



SERVICES DU PREMIER MINISTRE  
PROGRAMMATION DE LA POLITIQUE SCIENTIFIQUE  
Rue de la Science, 8  
1040 BRUXELLES

PROGRAMME NATIONAL DE RECHERCHE  
ET DE DEVELOPPEMENT  
ENVIRONNEMENT  
EAU

PROJET MER

APERÇU DU RAPPORT FINAL

## CABINET DE LA POLITIQUE SCIENTIFIQUE



LE MINISTRE

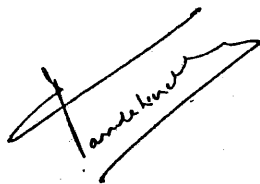
1040 BRUXELLES, le 19/12/1977  
Rue Montoyer 30

Le Projet Mer du Programme national R-D Environnement-eau s'est terminé le 31 décembre 1975. Dans quelques secteurs particuliers, les travaux ont été poursuivis jusqu'au 30 septembre 1976, afin de ménager les transitions nécessaires vers la mise en place, par le Gouvernement, de l'Unité de gestion du modèle mathématique de la mer du Nord et de l'estuaire de l'Escaut. Cett Unité, actuellement placée sous l'autorité du Ministre de la Santé publique et de l'Environnement, a été financée durant les deux premières années de son existence par les fonds d'impulsion dont dispose le Ministre de la Politique scientifique dans le cadre du budget du Premier Ministre. Ceci montre l'importance que le Gouvernement a attachée à la mise en oeuvre de cet organe et à la fonction de service public qu'il exerce.

Il m'est agréable de présenter aujourd'hui l'ensemble des résultats scientifiques du projet Mer, sous forme d'un Rapport final en 11 volumes.

Il n'est pas douteux que cette partie du programme R-D Environnement-eau a permis à beaucoup d'hommes de science belges d'accéder à une position de premier plan dans le domaine de l'océanologie. Je sais, par ailleurs, que le Modèle Mer est considéré comme un apport appréciable sur le plan international et qu'il a permis à notre pays de jouer un rôle actif dans la coopération avec d'autres nations.

Je suis heureux que le dépôt des derniers rapports scientifiques me donne l'occasion de remercier et de féliciter les chercheurs qui ont oeuvré ensemble à cette entreprise. J'ai constaté que la majorité d'entre eux poursuivaient des recherches et des activités dans les domaines que le programme national a permis soit de dégager, soit d'approfondir. Ceci est de bon augure, car une large ouverture à la problématique de la mer est une nécessité pour notre pays, tant du point de vue scientifique qu'économique et social.



A. VANDEKERCKHOVE

## INTRODUCTION

Le projet Mer, volet important d'un programme national de R-D sur l'Environnement physique et biologique relatif à l'eau, a été mis en oeuvre en vertu d'une décision du Conseil des Ministres du 23 octobre 1970.

Le but de ce projet, comme de l'ensemble du programme national, était de réunir des bases scientifiques sûres et de mettre au point des instruments de modélisation permettant de simuler, aux plans qualitatif et quantitatif, l'impact de phénomènes naturels ou d'interventions humaines sur l'environnement marin. A cet égard, le projet Mer a joué un rôle précurseur tant au niveau national qu'au niveau européen. En 1972, à la réunion des Ministres de l'Environnement des Communautés tenue à Bonn, le Ministre Théo Lefèvre a insisté sur la nécessité d'une initiative communautaire dans ce domaine et en particulier sur l'urgence qu'il y avait à mettre en oeuvre un programme de recherches, destiné à parfaire nos connaissances fragmentaires des mécanismes des équilibres naturels et des effets des substances anthropogéniques sur la matière vivante.

Lors de la séance d'ouverture des journées d'étude de novembre 1972 consacrées à la discussion des résultats acquis par le projet Mer après deux ans d'activités, le Professeur Jacques Errera, Conseiller scientifique du programme, se félicitait de l'action nationale consacrée à l'environnement marin. Il soulignait par ailleurs que, quoique ce projet fût à l'origine considéré par certains comme trop ambitieux et voué à l'échec, le succès de l'opération confirmait, s'il en était besoin, que l'action coordonnée au niveau national était possible pour autant que la volonté de réussir fût constante. Il rappelait que quelque 200 chercheurs et techniciens, issus des différentes universités et institutions scientifiques du pays, oeuvraient avec enthousiasme et efficacité à rassembler et évaluer les données nécessaires à l'établissement d'un modèle mathématique de la gestion de la mer côtière.

Par delà cet objectif, essentiellement scientifique, Jacques Errera présentait déjà que le modèle Mer - et après lui, d'autres

du même type - deviendrait de plus en plus un outil de prévision et de gestion indispensable pour ceux qui sont appelés à prendre des décisions dans le difficile domaine du maintien ou de la restauration d'une qualité acceptable de l'écosystème marin. Il était aussi conscient des difficultés de cette entreprise et du caractère nécessairement pluridisciplinaire de l'approche, car, comme il le disait "c'est cette interdépendance multiforme entre les processus physiques, chimiques et biologiques et ces échanges diversifiés et permanents entre la matière inerte et la vie qui en font l'originalité mais aussi la complexité".

Aujourd'hui, à l'heure du bilan - peut-on dire final ? - on peut considérer que le projet Mer a pleinement atteint son objectif. En effet, le modèle de gestion, dont le but initial était la compréhension des mécanismes des équilibres naturels et des interactions du milieu avec des substances non biogènes, est devenu un instrument conceptuel, peut-être simplifié, mais cependant suffisamment représentatif du milieu marin pour qu'il puisse être considéré comme un véritable outil d'aide à la décision, capable d'indiquer des solutions alternatives, techniquement possibles et utiles à la gestion publique. Ce résultat a été obtenu parce qu'il s'est avéré possible de mobiliser, en vue d'un objectif clairement défini, des unités qui ont pu non seulement suivre ensemble une démarche scientifique intégrée, mais aussi concilier le raisonnement théorique et les exigences de l'application pratique.

Ce résultat qui était espéré, mais qui ne pouvait être garanti au départ, a eu deux conséquences importantes.

La première est que le modèle, considéré comme déjà suffisamment opérationnel, a été reconnu, par décision du Gouvernement du 30 juillet 1976, comme une fonction permanente de service public. La responsabilité en a été confiée à l'Unité de gestion du modèle mathématique de la mer du Nord et de l'estuaire de l'Escaut, rattachée initialement au Secrétariat d'Etat à l'Environnement, et plus récemment, au Ministère de la Santé publique et de l'Environnement. Cet acte gouvernemental est important. Il a été commenté dans les termes suivants par le Ministre de la politique scientifique de l'époque, M. Geens, lors de la présentation publique des décisions

du Conseil des Ministres relatives à la création de l'Unité : ... "Je me réjouis du fait que la mise en exploitation permanente du modèle et de ses fonctions connexes permette, dès à présent, de rentabiliser pleinement les derniers publics qui ont été investis dans le premier programme national R-D en matière d'environnement, dans le cadre duquel ce modèle a été élaboré. Bien exploité, ce modèle permettra sans doute dans l'avenir d'éviter des décisions imparfaites ou hasardeuses qui entraîneraient des gaspillages bien plus importants que l'investissement réalisé dans la conception de cet instrument"...

Le Ministre soulignait aussi qu'un tel modèle n'est pas un instrument miracle, capable de prédire à coup sûr tout ce qui peut se produire dans la mer, comme certains pourraient être tentés de le croire. Pour pouvoir fonctionner, le modèle, comme tous les instruments de ce genre, doit être nourri par des données, tenues à jour et présentées dans une forme adéquate. Il est en outre indispensable d'y incorporer en permanence tous les progrès scientifiques qui se manifestent dans le domaine de l'océanologie et ceci nous amène à la deuxième conséquence d'une recherche réussie : le Gouvernement a approuvé, en juillet 1976, la mise en oeuvre d'une action concertée interuniversitaire en océanologie, d'une durée de 6 ans, qui permet à des nombreuses équipes de chercheurs de poursuivre leurs efforts dans la voie décrite ci-dessus, par de nouvelles recherches dans la mer du Nord et dans l'Estuaire de l'Escaut. Le Gouvernement a veillé, en particulier, à ce que l'un des objectifs essentiels de cette action soit l'affinement du modèle Mer. Il a également mis l'accent sur la nécessaire coordination qui doit s'instaurer entre d'une part, l'instrument d'études et de recherches de service public que constitue l'Unité de gestion et, d'autre part, les activités des équipes interuniversitaires et multidisciplinaires qui oeuvrent dans le cadre du programme de l'action concertée. Ainsi, l'effort se poursuit, avec une prometteuse continuité.

19 décembre 1977

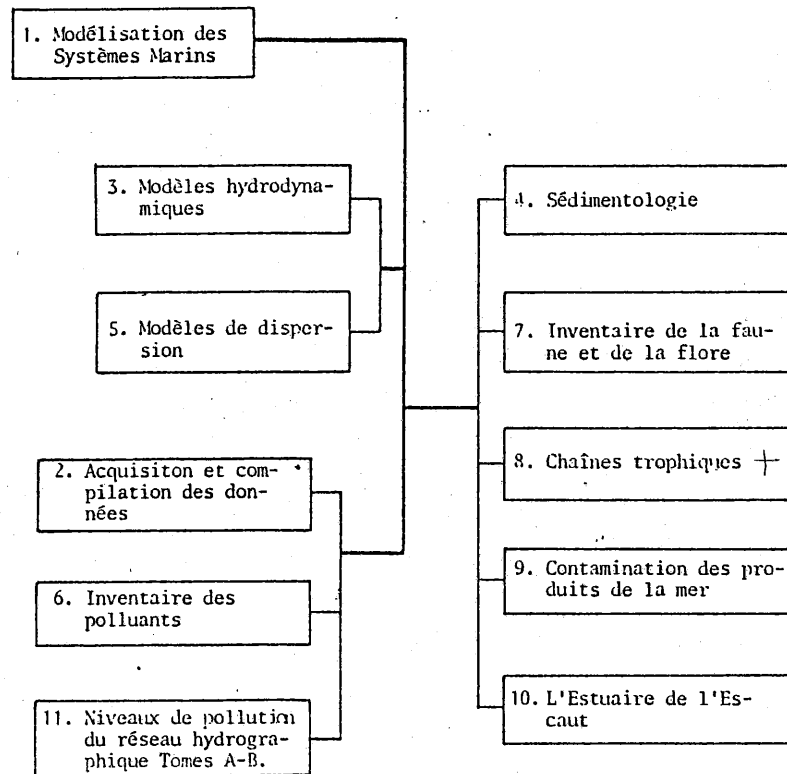
A. STENMANS

Secrétaire général des Services de Programmation de la Politique scientifique

## APERCU DU RAPPORT FINAL

L'ensemble des travaux scientifiques tant théoriques qu'expérimentaux entrepris, dans le cadre du Projet Mer, du 1er novembre 1970 au 30 septembre 1976, ont été résumés en un rapport final comprenant onze volumes.

Synthétiser un tel acquis implique forcément une subdivision plus ou moins arbitraire des sujets traités dans ces différents volumes entre lesquels les liens logiques peuvent ne pas apparaître immédiatement. Aussi a-t-il semblé utile de présenter les onze volumes du rapport final en quatre groupes, suivant leur contenu ou leurs objectifs respectifs et dont la figure ci-après donne une idée.



Le volume 1 occupe une place hors cadre : il définit les bases conceptuelles sur lesquelles se sont construites l'analyse et la modélisation mathématique de l'écosystème marin. Les volumes 3 et 5 sont plus spécialement consacrés aux phénomènes hydrodynamiques caractéristiques de la mer du Nord qui régissent, d'une certaine manière, le comportement des constituants du milieu.

Les volumes 4, 7, 8, 9 et 10 ne sont pas seulement un "descriptif" des divers compartiments physiques, chimiques et biologiques caractéristiques de l'environnement marin et estuarien mais bien plus, une tentative d'interprétation de la dynamique des phénomènes qui s'y manifestent. Les volumes 2, 6 et 11, enfin, constituent une synthèse de toutes les données d'entrée qui ont servi à l'élaboration des autres volumes ainsi que des moyens utilisés pour les obtenir et les traiter.

### Modélisation des systèmes marins (1)

L'application de l'analyse des systèmes à l'étude de l'environnement marin fournit une structure rationnelle pour l'organisation tant des recherches théoriques que des campagnes d'observations et des réseaux de vigilance. Le volume 1 expose la philosophie de cette approche mathématique qui aboutit à la construction d'un modèle interdisciplinaire prédictif orienté vers l'application à la gestion d'un système marin.

La description d'un système marin est difficile à cause de la présence de très nombreuses variables. Si on utilise un modèle mathématique qui s'inspire d'une image abstraite des phénomènes à étudier, on peut, grâce au système de symboles et d'équations adaptées au traitement numérique sur ordinateur, représenter adéquatement le comportement du système soumis à l'étude.

Le processus suivi est donc en somme le suivant : définition et démarcation d'un système - formulation du modèle mathématique avec, entre autres, la spécification des variables caractéristiques

ainsi que des équations et des principes d'évolution - développement d'un modèle numérique approché équivalent, pour le calcul analogique, digital ou hybride - simulation. Celle-ci permet d'abord d'effectuer une évaluation du modèle pour vérifier sa capacité à reproduire adéquatement la dynamique du système réel, de prédire, ensuite, l'évolution de variables sélectionnées et de contribuer, enfin, à la gestion du milieu marin en mettant en évidence les effets d'une action extérieure envisagée.

## INTERACTIONS HYDRODYNAMIQUES

### *Modèles hydrodynamiques (3)*

Dans ce volume, on établit et on résout numériquement les équations qui régissent les circulations transitoire et résiduelle dans une mer continentale peu profonde, la mer du Nord.

Les équations du modèle hydrodynamique transitoire sont résolues et les solutions ainsi obtenues reproduisent, de manière très satisfaisante, la marée semi-diurne lunaire et la tempête des 18-20 novembre 1973. Les résultats de ces simulations sont prometteurs : ils permettent d'envisager l'emploi de tels modèles pour la prédiction des marées et des tempêtes.

Le modèle hydrodynamique de circulation résiduelle explique les grandes tendances de la circulation des masses d'eau : il met en évidence certaines circulations secondaires et révèle en particulier, près de la côte belge, une circulation locale qui est confirmée par de nombreuses observations.

Sans la connaissance des paramètres hydrodynamiques (courants et élévations de la surface libre) déterminés par ces modèles, il est impossible d'étudier la dispersion spatio-temporelle des nutriments et des polluants dans la mer.

### *Modèles de dispersion (5)*

Les modèles de dispersion servent à décrire, à court et à moyen terme, l'évolution des variables d'état du milieu marin (biomasses, nutriments, polluants, etc.), notamment en déterminant leur transport par les courants de marée et les courants résiduels, leur diffusion sous l'effet de l'agitation turbulente et les interactions qu'elles subissent entre elles.

Le programme de simulation sur ordinateur, construit pour intégrer numériquement les modèles, permet de calculer le comportement des polluants issus de déversements et de prédire leur influence sur le milieu marin dans les quelques jours qui suivent le rejet. Il est donc fort utile pour aider à déterminer la nocivité des déversements proposés qui dépend de la rapidité de leur dispersion et du temps de résidence dans les zones polluées. Les résultats de ce modèle de simulation montrent que les pollutions ne peuvent être localisées en une zone restreinte. Une surveillance continue s'avère indispensable pour vérifier l'influence à long terme des déversements de déchets sur les populations de plancton, de poissons et d'animaux benthiques.

## DYNAMIQUE DES COMPARTIMENTS PHYSIQUES, CHIMIQUES ET BIOLOGIQUES

### *Les sédiments (4)*

Les sédiments sont en total équilibre avec la vitesse et le sens du courant de marée. Le long de la côte, l'influence des embouchures est nettement marquée, particulièrement en ce qui concerne l'estuaire de l'Escaut. Le limon de l'Escaut se concentre dans un piège hydrodynamique devant la côte belge.

L'étude de la composition et de la répartition des coquilles de mollusques ainsi que des minéraux légers renforcent cette image.

La distribution spatiale des turbidités (matières mesurées en suspension) peut ainsi être expliquée. Les mécanismes de sédimentation de la vase ainsi que son érosion sont évalués tant empiriquement que théoriquement. Les propriétés physico-chimiques des sédiments récents ainsi que les phénomènes d'interaction avec la colonne d'eau ont également été étudiés.

#### *Inventaire de la faune et de la flore (7)*

Ce volume contient des renseignements concernant les biomasses, l'abondance et la diversité d'espèces vivantes qui, du point de vue de la production biologique, ne peuvent se traiter aussi aisément que les autres représentants de la chaîne trophique. Ainsi, à cause de difficultés au niveau du prélèvement d'échantillons représentatifs et de l'extrême hétérogénéité du milieu dont la variabilité se remarque d'un mètre carré à l'autre, l'analyse des organismes benthiques pose de nombreuses difficultés. Si l'on sait que leur "production" se mesure souvent en comptabilisant le nombre d'individus d'une espèce donnée à différentes périodes de l'année, on se rend compte de l'important travail que représente un tel inventaire.

Il semble que ce soient la faune et la flore benthiques qui ont le plus souffert des agressions dues à l'activité humaine : tout au long de la côte belge, on observe alternativement des variations quantitatives (diminution du nombre d'individus par espèce) et qualitatives (diminution de la diversité des espèces représentatives). Ceci est important car comme le note un des éditeurs de ce volume "... Les cellules développent des "fonctions" spécialisées en parant, ensemble, les difficultés de la vie; étant spécialisées, elles restent groupées, car leur survie dépend de l'activité réciproque ... surtout grâce à un équilibre incroyablement compliqué entre les constituants différenciés du point de vue structure et fonction...".

#### *Chaînes trophiques (8)*

L'objectif fondamental de toute étude écologique est la compréhension de l'activité des entités vivantes au sein du milieu physique naturel. Cela implique la détermination des biomasses des différents compartiments biologiques, la connaissance de l'évolution temporelle et spatiale de ces mêmes biomasses, la détermination des flux de matière, eux-mêmes régis par de facteurs biotiques ou abiotiques, qui entrent et qui sortent de ces compartiments en évolution. Tel est le but de ce volume. Pour l'élaboration de cette tâche, les auteurs se sont laissé guider par un concept essentiel constituant la base méthodologique de leur recherche, à savoir que l'écosystème est un tout fonctionnel, formé de compartiments en équilibre dynamique.

D'autre part, l'introduction de ces données dans un modèle de simulation rend possible la prédiction de l'évolution de l'écosystème dans des circonstances diverses. Ceci est une condition certainement nécessaire pour assurer une gestion adéquate et justifiée du milieu. Elle n'est cependant pas toujours suffisante car d'autres facteurs extérieurs (pollution, pêches non contrôlées) ou l'adaptation de l'écosystème lui-même au milieu peuvent jouer, dans certains cas, un rôle déterminant.

Le problème général de l'eutrophisation ou affaiblissement de la fonction trophique du système au travers de tous les niveaux trophiques a également été abordé.

#### *Contamination des produits de la mer (9)*

Le danger inhérent à la production par l'homme de grandes quantités de matières toxiques persistantes, tels que les métaux lourds et les dérivés organohalogénés, est double :

(1) une perturbation induite dans l'écosystème total peut échapper au contrôle de l'homme par la disparition soudaine ou progressive de populations jouant un rôle essentiel dans la stabilité du système ou dans une partie de celui-ci ;

(2) des quantités importantes de matières toxiques accumulées impunément par certains organismes peuvent contaminer la nourriture de l'homme.

L'étude de l'entrée, du sort et de l'action des métaux lourds et des dérivés halogénés dans la biosphère doit être menée de façon à évaluer correctement les risques correspondants.

D'aucuns estiment que la mer est si vaste que l'on peut négliger l'intervention de l'homme. Ils oublient que des siècles sont nécessaires pour renouveler l'eau des bassins océaniques profonds et que les plantes habitent 1 % seulement de l'épaisseur moyenne des océans. Les eaux de surface, où l'activité photosynthétique est primordiale, et les eaux côtières peuvent dès lors être contaminées de façon persistante. Les expériences de laboratoire, les inventaires chimiques et biologiques sur le terrain, montrent toutefois que de nombreuses espèces marines sont très résistantes aux métaux lourds et aux pesticides, ce qui confère une sorte d'immunité apparente à l'écosystème ; malheureusement, la matière vivante marine s'avère aussi être un piège remarquable, accumulant métaux lourds et pesticides en quantité qui, déjà dans certains cas, atteignent des seuils dangereux pour l'homme.

Le travail des écotoxicologues, ramené à l'homme doit aboutir à l'établissement de normes de tolérance et de méthodes de surveillance à l'échelle nationale et internationale qui forment une des bases essentielles à la gestion de l'écosystème marin.

Les résultats, que seule une étude multidisciplinaire est en mesure de fournir, peuvent être lourds de conséquence mais les éluder n'est plus possible, compte tenu du niveau d'agression de l'homme sur la biosphère, dont la santé détermine cependant la sienne propre.

Ce volume fait le point sur le niveau actuel de contamination de la mer du Nord et expose l'étude d'un certain nombre des processus impliqués.

### *L'estuaire de l'Escaut (10)*

Les estuaires, caractérisés par la zone de mélange des eaux douces et marines, constituent une voie de transition importante de nombreux et divers produits de l'activité humaine. Par leur nature même, les zones estuariennes présentent des caractéristiques physiques, chimiques et biologiques propres, dont les propriétés sont encore très mal connues.

Le transport, les modifications ou l'accumulation de substances polluantes dans un tel milieu n'ont fait l'objet jusqu'à présent que d'études restreintes et souvent contestables. La complexité d'un système estuarien nécessite en effet une coordination continue entre les différentes disciplines scientifiques concernées mais aussi une investigation de longue haleine qu'exige l'extrême variabilité des conditions que l'on y rencontre.

L'étude de l'estuaire de l'Escaut, effectuée dans le cadre du modèle mathématique de la mer du Nord, constitue à ces égards un apport important. Elle montre le rôle prépondérant que joue la zone estuarienne dans les mécanismes de transport des polluants et des substances nutritives vers le milieu marin. Elle a permis d'autre part de mieux comprendre l'évolution de la qualité des eaux dans la zone estuarienne proprement dite.

Plusieurs conclusions originales se sont dégagées de ces études. Elles concernent notamment les mécanismes de sédimentation et d'envasement dans l'estuaire, les phénomènes de dégradation de la matière organique et leurs répercussions sur les couples d'oxydo-réduction, les phénomènes de nitrification et de dénitrification, la consommation de silice dissoute liée à l'eutrophisation, la mobilisation des métaux lourds, l'influence de la pollution thermique sur la qualité des eaux, etc.

Enfin, elle a permis d'effectuer une synthèse des phénomènes de transport, d'accumulation et de modification des espèces chimiques dans la zone estuarienne, présentée sous forme de bilans annuels.



Il ressort de ces bilans que la zone estuarienne agit comme un piège puissant, où les polluants s'accumulent sous forme de sédiments vaseux, prévenant ainsi leur transport vers la mer du Nord. Si cette situation est favorable au milieu marin, elle provoque par contre une dégradation sévère de la qualité des eaux de l'estuaire, en particulier dans la zone s'étendant en amont de la frontière hollandaise. La partie aval de l'estuaire se trouve par contre dans un état eutrophe qui se manifeste par une activité intense des diatomées. Celle-ci entraîne un déséquilibre de la distribution des substances nutritives qui pénètrent en mer et qui peut conduire à une modification de l'équilibre écologique du milieu marin.

----

#### DONNEES D'ENTREE ET MOYENS D'OBTENTION

##### *Acquisition et compilation des données (2)*

Les modèles mathématiques requièrent, en phase préparatoire, l'acquisition de nombreuses séries temporelles de mesures et, en phase opérationnelle, la connaissance continue des conditions aux limites.

C'est pourquoi ont été préparés et mis en service des stations autonomes de courantométrie, deux bouées océanographiques et météorologiques ainsi qu'un piquet-laboratoire.

Les données issues de ces systèmes d'acquisition automatique, ainsi que celles qui ont été obtenues par échange entre institutions de recherche, forment la base de données. Le développement de programmes de traitement automatique et d'échange standardisé transforme cette base en banque de données ; celle-ci constitue un précieux auxiliaire aux recherches sur l'écosystème, complément indispensable des modèles de simulation.

#### *Inventaire des polluants (6)*

##### *Niveaux de pollution du réseau hydrographique belge (11)*

Si l'un des buts poursuivis dans l'établissement d'un modèle de gestion de la mer est d'imposer des contraintes au rejets d'origines multiples qui s'effectuent dans ce milieu, on sait qu'il est indispensable d'en faire l'inventaire et de déterminer leurs rôles respectifs dans la détérioration de l'environnement. Dans l'optique de l'analyse des systèmes, on connaît aussi l'importance de la démarcation du site soumis à l'examen, de la définition des conditions aux limites ainsi que des données relatives aux frontières de ce site.

Le volume 6 (Inventaire des polluants) tente de fournir une vue synthétique des très nombreuses données d'entrée qui ont été réunies au cours de cinq années de campagnes de prélèvement.

La première partie du volume 6 est essentiellement consacrée à l'établissement de la liaison entre la zone marine et la zone continentale où se trouve la majeure partie des sources de pollution. En partant des niveaux de pollution du réseau hydrographique belge, on aborde la zone côtière par les émissaires pour aboutir à la zone marine côtière (jusqu'à 6 km de la côte) tant en ce qui concerne les niveaux de pollution de l'eau que ceux des sédiments.

On conçoit aisément l'importance de cet inventaire tant en qualité de source d'information pour la compréhension des mécanismes étudiés au sein de la zone marine plus éloignée qu'en qualité de guide pour l'établissement des critères qui permettront, par exemple, de nous conformer aux desideratas de la Convention de Paris (contrôle de la pollution d'origine tellurique).

La deuxième partie du volume 6 est consacrée à l'exposé sommaire de quelques méthodes d'analyses qui ont joué un rôle important, sinon de pionnier, dans la quantification des niveaux de pollution,

à savoir : une méthode de détermination d'éléments métalliques qui a constitué l'essentiel de l'étude de la contamination des produits de la mer, une méthode qui a permis de clarifier le problème d'interférence dans la détermination de substances organo-chlorées, une méthode permettant d'aborder le difficile problème de l'étude du mécanisme d'entrée de polluants ou de nutriments dans certains compartiments biologiques, enfin, une méthode permettant de préciser la notion de spéciation des polluants métalliques.

La troisième partie, enfin, est consacrée à l'exposé synthétique de la distribution des polluants organiques, organo-chlorés et métalliques au sein de la colonne d'eau et des sédiments récents.

Le chercheur souhaitant plus d'informations sur les niveaux de pollution du réseau hydrographique belge peut se référer à la banque détaillée de données que constitue le volume 11 (tome A - Meuse et affluents, tome B - Escaut-Yzer et affluents).

----