

## Les pollutions chimiques en Méditerranée

Donnier B.

La mer Méditerranée

Paris : CIHEAM  
Options Méditerranéennes; n. 19

1973  
pages 92-99

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

<http://om.ciheam.org/article.php?IDPDF=CI010516>

To cite this article / Pour citer cet article

Donnier B. Les pollutions chimiques en Méditerranée. *La mer Méditerranée*. Paris : CIHEAM, 1973. p. 92-99 (Options Méditerranéennes; n. 19)



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

Brigitte DONNIER

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

# Les pollutions chimiques en Méditerranée

Le littoral de la Méditerranée occidentale est en industrialisation constante. Il devient le siège d'une pollution inquiétante pour les ressources futures et pour la santé du consommateur de produits marins :

— A de fortes concentrations de polluant, il peut y avoir atteinte directe et destruction des espèces ;

— à des concentrations sublétales, certaines substances, tels les métaux lourds, les pesticides, les hydrocarbures, sont accumulés par les organismes et les concentrations augmentent aux différents niveaux des chaînes alimentaires ;

— à des concentrations très faibles qui, apparemment, n'altèrent pas la productivité des espèces, il peut y avoir des perturbations profondes mais perceptibles seulement à long terme par trouble des relations inter-espèces. Chez de nombreux organismes, ces relations sont régies par des composés chimiques qui, émis dans le milieu, contrôlent les réflexes de nutrition, de reproduction, etc... La présence de polluants peut bloquer leur synthèse ou empêcher qu'ils soient perçus.

Nous insisterons ici sur la pollution par les métaux et les hydrocarbures qui présentent des dangers certains pour la Méditerranée à court et long terme.

## POLLUTION PAR LES MÉTAUX

En 1969-70, le C.E.R.B.O.M. a réalisé une étude générale des pollutions rejetées sur les côtes françaises en utilisant la méthodologie, maintenant classique, des chaînes trophodynamiques marines, mise au point par M. Aubert et Coll. en 1968. Cette méthodologie permet :

— de mesurer la destruction produite au niveau d'organismes représentant les maillons les plus caractéristiques de chaînes alimentaires marines. Par ce moyen, il est possible d'évaluer la destruction du capital nutritif ;

— de tenir compte de l'ensemble des mécanismes de transformation des subs-

tances chimiques en milieu marin et de leur concentration aux différents niveaux des chaînes alimentaires ;

— de juger, par l'introduction d'un consommateur final mammifère, des phénomènes toxiques en fin de chaîne et de mesurer le danger encouru en consommant des produits marins contaminés.

A l'aide d'une chaîne de type pélagique, comprenant :

— phytoplancton : *Asterionella japonica* et *Diogenes sp.* (Pennington),

— zooplancton : *Artemia salina*,

— poissons : *Carassius auratus* (ce poisson d'eau douce s'adapte bien à une salinité de 10 %),

— un consommateur final : la souris *Mus musculus*, nous avons recherché :

— la toxicité directe des effluents sur chacun des organismes,

— la toxicité transmise au consommateur final :

- directement par ingestion des poissons utilisés pour la recherche des seuils toxiques (chaîne courte),

- par induction : les différents organismes sont introduits successivement dans le milieu contenant l'effluent à une concentration sublétale. Les poissons, derniers consommateurs marins, servent à alimenter les souris à raison d'un poisson par jour et par souris. Ces poissons étant maintenus à des doses sublétales, les concentrations sont moins fortes que dans le cas de la chaîne courte.

On a défini la dose toxique en 9 jours comme celle qui provoque la disparition de 50 % des organismes tests et qui bloque la croissance du phytoplancton. Pour l'ensemble des effluents rejetés en Méditerranée, la toxicité la plus importante a été observée pour les eaux résiduaires provenant des industries de chimie organique et en particulier de la fabrication de polymères pour l'industrie textile (voir tableau 1).

TABLEAU 1

**Seuils toxiques d'effluents méditerranéens  
vis-à-vis des trois échelons d'une chaîne de type pélagique  
(exprimés en dilution des effluents)**

Effluent	Phytoplanc- ton	Zooplanc- ton	Poissons
<b>Collecteurs généraux :</b>			
— Nice . . . . .	1/2	> 1/2	> 1/2
— Grand collecteur de Marseille . . .	1/4	> 1/2	> 1/2
— Huveaune . . . . .	> 1/2	> 1/2	> 1/2
— Les Aygalades . . . . .	> 1/2	> 1/2	1/4
<b>Produits chimiques minéraux et cérami- ques . . . . .</b>	> 1/2 > 1/2	> 1/2 > 1/2	> 1/2 > 1/2
<b>Sels et oxydes métalliques . . . . .</b>	1/4	> 1/2	> 1/2
Cimenterie . . . . .	1/4	1/4	1/8
Métallurgie . . . . .	1/16	1/2	> 1/2
Produits organiques et minéraux . . .	1/16	1/8	1/32
Parfumeries . . . . .	1/2	> 1/2	> 1/2
Produits chimiques organiques (solvants, engrais, alcools) . . . . .	1/2	1/8	1/8
	> 1/2	> 1/2	1/32
	> 1/2	> 1/2	> 1/2
	> 1/2	> 1/2	1/16
	1/4	> 1/2	1/8
Polymères synthétiques . . . . .	1/256	1/128	1/32
Raffineries de pétrole . . . . .	> 1/2	1/8	1/16
	> 1/2	1/2	> 1/2
	> 1/2	> 1/2	> 1/2
	> 1/2	1/2	> 1/2
Raffineries de soufre . . . . .	1/2	> 1/2	> 1/2
	1/2	> 1/2	1/2
	> 1/2	> 1/2	> 1/2
	> 1/2	> 1/2	> 1/2

Ce tableau montre une toxicité directe faible à court terme pour l'ensemble des effluents testés. Par contre, les effluents contiennent des composés toxiques par accumulation et nous avons pu provoquer l'intoxication de souris

par consommation de poissons alimentés avec du plancton intoxiqué.

Nous avons recherché dans ces souris l'accumulation de métaux toxiques par rapport à des souris témoins nourries avec des poissons non intoxiqués.

### Le plomb

Il a été accumulé essentiellement à partir des effluents de pétrochimie et à partir des eaux d'égout de Marseille. Les taux dans les souris témoins étant de 0,1 ppm, on a trouvé jusqu'à 3 ppm dans les souris intoxiquées.

### Le vanadium

Indosable dans les souris témoins, il a atteint des taux de 0,5 ppm à 0,8 ppm dans les souris intoxiquées indirectement à partir d'effluents de pétrochimie et de 0,3 ppm des eaux résiduelles d'une fabrique de monomères pour textiles synthétiques.

De telles accumulations ne sont pas étonnantes car le vanadium est utilisé comme catalyseur et il se trouve à l'état naturel dans les fuels.

On ne connaît pas encore les processus de transfert à l'homme, mais les effets sont connus : un excès de vanadium perturbe les activités enzymatiques comme celles de la cholinestérase et de l'amino-oxydase. A concentration tissulaire faible, il produirait des dérangements dans les processus métaboliques de base, sans signes cliniques ni sensations de la part du sujet. L'altération du métabolisme des aminoacides en présence de vanadium se traduit en particulier par un abaissement du taux de cystine dans les ongles (Bruyns, 1970).

### Le cadmium

Les phénomènes d'accumulation ont été observés à partir de raffineries de pétrole, de soufre, de fabriques de charbon actif, de céramiques, de cimenteries, de fabriques de produits de synthèse organique, d'engrais, de solvants, de corps gras, de parfumeries. Alors qu'il est indosable dans les souris témoins, on a obtenu des excédents de l'ordre de 1 ppm à partir des effluents de céramiques, pétrochimie et fibres synthétiques.

Comme pour le mercure, on ne connaît pas de rôle biologique au cadmium. Dans des organismes marins considérés comme sains, Shroeder et al., en 1967, ont trouvé en moyenne des

taux de 0,8 ppm, sauf dans les huîtres et les anchois. Dans des zones contaminées par des apports industriels, Butterworth et al., en 1972, ont relevé des taux cent fois supérieurs.

Le Cadmium est également utilisé à des fins multiples : dans l'industrie d'électroplacage pour protéger le fer, l'acier, le cuivre, les câbles téléphoniques, dans les réacteurs nucléaires comme absorbeurs de neutrons : il fait partie de différents alliages et sert de colorant résistant aux fortes températures dans le verre et les peintures ; il est incorporé dans certains insecticides, fongicides et engrais. Sous forme de stéarate de cadmium, il est utilisé comme stabilisateur pour les polyvinyles.

Au niveau humain, le cadmium se lie aux protéines. Il a un rôle compétitif vis-à-vis du zinc et a une plus grande affinité pour les groupements sulfhydryles. Dans les enzymes, lorsqu'il occupe les sites actifs du zinc, il y a modification de l'activité enzymatique, en particulier des métallo-enzymes. Ainsi Coleman J. E. et Vallee B. L. ont montré en 1961 que la carboxypeptidase était inhibée lorsqu'on remplaçait le zinc par du cadmium.

Le cadmium s'accumule essentiellement dans le foie, les reins, la rate. La présence du cadmium rénal a été mise en cause dans des troubles cardiovasculaires (hypertension en particulier). D'après Hasegawa Y. (1973), l'empoisonnement théorique par le cadmium, éventuellement combiné à une carence du régime alimentaire (en calcium et vitamine D), a été identifié comme étant la cause de l'épidémie d'« Itai-Itai » qui a frappé les habitants de Toyama au Japon. Les symptômes caractéristiques de cette maladie sont des troubles osseux ainsi qu'un accroissement du taux de phosphatase alcaline dans le sang, une protéinurie et une glucosurie.

La contamination de l'homme par le cadmium est essentiellement due à la nourriture. Des taux de 10 ppm dans l'eau et supérieurs à 13 ppm (poids humide) dans les aliments ont été considérés comme dangereux pour la santé publique (Anon, 1962). Le poisson, intervenant pour une part non négligeable dans l'alimentation, il est certain que de fortes teneurs en cadmium présentent un risque pour la santé.

## Le mercure

Alors que les taux habituels dans les souris non intoxiquées sont de l'ordre de 0,05 à 0,09 ppm, nous avons trouvé des taux dix fois plus élevés à partir des industries de fibres synthétiques, de pétrochimie, de fabriques de produits organiques et minéraux.

Le mercure a de multiples usages. Il peut donc entrer indirectement dans de nombreuses industries. Il a deux applications principales : la fabrication des appareils électriques et la préparation électrolytique du chlore et de la soude ; il entre également dans la composition de peintures, d'appareils de mesure, de produits pharmaceutiques, de catalyseurs, etc.

Les sources de contamination étant nombreuses, on peut en retrouver des effets dans les organismes marins.

En 1969, en collaboration avec l'Université de Tokyo, nous avons recherché le mercure dans les poissons pêchés en baie des Anges. Les résultats ont été portés dans les tableaux n° 2 et n° 3.

Pour vérifier l'élévation des taux de mercure dans les zones avoisinant des rejets provenant de fabrique d'aldéhydes de la région de Porto Corsini sur l'Adriatique, Jun Ui, en 1970, au cours d'une mission effectuée en collaboration avec le C.E.R.B.O.M., a contrôlé différentes sortes de poissons : la moyenne des résultats est supérieure à celle obtenue dans différentes zones de pê-

che, montrant une nette contamination à proximité des rejets industriels (tableau n° 4).

Dans le cadre du contrôle exercé sur le poisson livré à la consommation, Cumont G., en 1971, a analysé de nombreux échantillons de poissons frais ou en conserve, provenant en particulier de l'Atlantique et de la Méditerranée : alors que la teneur moyenne de mercure dans les thons de l'Atlantique est de 0,485 ppm, elle atteint 1,185 ppm en Méditerranée (par rapport au poids humide). On peut observer également cette différence dans d'autres espèces (tableau n° 5).

Peut-on envisager les phénomènes qui sont à la base des concentrations importantes relevées dans les organismes marins et peut-on prévoir des contaminations analogues à celles observées *in vitro* ? Il faut faire intervenir des relations biochimiques et biologiques particulières : l'accumulation des métaux dépend de la forme sous laquelle ils sont rejetés et de la présence d'autres composés, essentiellement des matières organiques. J. Wood indique qu'il peut y avoir concentration du mercure en présence de plomb tétraéthyle par transméthylation selon la réaction suivante :

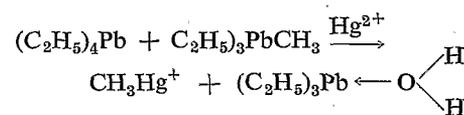


TABLEAU 2

Teneurs en mercure dans des poissons et mollusques pêchés en baie des Anges

Poissons	Méthylmercure (µg/g)		Mercure total (µg/g)	
	sec	humide	sec	humide
Sar . . . . .	0,14	0,03	0,40	0,10
Moule . . . . .	0,06	0,01	2,58	0,64
Perche . . . . .	0,43	0,11	0,99	0,24
Sardine . . . . .	0,22	0,05	0,46	0,11
Vive . . . . .	0,13	0,03	0,38	0,09
Pageot . . . . .	0,23	0,05	0,31	0,08
Merlan . . . . .	0,58	0,14	0,87	0,22
Bogue . . . . .	0,34	0,08	0,48	0,12
Severeau . . . . .	0,90	0,22	2,09	0,52

Le méthyl-mercure ainsi formé devient alors directement assimilable par les organismes marins.

Dans les sédiments, le mercure se trouve sous forme  $Hg_2^{2+}$  très insoluble, en équilibre avec  $Hg^{++}$  qui peut réagir avec les acides organiques (acétique, propionique, butyrique) et les produits de fermentation des sédiments à partir des bactéries anaérobies.

Ces sels mercuriques sont très solubles et sont utilisables par les micro-organismes : J. Wood a observé la transformation du mercure de la façon indiquée dans le schéma ci-contre.

— on a pu isoler des bactéries qui convertissent l'ion  $Hg^{++}$  en  $Hg^0$ , métal peu volatil qui reste dans les sédiments ;

— d'autres bactéries prélèvent les ions  $Hg^{++}$  et les convertissent en diméthyl-mercure volatil qui quitte le sédiment et passe dans l'eau et l'atmosphère. Sous l'action des rayons ultra-violet, le diméthyl-mercure est converti en méthane, éthane et mercure métal ;

— en troisième lieu, les bactéries convertissent l'ion  $Hg^{++}$  en méthyl-mercure très toxique qui s'accumule dans les chaînes alimentaires.

La transformation de l'ion mercurique en méthyl-mercure se fait par l'intermédiaire de processus métaboliques mettant obligatoirement en jeu la vitamine  $B_{12}$ . Des bactéries méthanogéniques permettent le transfert du groupement méthyl de la vitamine  $B_{12}$  sur le mercure (à partir de 10 kg de sédiment actif, on a pu isoler 85 mg de  $B_{12}$ ). Cette réaction fait intervenir divers mécanismes dépendant de bactéries. Cette transformation intervient uniquement dans la couche superficielle des sédiments (ne dépassant pas 3 cm).

La concentration du méthyl-mercure dans le sédiment est liée à la nature des matières organiques et au pH (optimum à 4,55). Sa libération à partir du sédiment dépend beaucoup de la teneur en soufre. Si la teneur en soufre est élevée, le méthyl-mercure a tendance à être retenu, sinon il est relargué dans l'eau sous forme de cation méthyl-mercure et assimilé directement par les organismes marins.

Suivant la composition du milieu récepteur, il y aura donc possibilité d'ac-

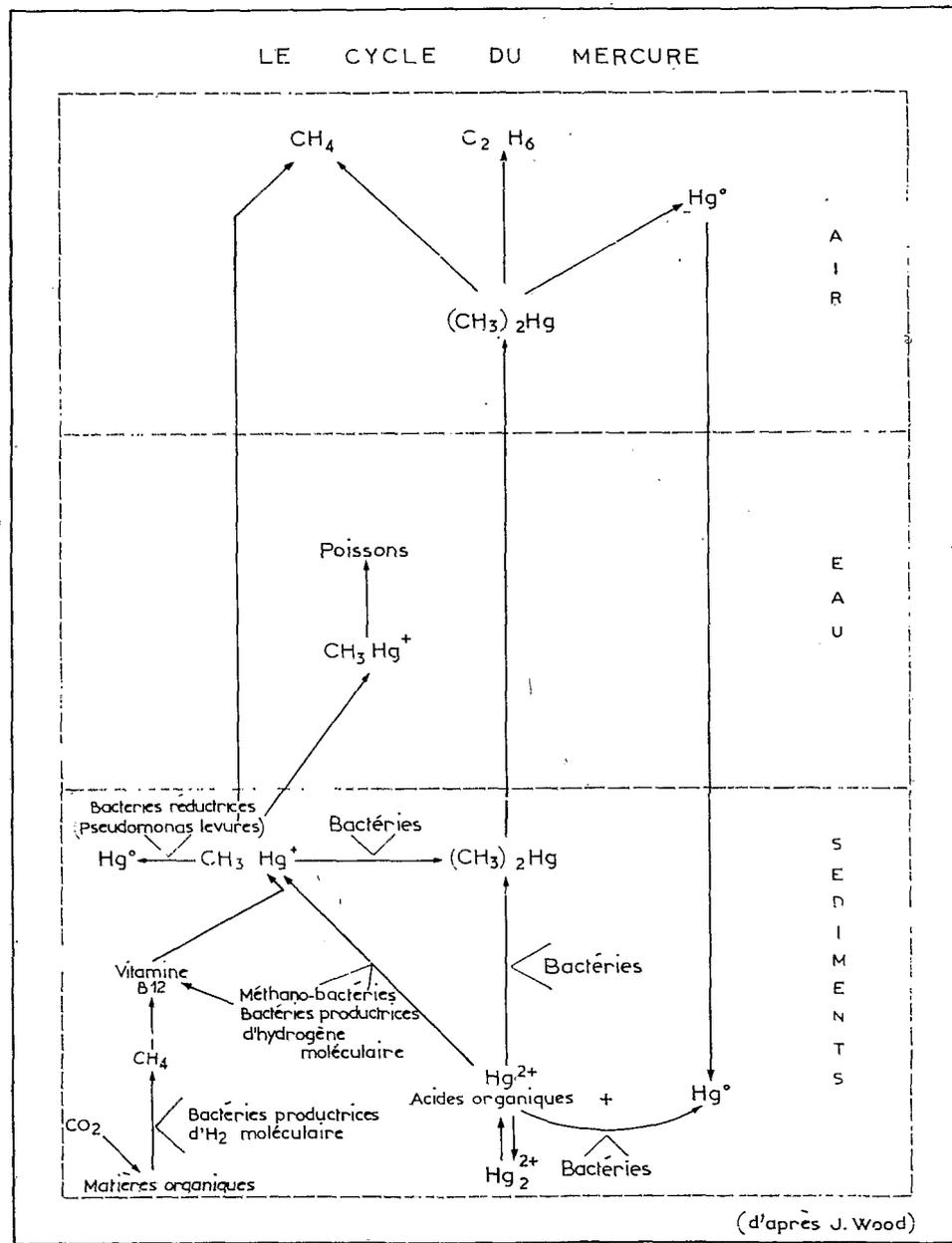


TABLEAU 3

Accumulation du mercure et du cadmium en  $\mu\text{g/g}$  humide dans les souris intoxiquées à partir d'effluents industriels méditerranéens

cumuler le mercure sous n'importe quelle forme. L'écologie du milieu a donc une importance primordiale (M. Gauthier).

Le rejet du mercure en milieu marin, sous quelque forme que ce soit, peut donc, par voie chimique ou biologique, être transformé en méthyl-mercure directement assimilable. Ce mercure, transféré au consommateur de produits marins, peut produire des troubles pathologiques.

A des concentrations sublétales, les effets de l'intoxication par le mercure minéral sont la perte d'appétit et de poids, les insomnies, la timidité, la nervosité, l'apparition d'étourdissements, de diarrhée, de gingivite et l'albuminurie. L'intoxication par le mercure organique se traduit par les symptômes suivants : fatigue, maux de tête, pertes de mémoire et des facultés de concentration, tremblement ou engourdissement des doigts et de la bouche, impossibilité de s'exprimer clairement, dysarthrie, atteinte des centres de la vue et de l'ouïe (Higgins I.T.T., 1972). Une intoxication prolongée peut conduire à des catastrophes comme celle de Minamata où, sur les sujets gravement atteints, on a pu observer une atrophie des cellules granuleuses du cervelet, la disparition des cellules nerveuses de part et d'autre de la scissure calcarine, une atteinte des tractus pyramidaux et extrapyramidaux. Ces atteintes ont provoqué la mort de nombreux pêcheurs.

Effluents	Mercure Taux de base dans les souris témoins 0,05 ppm	Cadmium Taux de base dans les souris témoins 0,01 ppm
Ruisseau des Aygalades à Marseille . . . . .	0,08 0,09	— —
Huveaune . . . . .	0,08 0,09	0,40 0,45
Grand collecteur de Marseille . . . . .	0,08	0,30
	0,075	0,30
	0,05	—
	0,06	—
	0,08	0,07
Arc . . . . .	0,09	0,05
	0,08	—
	0,08	traces
Étang de La Gafette . . . . .	0,09	—
	0,09	—
Fabrique de céramiques . . . . .	0,057	1,35
	0,08	1,35
Pigments et émaux . . . . .	0,06	—
	0,06	—
Parfumeries . . . . .	0,05	1,00
	0,06	1,20
Raffineries de pétrole I . . . . .	0,08	0,21
	0,09	0,66
	0,09	0,76
Raffineries de soufre I . . . . .	0,08	0,04
	0,08	—
	0,06	—
	0,06	0,09
IV . . . . .	0,05	0,09
Sels et oxydes métalliques . . . . .	0,04	—
	0,02	—
Cimenterie . . . . .	0,09	0,9
	0,09	0,96
Pétrochimie . . . . .	0,09	—
	0,09	—
Fabriques de monomères pour les textiles synthétiques . . . . .	0,6	1,86
	0,9	1,86
Fabriques d'engrais et fongicides . . . . .	0,90	1,60
	0,92	1,64
Fabriques d'engrais ternaires granulés et produits organiques divers . . . . .	0,98	1,86
	1,00	1,80

TABLEAU 4

Teneurs en mercure et méthyl-mercure  
dans des poissons de différentes régions méditerranéennes

Zones de pêche	Méthyl-mercure en Hg ( $\mu\text{g/g}$ humide)		Mercure total en Hg ( $\mu\text{g/g}$ humide)	
	Teneurs extrêmes	Moyenne	Teneurs extrêmes	Moyenne
Zones des rejets :				
— Porto Corsini . . . . .	0,030-0,76	0,190	0,19-1,20	0,46
— Port et lagon . . . . .	0,300-1,59	0,520	0,34-1,86	1,84
Zones témoins :				
— 2-3 km au Nord de Porto Corsini . . . . .	0,017-0,12	0,030	0,05-0,21	0,13
— Casalborgorsetti . . . . .	0,020-0,09	0,030	0,06-0,16	0,10
— Cervia . . . . .	0,020-0,10	0,040	0,04-0,13	0,08
— Nice . . . . .	0,040-0,13	0,020	0,13-0,60	0,14
	0,015-0,22	0,085	0,08-0,64	0,23

TABLEAU 5

Teneurs moyennes en mercure  
dans des poissons de l'Atlantique et de la Méditerranée  
( $\mu\text{g/g}$  humide)

Poissons	Méditerranée	Atlantique
Merlan . . . . .	0,20	0,03 à 0,12
Congre . . . . .	0,20	0,14 à 0,24
Bogue . . . . .	0,34	
Sole . . . . .	0,42	0,02 à 0,015
Plie . . . . .	0,48	
Bar . . . . .	0,54	0,09 à 0,23
	0,20	
Capelan . . . . .	0,84	
Pageot . . . . .	0,39	
Taupe de mer . . . . .	1,28	0,16 à 1,80
	1,00	
	0,80	
	0,52	

## POLLUTION PAR LES HYDROCARBURES

### Sources de pollution

La pollution par les hydrocarbures concerne directement la région méditerranéenne. Les sources de pollution sont nombreuses :

— d'origine terrestre avec les rejets à partir des raffineries côtières, les fuites de tanks de stockage (400 tonnes d'hydrocarbures sont rejetées en moyenne par an par une raffinerie traitant 4 000 000 de tonnes par an de pétrole brut), les eaux usées des villes polluées par du mazout et des huiles de vidanges.

La zone la plus polluée est celle de l'Etang de Berre, et également la région de Sète. Dans l'Etang de Berre, la flore et la faune ont subi les conséquences de ces pollutions et des industries associées. Dans le chapitre précédent, nous avons vu que ces industries étaient également une source de pollution par les métaux.

— d'origine maritime : cette pollution est plus difficilement estimable. On peut distinguer deux types de déversements :

- par les navires pétroliers : lavage des tanks de transport (ballastage et déballastage en haute mer) ;
- par l'ensemble des bateaux de pêche ou de plaisance (eaux de cales, vidanges, échappements mal réglés, etc...).

Cette pollution concerne tous les rivages en raison du développement intensif de la navigation de plaisance.

Les déversements accidentels sont à envisager étant donné l'accroissement du trafic des pétroliers et les projets d'exploitation « off shore ». Ils peuvent être dus :

— à la rupture des réservoirs de transport après collision, incendie ou échouage des pétroliers ;

— aux accidents en cours de forage ou d'exploration ou d'exploitation de pétrole « off shore ». Cette pollution pourrait prendre de l'extension dans la zone du Languedoc-Roussillon.

Etant donné la pollution existante et celle qui risque de se produire dans les années à venir, il y a lieu d'indiquer quels sont les risques pour le milieu méditerranéen d'une pollution par les hydrocarbures.

Les exploitations « off shore » présentent en outre un danger de pollution chronique dû aux suintements incontrôlables, évalués par exemple à 100 kg d'huile par jour pour un puits débitant quotidiennement 1 000 tonnes de pétrole brut.

On a pu évaluer à 20 millions de tonnes par an la quantité de pétrole brut rejetée en mer au cours de son exploitation par l'homme. Une telle pollution ne peut rester sans effets sur la vie marine. Quels sont-ils ?

## Effets biologiques et écologiques

Signalons à nouveau qu'ils peuvent être considérables, mais qu'ils dépendent largement de la composition des hydrocarbures rejetés. En effet, il ne peut être question ici de traiter les hydrocarbures dans leur ensemble, chacun d'eux ayant des propriétés spécifiques vis-à-vis des organismes vivants. Généralement, ils sont d'autant moins supportés par la flore et la faune marines qu'ils ont un point d'ébullition bas. En fait, leur activité délétère peut s'exercer selon plusieurs modalités très différentes :

### 1) Toxicité aiguë à court terme.

Elle s'exerce sur l'ensemble des êtres vivants du milieu : végétaux, animaux ou bactéries.

La destruction immédiate des poissons s'effectue notamment par colmatage des branchies. De nombreux poissons fuient d'ailleurs les zones polluées par les hydrocarbures, dont les taux limites à cet égard sont de 5 000 ppm pour le pétrole brut, 2 400 ppm pour les fuels et 90 ppm pour l'essence. Les œufs et les alevins sont cependant beaucoup plus sensibles à cette action. Les effets sublétaux peuvent également être importants : altération des fonctions vitales, inhibition de croissance et modification des comportements, problèmes sur lequel nous reviendrons plus loin. Précisons ici que 10 mg d'hydrocarbures par m<sup>3</sup> d'eau suffisent pour rendre

poissons et coquillages impropres à la consommation.

Les coquillages, les crustacés et les algues sont détruits très rapidement, les algues brunes étant systématiquement remplacées par la suite par des algues vertes (Ulves, Entéromorphes).

Le zooplancton est tué par 0,01 ml/litre de pétrole et le phytoplancton par 1 ml/litre de ce produit. Les hydrocarbures modifient profondément la perméabilité de leurs membranes cellulaires et la photosynthèse (avec perte des pigments).

Les oiseaux sont également tués en masse (Alcidés, Procellariiformes) par engluage des plumes. On estime à 150 000 à 400 000 le nombre des oiseaux tués annuellement par les hydrocarbures en Mer du Nord et dans l'Atlantique Nord (Nelson-Smith A., 1970).

### 2) Toxicité à long terme.

Les effets toxiques immédiats des hydrocarbures en mer sont toujours suivis d'effets secondaires beaucoup plus étalés dans le temps. Il a fallu 3 ans pour effacer ceux de l'accident du « Torrey Canyon » et l'on retrouve encore quelques restes des hydrocarbures provenant du tanker « Arrow » (Nouvelle-Ecosse, février 1970) 3 ans après sa rupture (Scarratt D.J., Zitro V., 1972).

Les hydrocarbures, ou leurs produits de dégradation, peuvent être accumulés par les différents organismes marins après leur ingestion et étaler ainsi leurs effets sur des périodes parfois très longues. C'est en particulier le cas chez les mollusques et les poissons. Ces derniers stockent généralement les hydrocarbures dans leurs tissus graisseux (foie ou muscles) où on les retrouve en quantité considérable. Ce danger est évidemment plus grave lorsqu'il s'agit d'hydrocarbures polycycliques aromatiques cancérigènes (méthylcholanthrène, benzanthracènes, benzopyrènes). Ces composés, peu solubles et très peu dégradables, sont présents en quantités variables dans les pétroles bruts (400 à 1 600 ppb) (Goldberg E.D., 1972). Ils sont repris par les chaînes alimentaires et concentrés jusqu'à des taux très élevés : on en trouve par exemple 1 mg par kilogramme (soit 1 ppm) dans des huîtres ayant vécu dans un milieu moyenne-

ment pollué. On imagine le danger que peut représenter ce phénomène pour le consommateur humain.

Chez des bactéries cultivées sur un mélange d'hydrocarbures, on a observé des remaniements internes très étendus, accompagnés d'une dérive des contenus lipidiques, avec formation d'un pool intracellulaire d'hydrocarbures, stockés dans des vacuoles spécifiques. Ces phénomènes s'accompagnent de tératogénèse (Finnerty W.R. et Coll., 1973).

Chez les poissons, certaines transformations néoplasmiennes ont été décrites, avec apparition de véritables cancers sur les branchies ou les lèvres. La présence, et l'effet des hydrocarbures cancérigènes stockés par les organismes marins, a pu d'ailleurs être mise en évidence par induction de cancers expérimentaux chez la souris injectée d'extraits de bernacles (*Lepas anatifera*) pollués (Tarzwell M.C., 1971).

Mais cette toxicité des hydrocarbures à court ou à long terme, dont l'aspect est souvent dramatique, représente peut-être peu de choses par rapport aux modifications discrètes mais fondamentales qu'ils peuvent entraîner dans les relations entre les espèces au sein des milieux naturels. Nous reviendrons sur ce problème à la fin de notre étude.

Dans certains cas, on connaît bien les conséquences profondes et lointaines qu'ont eu les hydrocarbures sur l'équilibre biologique et économique des régions qui les ont subies. Ainsi, après rupture d'un pipe-line en 1970, la zone côtière de la Baie de Barataria, en Louisiane, a été le siège d'une concentration d'hydrocarbures dans la strate supérieure du sol, ce qui a entraîné un remaniement total et irréversible du peuplement bactérien puis de la couverture végétale (Meyers S.P. et Coll., 1973).

La mer Caspienne est également un exemple particulièrement caractéristique à cet égard. Les 619 000 m<sup>3</sup> de pétrole déversés annuellement y ont diminué considérablement la biomasse : de 1962 à 1969, la production de phytoplancton est passée de 8,7 g par m<sup>3</sup> à 2,1 g par m<sup>3</sup>, celle des organismes benthiques de 507 g par m<sup>2</sup> à 28 g par m<sup>2</sup> et celle des poissons (hareng exclu) de 300.10<sup>6</sup> kg à 10.10<sup>6</sup> kg (Ka-

symov A.G., 1970). Il n'est évidemment pas nécessaire d'épiloguer sur la perte en capital nutritionnel que pourraient entraîner de telles pollutions, en particulier en Méditerranée.

Plus subtile peut être la conséquence de la présence d'hydrocarbures à la surface de la mer. On sait que le vent prélève annuellement à la mer environ 10 milliards de tonnes de sels minéraux sous forme d'aérosols, qu'il répartit sur l'ensemble des zones côtières. Ces aérosols sont fondamentaux pour la formation de la pluie, car ils jouent le rôle de noyaux de condensation pour la vapeur atmosphérique. L'existence d'un film d'hydrocarbures à la surface des eaux marines entraîne une diminution de l'évaporation et freine la formation d'aérosols : les terres sous le vent s'appauvrissent alors en eau. De plus, les embruns formés lorsque le vent est plus puissant se chargent d'hydrocarbures et stérilisent les terres côtières ; c'est le phénomène que l'on observe actuellement sur le littoral italien de Viareggio, où les forêts de pins en bordure de la côte disparaissent (Garrett W.D., 1972).

On ne saurait enfin terminer un chapitre sur la pollution par les hydrocarbures sans signaler que, dans les milieux naturels, leur activité doit certainement s'accompagner de synergies avec d'autres composés chimiques polluants rejetés conjointement. Ainsi, les hydrocarbures jouent le rôle de solvant pour les pesticides et favorisent leur absorbabilité par les organismes marins. Ils sont eux-mêmes dispersés par les détergents, ce qui augmente considérablement leur toxicité : le traitement du pétrole lors de la catastrophe du « Torrey Canyon » l'a amplement démontré.

Les hydrocarbures jouent en outre un rôle important dans les relations inter-espèces qui dépendent, comme l'a décrit M. Aubert, de télémediateurs.

A des taux bien inférieurs aux doses létales, on a pu observer la diminution de l'activité antibiotique d'une Diatomée *Asterionella japonica* en présence de 0,3 ppb de fuel domestique (M. Aubert et D. Pesando, 1972).

Chez les bactéries marines, il y a réduction de 50 % du chimiotactisme en présence de 10 ppm de pétrole brut, 12 ppm de kérosène, 0,1 ppm de ben-

zène, 120 ppm de phénol (Walsh F. et Mitchell R., 1973).

A un niveau supérieur, les relations sexuelles ou trophiques entre les invertébrés ou vertébrés marins dépendent de substances émises dans le milieu. Ainsi, chez le crabe *Pachygrapsus cressipes*, l'attraction vers la nourriture dépend directement de l'activité d'un stimulant chimique contenu dans les proies, la taurine ; de même, l'attraction sexuelle est déterminée par une phéromone sexuelle, la crustecdysone. Takahashi F.T. et Kittredge J.S., en 1973, ont pu montrer que des extraits solubles de deux fuels bruts à des concentrations de  $10^{-8}$  inhibaient les stimuli de ces deux substances.

\*\*

Les pollutions chimiques en Méditerranée existent et prennent une extension rapide. Nous avons vu qu'elles peuvent non seulement avoir des actions destructrices sur les espèces marines et toxiques pour le consommateur final de chaînes biologiques, mais également elles peuvent entraîner des désordres dans la régulation de l'équilibre biologique de la mer par atteinte des télémediateurs qui en sont la base. C'est bien là que réside l'un des dangers les plus importants et c'est peut-être par cette voie indirecte que l'écologie des eaux risque d'être bouleversée le plus profondément, les rendant de plus impropres à tous usages humains.