barcelone, Espagne, du 2 au 16 février 1976. Plus concrètement, la Conférence a adopté les textes de trois instruments juridiques, à savoir:

- a) la Convention pour la protection de la mer Méditerranée contre la pollution, adoptée et signée le 16 février 1976, entrée en vigueur le 12 février 1978;
- b) le Protocole relatif à la prévention de la pollution de la mer Méditerranée par les opérations d'immersion effectuées par les navires et aéronefs, adopté et signé le 16 février 1976, entré en vigueur le 12 février 1978;
- c) le Protocole relatif à la coopération en matière de lutte contre la pollution de la mer Méditerranée par les hydrocarbures et autres substances nuisibles en cas de situation critique, adopté et signé le 16 février 1976, entré en vigueur le 12 février 1978.

Trois autres instruments juridiques associés à la Convention de Barcelone de 1976 (PNUE, 1980, 1002, 1995b) ont été établis; ce sont:

- a) le Protocole relatif à la protection de la mer Méditerranée contre la pollution d'origine tellurique, adopté et signé à Athènes, Grèce, le 17 mai 1980, entré en vigueur le 17 juin 1983;
- b) le Protocole relatif aux aires spécialement protégées de Méditerranée, adopté et signé à Genève, Suisse, le 3 avril 1982, entré en vigueur le 23 mars 1986;

- c) le Protocole relatif à la protection de la mer Méditerranée contre la pollution résultant de l'exploration et de l'exploitation du plateau continental, du fond de la mer et de son sous-sol, adopté et signé à Madrid, Espagne, le 14 octobre 1994, pas encore entré en vigueur.

La Convention de 1976, le Protocole "immersions" de 1976 et le Protocole "aires spécialement protégées" de 1982 ont été modifiés par la Neuvième réunion ordinaire des Parties contractantes, qui s'est tenue à Barcelone du 5 au 8 juin 1995 (PNUE, 1995b), et leur nouvelle version officiellement adoptée par une conférence spéciale de plénipotentiaires convoquée, également à Barcelone, les 9 et 10 juin 1995 (PNUE, 1995c).

Etant donné que, selon les estimations, plus de 80% de la charge polluante de la mer Méditerranée émanait de sources situées à terre sous forme de rejets le plus souvent non traités et partiellement traités de déchets municipaux et industriels atteignant la Méditerranée directement à partir de sources côtières ou indirectement par les cours d'eau, on s'est attaché à élaborer un instrument juridique répondant à cet aspect de la pollution. A la suite de plusieurs consultations d'experts tenues de 1977 à 1979, le Protocole relatif à la protection de la mer Méditerranée contre la pollution d'origine tellurique a été adopté et signé par la conférence de plénipotentiaires des Etats côtiers de la région méditerranéenne sur la protection de la mer Méditerranée contre la pollution d'origine tellurique, convoquée par le PNUE à Athènes, Grèce, du 12 au 17 mai 1980. Les annexes techniques au Protocole comportaient une liste "noire" de substances engendrant une pollution à éliminer, et une liste "grise" de substances engendrant une pollution à réduire. Compte tenu des incidences qu'il comportait aux plans juridique, technique et économique, il a été convenu que le Protocole ferait l'objet d'une application progressive.

Pour répondre au souhait général d'une actualisation de la Convention et des Protocoles, deux réunions d'experts juridiques et techniques chargés d'examiner les amendements au Protocole relatif à la protection de la mer Méditerranée contre la pollution d'origine tellurique ont été organisées par le PNUE à Syracuse les 4-6 mai 1995 et les 3-4 mars 1996, respectivement, afin d'examiner les amendements proposés au Protocole d'Athènes de 1980 (PNUE, 1995a, 1996a). Un accord s'est dégagé à ce niveau sur un certain nombre de questions et notamment sur la fusion des annexes I et II en une seule annexe comportant en outre une liste des secteurs d'activité à terre entraînant une pollution marine. Les amendements au Protocole "tellurique" de 1980 ont été officiellement adoptés et signés lors d'une conférence de plénipotentiaires convoquée par le PNUE à Syracuse les 6 et 7 mars 1996, le nouvel intitulé du Protocole étant "Protocole relatif à la protection de la mer Méditerranée contre la pollution provenant de sources et activités situées à terre" (PNUE, 1996b).

Il est prévu que les versions révisées de ces instruments juridiques entreront prochainement en vigueur.

En vertu de l'article 4 de la version initiale de la Convention, les Parties contractantes s'engagent 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 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. Ces obligations fondamentales ont été maintenues et renforcées dans la nouvelle version de la Convention.

En vertu de l'article 7.1 du Protocole relatif à la pollution d'origine tellurique, les Parties élaborent et adoptent progressivement, en collaboration avec les organisations internationales compétentes, des lignes directrices et, le cas échéant, des normes ou critères communs 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. Cette disposition est demeurée telle quelle dans la nouvelle version du Protocole.

A leur Quatrième réunion ordinaire, tenue à Gênes en 1985 (PNUE, 1985a), 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 au cours des dix dernières années et ont adopté une déclaration, dite Déclaration de Gênes sur la deuxième décennie méditerranéenne. Aux termes de cette Déclaration, ils ont adopté dix objectifs à atteindre avant la fin de la deuxième décennie du Plan d'action pour la Méditerranée, autrement dit avant la fin 1995. Ces objectifs comprenaient 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. Cet objectif concret n'avait pas été atteint à la fin 1995, mais la situation s'est considérablement améliorée au cours de la décennie en question.

Après l'entrée en vigueur du Protocole en juin 1983, les préparatifs techniques de son application progressive ont été menés par le Secrétariat du Plan d'action pour la Méditerranée en collaboration avec les institutions spécialisées des Nations Unies prenant activement part au volet scientifique du Plan d'action - ou Programme à long terme de surveillance continue et de recherche en matière de pollution de la mer Méditerranée (MED POL - Phase II). Une réunion d'experts sur l'application technique du Protocole relatif à la protection de la mer Méditerranée contre la pollution d'origine tellurique a été convoquée par le PNUE à Athènes du 9 au 13 décembre 1985 (PNUE, 1985b). La réunion a approuvé un calendrier d'activités couvrant la période 1985-1995, comme les activités consistant en: a) évaluations de l'état de la pollution de la mer Méditerranée par les diverses substance énumérées aux annexes I et II au Protocole, assorties de mesures antipollution, pour soumission aux Parties contractantes et adoption par celles-ci; b) lignes directrices sur divers aspects de la gestion des déchets visés par le Protocole, et notamment la mise en place d'émissaires sous-marins.

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 réunion d'experts de décembre 1985. Ces directives contenaient 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'Égypte, 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 (Grèce), 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 (France), 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 (Espagne), ainsi que d'autres documents pertinents. La section concernant le rappel des faits a été actualisée pour y insérer des informations sur la révision des instruments juridiques concernés. Les lignes directrices 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 méditerranéen pertinent.

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.

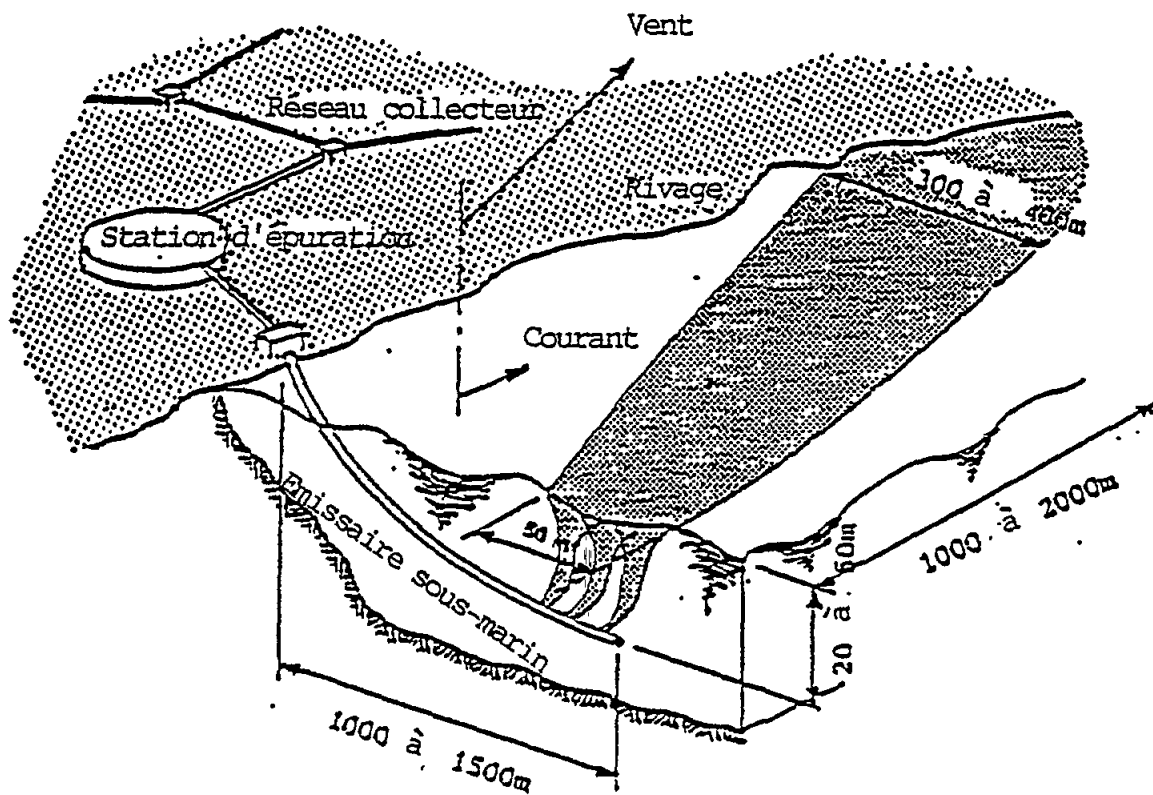
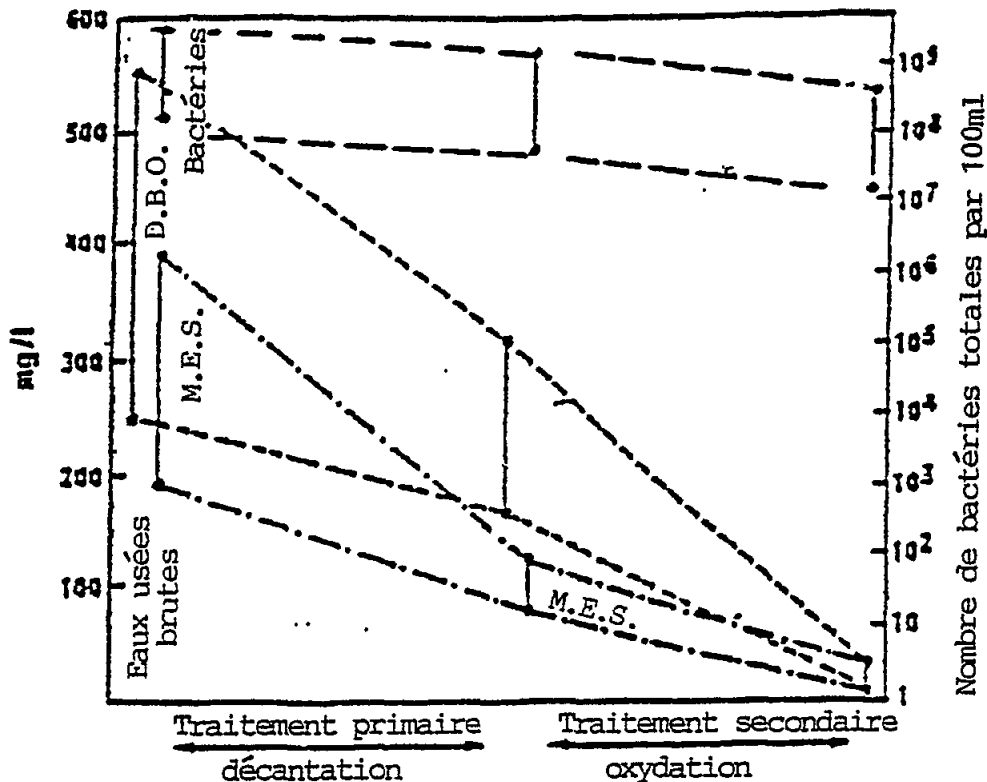


Figure 1. Collecte, épuration et élimination dans la mer des effluents.

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).

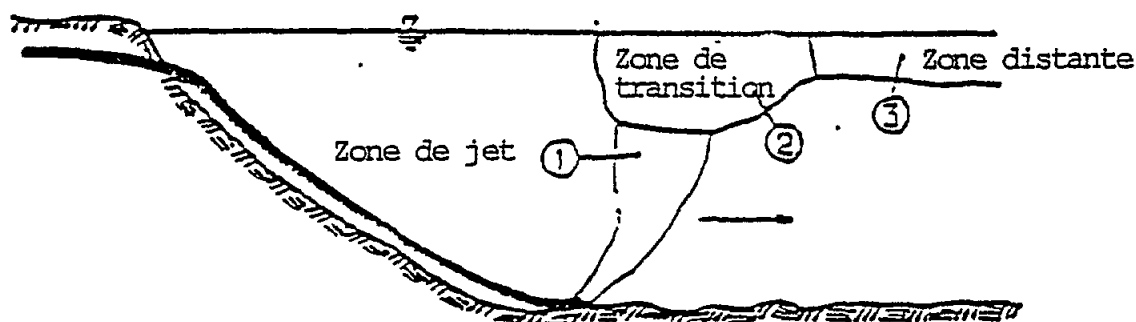


Figure 3. Dilution des eaux usées à partir d'un émissaire sous-marin.

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 condition que des

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.

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 et normes pour les eaux de baignade et pour les eaux conchylicoles sont en vigueur dans la quasi totalité des pays méditerranéens qui sont convenus de mesures communes minimales pour les eaux de baignade en 1985 (PNUE, 1985a) et pour les eaux conchylicoles en 1987 (PNUE, 1987). Des plans de protection d'autres usages bénéfiques comme la pêche ou la flore et la faune sauvages, ou le maintien d'aménités d'ordre esthétique, n'ont généralement pas donné lieu à la mise au point de critères ou normes 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
		80%	95%	
A. Bactériologique				
1. Coliformes fécaux	n/100 ml	100	1.00	Zone de baignade
2. Streptocoques fécaux	n/100 ml	100	1.00	
		50%	90%	
B. Physique				
3. Couleur	mg Pt-Col/l	10	30	*
4. Matières en suspension	mg/litre	1.3VN	1.5VN	**
C. Chimique				
5. Oxygène dissous	mg/litre	6	5	Surface
6. Azote ammoniacal	mg N/litre	0.05	0.12	
7. Orthophosphate dissous	mg P/litre	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 personnes-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 au 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.

Elimination 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.

Elimination 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.

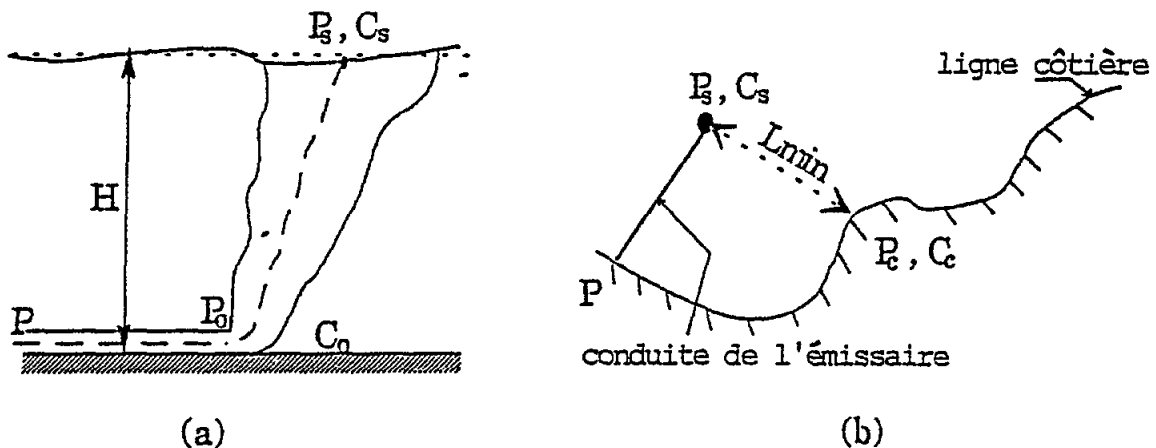


Figure 4. Dilution des eaux usées: (a) sur un plan vertical, et (b) à la surface de la mer.

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

$$t = \frac{1800}{(30.10^{-2})3600} = 1.67 \text{ h}$$

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, $C_0 = 10^7$ FC/100 ml (tableau 3). Par conséquent, nous obtenons

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

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 aux 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 posées 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 visibles à leur extrémité terminale et à chaque courbure de la partie non protégée, pourvues de

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

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 proximité ⁸.

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 affaire 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.

I.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.

I.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. Il 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 ($9,81 \text{ m/s}^2$).
- \ddot{a}_a = densité des eaux usées (g/cm^3)
on admet qu'elle est égale à 1.000.
- \ddot{a}_m = densité de l'eau de mer (g/cm^3)
on admet qu'elle est égale à 1.028.
- $\ddot{a}_m(z)$ = densité de l'eau de mer à la profondeur z (g/cm^3).
- g' = accélération gravitationnelle effective $g' = g \cdot (\ddot{a}_m - \ddot{a}_a) / \ddot{a}_a$ (m/s^2)
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 (m^2/s)
on peut admettre qu'il est égal à $0,02 \text{ m}^2/\text{s}$
- K^z = coefficient de dispersion verticale (m^2/s)
on peut admettre qu'il est égal à $0,007$.
- Z_{max} = hauteur maximale d'ascension du panache dans les eaux stratifiées.
- $!$ = coefficient de stratification. $! = g \cdot (\ddot{a}_m(H) - \ddot{a}_m(z)) / z \cdot \ddot{a}_a$ (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

$$D1 = 0,38.g^{1a}.H.q^{-b}$$

Stratification:

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

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

b) Emissaires munis d'un exutoire unique:

Eaux homogènes:

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

Stratification:

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

$$Z_{max} = 3,98.(g'.Q)^{1/4}.!^d$$

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.
- PNUE (1985a): *Rapport de la Quatrième réunion ordinaire des Parties contractantes à la convention pour la protection de la mer Méditerranée contre la pollution et aux protocoles y relatifs. Gênes, 9-13 septembre 1985*. Document UNEP/IG.56/5, Programme des Nations Unies pour l'environnement, Athènes.

- PNUE (1985b): *Rapport de la Réunion d'experts sur l'application technique du protocole relatif à la protection de la mer Méditerranée contre la pollution d'origine tellurique*. Athènes, 9-13 décembre 1985. Document UNEP/WG.125/10, Programme des Nations Unies pour l'environnement, Athènes.
- PNUE (1987): *Rapport de la Cinquième réunion ordinaire des Parties contractantes à la convention pour la protection de la mer Méditerranée contre la pollution et aux protocoles y relatifs*, Athènes, 8-11 septembre 1987. Document UNEP/IG.74/5. Programme des Nations Unies pour l'environnement, Athènes.
- PNUE (1992): *Plan d'action pour la Méditerranée et Convention pour la protection de la mer Méditerranée contre la pollution et les protocoles y relatifs*. Programme des Nations Unies pour l'environnement, Athènes.
- PNUE (1995a): *Rapport de la Réunion des experts juridiques et techniques chargés d'examiner les amendements au protocole relatif à la protection de la mer Méditerranée contre la pollution d'origine tellurique*, Syracuse, 4-6 mai 1995. Document UNEP(OCA)/MED WG.92/4, Programme des Nations Unies pour l'environnement, Athènes.
- PNUE (1995b): *Acte final de la Conférence de Plénipotentiaires sur les amendements à la Convention pour la protection de la mer Méditerranée contre la pollution, au Protocole relatif à la prévention de la mer Méditerranée par les opérations d'immersion effectuées par les navires et aéronefs et au Protocole relatif aux aires spécialement protégées et à la diversité biologique en Méditerranée*. Barcelone, 9-10 juin 1995. Document UNEP(OCA)/MED IG.6/7, United Nations Environment Programme, Athens.
- PNUE (1996a): *Rapport de la Deuxième réunion d'experts juridiques et techniques chargés d'examiner les amendements au protocole relatif à la protection de la mer Méditerranée contre la pollution d'origine tellurique*, Syracuse, 3-5 mars 1996. Document UNEP(OCA)/MED WG.107/4, Programme des Nations Unies pour l'environnement, Syracuse.
- PNUE (1996b): *Acte final de la conférence de plénipotentiaires sur les amendements au protocole relatif à la protection de la mer Méditerranée contre la pollution d'origine tellurique*. Syracuse, 6-7 mars 1996. Document UNEP(OCA)/MED IG.7/4, Programme des Nations Unies pour l'environnement, Athènes.
- 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.

PUBLICATIONS OF THE MAP TECHNICAL REPORTS SERIES

1. UNEP/IOC/WMO: Baseline studies and monitoring of oil and petroleum hydrocarbons in marine waters (MED POL I). MAP Technical Reports Series No. 1. UNEP, Athens, 1986 (96 pages) (parts in English, French or Spanish only).
2. UNEP/FAO: Baseline studies and monitoring of metals, particularly mercury and cadmium, in marine organisms (MED POL II). MAP Technical Reports Series No. 2. UNEP, Athens, 1986 (220 pages) (parts in English, French or Spanish only).
3. UNEP/FAO: Baseline studies and monitoring of DDT, PCBs and other chlorinated hydrocarbons in marine organisms (MED POL III). MAP Technical Reports Series No. 3. UNEP, Athens, 1986 (128 pages) (parts in English, French or Spanish only).
4. UNEP/FAO: Research on the effects of pollutants on marine organisms and their populations (MED POL IV). MAP Technical Reports Series No. 4. UNEP, Athens, 1986 (118 pages) (parts in English, French or Spanish only).
5. UNEP/FAO: Research on the effects of pollutants on marine communities and ecosystems (MED POL V). MAP Technical Reports Series No. 5. UNEP, Athens, 1986 (146 pages) (parts in English or French only).
6. UNEP/IOC: Problems of coastal transport of pollutants (MED POL VI). MAP Technical Reports Series No. 6. UNEP, Athens, 1986 (100 pages) (English only).
7. UNEP/WHO: Coastal water quality control (MED POL VII). MAP Technical Reports Series No. 7. UNEP, Athens, 1986 (426 pages) (parts in English or French only).
8. UNEP/IAEA/IOC: Biogeochemical studies of selected pollutants in the open waters of the Mediterranean (MED POL VIII). MAP Technical Reports Series No. 8. UNEP, Athens, 1986 (42 pages) (parts in English or French only).
8. Add. UNEP: Biogeochemical studies of selected pollutants in the open waters of the Mediterranean (MED POL VIII). Addendum, Greek Oceanographic Cruise 1980. MAP Technical Reports Series No. 8, Addendum. UNEP, Athens, 1986 (66 pages) (English only).
9. UNEP: Co-ordinated Mediterranean pollution monitoring and research programme (MED POL - PHASE I). Final report, 1975-1980. MAP Technical Reports Series No. 9. UNEP, Athens, 1986 (276 pages) (English only).
10. UNEP: Research on the toxicity, persistence, bioaccumulation, carcinogenicity and mutagenicity of selected substances (Activity G). Final reports on projects dealing with toxicity (1983-85). MAP Technical Reports Series No. 10. UNEP, Athens, 1987 (118 pages) (English only).
11. UNEP: Rehabilitation and reconstruction of Mediterranean historic settlements. Documents produced in the first stage of the Priority Action (1984-1985). MAP Technical Reports Series No. 11. UNEP, Priority Actions Programme, Regional Activity Centre, Split, 1986 (158 pages) (parts in English or French only).
12. UNEP: Water resources development of small Mediterranean islands and isolated coastal areas. Documents produced in the first stage of the Priority Action (1984-1985). MAP Technical Reports Series No. 12. UNEP, Priority Actions Programme, Regional Activity Centre, Split, 1987 (162 pages) (parts in English or French only).
13. UNEP: Specific topics related to water resources development of large Mediterranean islands. Documents produced in the second phase of the Priority Action (1985-1986). MAP Technical Reports Series No. 13. UNEP, Priority Actions Programme, Regional Activity Centre, Split, 1987 (162 pages) (parts in English or French only).

14. UNEP: Experience of Mediterranean historic towns in the integrated process of rehabilitation of urban and architectural heritage. Documents produced in the second phase of the Priority Action (1986). MAP Technical Reports Series No. 14. UNEP, Priority Actions Programme, Regional Activity Centre, Split, 1987 (500 pages) (parts in English or French only).
15. UNEP: Environmental aspects of aquaculture development in the Mediterranean region. Documents produced in the period 1985-1987. MAP Technical Reports Series No. 15. UNEP, Priority Actions Programme, Regional Activity Centre, Split, 1987 (101 pages) (English only).
16. UNEP: Promotion of soil protection as an essential component of environmental protection in Mediterranean coastal zones. Selected documents (1985-1987). MAP Technical Reports Series No. 16. UNEP, Priority Actions Programme, Regional Activity Centre, Split, 1987 (424 pages) (parts in English or French only).
17. UNEP: Seismic risk reduction in the Mediterranean region. Selected studies and documents (1985-1987). MAP Technical Reports Series No. 17. UNEP, Priority Actions Programme, Regional Activity Centre, Split, 1987 (247 pages) (parts in English or French only).
18. UNEP/FAO/WHO: Assessment of the state of pollution of the Mediterranean Sea by mercury and mercury compounds. MAP Technical Reports Series No. 18. UNEP, Athens, 1987 (354 pages) (English and French).
19. UNEP/IOC: Assessment of the state of pollution of the Mediterranean Sea by petroleum hydrocarbons. MAP Technical Reports Series No. 19. UNEP, Athens, 1988 (130 pages) (English and French).
20. UNEP/WHO: Epidemiological studies related to environmental quality criteria for bathing waters, shellfish-growing waters and edible marine organisms (Activity D). Final report on project on relationship between microbial quality of coastal seawater and health effects (1983-86). MAP Technical Reports Series No. 20. UNEP, Athens, 1988 (156 pages) (English only).
21. UNEP/UNESCO/FAO: Eutrophication in the Mediterranean Sea: Receiving capacity and monitoring of long-term effects. MAP Technical Reports Series No. 21. UNEP, Athens, 1988 (200 pages) (parts in English or French only).
22. UNEP/FAO: Study of ecosystem modifications in areas influenced by pollutants (Activity I). MAP Technical Reports Series No. 22. UNEP, Athens, 1988 (146 pages) (parts in English or French only).
23. UNEP: National monitoring programme of Yugoslavia, Report for 1983-1986. MAP Technical Reports Series No. 23. UNEP, Athens, 1988 (223 pages) (English only).
24. UNEP/FAO: Toxicity, persistence and bioaccumulation of selected substances to marine organisms (Activity G). MAP Technical Reports Series No. 24. UNEP, Athens, 1988 (122 pages) (parts in English or French only).
25. UNEP: The Mediterranean Action Plan in a functional perspective: A quest for law and policy. MAP Technical Reports Series No. 25. UNEP, Athens, 1988 (105 pages) (English only).
26. UNEP/IUCN: Directory of marine and coastal protected areas in the Mediterranean Region. Part I - Sites of biological and ecological value. MAP Technical Reports Series No. 26. UNEP, Athens, 1989 (196 pages) (English only).
27. UNEP: Implications of expected climate changes in the Mediterranean Region: An overview. MAP Technical Reports Series No. 27. UNEP, Athens, 1989 (52 pages) (English only).
28. UNEP: State of the Mediterranean marine environment. MAP Technical Reports Series No. 28. UNEP, Athens, 1989 (225 pages) (English only).

29. UNEP: Bibliography on effects of climatic change and related topics. MAP Technical Reports Series No. 29. UNEP, Athens, 1989 (143 pages) (English only).
30. UNEP: Meteorological and climatological data from surface and upper measurements for the assessment of atmospheric transport and deposition of pollutants in the Mediterranean Basin: A review. MAP Technical Reports Series No. 30. UNEP, Athens, 1989 (137 pages) (English only).
31. UNEP/WMO: Airborne pollution of the Mediterranean Sea. Report and proceedings of a WMO/UNEP Workshop. MAP Technical Reports Series No. 31. UNEP, Athens, 1989 (247 pages) (parts in English or French only).
32. UNEP/FAO: Biogeochemical cycles of specific pollutants (Activity K). MAP Technical Reports Series No. 32. UNEP, Athens, 1989 (139 pages) (parts in English or French only).
33. UNEP/FAO/WHO/IAEA: Assessment of organotin compounds as marine pollutants in the Mediterranean. MAP Technical Reports Series No. 33. UNEP, Athens, 1989 (185 pages) (English and French).
34. UNEP/FAO/WHO: Assessment of the state of pollution of the Mediterranean Sea by cadmium and cadmium compounds. MAP Technical Reports Series No. 34. UNEP, Athens, 1989 (175 pages) (English and French).
35. UNEP: Bibliography on marine pollution by organotin compounds. MAP Technical Reports Series No. 35. UNEP, Athens, 1989 (92 pages) (English only).
36. UNEP/IUCN: Directory of marine and coastal protected areas in the Mediterranean region. Part I - Sites of biological and ecological value. MAP Technical Reports Series No. 36. UNEP, Athens, 1990 (198 pages) (French only).
37. UNEP/FAO: Final reports on research projects dealing with eutrophication and plankton blooms (Activity H). MAP Technical Reports Series No. 37. UNEP, Athens, 1990 (74 pages) (parts in English or French only).
38. UNEP: Common measures adopted by the Contracting Parties to the Convention for the Protection of the Mediterranean Sea against pollution. MAP Technical Reports Series No. 38. UNEP, Athens, 1990 (100 pages) (English, French, Spanish and Arabic).
39. UNEP/FAO/WHO/IAEA: Assessment of the state of pollution of the Mediterranean Sea by organohalogen compounds. MAP Technical Reports Series No. 39. UNEP, Athens, 1990 (224 pages) (English and French).
40. UNEP/FAO: Final reports on research projects (Activities H,I and J). MAP Technical Reports Series No. 40. UNEP, Athens, 1990 (125 pages) (English and French).
41. UNEP: Wastewater reuse for irrigation in the Mediterranean region. MAP Technical Reports Series No. 41. UNEP, Priority Actions Programme, Regional Activity Centre, Split, 1990 (330 pages) (English and French).
42. UNEP/IUCN: Report on the status of Mediterranean marine turtles. MAP Technical Reports Series No. 42. UNEP, Athens, 1990 (204 pages) (English and French).
43. UNEP/IUCN/GIS Posidonia: Red Book "Gérard Vuignier", marine plants, populations and landscapes threatened in the Mediterranean. MAP Technical Reports Series No. 43. UNEP, Athens, 1990 (250 pages) (French only).
44. UNEP: Bibliography on aquatic pollution by organophosphorus compounds. MAP Technical Reports Series No. 44. UNEP, Athens, 1990 (98 pages) (English only).

45. UNEP/IAEA: Transport of pollutants by sedimentation: Collected papers from the first Mediterranean Workshop (Villefranche-sur-Mer, France, 10-12 December 1987). MAP Technical Reports Series No. 45. UNEP, Athens, 1990 (302 pages) (English only).
46. UNEP/WHO: Epidemiological studies related to environmental quality criteria for bathing waters, shellfish-growing waters and edible marine organisms (Activity D). Final report on project on relationship between microbial quality of coastal seawater and rotavirus-induced gastroenteritis among bathers (1986-88). MAP Technical Reports Series No.46, UNEP, Athens, 1991 (64 pages) (English only).
47. UNEP: Jellyfish blooms in the Mediterranean. Proceedings of the II workshop on jellyfish in the Mediterranean Sea. MAP Technical Reports Series No.47. UNEP, Athens, 1991 (320 pages) (parts in English or French only).
48. UNEP/FAO: Final reports on research projects (Activity G). MAP Technical Reports Series No. 48. UNEP, Athens, 1991 (126 pages) (parts in English or French only).
49. UNEP/WHO: Biogeochemical cycles of specific pollutants. Survival of pathogens. Final reports on research projects (Activity K). MAP Technical Reports Series No. 49. UNEP, Athens, 1991 (71 pages) (parts in English or French only).
50. UNEP: Bibliography on marine litter. MAP Technical Reports Series No. 50. UNEP, Athens, 1991 (62 pages) (English only).
51. UNEP/FAO: Final reports on research projects dealing with mercury, toxicity and analytical techniques. MAP Technical Reports Series No. 51. UNEP, Athens, 1991 (166 pages) (parts in English or French only).
52. UNEP/FAO: Final reports on research projects dealing with bioaccumulation and toxicity of chemical pollutants. MAP Technical Reports Series No. 52. UNEP, Athens, 1991 (86 pages) (parts in English or French only).
53. UNEP/WHO: Epidemiological studies related to environmental quality criteria for bathing waters, shellfish-growing waters and edible marine organisms (Activity D). Final report on epidemiological study on bathers from selected beaches in Malaga, Spain (1988-1989). MAP Technical Reports Series No. 53. UNEP, Athens, 1991 (127 pages) (English only).
54. UNEP/WHO: Development and testing of sampling and analytical techniques for monitoring of marine pollutants (Activity A): Final reports on selected microbiological projects. MAP Technical Reports Series No. 54. UNEP, Athens, 1991 (83 pages) (English only).
55. UNEP/WHO: Biogeochemical cycles of specific pollutants (Activity K): Final report on project on survival of pathogenic organisms in seawater. MAP Technical Reports Series No. 55. UNEP, Athens, 1991 (95 pages) (English only).
56. UNEP/IOC/FAO: Assessment of the state of pollution of the Mediterranean Sea by persistent synthetic materials which may float, sink or remain in suspension. MAP Technical Reports Series No. 56. UNEP, Athens, 1991 (113 pages) (English and French).
57. UNEP/WHO: Research on the toxicity, persistence, bioaccumulation, carcinogenicity and mutagenicity of selected substances (Activity G): Final reports on projects dealing with carcinogenicity and mutagenicity. MAP Technical Reports Series No. 57. UNEP, Athens, 1991 (59 pages) (English only).
58. UNEP/FAO/WHO/IAEA: Assessment of the state of pollution of the Mediterranean Sea by organophosphorus compounds. MAP Technical Reports Series No. 58. UNEP, Athens, 1991 (122 pages) (English and French).

59. UNEP/FAO/IAEA: Proceedings of the FAO/UNEP/IAEA Consultation Meeting on the Accumulation and Transformation of Chemical contaminants by Biotic and Abiotic Processes in the Marine Environment (La Spezia, Italy, 24-28 September 1990), edited by G.P. Gabrielides. MAP Technical Reports Series No. 59. UNEP, Athens, 1991 (392 pages) (English only).
60. UNEP/WHO: Development and testing of sampling and analytical techniques for monitoring of marine pollutants (Activity A): Final reports on selected microbiological projects (1987-1990). MAP Technical Reports Series No. 60. UNEP, Athens, 1991 (76 pages) (parts in English or French only).
61. UNEP: Integrated Planning and Management of the Mediterranean Coastal Zones. Documents produced in the first and second stage of the Priority Action (1985-1986). MAP Technical Reports Series No. 61. UNEP, Priority Actions Programme, Regional Activity Centre, Split, 1991 (437 pages) (parts in English or French only).
62. UNEP/IAEA: Assessment of the State of Pollution of the Mediterranean Sea by Radioactive Substances. MAP Technical Reports Series No. 62, UNEP, Athens, 1992 (133 pages) (English and French).
63. UNEP/WHO: Biogeochemical cycles of specific pollutants (Activity K) - Survival of Pathogens - Final reports on Research Projects (1989-1991). MAP Technical Reports Series No. 63, UNEP, Athens, 1992 (86 pages) (French only).
64. UNEP/WMO: Airborne Pollution of the Mediterranean Sea. Report and Proceedings of the Second WMO/UNEP Workshop. MAP Technical Reports Series No. 64, UNEP, Athens, 1992 (246 pages) (English only).
65. UNEP: Directory of Mediterranean Marine Environmental Centres. MAP Technical Reports Series No. 65, UNEP, Athens, 1992 (351 pages) (English and French).
66. UNEP/CRU: Regional Changes in Climate in the Mediterranean Basin Due to Global Greenhouse Gas Warming. MAP Technical Reports Series No. 66, UNEP, Athens, 1992 (172 pages) (English only).
67. UNEP/IOC: Applicability of Remote Sensing for Survey of Water Quality Parameters in the Mediterranean. Final Report of the Research Project. MAP Technical Reports Series No. 67, UNEP, Athens, 1992 (142 pages) (English only).
68. UNEP/FAO/IOC: Evaluation of the Training Workshops on the Statistical Treatment and Interpretation of Marine Community Data. MAP Technical Reports Series No. 68. UNEP, Athens, 1992 (221 pages) (English only).
69. UNEP/FAO/IOC: Proceedings of the FAO/UNEP/IOC Workshop on the Biological Effects of Pollutants on Marine Organisms (Malta, 10-14 September 1991), edited by G.P. Gabrielides. MAP Technical Reports Series No. 69. UNEP, Athens, 1992 (287 pages) (English only).
70. UNEP/IAEA/IOC/FAO: Organohalogen Compounds in the Marine Environment: A Review. MAP Technical Reports Series No. 70. UNEP, Athens, 1992 (49 pages) (English only).
71. UNEP/FAO/IOC: Selected techniques for monitoring biological effects of pollutants in marine organisms. MAP Technical Reports Series No. 71. UNEP, Athens, 1993 (189 pages) (English only).
72. UNEP: Costs and Benefits of Measures for the Reduction of Degradation of the Environment from Land-based Sources of Pollution in Coastal Areas. A - Case Study of the Bay of Izmir. B - Case Study of the Island of Rhodes. MAP Technical Reports Series No. 72. UNEP, Athens, 1993 (64 pages) (English only).

73. UNEP/FAO: Final Reports on Research Projects Dealing with the Effects of Pollutants on Marine Communities and Organisms. MAP Technical Reports Series No. 73. UNEP, Athens, 1993 (186 pages) (English and French).
74. UNEP/FIS: Report of the Training Workshop on Aspects of Marine Documentation in the Mediterranean. MAP Technical Reports Series No. 74. UNEP, Athens, 1993 (38 pages) (English only).
75. UNEP/WHO: Development and Testing of Sampling and Analytical Techniques for Monitoring of Marine Pollutants (Activity A). MAP Technical Reports Series No. 75. UNEP, Athens, 1993 (90 pages) (English only).
76. UNEP/WHO: Biogeochemical Cycles of Specific Pollutants (Activity K): Survival of Pathogens. MAP Technical Reports Series No. 76. UNEP, Athens, 1993 (68 pages) (English and French).
77. UNEP/FAO/IAEA: Designing of monitoring programmes and management of data concerning chemical contaminants in marine organisms. MAP Technical Reports Series No. 77. UNEP, Athens, 1993 (236 pages) (English only).
78. UNEP/FAO: Final reports on research projects dealing with eutrophication problems. MAP Technical Reports Series No. 78. UNEP, Athens, 1994 (139 pages) (English only).
79. UNEP/FAO: Final reports on research projects dealing with toxicity of pollutants on marine organisms. MAP Technical Reports Series No. 79. UNEP, Athens, 1994 (135 pages) (parts in English or French only).
80. UNEP/FAO: Final reports on research projects dealing with the effects of pollutants on marine organisms and communities. MAP Technical Reports Series No. 80. UNEP, Athens, 1994 (123 pages) (English only).
81. UNEP/IAEA: Data quality review for MED POL: Nineteen years of progress. MAP Technical Reports Series No. 81. UNEP, Athens, 1994 (79 pages) (English only).
82. UNEP/IUCN: Technical report on the State of Cetaceans in the Mediterranean. MAP Technical Reports Series No. 82. UNEP, Regional Activity Centre for Specially Protected Areas, Tunis, 1994 (37 pages) (English only).
83. UNEP/IUCN: Specially protected Areas in Mediterranean. Sketch of an Analytical Study of Relevant Legislation. MAP Technical Reports Series No. 83. UNEP, Regional Activity Centre for Specially Protected Areas, Tunis, 1994 (55 pages) (French only).
84. UNEP: Integrated Management Study for the Area of Izmir. MAP Technical Reports Series No. 84, UNEP, Regional Activity Centre for Priority Actions Programme, Split, 1994 (130 pages) (English only).
85. UNEP/WMO: Assessment of Airborne Pollution of the Mediterranean Sea by Sulphur and Nitrogen Compounds and Heavy Metals in 1991. MAP Technical Report Series No. 85, Athens, 1994 (304 pages) (English only).
86. UNEP: Monitoring Programme of the Eastern Adriatic Coastal Area - Report for 1983-1991. MAP Technical Report Series No. 86, Athens, 1994 (311 pages) (English only).
87. UNEP/WHO: Identification of microbiological components and measurement development and testing of methodologies of specified contaminants (Area I) - Final reports on selected microbiological projects. MAP Technical Reports Series No. 87, UNEP, Athens, 1994 (136 pages) (English only).

88. UNEP: Proceedings of the Seminar on Mediterranean Prospective. MAP Technical Reports Series No. 88, UNEP, Blue Plan Regional Activity Centre, Sophia Antipolis, 1994 (176 pages) (parts in English or French only).
89. UNEP: Iskenderun Bay Project. Volume I. Environmental Management within the Context of Environment-Development. MAP Technical Reports Series No. 89, UNEP, Blue Plan Regional Activity Centre, Sophia Antipolis, 1994 (144 pages) (English only).
90. UNEP: Iskenderun Bay Project. Volume II. Systemic and Prospective Analysis. MAP Technical Report Series No. 90, Sophia Antipolis, 1994 (142 pages) (parts in English or French only).
91. UNEP: A Contribution from Ecology to Prospective Studies. Assets and Issues. MAP Technical Reports Series No. 91, Sophia Antipolis, 1994 (162 pages) (French only).
92. UNEP/WHO: Assessment of the State of Pollution in the Mediterranean Sea by Carcinogenic, Mutagenic and Teratogenic Substances. MAP Technical Reports Series No. 92, UNEP, Athens, 1995 (238 pages) (English only).
93. UNEP/WHO: Epidemiological studies related to the environmental quality criteria for bathing waters, shellfish-growing waters and edible marine organisms. MAP Technical Reports Series No. 93, UNEP, Athens, 1995 (118 pages) (English only).
94. UNEP: Proceedings of the Workshop on Application of Integrated Approach to Development, Management and Use of Water Resources. MAP Technical Reports Series No. 94, UNEP, Athens, 1995 (214 pages) (parts in English or French only).
95. UNEP: Common measures for the control of pollution adopted by the Contracting Parties to the Convention for the Protection of the Mediterranean Sea against Pollution. MAP Technical Reports Series No 95, UNEP, Athens, 1995 (69 pages) (English and French).
96. UNEP/FAO: Final reports of research projects on effects (Research Area III) - Pollution effects on plankton composition and spatial distribution, near the sewage outfall of Athens (Saronikos Gulf, Greece). MAP Technical Reports Series No. 96, UNEP, Athens, 1996 (121 pages) (English only).
97. UNEP/FAO: Final reports of research projects on effects (Research Area III) - Pollution effects on marine communities. MAP Technical Reports Series No. 97, UNEP, Athens, 1996 (141 pages) (English and French).
98. UNEP: Implications of Climate Change for the Albanian Coast. MAP Technical Reports Series No. 98, UNEP, Athens, 1996 (179 pages) (English only).
99. UNEP: Implications of Climate Change for the Sfax Coastal Area (Tunisia). MAP Technical Reports Series No. 99, UNEP, Athens, 1996 (326 pages) (English and French).
100. UNEP: State of the Marine and Coastal Environment in the Mediterranean Region. MAP Technical Reports Series No. 100, UNEP, Athens, 1996 (142 pages) (English only).
101. UNEP: State of the Marine and Coastal Environment in the Mediterranean Region. MAP Technical Reports Series No. 101, UNEP, Athens, 1996 (148) (French only).
102. UNEP: Implications of Climate Change for the Coastal Area of Fuka-Matrouh (Egypt). MAP Technical Reports Series No. 102, UNEP, Athens, 1996 (238 pages) (English only).
103. UNEP/FAO: Final reports on research projects dealing with biological effects (Research Area III). MAP Technical Reports Series No. 103, UNEP, Athens, 1996 (128 pages) (English and French).
104. UNEP/FAO: Final reports on research projects dealing with eutrophication and heavy metal accumulation. MAP Technical Reports Series No. 104, UNEP, Athens, 1996 (156 pages) (English and French).

105. UNEP/FAO/WHO: Assessment of the state of pollution of the Mediterranean sea by zinc, copper and their compounds. MAP Technical Reports Series No. 105, UNEP, Athens, 1996 (288 pages) (English and French).
106. UNEP/FAO/WHO: Assessment of the state of eutrophication in the Mediterranean sea. MAP Technical Reports Series No. 106, UNEP, Athens, 1996 (456 pages) (English and French).
107. UNEP/WHO: Guidelines for authorisation for discharge of liquid wastes into the Mediterranean Sea. MAP Technical Reports Series No. 107, UNEP, Athens, 1996 (200 pages) (English and French).
108. UNEP/WHO: Assessment of the state of microbiological pollution of the Mediterranean Sea. MAP Technical Reports Series No. 108, UNEP, Athens, 1996 (270 pages) (English and French).
109. UNEP/WHO: Survey of pollutants from land-based sources in the Mediterranean. MAP Technical Reports Series No. 109, UNEP, Athens, 1996 (188 pages) (English and French).
110. UNEP/WHO: Assessment of the state of pollution of the Mediterranean Sea by anionic detergents. MAP Technical Reports Series No. 110, UNEP, Athens, 1996 (260 pages) (English and French).
111. UNEP/WHO: Guidelines for treatment of effluents prior to discharge into the Mediterranean Sea. MAP Technical Reports Series No. 111, UNEP, Athens, 1996 (247 pages) (English only).

PUBLICATIONS "MAP TECHNICAL REPORTS SERIES"

1. PNUE/COI/OMM: Etudes de base et surveillance continue du pétrole et des hydrocarbures contenus dans les eaux de la mer (MED POL I). MAP Technical Reports Series No. 1. UNEP, Athens, 1986 (96 pages) (parties en anglais, français ou espagnol seulement).
2. PNUE/FAO: Etudes de base et surveillance continue des métaux, notamment du mercure et du cadmium, dans les organismes marins (MED POL II). MAP Technical Reports Series No. 2. UNEP, Athens, 1986 (220 pages) (parties en anglais, français ou espagnol seulement).
3. PNUE/FAO: Etudes de base et surveillance continue du DDT, des PCB et des autres hydrocarbures chlorés contenus dans les organismes marins (MED POL III). MAP Technical Reports Series No. 3. UNEP, Athens, 1986 (128 pages) (parties en anglais, français ou espagnol seulement).
4. PNUE/FAO: Recherche sur les effets des polluants sur les organismes marins et leurs peuplements (MED POL IV). MAP Technical Reports Series No. 4. UNEP, Athens, 1986 (118 pages) (parties en anglais, français ou espagnol seulement).
5. PNUE/FAO: Recherche sur les effets des polluants sur les communautés et écosystèmes marins (MED POL V). MAP Technical Reports Series No. 5. UNEP, Athens, 1986 (146 pages) (parties en anglais ou français seulement).
6. PNUE/COI: Problèmes du transfert des polluants le long des côtes (MED POL VI). MAP Technical Reports Series No. 6. UNEP, Athens, 1986 (100 pages) (anglais seulement).
7. PNUE/OMS: Contrôle de la qualité des eaux côtières (MED POL VII). MAP Technical Reports Series No. 7. UNEP, Athens, 1986 (426 pages) (parties en anglais ou français seulement).
8. PNUE/AIEA/COI: Etudes biogéochimiques de certains polluants au large de la Méditerranée (MED POL VIII). MAP Technical Reports Series No. 8. UNEP, Athens, 1986 (42 pages) (parties en anglais ou français seulement).
8. Add. PNUE: Etudes biogéochimiques de certains polluants au large de la Méditerranée (MED POL VIII). Addendum, Croisière Océanographique de la Grèce 1980. MAP Technical Reports Series No. 8, Addendum. UNEP, Athens, 1986 (66 pages) (anglais seulement).
9. PNUE: Programme coordonné de surveillance continue et de recherche en matière de pollution dans la Méditerranée (MED POL -PHASE I). Rapport final, 1975-1980. MAP Technical Reports Series No. 9. UNEP, Athens, 1986 (276 pages) (anglais seulement).
10. PNUE: Recherches sur la toxicité, la persistance, la bioaccumulation, la cancérogénicité et la mutagénicité de certaines substances (Activité G). Rapports finaux sur les projets ayant trait à la toxicité (1983-85). MAP Technical Reports Series No. 10. UNEP, Athens, 1987 (118 pages) (anglais seulement).
11. PNUE: Réhabilitation et reconstruction des établissements historiques méditerranéens. Textes rédigés au cours de la première phase de l'action prioritaire (1984-1985). MAP Technical Reports Series No. 11. UNEP, Priority Actions Programme, Regional Activity Centre, Split, 1986 (158 pages) (parties en anglais ou français seulement).
12. PNUE: Développement des ressources en eau des petites îles et des zones côtières isolées méditerranéennes. Textes rédigés au cours de la première phase de l'action prioritaire (1984-1985). MAP Technical Reports Series No. 12. UNEP, Priority Actions Programme, Regional Activity Centre, Split, 1987 (162 pages) (parties en anglais ou français seulement).

13. PNUE: Thèmes spécifiques concernant le développement des ressources en eau des grandes îles méditerranéennes. Textes rédigés au cours de la deuxième phase de l'action prioritaire (1985-1986). MAP Technical Reports Series No. 13. UNEP, Priority Actions Programme, Regional Activity Centre, Split, 1987 (162 pages) (parties en anglais ou français seulement).
14. PNUE: L'expérience des villes historiques de la Méditerranée dans le processus intégré de réhabilitation du patrimoine urbain et architectural. Documents établis lors de la seconde phase de l'Action prioritaire (1986). MAP Technical Reports Series No. 14. UNEP, Priority Actions Programme, Regional Activity Centre, Split, 1987 (500 pages) (parties en anglais ou français seulement).
15. PNUE: Aspects environnementaux du développement de l'aquaculture dans la région méditerranéenne. Documents établis pendant la période 1985-1987. MAP Technical Reports Series No. 15. UNEP, Priority Actions Programme, Regional Activity Centre, Split, 1987 (101 pages) (anglais seulement).
16. PNUE: Promotion de la protection des sols comme élément essentiel de la protection de l'environnement dans les zones côtières méditerranéennes. Documents sélectionnés (1985-1987). MAP Technical Reports Series No. 16. UNEP, Priority Actions Programme, Regional Activity Centre, Split, 1987 (424 pages) (parties en anglais ou français seulement).
17. PNUE: Réduction des risques sismiques dans la région méditerranéenne. Documents et études sélectionnés (1985-1987). MAP Technical Reports Series No. 17. UNEP, Priority Actions Programme, Regional Activity Centre, Split, 1987 (247 pages) (parties en anglais ou français seulement).
18. PNUE/FAO/OMS: Evaluation de l'état de la pollution de la mer Méditerranée par le mercure et les composés mercuriels. MAP Technical Reports Series No. 18. UNEP, Athens, 1987 (354 pages) (anglais et français).
19. PNUE/COI: Evaluation de l'état de la pollution de la mer Méditerranée par les hydrocarbures de pétrole. MAP Technical Reports Series No. 19. UNEP, Athens, 1988 (130 pages) (anglais et français).
20. PNUE/OMS: Etudes épidémiologiques relatives aux critères de la qualité de l'environnement pour les eaux servant à la baignade, à la culture de coquillages et à l'élevage d'autres organismes marins comestibles (Activité D). Rapport final sur le projet sur la relation entre la qualité microbienne des eaux marines côtières et les effets sur la santé (1983-86). MAP Technical Reports Series No. 20. UNEP, Athens, 1988 (156 pages) (anglais seulement).
21. PNUE/UNESCO/FAO: Eutrophisation dans la mer Méditerranée: capacité réceptrice et surveillance continue des effets à long terme. MAP Technical Reports Series No. 21. UNEP, Athens, 1988 (200 pages) (parties en anglais ou français seulement).
22. PNUE/FAO: Etude des modifications de l'écosystème dans les zones soumises à l'influence des polluants (Activité I). MAP Technical Reports Series No. 22. UNEP, Athens, 1988 (146 pages) (parties en anglais ou français seulement).
23. PNUE: Programme national de surveillance continue pour la Yougoslavie, Rapport pour 1983-1986. MAP Technical Reports Series No. 23. UNEP, Athens, 1988 (223 pages) (anglais seulement).
24. PNUE/FAO: Toxicité, persistance et bioaccumulation de certaines substances vis-à-vis des organismes marins (Activité G). MAP Technical Reports Series No. 24. UNEP, Athens, 1988 (122 pages) (parties en anglais ou français seulement).
25. PNUE: Le Plan d'action pour la Méditerranée, perspective fonctionnelle; une recherche juridique et politique. MAP Technical Reports Series No. 25. UNEP, Athens, 1988 (105 pages) (anglais seulement).

26. PNUE/UICN: Répertoire des aires marines et côtières protégées de la Méditerranée. Première partie - Sites d'importance biologique et écologique. MAP Technical Reports Series No. 26. UNEP, Athens, 1989 (196 pages) (anglais seulement).
27. PNUE: Implications des modifications climatiques prévues dans la région méditerranéenne: une vue d'ensemble. MAP Technical Reports Series No. 27. UNEP, Athens, 1989 (52 pages) (anglais seulement).
28. PNUE: Etat du milieu marin en Méditerranée. MAP Technical Reports Series No. 28. UNEP, Athens, 1989 (225 pages) (anglais seulement).
29. PNUE: Bibliographie sur les effets des modifications climatiques et sujets connexes. MAP Technical Reports Series No. 29. UNEP, Athens, 1989 (143 pages) (anglais seulement).
30. PNUE: Données météorologiques et climatologiques provenant de mesures effectuées dans l'air en surface et en altitude en vue de l'évaluation du transfert et du dépôt atmosphériques des polluants dans le bassin méditerranéen: un compte rendu. MAP Technical Reports Series No. 30. UNEP, Athens, 1989 (137 pages) (anglais seulement).
31. PNUE/OMM: Pollution par voie atmosphérique de la mer Méditerranée. Rapport et actes des Journées d'étude OMM/PNUE. MAP Technical Reports Series No. 31. UNEP, Athens, 1989 (247 pages) (parties en anglais ou français seulement).
32. PNUE/FAO: Cycles biogéochimiques de polluants spécifiques (Activité K). MAP Technical Reports Series No. 32. UNEP, Athens, 1989 (139 pages) (parties en anglais ou français seulement).
33. PNUE/FAO/OMS/AIEA: Evaluation des composés organostanniques en tant que polluants du milieu marin en Méditerranée. MAP Technical Reports Series No. 33. UNEP, Athens, 1989 (185 pages) (anglais et français).
34. PNUE/FAO/OMS: Evaluation de l'état de la pollution de la mer Méditerranée par le cadmium et les composés de cadmium. MAP Technical Reports Series No. 34. UNEP, Athens, 1989 (175 pages) (anglais et français).
35. PNUE: Bibliographie sur la pollution marine par les composés organostanniques. MAP Technical Reports Series No. 35. UNEP, Athens, 1989 (92 pages) (anglais seulement).
36. PNUE/UICN: Répertoire des aires marines et côtières protégées de la Méditerranée. Première partie - Sites d'importance biologique et écologique. MAP Technical Reports Series No. 36. UNEP, Athens, 1990 (198 pages) (français seulement).
37. PNUE/FAO: Rapports finaux sur les projets de recherche consacrés à l'eutrophisation et aux efflorescences de plancton (Activité H). MAP Technical Reports Series No. 37. UNEP, Athens, 1990 (74 pages) (parties en anglais ou français seulement).
38. PNUE: Mesures communes adoptées par les Parties Contractantes à la Convention pour la protection de la mer Méditerranée contre la pollution. MAP Technical Reports Series No. 38. UNEP, Athens, 1990 (100 pages) (anglais, français, espagnol et arabe).
39. PNUE/FAO/OMS/AIEA: Evaluation de l'état de la pollution par les composés organohalogénés. MAP Technical Reports Series No. 39. UNEP, Athens, 1990 (224 pages) (anglais et français).
40. PNUE/FAO: Rapports finaux sur les projets de recherche (Activités H, I et J). MAP Technical Reports Series No. 40. UNEP, Athens, 1990 (125 pages) (anglais et français).
41. PNUE: Réutilisation agricole des eaux usées dans la région méditerranéenne. MAP Technical Reports Series No. 41. UNEP, Priority Actions Programme, Regional Activity Centre, Split, 1990 (330 pages) (anglais et français).

42. PNUE/UICN: Rapport sur le statut des tortues marines de Méditerranée. MAP Technical Reports Series No. 42. UNEP, Athens, 1990 (204 pages) (anglais et français).
43. PNUE/UICN/GIS Posidonie: Livre rouge "Gérard Vuignier" des végétaux, peuplements et paysages marins menacés de Méditerranée. MAP Technical Reports Series No. 43. UNEP, Athens, 1990 (250 pages) (français seulement).
44. PNUE: Bibliographie sur la pollution aquatique par les composés organophosphorés. MAP Technical Reports Series No. 44. UNEP, Athens, 1990 (98 pages) (anglais seulement).
45. PNUE/AIEA: Transfert des polluants par sédimentation: Recueil des communications présentées aux premières journées d'études méditerranéennes (Villefranche-sur-Mer, France, 10-12 décembre 1987). MAP Technical Reports Series No. 45. UNEP, Athens, 1990 (302 pages) (anglais seulement).
46. PNUE/OMS: Etudes épidémiologiques relatives aux critères de la qualité de l'environnement pour les eaux servant à la baignade, à la culture de coquillages et à l'élevage d'autres organismes marins comestibles (Activité D). Rapport final sur le projet sur la relation entre la qualité microbienne des eaux marines côtières et la gastroentérite provoquée par le rotavirus entre les baigneurs (1986-88). MAP Technical Reports Series No.46. UNEP, Athens, 1991 (64 pages) (anglais seulement).
47. PNUE: Les proliférations de méduses en Méditerranée. Actes des 11èmes journées d'étude sur les méduses en mer Méditerranée. MAP Technical Reports Series No.47. UNEP, Athens, 1991 (320 pages) (parties en anglais ou français seulement).
48. PNUE/FAO: Rapports finaux sur les projets de recherche (Activité G). MAP Technical Reports Series No. 48. UNEP, Athens, 1991 (126 pages) (parties en anglais ou français seulement).
49. PNUE/OMS: Cycles biogéochimiques de polluants spécifiques. Survie des Pathogènes. Rapports finaux sur les projets de recherche (activité K). MAP Technical Reports Series No. 49. UNEP, Athens, 1991 (71 pages) (parties en anglais ou français seulement).
50. PNUE: Bibliographie sur les déchets marins. MAP Technical Reports Series No. 50. UNEP, Athens, 1991 (62 pages) (anglais seulement).
51. PNUE/FAO: Rapports finaux sur les projets de recherche traitant du mercure, de la toxicité et des techniques analytiques. MAP Technical Reports Series No. 51. UNEP, Athens, 1991 (166 pages) (parties en anglais ou français seulement).
52. PNUE/FAO: Rapports finaux sur les projets de recherche traitant de la bioaccumulation et de la toxicité des polluants chimiques. MAP Technical Reports Series No. 52. UNEP, Athens, 1991 (86 pages) (parties en anglais ou français seulement).
53. PNUE/OMS: Etudes épidémiologiques relatives aux critères de la qualité de l'environnement pour les eaux servant à la baignade, à la culture de coquillages et à l'élevage d'autres organismes marins comestibles (Activité D). Rapport final sur l'étude épidémiologique menée parmi les baigneurs de certaines plages à Malaga, Espagne (1988-1989). MAP Technical Reports Series No. 53. UNEP, Athens, 1991 (127 pages) (anglais seulement).
54. PNUE/OMS: Mise au point et essai des techniques d'échantillonnage et d'analyse pour la surveillance continue des polluants marins (Activité A): Rapports finaux sur certains projets de nature microbiologique. MAP Technical Reports Series No. 54. UNEP, Athens, 1991 (83 pages) (anglais seulement).
55. PNUE/OMS: Cycles biogéochimiques de polluants spécifiques (Activité K): Rapport final sur le projet sur la survie des microorganismes pathogènes dans l'eau de mer. MAP Technical Reports Series No. 55. UNEP, Athens, 1991 (95 pages) (anglais seulement).

56. PNUE/COI/FAO: Evaluation de l'état de la pollution de la mer Méditerranée par les matières synthétiques persistantes qui peuvent flotter, couler ou rester en suspension. MAP Technical Reports Series No. 56. UNEP, Athens, 1991 (113 pages) (anglais et français).
57. PNUE/OMS: Recherches sur la toxicité, la persistance, la bioaccumulation, la cancérogénicité et la mutagénicité de certaines substances (Activité G). Rapports finaux sur les projets ayant trait à la cancérogénicité et la mutagénicité. MAP Technical Reports Series No. 57. UNEP, Athens, 1991 (59 pages) (anglais seulement).
58. PNUE/FAO/OMS/AIEA: Evaluation de l'état de la pollution de la mer Méditerranée par les composés organophosphorés. MAP Technical Reports Series No. 58. UNEP, Athens, 1991 (122 pages) (anglais et français).
59. PNUE/FAO/AIEA: Actes de la réunion consultative FAO/PNUE/AIEA sur l'accumulation et la transformation des contaminants chimiques par les processus biotiques et abiotiques dans le milieu marin (La Spezia, Italie, 24-28 septembre 1990), publié sous la direction de G.P. Gabrielides. MAP Technical Reports Series No. 59. UNEP, Athens, 1991 (392 pages) (anglais seulement).
60. PNUE/OMS: Mise au point et essai des techniques d'échantillonnage et d'analyse pour la surveillance continue des polluants marins (Activité A): Rapports finaux sur certains projets de nature microbiologique (1987-1990). MAP Technical Reports Series No. 60. UNEP, Athens, 1991 (76 pages) (parties en anglais ou français seulement).
61. PNUE: Planification intégrée et gestion des zones côtières méditerranéennes. Textes rédigés au cours de la première et de la deuxième phase de l'action prioritaire (1985-1986). MAP Technical Reports Series No. 61. UNEP, Priority Actions Programme, Regional Activity Centre, Split, 1991 (437 pages) (parties en anglais ou français seulement).
62. PNUE/AIEA: Evaluation de l'état de la pollution de la mer Méditerranée par les substances radioactives. MAP Technical Reports Series No. 62, UNEP, Athens, 1992 (133 pages) (anglais et français).
63. PNUE/OMS: Cycles biogéochimiques de polluants spécifiques (Activité K) - Survie des pathogènes - Rapports finaux sur les projets de recherche (1989-1991). MAP Technical Reports Series No. 63, UNEP, Athens, 1992 (86 pages) (français seulement).
64. PNUE/OMM: Pollution par voie atmosphérique de la mer Méditerranée. Rapport et actes des deuxièmes journées d'études OMM/PNUE. MAP Technical Reports Series No. 64, UNEP, Athens, 1992 (246 pages) (anglais seulement).
65. PNUE: Répertoire des centres relatifs au milieu marin en Méditerranée. MAP Technical Reports Series No. 65, UNEP, Athens, 1992 (351 pages) (anglais et français).
66. PNUE/CRU: Modifications régionales du climat dans le bassin méditerranéen résultant du réchauffement global dû aux gaz à effet de serre. MAP Technical Reports Series No. 66, UNEP, Athens, 1992 (172 pages) (anglais seulement).
67. PNUE/COI: Applicabilité de la télédétection à l'étude des paramètres de la qualité de l'eau en Méditerranée. Rapport final du projet de recherche. MAP Technical Reports Series No. 67, UNEP, Athens, 1992 (142 pages) (anglais seulement).
68. PNUE/FAO/COI: Evaluation des ateliers de formation sur le traitement statistique et l'interprétation des données relatives aux communautés marines. MAP Technical Reports Series No. 68. UNEP, Athens, 1992 (221 pages) (anglais seulement).
69. PNUE/FAO/COI: Actes de l'Atelier FAO/PNUE/COI sur les effets biologiques des polluants sur les organismes marins (Malte, 10-14 septembre 1991), publié sous la direction de G.P. Gabrielides. MAP Technical Reports Series No. 69. UNEP, Athens, 1992 (287 pages) (anglais seulement).

70. PNUE/AIEA/COI/FAO: Composés organohalogénés dans le milieu marin: Une synthèse. MAP Technical Reports Series No. 70. UNEP, Athens, 1992 (49 pages) (anglais seulement).
71. PNUE/FAO/COI: Techniques sélectionnées de surveillance continue des effets biologiques des polluants sur les organismes marins. MAP Technical Reports Series No. 71. UNEP, Athens, 1993 (189 pages) (anglais seulement).
72. PNUE: Coûts et bénéfices des mesures pour la réduction de la dégradation de l'environnement des sources de pollution d'origine tellurique dans les zones côtières. A -Etude de cas de la baie d'Izmir. B - Etude de cas de l'île de Rhodes. MAP Technical Reports Series No. 72. UNEP, Athens, 1993 (64 pages) (anglais seulement).
73. PNUE/FAO: Rapports finaux sur les projets de recherche traitant des effets de polluants sur les communautés et les organismes marins. MAP Technical Reports Series No. 73. UNEP, Athens, 1993 (186 pages) (anglais et français).
74. PNUE/FIS: Rapport de l'Atelier de formation sur les aspects de la documentation marine en Méditerranée. MAP Technical Reports Series No. 74. UNEP, Athens, 1993 (38 pages) (anglais seulement).
75. PNUE/OMS: Mise au point et essai des techniques d'échantillonnage et d'analyse pour la surveillance continue des polluants marins (Activité A). MAP Technical Reports Series No. 75. UNEP, Athens, 1993 (90 pages) (anglais seulement).
76. PNUE/OMS: Cycles biogéochimiques de polluants spécifiques (Activité K): Survie des pathogènes. MAP Technical Reports Series No. 76. UNEP, Athens, 1993 (68 pages) (anglais et français).
77. PNUE/FAO/AIEA: Conception des programmes de surveillance continue et de gestion des données concernant les contaminants chimiques dans les organismes marins. MAP Technical Reports Series No. 77. UNEP, Athens, 1993 (236 pages) (anglais seulement).
78. PNUE/FAO: Rapports finaux sur les projets de recherche traitant des problèmes de l'eutrophisation. MAP Technical Reports Series No. 78. UNEP, Athens, 1994 (139 pages) (anglais seulement).
79. PNUE/FAO: Rapports finaux sur les projets de recherche traitant de la toxicité des polluants sur les organismes marins. MAP Technical Reports Series No. 79. UNEP, Athens, 1994 (135 pages) (parties en anglais ou français seulement).
80. PNUE/FAO: Rapports finaux sur les projets de recherche traitant des effets des polluants sur les organismes et communautés marins. MAP Technical Reports Series No. 80. UNEP, Athens, 1994 (123 pages) (anglais seulement).
81. PNUE/AIEA: Examen de la qualité des données pour le MED POL: Dix-neuf années de progrès. MAP Technical Reports Series No. 81. UNEP, Athens, 1994 (79 pages) (anglais seulement).
82. PNUE/UICN: Rapport technique sur l'état des cétacés en Méditerranée. MAP Technical Reports Series No. 82. PNUE, Centre d'activités régionales pour les aires spécialement protégées, Tunis, 1994 (37 pages) (anglais seulement).
83. PNUE/UICN: Les aires protégées en Méditerranée. Essai d'étude analytique de la législation pertinente. MAP Technical Reports Series No. 83. PNUE, Centre d'activités régionales pour les aires spécialement protégées, Tunis, 1994 (55 pages) (français seulement).
84. PNUE: Etude de gestion intégrée pour la zone d'Izmir. MAP Technical Reports Series No. 84, PNUE, Centre d'activités régionales pour le programme d'actions prioritaires, Split, 1994 (130 pages) (anglais seulement).

85. PNUE/OMM: Evaluation de la pollution transférée par voie atmosphérique en mer Méditerranée pour les composés soufrés, azotés et pour les métaux lourds en 1991. MAP Technical Reports Series No. 85, UNEP, Athens, 1994 (304 pages) (anglais seulement).
86. PNUE: Programme de surveillance continue de la zone côtière de l'Adriatique Est - Rapport pour 1983-1991. MAP Technical Reports Series No. 86, UNEP, Athens, 1994 (311 pages) (anglais seulement).
87. PNUE/OMS: Identification de constituants microbiologiques et de dosage (mise au point et essai de méthodes) de contaminants donnés (Domaine de recherche I) - Rapports finaux sur certains projets de nature microbiologique. MAP Technical Reports Series No. 87, UNEP, Athens, 1994 (136 pages) (anglais seulement).
88. PNUE: Actes du Séminaire débat sur la prospective méditerranéenne. MAP Technical Reports Series No. 88, UNEP, Blue Plan Regional Activity Centre, Sophia Antipolis, 1994 (176 pages) (parties en anglais ou français seulement).
89. PNUE: Projet de la Baie d'Iskenderun. Volume I. Gestion de l'environnement dans le cadre de l'environnement-développement. MAP Technical Reports Series No. 89, PNUE, Centre d'activités régionales pour le Plan Bleu, Sophia Antipolis, 1994 (144 pages) (anglais seulement).
90. PNUE: Projet de la Baie d'Iskenderun. Volume II. Analyse systémique et prospective. MAP Technical Reports Series No. 90, UNEP, Sophia Antipolis, 1994 (142 pages) (parties en anglais ou français seulement).
91. PNUE: Une contribution de l'écologie à la prospective. Problèmes et acquis. MAP Technical Reports Series No. 91, Sophia Antipolis, 1994 (162 pages) (français seulement).
92. PNUE/OMS: Evaluation de l'état de la pollution de la mer Méditerranée par les substances cancérigènes, tératogènes et mutagènes. MAP Technical Reports Series No. 92, UNEP, Athens, 1995 (238 pages) (anglais seulement).
93. PNUE/OMS: Etudes épidémiologiques relatives à la qualité de l'environnement pour les eaux servant à la baignade, à la culture des coquillages et à l'élevage d'autres organismes marins comestibles. MAP Technical Reports Series No. 93, UNEP, Athens, 1995 (118 pages) (anglais seulement).
94. PNUE: Actes de l'Atelier sur l'application d'une approche intégrée au développement, à la gestion et à l'utilisation des ressources en eau. MAP Technical Reports Series No. 94, UNEP, Athens, 1995 (214 pages) (parties en anglais ou français seulement).
95. PNUE: Mesures communes de lutte contre la pollution adoptées par les Parties contractantes à la Convention pour la protection de la mer Méditerranée contre la pollution. MAP Technical Reports Series No. 95, UNEP, Athens, 1995 (69 pages) (anglais et français).
96. PNUE/FAO: Rapports finaux des projets de recherche sur les effets (Domaine de recherche III) - Effets de la pollution sur la composition et la répartition spatiale à proximité de l'émissaire d'eaux usées d'Athènes (Golfe Saronique, Grèce). MAP Technical Reports Series No. 96, UNEP, Athens, 1996 (121 pages) (anglais seulement).
97. PNUE/FAO: Rapports finaux des projets de recherche sur les effets (Domaine de recherche III) - Effets de la pollution sur les communautés marines. MAP Technical Reports Series No. 97, UNEP, Athens, 1996 (141 pages) (anglais et français).
98. PNUE: Implications du changement climatique pour la zone côtière d'Albanie. MAP Technical Reports Series No. 98, UNEP, Athens, 1996 (179 pages) (anglais seulement).
99. PNUE: Implications des changements climatiques sur la zone côtière de Sfax. MAP Technical Reports Series No. 99, UNEP, Athens, 1996 (326 pages) (anglais et français).

100. PNUE: Etat du milieu marin et du littoral de la région méditerranéenne. MAP Technical Reports Series No. 100, UNEP, Athens, 1996 (142 pages) (anglais seulement).
101. PNUE: Etat du milieu marin et du littoral de la région méditerranéenne. MAP Technical Reports Series No. 101, UNEP, Athens, 1996 (148) (français seulement).
102. PNUE: Implications des changements climatiques sur la zone côtière de Fuka-Matrouh (Egypte). MAP Technical Reports Series No. 102, UNEP, Athens, 1996 (238 pages) (anglais seulement).
103. PNUE/FAO: Rapports finaux sur les projets de recherche relatifs aux effets biologiques (Domaine de Recherche III). MAP Technical Reports Series No. 103, UNEP, Athens, 1996 (128 pages) (anglais et français).
104. PNUE/FAO: Rapports finaux sur les projets de recherche relatifs à l'eutrophisation et à l'accumulation des métaux lourds. MAP Technical Reports Series No. 104, UNEP, Athens, 1996 (156 pages) (anglais et français).
105. PNUE/FAO/OMS: Evaluation de l'état de la pollution de la mer Méditerranée par le zinc, le cuivre et leurs composés. MAP Technical Reports Series No. 105, UNEP, Athens, 1996 (288 pages) (anglais et français).
106. PNUE/FAO/OMS: Evaluation de l'état de l'eutrophisation en mer Méditerranée. MAP Technical Reports Series No. 106, UNEP, Athens, 1996 (456 pages) (anglais et français).
107. PNUE/OMS: Lignes directrices concernant les autorisations de rejet de déchets liquides en mer Méditerranée. MAP Technical Reports Series No. 107, UNEP, Athens, 1996 (200 pages) (anglais et français).
108. PNUE/OMS: Evaluation de l'état de la pollution microbiologique de la mer Méditerranée. MAP Technical Reports Series No. 108, UNEP, Athens, 1996 (270 pages) (anglais et français).
109. PNUE/OMS: Evaluation de l'enquête sur les polluants d'origine tellurique en Méditerranée (MED X BIS). MAP Technical Reports Series No. 109, UNEP, Athens, 1996 (188 pages) (anglais et français).
110. PNUE/OMS: Evaluation de l'état de la pollution de la mer Méditerranée par les détergents anioniques. MAP Technical Reports Series No. 110, UNEP, Athens, 1996 (260 pages) (anglais et français).
111. PNUE/OMS: Lignes directrices pour le traitement des effluents avant leur rejet en mer Méditerranée. MAP Technical Reports Series No. 111, UNEP, Athens, 1996 (247 pages) (anglais seulement).



Issued and printed by:

Mediterranean Action Plan
United Nations Environment Programme

Additional copies of this and other publications issued by
the Mediterranean Action Plan of UNEP can be obtained from:

Coordinating Unit for the Mediterranean Action Plan
United Nations Environment Programme
Leoforos Vassileos Konstantinou, 48
P.O.Box 18019
11610 Athens
GREECE



Publié et imprimé par:

Plan d'action pour la Méditerranée
Programme des Nations Unies pour l'Environnement

Des exemplaires de ce document ainsi que d'autres
publications du Plan d'action pour la Méditerranée
du PNUE peuvent être obtenus de:

Unité de coordination du Plan d'action pour la Méditerranée
Programme des Nations Unies pour l'Environnement
Leoforos Vassileos Konstantinou, 48
B.P. 18019
11610 Athènes
GRECE