

# Effets biologiques de la pollution des mers par les hydrocarbures

par Y. DANDONNEAU,

Océanographe biologiste à l'O. R. S. T. O. M. (\*)

Cet article reprend le texte d'une conférence donnée à l'occasion d'un séminaire organisé par la Compagnie Nouvelle de Navigation à l'intention de ses commandants, seconds et chefs-mécaniciens en 1976. Il analyse les conséquences de la pollution par les hydrocarbures indépendamment de tous les jugements « à chaud » des scientifiques, souvent pessimistes ou optimistes à l'excès. L'auteur étant océanographe, les conséquences de la pollution par hydrocarbures hors du milieu marin proprement dit ne sont pas analysées, bien qu'elles se manifestent parfois de façon frappante et dramatique : qui n'a pas à l'esprit l'image de ces oiseaux englués, premières victimes des marées noires ?

La pollution des mers par les hydrocarbures a été jetée dans le domaine public avec l'affaire du *Torrey-Canyon*, en mars 1967, avec ses effets spectaculaires et catastrophiques. Depuis, périodiquement, le problème remonte à la surface de l'actualité.

Il peut arriver, dans certaines circonstances, que les boulettes de goudron qui parsèment les plages soient d'origine naturelle : ainsi, dès 1776, à Santa Barbara (Californie), — là où, en janvier 1969, un accident survenu à une plate-forme a causé une des plus importantes marées noires jamais vues — un moine observe qu'« une partie du bitume que la mer rejette se retrouve sur les plages. De petites sphères de bitume sont ainsi trouvées. Peut-être existe-t-il des sources de cette matière qui jaillissent de la mer ». Il ne peut pas être question, à cette époque, d'incriminer l'activité humaine. D'autre part, le phytoplancton, constitué d'algues microscopiques en suspension dans les couches marines éclairées et qui est à la base de la vie en mer, fait la synthèse d'hydrocarbures ; ces hydrocarbures ne sont toutefois pas identiques aux hydrocarbures fossiles, et sont même spécifiques de certains groupes d'algues. Le benzo 3-4 pyrène qui a été depuis longtemps mis en évidence en tant que cancérigène dans le pétrole, peut aussi être synthétisé dans certaines fermentations à l'abri de l'air, un peu comme se sont formés les hydrocarbures fossiles, qui sont, eux aussi, naturels. Laissons aller notre imagination : avant d'être piégés dans des structures géologiques profondes, où ils ont attendu qu'on vienne les extraire, il est probable que ces hydrocarbures, maintenant fossiles, ont pollué jadis la surface du globe à la faveur d'accidents géologiques, tremblements de terre, failles.

Il faut désormais convenir que la pollution par les hydrocarbures a pris en mer une tournure inquiétante à la suite de l'activité industrielle humaine, notamment du transport par voie maritime et de l'exploitation « offshore ».

La pollution par les hydrocarbures se présente sous deux aspects :

— Pollution **accidentelle** : évidente, choquante et laide. Elle est due aux accidents de navigation ou de forage, la nappe formée au large s'échouant le plus souvent au rivage avant d'avoir « vieilli ».

— Pollution **chronique** : principalement concentrée dans les zones portuaires, elle s'étend souvent vers le large et a tendance, l'huile formant un film à la surface de la mer, à envahir l'océan. Cette pollution provient d'origines variées : vidanges de cales, proximité de raffineries, entretien des machines, petits accidents dans les ports, apports des rivières, pollution urbaine, etc. Cet aspect, plus ou moins invisible, ne présente pas *a priori* d'inconvénient majeur, mais son extension en fait quelque chose de grave qui doit inciter à la réflexion.

(\*) Adresse actuelle : Centre ORSTOM, B.P. A5, Nouméa cedex, Nouvelle-Calédonie.

D'autre part, selon la composition du polluant, on peut distinguer **deux fractions** :

une fraction **lourde** et une fraction **volatile** qui évoluent différemment : la première est un peu soluble, tandis que la seconde se dissout en partie et s'évapore rapidement ; donc une nappe qui atteint le rivage après quelques jours ne contient pratiquement que la fraction lourde. Par ailleurs, la toxicité des deux fractions n'est pas la même.

Nous allons examiner successivement les effets de la pollution par les hydrocarbures, en étudiant dans l'ordre : les effets immédiats, les effets à court et moyen termes, et les effets à long terme. Les connaissances sur ces effets décroissent avec le délai d'action, et pour les effets à long terme, il y a plus d'hypothèses que de certitudes, comme nous le verrons.

## Effets immédiats

Ce sont ceux que l'on observe lorsqu'une nappe atteint un rivage.

Il y a bien sûr un aspect touristique pour lequel il est inutile de s'étendre longuement. Signalons tout de même que, pour éviter le pire, on est souvent obligé d'utiliser des doses massives de détergents, et que ces détergents sont plus dangereux que les hydrocarbures sur le plan de la physiologie des animaux.

Il n'est pas besoin non plus de s'attarder dans les mécanismes d'action biologique pour comprendre l'aspect catastrophique d'une nappe venant s'échouer dans une zone d'aquaculture ou de conchyliculture. Là aussi, l'usage des détergents est une parade dangereuse, car les huiles émulsifiées dans l'eau sont plus « disponibles » pour les animaux qu'une nappe superficielle, sans parler de la toxicité propre aux détergents.

Les effets biologiques immédiats sur l'environnement naturel ont été très étudiés à la suite de l'accident du *Torrey-Canyon* qui, il faut le reconnaître, constituait une expérience extraordinaire.

Un bref rappel des faits : le *Torrey-Canyon*, le 18 mars 1967, s'est échoué sur les Seven Rocks, entre la Cornouaille et les îles Scilly. La nappe de pétrole a d'abord touché les côtes anglaises, encore « fraîche », puis elle a traversé la Manche et a atteint la côte nord de la Bretagne, cette fois, après vieillissement. Dans les deux pays, des détergents (BP 1002 principalement) ont été employés. On dispose donc des quatre combinaisons, huile fraîche ou vieillie, avec ou sans détergent. On peut ainsi classer, du moins toxique au plus toxique : (1) huile vieillie, (2) huile fraîche, (3) huile vieillie avec détergent, (4) huile fraîche avec détergent.

Les détergents utilisés apparaissent plus toxiques que le pétrole, mais il convient de signaler que cet effet varie selon la façon dont ils sont appliqués : l'idéal étant une application juste avant la marée montante, là où un fort courant existe. Il convient de signaler aussi que les détergents actuellement employés sont moins toxiques que le BP 1002 utilisé alors (Corexit, par exemple). D'autre part, on ne peut pas dire, au vu de ces seuls résultats, si les détergents ajoutent leur propre toxicité, ou s'ils ne font que rendre plus efficace celle des hydrocarbures.

D'une façon générale, la marée noire du *Torrey-Canyon* a été suivie de mortalités massives de coquillages (bigorneaux, patelles ou berniques, balanes), les sites les plus atteints étant ceux où les détergents ont été employés massivement. Ailleurs, en général, quelques individus ont survécu, et même la quasi-

23 OCT. 1978  
(Extrait de La Pêche maritime de juin 1978.)  
O. R. S. T. O. M.

Collection de Référence

n° — 9355 Ocea.

totalité là où la nappe vieillie a été laissée sur les rochers ; dans ce dernier cas, les algues, elles aussi, résistent assez bien, des pousses nouvelles apparaissent et assurent la survie des plantes plus ou moins recouvertes par le pétrole. Là, l'effet immédiat est surtout d'ordre esthétique.

Des observations et des études systématiques sur la pollution par les hydrocarbures sont faites de façon régulière dans les environs de Milford Haven depuis que ce port a été créé au Pays de Galles. Voici un résumé des premiers travaux effectués et des principaux résultats obtenus :

1. — **Etudes sur les herbiers** : on désigne sous ce nom les zones recouvertes par des plantes marines que la marée haute recouvre plus ou moins.

a) Effet d'une seule application : destruction plus ou moins profonde des parties émergées, mais la plante en général n'est pas tuée et peut repartir.

b) Selon la saison : les plantes sont d'autant plus sensibles que le temps est plus chaud. Lorsque les plantes sont en fleurs, en général, les fleurs deviennent stériles. Une année peut ainsi être perdue, ce qui est évidemment fatal pour les plantes annuelles.

c) Effet du nettoyage : émulsifiants, brûlage, fauchage, ne réduisent pas la mortalité, au contraire : il vaut mieux laisser le mazout sur les plantes qui s' « en remettent » toutes seules.

d) Effet sur la physiologie des plantes : le pétrole, surtout la fraction légère, volatile, peut pénétrer les plantes, traverser la membrane des cellules qui sont alors détruites. Les phénomènes de respiration et d'excrétion sont aussi bloqués, par obstruction des pores des plantes. Mais ces effets varient beaucoup avec l'espèce végétale atteinte et avec la nature des hydrocarbures, les fractions les plus volatiles étant les plus nocives.

## 2. — Etudes sur les hôtes des rochers.

a) Les expériences sur le terrain, avec hydrocarbures seuls, provoquent peu de mortalité, principalement par asphyxie avec des huiles vieilles et épaisses. L'emploi des émulsifiants augmente beaucoup la toxicité et entraîne une forte mortalité chez de nombreuses espèces.

b) Toxicité comparée de différents bruts. Les effets varient beaucoup selon l'origine et donc la nature du pétrole, et un même pétrole, avec la température. Les fractions les plus légères sont les plus toxiques, et par conséquent, après vieillissement, au cours de la dérive d'une nappe, les effets sont atténués.

c) Effets écologiques des nappes qui atteignent le rivage : les peuplements peuvent être affectés soit par empoisonnement, soit par étouffement ou immobilisation. Là aussi, la fraction la plus volatile se montre la plus toxique. Les fractions qui subsistent peuvent toutefois rester collées aux animaux et les gêner dans

leur comportement, voire même les étouffer. L'espèce la plus sensible est la patelle (ou bernique) et aussi les balanes les plus hautes sur le rivage.

## 3. — Recherches sur les fonds de sable et de vase.

En ce domaine, les effets sont très mal connus et des efforts doivent être faits car ils concernent notamment les fonds chalcobles. Le problème est que, dans le cadre d'une expérience, l'observation continue demande qu'on bouleverse trop souvent la zone soumise au traitement, alors que pour les herbiers et les rochers, il suffit de regarder. C'est un domaine complexe car le sol, siège d'une activité microbienne intense, absorbe et fixe les hydrocarbures.

Au laboratoire, une quantité de tests ont été réalisés avec des huiles différentes, sur des espèces variées. En général, bien sûr, à partir d'une certaine concentration, on observe la mort des animaux soumis à l'épreuve.

Le cas du crabe *Chionoécetes bairdii*, étudié par Karinen et Rice en 1974, est intéressant : ce crabe meurt en présence de fortes doses d'hydrocarbures, mais si les doses sont faibles, ses pattes se cassent et les mues (les crabes ont une carapace rigide et ne peuvent grandir que par mues) sont stoppées. Voilà un exemple qui montre bien le danger de ce genre d'expérience où l'on applique des doses croissantes de produit toxique et où l'on note la concentration à laquelle la mort des individus intervient. Chez le crabe, avant qu'on arrive à la concentration mortelle, la perte des pattes locomotrices est un dommage qui, dans les conditions naturelles de compétition pour la survie et la nourriture, équivaut à la mort.

Chez les autres animaux testés (étoiles de mer, crevettes, poissons, coquillages), on ne note généralement pas d'effet secondaire visible extérieurement avant la mort des animaux qui reste le critère principal de l'expérience. Or, il existe certainement des atteintes à la physiologie des animaux qui les condamneraient dans le milieu naturel. Et la limite de ces expériences réside dans l'impossibilité de les prolonger trop longtemps en simulant les conditions naturelles. On ne mesure souvent que les effets visibles immédiats alors qu'il y a des effets à court et moyen termes tout aussi importants, mais beaucoup moins bien connus, que nous allons examiner maintenant.

Auparavant, signalons que l'interprétation des résultats est gênée aussi par le fait qu'on ne sait pas ce que représente une concentration d'hydrocarbures dans l'eau de mer : ces produits, en effet, ne sont pas très solubles, et les doses utilisées sont supérieures aux taux de solubilité ; les hydrocarbures sont donc soit sous forme de films à la surface (là, si l'animal testé ne vient pas à la surface, il n'est en présence que de la quantité soluble), soit sous forme d'une émulsion de gouttelettes plus ou moins fines.



(Photos M. de Saint-Laurent, 4-4-78. Muséum national d'histoire naturelle.)

La plage de Saint-Michel-en-Grèves, deux semaines après l'arrivée de la « marée noire » dans la baie de Lannion ; les millions de cadavres d'animaux qui vivaient dans le sable jonchent maintenant la plage : à perte de vue, les tests d'oursins de sable.

Le rôle des dispersants est évident ici : il augmente la concentration réelle. De plus, selon la durée de l'expérience, et l'aération du dispositif, le mélange d'hydrocarbures s'appauvrit plus ou moins vite en éléments volatils qui sont les plus toxiques. Tout ceci tend à enlever beaucoup de valeur aux résultats acquis en laboratoire.

### Effets à court et moyen terme

Les effets immédiats que nous venons de survoler rapidement surprennent par leur étendue apparemment limitée dans l'espace, le temps et pour l'ensemble des espèces. Face aux propos alarmistes qui foisonnent dans toute la presse, ceux qui pensent que le mal n'est pas si grand et que tout problème sera résolu en son temps pourraient paraître sages. Les doses mortelles mesurées au cours des expériences sont rares en mer. Elles n'interviennent que très localement, ou lors des catastrophes dans le genre de celle du *Torrey-Canyon*, et quand on voit les peuplements naturels qui se réinstallent quelques années après la marée noire, on est tenté de se dire que la nature est vraiment « solide ».

Comment se produit la recolonisation de rivages dévastés par une marée noire ? Dans les endroits les plus atteints, où les herbivores (patelles, bigorneaux) ont été tués, ainsi que les algues brunes (*fucus*, *ascophyllum*), on a vu pousser une végétation exubérante d'algues vertes entéromorphes qui ont recouvert les rochers en l'absence des brouteurs traditionnels disparus ; les peuplements végétaux sont plus rapides en effet à s'implanter et coloniser un substrat, que les peuplements animaux, ils donnent davantage de graines et se développent plus vite. Au retour de ces derniers, l'équilibre se rétablit peu à peu, et deux ans après, on est sensiblement revenu au point de départ. La recolonisation se fait à l'époque de la reproduction, plutôt à partir des géniteurs des zones voisines qui ont été épargnées par la marée noire (et il y en a toujours, quelle que soit l'étendue de la catastrophe) qu'à partir des quelques survivants restés sur place. En effet, les larves sont planctoniques et sont répandues partout par les courants. C'est d'ailleurs un cas très général, que les espèces benthiques donnent des larves pélagiques et vice-versa. Cette alternance pour une espèce est très favorable à la reconquête de domaines et à l'expansion.

On ne revient tout de même pas d'un seul coup à l'équilibre naturel : le retour à l'équilibre écologique antérieur est en général très long après que le milieu a retrouvé rapidement un stade satisfaisant pour l'œil.

Par exemple : si les patelles s'installent avant les bigorneaux sur un milieu vierge et comportant une nourriture abondante, elles proliféreront tellement que les bigorneaux n'auront pas la possibilité de s'installer. Il faudra attendre que, la nourriture ayant fortement diminué et des prédateurs des patelles étant apparus, des places libres se fassent.

Au niveau de chaque individu, de nombreuses expériences de laboratoire ont montré qu'aux doses subléthales (c'est-à-dire qui ne sont pas mortelles), les animaux qui ne mouraient pas étaient atteints dans certaines fonctions vitales.

On a même trouvé, à des doses légères, une stimulation de la croissance des plantes. Mais, en général, l'effet toxique est vérifié. Mironov, en 1968, montre la sensibilité des œufs de plie aux hydrocarbures : à des concentrations très faibles ( $10^{-5}$  ml/l), les œufs sont atteints et 40 à 100 % des larves écloses sont plus ou moins dégénérées et meurent. Cet auteur rapporte des observations analogues à  $10^{-3}$  ml/l pour les œufs d'anchois, de rascasse, de poisson perroquet. Truites et saumons accélèrent leur respiration et, après retour à des eaux non polluées, mettent plusieurs jours à reprendre une respiration normale. Wells (1972) rapporte que des larves de homard exposées à 0,01 ml/l d'hydrocarbures survivent peu et ne passent pas le quatrième stade larvaire (quatrième mue). Smith (1968) observe une activité ralentie chez de nombreuses larves après exposition. Kunhold (1972) note que les larves de morue, plie et hareng, exposées aux hydrocarbures, perdent peu à peu la faculté d'éviter les nuages d'émulsion de pétrole qui leur sont toxiques, et sont ainsi vouées à la mort. Blanton et Robinson (1973) décrivent des lésions sur les branchies de sept espèces de poissons. Un crabe, étudié par Takashi et

Kittredge, exposé à des hydrocarbures, perd son comportement de nutrition et d'accouplement quand le stimulus chimique qui provoque habituellement ce comportement lui est appliqué.

Ainsi donc, une foule d'effets secondaires sont connus, dont nous sommes très loin d'avoir fait l'inventaire. Il est certain qu'ils ne représentent qu'une petite partie de ceux qui existent. Ces effets n'entraînent pas la mort des animaux marins, mais ils les placent dans des conditions physiologiques défavorables qui font que, avec la compétition qui règne dans les milieux naturels, les espèces les plus sensibles seront éliminées. On sait donc très mal ce qui se passe dans la nature : après une marée noire, les dégâts immédiats sur le rivage sont faciles à constater. Mais pour les animaux pélagiques qui ne sont pas rejetés morts sur les plages, on manque totalement de données : sont-ils affaiblis par la présence des hydrocarbures ? pour combien de temps ? réussiront-ils à échapper à leurs prédateurs traditionnels ? ceux-ci sont-ils eux-mêmes en état de « stress » ? Nous n'en savons pas grand chose. Chaque espèce constitue un cas ; les mulets qui se complaisent dans l'eau polluée des ports n'ont pas l'air d'en souffrir, mais les saumons évitent les zones contaminées par les hydrocarbures.

### Effets à long terme

Ce sont les plus difficiles à étudier, à cause du délai d'action, et de la complexité des liens écologiques qui y sont impliqués ; la plupart du temps, on ne peut que les soupçonner : il s'agit, par exemple, des substances cancérigènes qui s'accumulent au cours de la chaîne alimentaire. Si un animal, ou une plante, assimile et fixe dans ses tissus de telles substances sans pouvoir les éliminer ni les modifier, les prédateurs de cet animal vont faire de même, et ainsi de suite. Parallèlement, alors qu'on est parti d'une faible concentration dans l'eau à chaque niveau de la chaîne alimentaire la substance est transmise intégralement alors qu'un vingtième seulement environ de la nourriture ingérée est utilisée pour la croissance. Il s'ensuit qu'à chaque niveau de la chaîne alimentaire, la concentration en éléments nocifs s'accroît. On arrive ainsi rapidement à des concentrations dangereuses, avec, au terminus de la chaîne alimentaire, l'homme.

Qu'en est-il de ce schéma dans la réalité ? Nous sommes loin d'en avoir une idée précise, mais nous pouvons déjà dire qu'il existe, sans qu'il soit nécessairement la règle générale.

Conover, en 1971, a observé que 10 % des hydrocarbures émulsionnés dans l'eau étaient absorbés par le zooplancton (ou plancton animal), mais que les excréments de ce zooplancton contenaient 7 % d'hydrocarbures ; absorbés donc, mais aussi rejetés, et l'auteur ne peut pas affirmer si une partie reste et est effectivement fixée dans la matière vivante. On trouve des hydrocarbures fossiles exploités par l'homme dans la chair de certains coquillages. L'estomac des patelles qui vivent sur des rochers pollués peut contenir de 5 à 50 % de pétrole. Payne et Penrose, en 1975, ont montré que les truites d'un lac pollué possédaient l'enzyme qui détruit les carbures aromatiques cancérigènes, alors que celles d'un autre lac, non pollué, ne la possédaient pas. Donc, selon les espèces, il y a un comportement différent vis-à-vis des gouttelettes de pétrole qui sont ingérées ou non, et une excrétion plus ou moins importante.

Lee, Sauerber et Benson (1972), avec certains hydrocarbures radio-marqués, montrent que ces substances traversent les branchies des poissons, sont métabolisées au niveau du foie, passent dans la bile, puis sont excrétées par l'urine. Le 3-4 benzopyrène, qui est hautement cancérigène, est éliminé beaucoup moins rapidement. L'expérience, très précise, est cependant trop courte pour qu'on puisse déceler une fixation de ces substances dans la chair des poissons. Il est toutefois courant dans les zones polluées, que des poissons « sentent le pétrole » et des chercheurs, australiens notamment, ont effectué sur ce sujet de nombreuses mesures. Il est heureux, dans ce cas, que l'odeur forte suffise à les rendre imprégnés à la consommation humaine.

En somme, rien de véritablement très dangereux pour l'homme n'a été prouvé, mais il reste l'impression que, dans la complexité des chaînes alimentaires, il pourrait bien exister des filières par lesquelles nous arriverait en masse ce 3-4 benzopyrène ou d'autres hydrocarbures tout aussi dangereux.

## Conclusion

L'action des hydrocarbures sur le monde marin peut se résumer ainsi :

— les accidents graves, du genre de celui du *Torrey-Canyon*, dévastent des secteurs de la côte, surtout si on fait agir les détergents pour sauver les apparences, mais deux ou trois ans après, les choses rentrent, semble-t-il, dans la normale.

— les zones portuaires, les abords des raffineries et des concentrations démographiques sont fortement atteints. Les peuplements y sont appauvris, les poissons et coquillages qui y vivent ne sont guère consommables. Mais ce sont des secteurs limités.

— Enfin, à grande échelle, sur l'ensemble de l'océan, les hydrocarbures sont finalement « biodégradés », encore qu'il soit possible, mais pas prouvé, que des formes nocives reviennent dans notre assiette par l'intermédiaire de la pêche. La prise de conscience de la pollution — et en particulier de la pollution marine par les hydrocarbures —, de la part de l'opinion publique et des pouvoirs en place, constitue un encouragement évident pour les scientifiques qui, jusqu'alors, prêchaient dans le désert ; mais on situera l'ampleur du problème si l'on veut bien se rappeler qu'il a fallu un siècle pour démontrer, et encore très imparfaitement, les mécanismes naturels de la vie en mer, et comprendre le rôle de la salinité, de la température, de l'éclaire-

ment, des matières nutritives, de la turbulence et d'autres facteurs plus subtils mais eux aussi décisifs. Faut-il observer aussi qu'aux crises brutales de pollution par hydrocarbures s'ajoutent d'autres formes de pollution plus ou moins menaçantes telles que radio-activité et contamination par les métaux lourds. Un nouveau et immense chapitre de l'océanographie vient de s'ouvrir.

Le docteur Cowell, qui est une des sommités sur cette question, concluant un congrès sur la pollution par les hydrocarbures, situe celle-ci parmi les autres. Ce classement très pertinent, place les grands accidents de pétroliers au-dessous des détergents qu'on a utilisés pour lutter contre. La pollution plus ou moins chronique des zones portuaires ou des rejets en mer y est considérée comme bien moins grave que les pesticides, organochlorés et métaux lourds. Et le plus grave, en tête de liste, l'explosion démographique mondiale. Chaque homme, en effet, par la part d'industrie qui le concerne, et par son action sur son entourage, est un pollueur. Quand une culture d'algues ou de bactéries au laboratoire s'est trop développée, elle meurt, empoisonnée par ses déchets. Pouvons-nous nous y comparer ? Il est certain qu'une catastrophe de ce genre, susceptible de rajeunir notre situation, permettrait de repartir sur des bases plus solides. Pour l'éviter, il nous faut chercher à ne plus polluer. Il n'y a pas d'exemples de succès en ce domaine dans le monde vivant, et nous polluons comme certainement aucune espèce n'a jamais pollué.

