

La pollution des océans par les hydrocarbures et ses conséquences biologiques

par J.-P. L'HARDY

L'utilisation des hydrocarbures comme combustible industriel remonte au milieu du siècle dernier. Elle est antérieure à l'invention du moteur à explosion (LENOIR, 1860) dont le succès ne sera véritablement assuré qu'à la fin du siècle, après de multiples perfectionnements (BEAU DE ROCHAS ; MARCUS, 1875 ; FOREST, 1891) et aussi à la mise au point du moteur diésel (1893) dont l'usage ne se généralisera pas avant la fin de la première guerre mondiale.

En fait, dès 1867, on dénombrait déjà trois navires (deux américains et un français) dont les chaudières avaient été modifiées de façon à utiliser le pétrole comme combustible. Par rapport à la houille, le combustible classique de l'époque, les hydrocarbures présentaient des avantages incontestables en raison de leur capacité calorifique approximativement double de celle du charbon. A poids de combustible égal, un bateau équipé d'une chaudière à mazout a donc un rayon d'action double de celui d'un bateau du même type utilisant la houille comme source d'énergie. De plus, il présente un certain nombre d'autres avantages appréciables : absence de fumée, de cendres et de scories, facilité de stockage du combustible, etc...

Pour ces diverses raisons, il n'est pas étonnant d'assister à une progression rapide du nombre des navires utilisant les hydrocarbures. En 1914, on en comptait déjà 501, qui ne représentaient alors que 3 % de l'ensemble de la flotte mondiale, dont près de 90 % des unités fonctionnaient encore au charbon. Par la suite, cette tendance n'a fait que s'affirmer et on dénombrait en 1925, 3.882 navires utilisant le mazout. En 1956, il y en avait 10.080.

Bien entendu, pour satisfaire les besoins industriels sans cesse croissants, s'est constituée une flotte de transporteurs spécialisés. Le premier de ces pétroliers a été lancé en Grande-Bretagne en 1886 et depuis cette date la flotte pétrolière se développe à un rythme de plus en plus rapide. Les principales étapes de cet essor considérable sont marquées par les dates suivantes :

1886 : premier pétrolier ; capacité de transport : 2.297 tonnes.
1939 : 1.570 pétroliers ; capacité de transport : 16.600.000 tonnes.

1956 : environ 2.500 pétroliers ; capacité de transport : 43.000.000 de tonnes.

1960 : 2.446 pétroliers ; capacité de transport : 61.000.000 de tonnes.

1966 : 3.162 pétroliers ; capacité de transport : 99.500.000 tonnes.

Dans le même temps, le tonnage annuel transporté par les pétroliers progressait de la façon suivante :

1938 : 80.000.000 de tonnes

1953 : 293.000.000 —

1958 : 445.000.000 —

1966 : 1.260.000.000 —

Dans les années qui viennent, les tonnages transportés continueront à croître d'une façon régulière car les besoins en carburant et en combustibles liquides augmentent à un taux annuel de 7 à 10 %.

En même temps que le nombre des pétroliers s'accroît, on remarque également que le tonnage des unités récentes tend à devenir de plus en plus considérable pour faire face à l'augmentation des besoins et aussi pour des raisons d'économie. De 1935 à 1939, le tonnage moyen des pétroliers se situait à 13.000 tonnes ; il était de 15.500 tonnes pour la période 1940-1945. Depuis la progression continue et le tonnage moyen double à peu près régulièrement tous les dix ans. En 1965, le tonnage moyen atteignait 58.578 tonnes ; il est passé en 1966 à 71.104 tonnes. Autre fait symptomatique, la moyenne du tonnage des pétroliers en construction ou en commande en 1967 dépasse les 100.000 tonnes : 29 navires de 90.000 à 100.000 tonnes, 25 de 210.000 à 250.000 tonnes et 6 de plus de 300.000 tonnes.

LES CARACTERES DE LA POLLUTION PAR LES HYDROCARBURES

ORIGINE.

Les sources de la pollution par les hydrocarbures sont très diverses : les plus importantes sont dues aux navires qui parcourent les océans, mais l'on ne doit pas négliger l'apport de certaines raffineries côtières, ni celui des effluents provenant d'industries pétrolières plus ou moins éloignées du littoral.

La principale source de pollution est bien évidemment constituée par les pétroliers. Le transport du mazout ne présenterait pas de danger en lui-même, s'il n'y avait pas l'obligation de laver les citernes. Après le déchargement, on pompe dans chaque citerne une certaine quantité d'eau de mer qui forme ballast. En cours de trajet et en principe loin des côtes, cette eau est rejetée tandis que les citernes sont lavées les unes après les autres à l'aide d'un rotolaveur mobile qui projette sur le plafond et les parois des cuves une eau chaude (80 à 90° c.) à très forte pression (30 à 40 kg/cm²). Les résidus tombent au fond des cuves où ils se sédimentent en une boue grasse et visqueuse que l'on doit enlever périodiquement. Les eaux de lavage sont pompées et évacuées puis les cuves rincées avec de l'eau de mer propre qui sera également rejetée. La durée du nettoyage est de l'ordre de 6 heures par cuve et l'on compte en général de 20 à 30 cuves par bâtiment.

Ainsi la contamination des océans est assurée essentiellement par les rejets des pétroliers. On estime en effet que le mazout entraîné par les eaux de ballast, de nettoyage et de rinçage des cuves correspond à 1 % du tonnage transporté par le navire. Un pétrolier de 30.000 tonnes déverse donc à chaque voyage une quantité de 300 tonnes d'hydrocarbures. En 1953, sur 293 millions de tonnes transportées, près de 3 millions de tonnes polluaient la surface des mers, représentant un volume journalier de 7.100 m³ d'hydrocarbures. En 1958, les rejets atteignaient plus de 4 millions de tonnes par an. Actuellement, grâce à une technique de lavage plus étudiée, on estime que 5 millions de tonnes par an sont rejetées à la mer, sur un total de 1.260 millions de tonnes transportées.

Une seconde source non négligeable, bien qu'impossible à chiffrer avec précision, est représentée par les navires utilisant le mazout et le gas-oil comme combustible pour leur chaudière ou comme carburant. La pratique courante du ballastage, c'est-à-dire de l'utilisation des soutes à combustibles vides pour embarquer des eaux de lest est une cause fréquente et importante de pollution au moment du déballastage. A cela, il faut encore ajouter les fuites de pétrole provenant des réservoirs ou des conduites des moteurs, les rejets d'échappement et les déversements intempestifs d'huiles de vidange.

Les échouages, collisions, incendies et ruptures de réservoirs constituent également un risque de pollution. Si les échouages de pétroliers sont heureusement rares, les accidents et les avaries des autres navires contribuent également à la contamination des mers. Enfin les bateaux coulés, en particulier pendant la dernière guerre, contiennent dans leurs soutes une quantité de mazout estimée à 5 ou 10 millions de tonnes. Les réservoirs progressivement corrodés par l'eau de mer peuvent libérer subitement des tonnes d'hydrocarbures.

Les apports terrigènes sont représentés par les raffineries et les industries pétrolières qui sont fréquemment à l'origine d'une pollution intense et permanente dans certaines zones localisées. Les fleuves et surtout ceux qui traversent des régions urbaines ou industrielles sont sévèrement pollués et charrient les hydrocarbures jusqu'à la mer. A titre d'exemple, on a signalé qu'en août 1961 la Seine apportait chaque jour 1.260 kg d'hydrocarbures légers (soit plus de 450 tonnes par an) à son embouchure, sans compter les rejets incontrôlables des navires.

MÉCANISMES.

L'aspect de la pollution varie avec les produits en cause. Suivant les cas, il peut s'agir :

- d'essences, d'origine accidentelle, qui diffusent rapidement en provoquant une irisation à la surface de l'eau ;

- de fuels légers, provenant des moteurs diésels à rotation rapide à 2 ou 4 temps utilisés par les bateaux de faible tonnage ou des fuels lourds servant à la propulsion des cargos et des paquebots ; ces produits se répandent en nappe grasse, d'épaisseur modérée, et ce type de pollution, tout à fait caractéristique des zones portuaires, est plutôt accidentel que systématique ;

- de résidus des citernes de pétroliers, noirâtres, très visqueux, épais et à diffusion lente, formant des nappes épaisses

qui agglomèrent autour d'elles tous les corps flottant avec lesquels elles entrent en contact ;

— de mazout brut partiellement traité par les détergents, qui constitue avec l'eau de mer une émulsion grasse, visqueuse, de couleur brun rougeâtre, flottant en nappes épaisses.

A l'exception des essences qui s'évaporent assez rapidement, tous les autres hydrocarbures s'étendent sur l'eau en une pellicule parfois monomoléculaire qui couvre une surface considérable évaluée à 1.200 hectares par tonne d'hydrocarbures légers. Ceux-ci ne sont dégradés par les bactéries qu'avec une extrême lenteur. Après 35 jours d'expérience, l'oxydation de divers hydrocarbures par des cultures bactériennes dans des conditions favorables (température de 25° C., présence d'oxygène) ne dégrade suivant le corps considéré que 35 à 65 % de la masse initiale. Les moins dégradés sont l'anthracène, puis le toluène, le benzène et l'éthylbenzène. D'autres expériences montrent que certaines populations bactériennes sont capables d'oxyder des hydrocarbures à raison de 0,96 mg par litre en une journée à 25° C. ; cette dégradation est fortement influencée par la température et tombe à 0,32 mg/l par jour à 15° C. et à moins de 0,10 mg/l par jour à 5° C. Cela correspond donc à un pouvoir de dégradation de 36,5 à 350 g d'hydrocarbures par litre en un an. Il ne faut cependant pas oublier que ces taux doivent être rarement atteints dans la nature, car la température et surtout le manque d'oxygène jouent le rôle de facteurs limitants.

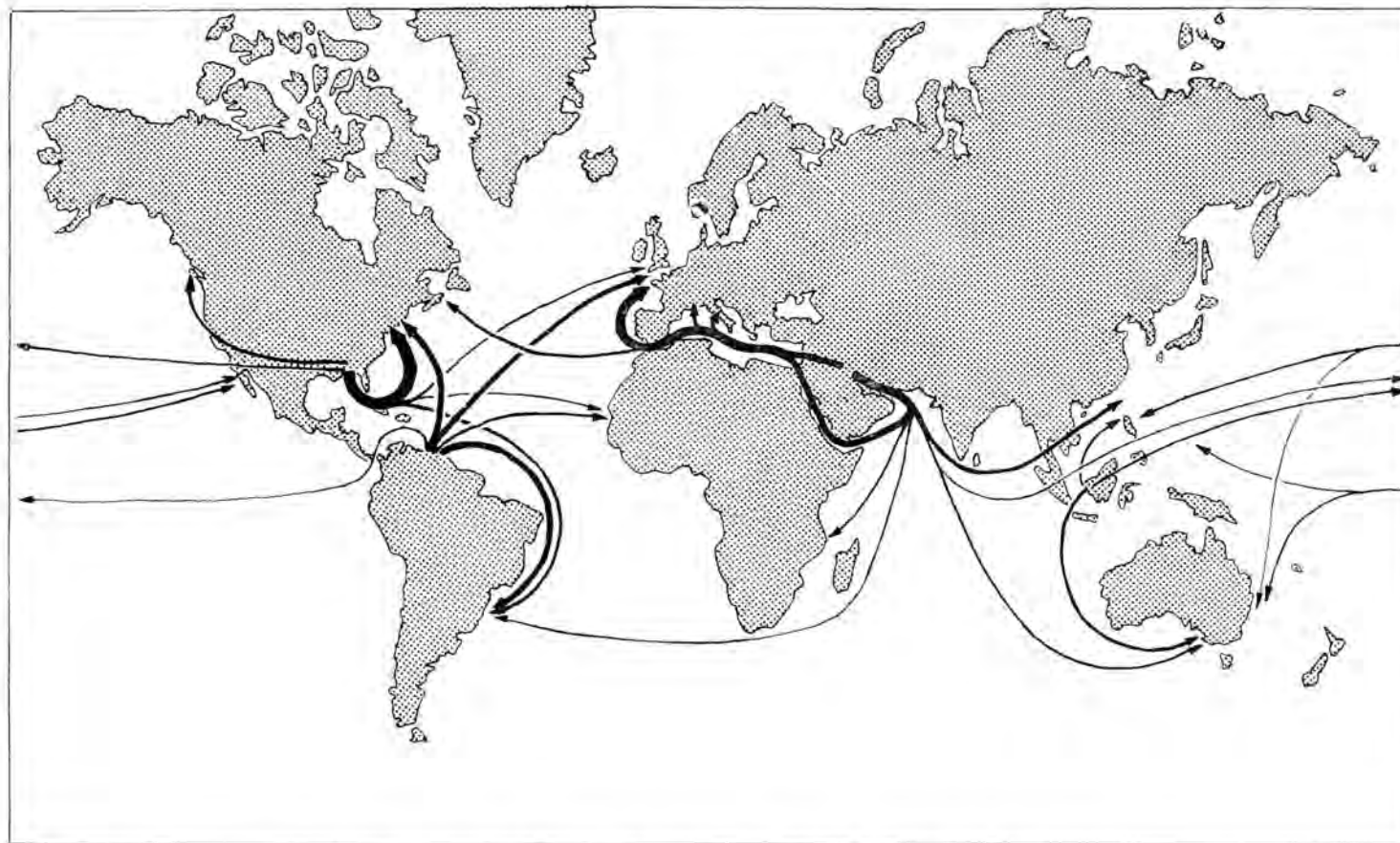
Il existe donc dans le milieu marin des processus de dégradation des hydrocarbures qui permettent une certaine « auto-épuration » de l'eau de mer, mais cette décontamination est trop lente pour oxyder intégralement les millions de tonnes de polluant déversées chaque année. Les nappes d'hydrocarbures qui dérivent à la surface des océans sous les effets cumulés des vents et des courants marins ont donc bien des chances d'échouer à la côte avant leur complète dégradation.

EXTENSION GÉOGRAPHIQUE.

On ne doit pas être surpris, après un examen même superficiel des principales voies de navigation utilisées par les pétroliers (voir carte 1), de constater que la méditerranée et l'Atlantique-Nord sont tout particulièrement contaminés. Une fraction importante des côtes européennes est soumise à une pollution chronique. Elle se montre particulièrement sévère sur les rivages des mers fermées (Méditerranée, Mer Baltique, Mer du Nord) ainsi que le long des côtes exposées aux grands courants océaniques comme la bordure atlantique de la France et de l'Angleterre. Dès 1936, sur 83 plages inspectées en Grande-Bretagne, 21 seulement étaient propres, 32 peu ou moyennement mazoutées et 39 sévèrement polluées. Quant au littoral français de l'Atlantique et de la Manche, on estime qu'il est contaminé de façon chronique sur les deux tiers ou les trois quarts de sa longueur.

On a signalé également la présence de mazout en Amérique dans le Golfe du Mexique, sur les côtes de Louisiane et sur la côte du Pacifique, le long du rivage californien. Le Golfe Persique et la Mer Rouge, sur la voie de transit de la plupart des pétroliers qui ravitaillent l'Europe sont naturellement très pollués.

De nombreuses enceintes portuaires sont aussi mazoutées : Le Havre et l'estuaire de la Seine, Naples et son Golfe, Singapour,



Carte 1. — Trafic mondial du pétrole, d'après le « Report of the committee on the prevention of pollution of the sea by oil ». Londres, 1953.
L'épaisseur des traits est proportionnelle au tonnage transporté.

Manille, Yokohama, Sydney, Pearl-Harbour, pour citer quelques exemples. A la vérité, le problème de la pollution des mers par les hydrocarbures est international à la fois pas son extension et son acuité.

LES CONSEQUENCES BIOLOGIQUES DE LA POLLUTION

MODIFICATION DU MILIEU.

Le mazout répandu en mer forme une couche continue d'épaisseur infime. Vis-à-vis de la masse d'eau sous-jacente, la pellicule de mazout possède quelques propriétés physiques particulières : abaissement de la tension superficielle au niveau de la surface eau/air, opacité variable suivant l'origine du produit polluant, imperméabilité interrompant les échanges gazeux entre l'atmosphère et l'eau de mer.

La localisation en surface des nappes de mazout et leur action sur la tension superficielle les rendent particulièrement nocives par rapport à un certain nombre d'organismes vivant à la limite de l'eau et de l'air, qui constituent ce que les océanographes appellent le « neuston ». Avec les méduses et nombre d'autres invertébrés moins spectaculaires, disparaissent également les pontes et les alevins de certains poissons.

L'opacité du film d'hydrocarbures a des répercussions sur le métabolisme des algues. On note parfois une diminution de la productivité du phytoplancton. Des expériences réalisées à la Station Biologique de Roscoff ont montré qu'un certain nombre d'algues littorales recouvertes dans des proportions diverses par une pellicule de mazout n'ont qu'une activité photosynthétique très restreinte par rapport à celle des témoins non mazoutés.

En fait, les hydrocarbures sont encore plus nocifs par leur action inhibitrice sur le renouvellement des gaz dissous dans l'eau et principalement l'oxygène. De plus, l'oxydation de ces hydrocarbures par les bactéries aggrave encore la situation. En effet, l'oxydation complète d'1 mg d'hydrocarbure exige 3 à 4 mg d'oxygène que les bactéries puisent nécessairement dans l'eau ambiante. Etant donné qu'un litre d'eau de mer renferme à 15° C. 8 mg d'oxygène, il faudra pour assurer la dégradation complète d'un litre de mazout tout l'oxygène compris dans 400.000 l. soit 400 m³. On comprend aisément dans ces conditions qu'il se crée assez rapidement dans les zones polluées un milieu appauvri en oxygène dont le taux peut tomber à 0,5 mg par litre ou même moins, au lieu de 8 mg par litre. L'appauvrissement en oxygène détermine la fuite des poissons et la mort par asphyxie de la plupart des organismes planctoniques.

L'action du mazout sur les peuplements végétaux et animaux des zones côtières dépend de l'intensité et de la permanence de la pollution. Dans les endroits contaminés occasionnellement, on constate des destructions localisées au niveau de l'estran. Le taux de la photosynthèse des algues enrobées sous un manchon de mazout diminue considérablement ou s'annule. Certains animaux meurent ou disparaissent. La plupart des Crustacés Décapodes, crabes, crevettes, langoustes paraissent très sensibles, de même que certains Mollusques : Ormeaux et Couteaux (*Ensis*, *Solen*) et divers Oursins et Etoiles de mer. L'action du mazout sur les Litto-

rines (Mollusques Gastéropodes) ainsi que sur les Balanes et les Chtamales (Crustacés Cirripèdes) est très controversée : elle dépend non seulement de l'espèce étudiée, mais également de l'origine et de la nature du polluant et aussi des conditions d'expérience. La majorité des Lamellibranches comestibles, moules, huîtres, coques, etc..., paraissent très résistants et ils peuvent concentrer une certaine quantité d'hydrocarbures dans leur tissu où l'on a pu en doser jusqu'à 1 mg par kg. On a cité, à plusieurs reprises, l'existence de mollusques inconsommables en raison de leur contamination, aussi bien sur les côtes anglaises que françaises. Les poissons, du moins à l'état adulte, paraissent échapper à l'action directe du mazout dans la plupart des cas. On a cependant constaté chez plusieurs espèces des dépôts de mazout sur les branchies ou dans le tube digestif et relevé des exemples de mortalité massive. Enfin, il ressort à la suite d'expériences récentes que les larves et les embryons de divers animaux sont 10 à 100 fois plus sensibles que les adultes au manque d'oxygène et à la pollution.

Le 29 mars 1957, un pétrolier américain, le *Tampico Maru*, s'échouait devant une petite crique de la Baja California au N.-O. du Mexique où se déversèrent jusqu'en décembre 9,000 tonnes de gas-oil. La pollution extrêmement sévère, puisqu'elle se concentra uniquement sur un kilomètre de côte, provoqua une destruction massive anéantissant les effectifs des deux tiers des espèces littorales. Après plusieurs années, les effets du mazoutage étaient encore décelables par des anomalies du peuplement végétal et animal. En 1964, sur environ 150 espèces présentes avant la catastrophe, 7 n'étaient pas encore réapparues.

Le problème est beaucoup plus grave dans les localités soumises à une pollution permanente comme les ports ou les déversoirs de certaines raffineries. En raison de la persistance de la pellicule de mazout, l'eau sous-jacente constitue fréquemment un milieu quasiment anaérobie ou tout au moins asphyxique qui détermine à brève échéance une rupture irréversible de l'équilibre biologique. La plupart des espèces animales et végétales disparaissent rapidement. Ne persistent et se développent que certaines formes particulièrement résistantes, telles que les algues filamenteuses du genre *Ectocarpus* (Phéophycée) ou l'Annélide Polychète *Capitella capitata*, espèce caractéristique des vases putrides très désoxygénées. La plupart des poissons s'enfuient comme on l'a constaté en Baie de Seine ou dans l'Etang de Berre et l'on note chez ceux qui restent une fréquence anormalement élevée de lésions cancéreuses.

TOXICITÉ.

Le problème de la toxicité des hydrocarbures est extrêmement complexe. Il faut tout d'abord distinguer, ce qui n'est pas toujours facile, la toxicité propre du mazout et celle des détergents qu'on a pu éventuellement y ajouter. D'autre part, l'effet peut être immédiat ou comme dans le cas des hydrocarbures cancérogènes, à longue échéance.

1. Le mazout.

On admet habituellement que les hydrocarbures ont une toxicité faible ou nulle pour les organismes marins et que leur nocivité est due essentiellement à l'appauvrissement des masses

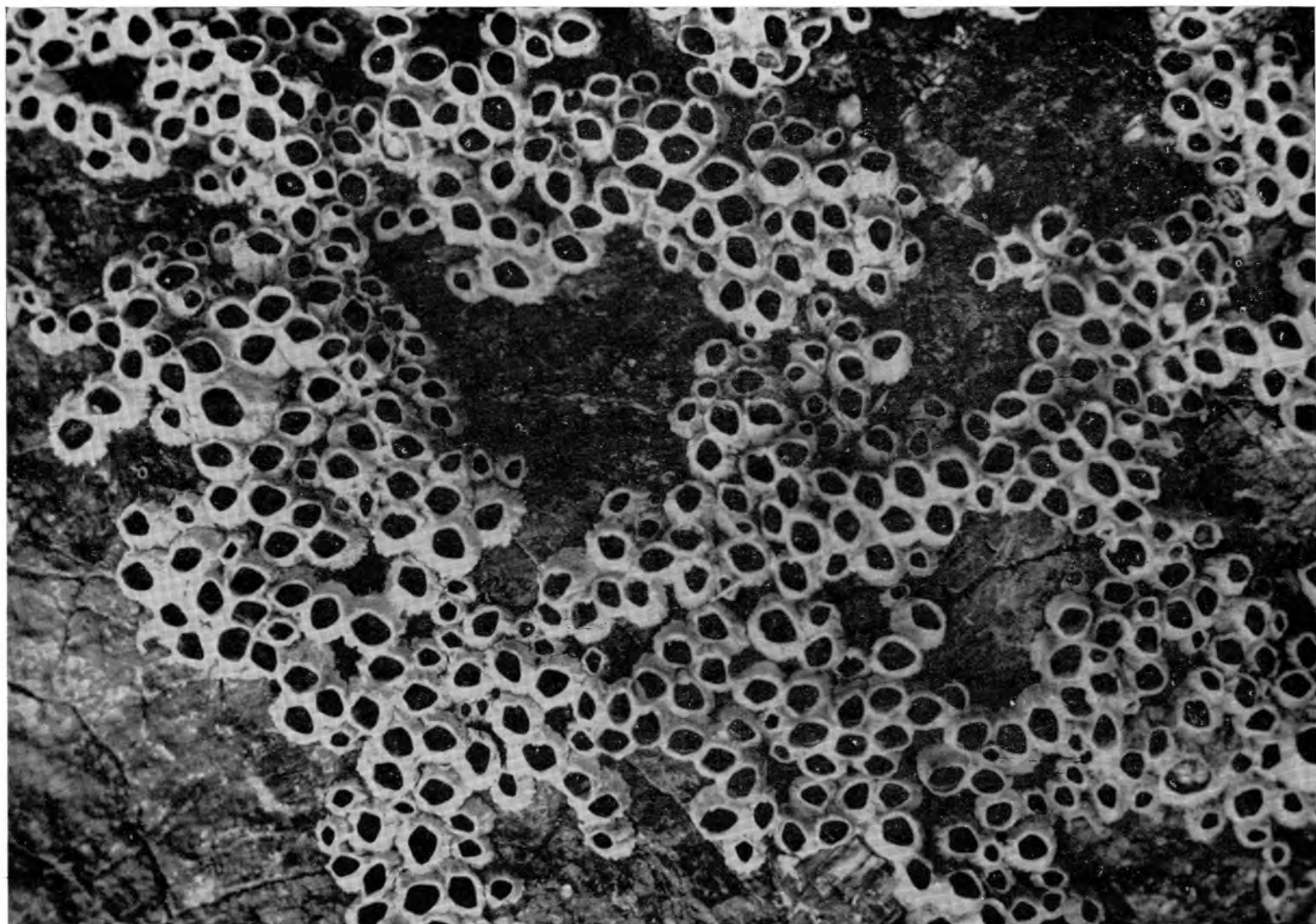
d'eau en oxygène. Cependant des observations faites à l'occasion de l'échouage du *Tampico Maru* ont mis en évidence des destructions dans la zone de l'estran, mais aussi jusqu'à une profondeur de 5 à 10 m. Des expériences de contrôle réalisées sur *Macrocystis pyrifera* (Algue Phéophycée) en laboratoire, ont montré qu'un film de mazout de 0,02 mm d'épaisseur ne modifiait pas la photosynthèse au bout de 24 h, mais qu'il la supprimait totalement après un délai de 3 jours. Une émulsion du même mazout à 1 % dans l'eau de mer réduit la photosynthèse des *Macrocystis* de 73 % après 24 h et l'annule en 3 jours ; une émulsion à 1 % produit les mêmes effets. De telles expériences, poursuivies également sur des Oursins et d'autres invertébrés, soulignent donc l'existence d'une phase toxique, soluble dans l'eau au moins en partie et constituée par du phénol et des crésols. Ces corps ont des effets sensibles pour des concentrations de l'ordre de 1/10.000^e et on a vérifié que des concentrations 10 ou 100 fois plus élevées inhibent la photosynthèse des algues. On a également mis en évidence que certains hydrocarbures oxydés, chlorés ou azotés, pouvaient, à des concentrations de l'ordre de 1/10.000^e à 1/100^e, empêcher la fixation des larves de certains organismes sessiles. Il ne faut cependant pas perdre de vue que la composition chimique des hydrocarbures varie dans de larges limites suivant leur origine et qu'ils n'ont pas tous le même degré de toxicité vis-à-vis des peuplements marins.

2. Les détergents.

Les détergents utilisés à des fins industrielles comprennent deux parties : l'une chimiquement active ou syndet, de nature variable, représente environ 20 % du total, le reste étant constitué par un solvant, mélange d'hydrocarbures cycliques aromatiques et saturés extraits du kérosène. L'avantage des détergents est de permettre la mise en suspension du mazout dans l'eau, évitant la formation des nappes dont on a vu plus haut la nocivité. En aucun cas ils n'assurent la dégradation des hydrocarbures qui reste toujours l'œuvre des bactéries. Mais les inconvénients sont nombreux. On remarquera tout d'abord qu'ils sont constitués pour 80 % d'hydrocarbures et qu'ils augmentent la pollution dans des proportions notables puisque la solubilisation d'un litre de mazout peut exiger jusqu'à un demi-litre, exceptionnellement un litre de solvant. La plupart d'entre eux diminuent la capacité de réoxygénation de l'eau de mer et enfin, ce qui est encore plus grave, ils sont tous nocifs pour les animaux aquatiques aux doses où ils sont employés. Les syndets de la majorité des détergents actuels sont à base d'alkyl-aryl-sulfonates, relativement toxiques et persistants, car ils ne sont pas décomposés par les bactéries. La partie active des détergents « doux » présente l'avantage d'être biodégradable, c'est-à-dire décomposable par l'activité bactérienne. Elle se compose d'un dérivé du nonyl-phénol-polyoxyéthylène condensé dont la toxicité testée sur des poissons rouges, est assez variable et dépend du rapport de la concentration de la fraction polyoxyéthylénique à la fraction alcoolique. Plus ce rapport est élevé, moins le produit est toxique : pour un rapport de 4 à 10, la mortalité apparaît à une concentration de détergent

Des Balanes (*Chtamalus stellatus*) tuées par l'emploi de détergents en Cornouailles anglaise.

(Photo N. A. Holme)



de 5 à 10 millionnièmes ; avec un rapport de 21, la mortalité ne survient qu'à une concentration de 650 millionnièmes et pour un rapport de 45, la concentration létale passe alors à 2.500 millionnièmes.

D'une façon générale, on admet que la toxicité des divers détergents utilisés apparaît pour les animaux aquatiques à des dilutions de l'ordre de 1 à 100 millionnièmes. Mais on a montré chez un Salmonidé que les alevins à l'éclosion étaient 10 fois plus sensibles que les adultes. De même, chez divers mollusques, qui présentent souvent une résistance remarquable aux hydrocarbures et aux détergents, les larves sont sensibles à des concentrations très faibles de l'ordre de 1 à 2 millionnièmes. Des expériences récentes ont permis de retrouver des réactions analogues chez d'autres invertébrés marins.

3. Les hydrocarbures cancérogènes.

Mais c'est la pollution par les hydrocarbures cancérogènes qui pose à l'heure actuelle les problèmes les plus préoccupants, en raison de ses répercussions directes sur la santé publique et des menaces qu'elle fait peser sur la vie économique de certaines régions littorales.

S'il y a déjà longtemps que les propriétés cancérogènes de certains hydrocarbures polycondensés ont été reconnues, leur détection et en particulier celle du benzo 3-4 pyrène dans les eaux, les sédiments et les organismes marins remonte à une date bien plus récente. L'origine de ce benzopyrène doit être recherchée dans les rejets d'échappement et dans les huiles de vidange car ce corps, qui n'existe pas normalement dans le mazout, se forme à une température de 400 à 500° C. Les recherches entreprises ont révélé des contaminations importantes dans certains sédiments des côtes françaises. On en décèle en particulier dans toutes les zones portuaires : par exemple, 15 microgrammes (1) pour 100 g de sédiment sec en rade de Brest, 171 microgrammes pour le même poids de vase récolté au fond du port de Douarnenez. Des doses de l'ordre du mg ne sont pas exceptionnelles dans certains sables particulièrement contaminés.

Mais, et c'est là que réside le principal danger de ce type de pollution, les animaux microphages qui filtrent les particules microscopiques en suspension dans l'eau de mer (certains Annélides Polychètes, les Lamellibranches et les Ascidies) sont capables de concentrer dans leurs tissus des quantités appréciables de benzopyrène. D'autres espèces, comme le Mulet (*Mugil*), se contaminent en « lèchant » la pellicule superficielle de la vase dans des zones portuaires.

La contamination des mollusques comestibles est en relation directe avec l'intensité de la pollution des sédiments. Les mollusques des zones peu polluées ne renferment normalement que quelques microgrammes de benzopyrène, localisés presque exclusivement dans la coquille, et des traces indosables dans le reste du corps. Au voisinage des ports la concentration du benzopyrène peut atteindre des valeurs très élevées : 23 microgrammes (dont 5,5 pour le corps) dans des moules provenant de Dunkerque, 40 microgrammes et plus dans les moules de l'estuaire de la Rance ; en Rade de Brest le corps de coquilles Saint-Jacques en contient 5 microgrammes et celui des pétoncles 9 microgrammes.

(1) Microgramme : unité de poids équivalent à 1 millionième de gramme.

Les invertébrés planctoniques se contaminent également en ingérant les particules de benzopyrène en suspension dans l'eau et l'on découvre fréquemment un taux très élevé de cet hydrocarbure dans leur corps : des quantités de 35 à 40 microgrammes pour 100 g d'échantillon sont courantes à Dunkerque, dans l'estuaire de la Rance, en Rade de Villefranche et de 60 microgrammes en Baie de Naples. Il semble assuré que l'hydrocarbure cancérigène suit les chaînes alimentaires classiques, car on le retrouve dans le corps de divers poissons : Lançons, Morues, Sardines... qui n'ont guère la possibilité de se contaminer autrement.

Le seuil de toxicité du benzo 3-4 pyrène vis-à-vis de l'homme est encore inconnu, mais on sait que des doses répétées de 1 microgramme sont cancérigènes chez la souris.

DESTRUCTION DES OISEAUX DE MER.

La destruction des oiseaux de mer est avec la dégradation des sites un des aspects les plus spectaculaires de la pollution par les hydrocarbures. Le mécanisme de la mort des oiseaux mazoutés a été élucidé, il y a une trentaine d'années. Les oiseaux résistent au froid grâce au matelas d'air emprisonné dans leur plumage. Les plumes imprégnées de mazout adhèrent les unes aux autres et ne forment plus un écran protecteur. L'oiseau peut encore résister dans l'air, à condition que la température de celui-ci ne soit pas trop basse ; en revanche dans l'eau il se refroidit très rapidement à cause de la grande capacité calorifique de celle-ci. La température interne de l'oiseau tombe, son métabolisme diminue et il finit par succomber de froid.

La liste des espèces aviennes victimes du mazoutage est très longue, mais en raison de leur mode de vie, ce sont surtout les Anatidés : Canards, Macreuses, Harles, etc... et les Alcidés comme les Petits Pingouins, Guillemots, Macareux et Mergules qui sont les plus touchés. Il est vraisemblable que beaucoup d'oiseaux pélagiques (Stercoraires, Pétrels et Puffins, etc...) sont dans le même cas, mais on manque de précisions à leur sujet.

Sur les côtes anglaises, on a recensé durant l'hiver 1951-52 environ 100.000 oiseaux mazoutés et l'on estime qu'il en meurt ainsi tous les ans, 50.000 à 250.000. Une colonie de Mergules de 250.000 oiseaux a été décimée en 2 ans sur les côtes du Newfoundland (Canada). Des destructions sont signalées régulièrement sur les côtes danoises, hollandaises, belges et bretonnes. Une collision entre un pétrolier et un autre bateau provoque la mort de 10.000 oiseaux près de San-Francisco, des rejets intempestifs font 30.000 victimes en Suède et plus de 250.000 chez les Anatidés en hivernage dans la Mer du Nord. A l'heure actuelle, de nombreux ornithologues considèrent que le déclin progressif des Alcidés depuis une cinquantaine d'années sur les côtes de l'Europe occidentale est une répercussion directe de la pollution des mers par les hydrocarbures.

Devant l'ampleur des dégâts, dénoncés dès 1915, le gouvernement américain prenait en 1926 l'initiative d'une « Conférence préliminaire de la pollution des eaux navigables par le pétrole ». Conscients de la gravité du problème, 13 pays dont la France participaient à cette réunion. Afin de limiter les dégâts sur le littoral, la Conférence proposait d'interdire tous les rejets d'hydrocarbures dans une zone située à moins de 50 milles marins des côtes.

En 1954, sur la proposition de la Grande-Bretagne particulièrement touchée par la pollution, une nouvelle Conférence, réunissant 33 pays, modifia l'extension des zones interdites dont la limite, dans certains secteurs, était reportée à 100 milles des côtes. Elle rédigea également une « Convention internationale pour la prévention de la pollution des eaux de la mer par les hydrocarbures ». En 1962, 16 pays seulement en avaient ratifié les accords. Les mesures proposées par la Convention étaient évidemment illusoire, car elles étaient ignorées par la plupart des pays et aussi parce qu'il n'avait pas été tenu compte dans la délimitation des zones interdites de l'étude des courants et des vents responsables du déplacement des nappes de pétrole.

Une nouvelle Conférence était indispensable et elle réunit en 1962 les représentants de 56 nations. Un certain nombre d'amendements furent apportés à la Convention concernant en particulier :

- l'extension des zones d'interdiction dont la largeur à partir des côtes est portée de 50 à 100 milles ;

- la délimitation de certaines zones interdites déterminées en fonction d'études océanographiques : Méditerranée occidentale, Mer Baltique, Mer du Nord, Manche et Golfe de Gascogne jusqu'à 20° de longitude O. et 46° de latitude N. (voir carte 2) ;

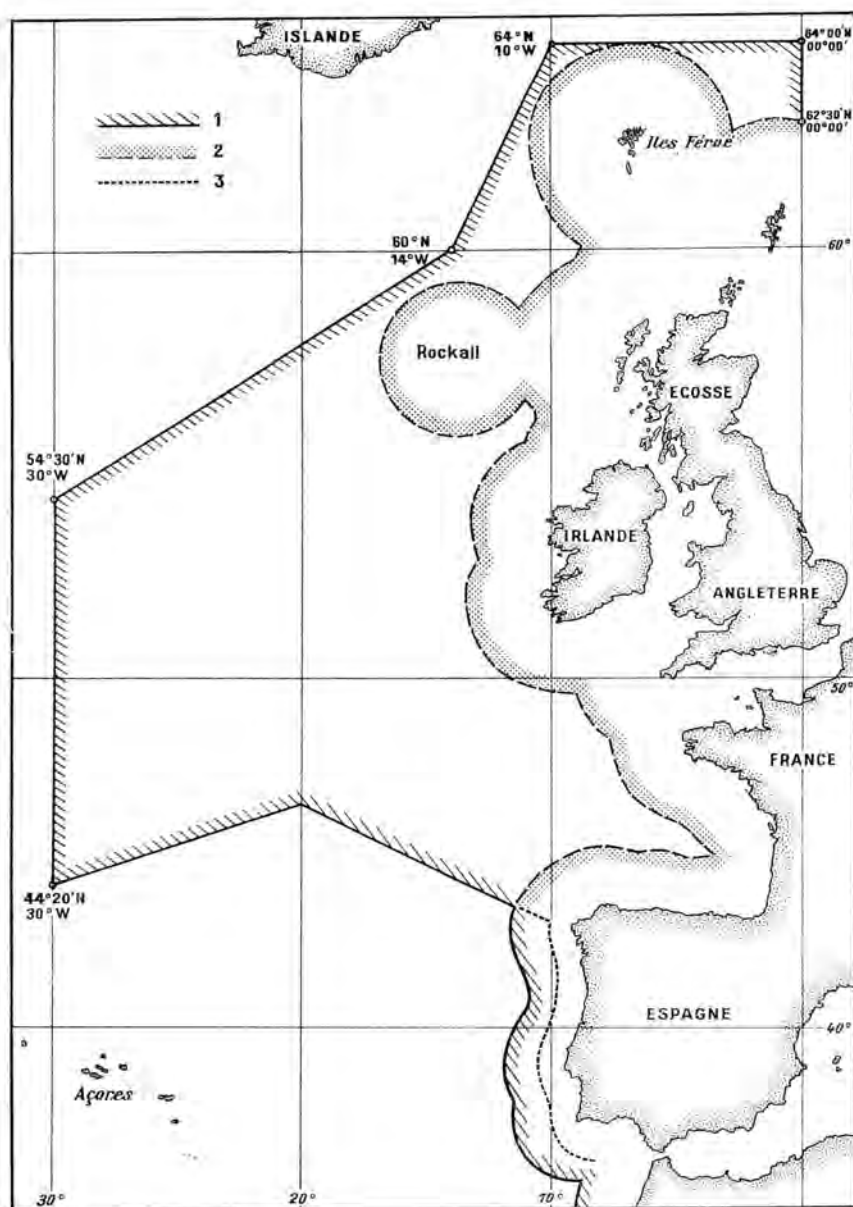
- l'interdiction absolue des rejets d'hydrocarbures ou de mélanges d'hydrocarbures pour tous les navires jaugeant 20.000 tonneaux ou plus ;

- l'interdiction de transporter de l'eau de lest dans les soutes à combustible ;

- la création d'installations portuaires destinées à recueillir les résidus pétroliers, en particulier aux ports de chargement et de réparation des tankers.

Depuis 1962, la situation s'est modifiée à bien des égards. Les pétroliers pratiquent actuellement le lavage des citernes par le système dit « load and top » qui consiste à recueillir les eaux de lavage et de rinçage dans un des réservoirs où les résidus s'accumulent par décantation. L'eau est alors rejetée à l'extérieur puis le pétrole pompé à nouveau dans une des citernes dont le plein est complété lors du nouveau chargement. Le pétrole ainsi récupéré sera repris au retour par la raffinerie. Cette technique, qui n'est pas parfaite puisqu'elle rejette à la mer des eaux encore fortement contaminées, permet néanmoins la récupération à la fin du lavage d'environ 60 % des produits pétroliers.

De plus, la réalisation d'un séparateur efficace mis au point après plusieurs années de recherches permet d'envisager une amélioration décisive de ce procédé, qui présente d'ailleurs un intérêt économique en raison des quantités de mazout qu'il permet de récupérer. Une grande compagnie pétrolière a déjà monté cet appareil sur deux de ses navires où ils sont à l'essai. Un modèle plus petit, destiné aux paquebots et aux cargos, permettra la décontamination des eaux de cale et des eaux de



Carte 2. — Zones d'interdiction des rejets d'hydrocarbures dans l'Atlantique, d'après la Convention de 1962.

- Légende. — 1 : Limite des zones de rejets interdites aux pétroliers.
 2 : Limite des zones de rejets interdites aux autres navires.
 3 : Limite provisoire au large de la Péninsule Ibérique, en attendant la ratification de la Convention par l'Espagne et le Portugal.

(d'après cartographie O.I.C.N.M. 1962 et G. TENDRON)

circulation des machines. Un certain nombre de navires en construction en sont d'ores et déjà équipés. On peut donc raisonnablement espérer que d'ici quelques années, les sources principales de la pollution massive des océans par les hydrocarbures diminueront de façon sensible. Par ailleurs aucun argument technique ne peut s'opposer désormais à l'interdiction absolue du rejet des hydrocarbures.

Malheureusement, dans bien d'autres domaines, la situation actuelle ne permet pas d'envisager l'avenir avec beaucoup d'optimisme. C'est ainsi, qu'en réponse aux obligations de la Convention, deux stations de dégazage ont été construites en France, au Havre et à Brest. On sait également qu'elles ont dû fermer leur porte après quelques années d'un fonctionnement très déficitaire.

De même, la pollution des zones portuaires et industrielles demeure extrêmement préoccupante en raison de sa haute teneur en hydrocarbures cancérigènes. Mais il paraît difficile d'imposer la présence d'un séparateur sur toutes les catégories de bateaux. Il semblerait que l'on soit mieux armé contre les déversements industriels, une législation assez stricte interdisant tous rejets de déchets ou de produits toxiques à la mer. Or il est parfaitement évident qu'elle est totalement ignorée ou très incomplètement appliquée : pour s'en convaincre il suffit d'examiner la végétation et la faune marine à la sortie des effluents d'usines ou aux abords des raffineries côtières. Et le plus souvent les pouvoirs publics, représentés en l'occurrence par les services préfectoraux, font preuve dans ce domaine d'une inertie considérable. Déjà le Bassin de Thau a été déclaré insalubre en raison de sa contamination par les hydrocarbures. Si l'on n'y prend garde, l'interdiction de la pêche côtière et de la conchyliculture, avec ses répercussions économiques et sociales, menace une part importante du littoral français.

BIBLIOGRAPHIE

- ADAM (1936). The pollution of the sea and shore by oil. *Rep. Comm. Roy. Soc., Lond.*
- ANONYME (1958). Pollution des eaux de la mer par les hydrocarbures. *Bull. Centre belge Et. document. eaux*, vol. 88 : 133-136.
- « AUDUBON EDITOR » (1957). The menace of oil pollution. *Aud. Mag.*, vol. 59 : 24-35.
- AUSTIN, MEEHAN et STOCKHAM (1954). Biological oxydation of oil-containing waste waters. *Ind. eng. Chem.*, vol. 43 : 316.
- BAKER et WESTON (1956). Biological treatment of petroleum wastes. *Sewage ind. Wastes*, vol. 28 : 58-69.
- BRUMS (1959). The numbers of oiled birds found dead on the coast of the Nederland, 1948-58. *Proc. int. Conf. Oil-poll. Sea, Copenh.* : 75-76.
- CAHNMANN et KURATSUME (1957). Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in oysters collected in polluted water. *Anal. Chem.*, vol. 29 : 1312-1317.
- CALLAGHAN (1961). International aspects of oil pollution. *Trans. N. Amer. Wildl. Conf.*, vol. 26 : 328-342.
- CHASSÉ, L'HARDY-HALOS et PERROT (1967). Esquisse d'un bilan des pertes biologiques provoquées par le mazout du « Torrey Canyon » sur le littoral du Trégor. *Penn ar Bed*, vol. 6, n° 50.
- CHIPMAN et GALSTOFF (1949). The effects of oil mixed with carbonised sand on aquatic animals. *U. S. Fish. Wildl. Serv., Spec. sc. Rep.*, vol. 1 : 1-50.
- CLENDENNING (1958). The effects of waste discharges on kelp. *Fuel oil. Univ. Calif. Inst. mar. Resources*, vol. 59, n° 4 : 4-12.

- GLENDENNING (1960). The effects of waste discharges on kelp. Phenol and Cresols. *Univ. Calif. Inst. mar. Resources*, vol. 60, n° 4 : 45-47.
- GLENDENNING et NORTH (1960). The effects of wastes on the giant kelp, *Macrocystis pyrifera*. In : Waste Disposal in the marine Environment. Pergamon ed.
- DENNIS (1959). Oil pollution survey of the U. S. atlantic coast with special reference to Southeast Florida coast conditions. *Amer. Petr. Inst., Wash.*
- DE RIDDER (1961). Victimes aîlées du mazout. *Nat. belges*, vol. 42, n° 4 : 145-156.
- GALSTOFF, PRYTHIERICH, SMITH et KOEHRING (1936). Effects of crude oil on oysters in Louisiana waters. *Bull. U. S. Bur. Fish.*, vol. 18 : 143-210.
- GEORGE (1961). Oil pollution of marine organisms. *Nature, Lond.*, vol. 192 : 1209.
- HAUTEKIE (1955). Vijf jaar stookolieslachten. *De Wierwaal*, vol. 11 : 289-294.
- HAWKES (1961). A review of the nature and extent of damage caused by oil pollution at sea. *Trans. N. Amer. Wildl. Conf.*, vol. 26 : 343-355.
- HIDU (1965). Effects of synthetic surfactants on the larvae of clams (*M. mercenaria*) and oysters (*C. virginica*). *J. Wat. Poll. Contr. fed.*, vol. 37 : 262-270.
- L'HARDY (1962). Le rôle du mazout dans la destruction des oiseaux marins sur le littoral du Finistère. *Penn ar Bed*, vol. 3, n° 29 : 187-191.
- LINCOLN (1936). Effects of oil pollution on water fowl. *Proc. N. Amer. Wildl. Conf.*, vol. 1 : 555-564.
- LUDZACK et KINKAD (1956). Persistence of oily wastes in polluted water under anaerobic conditions. *Ind. eng. Chem.*, vol. 48 : 263-267.
- MAKIN (1950). Effects of crude oil and bleedwater on oysters and aquatic plants. *Texas A. et M. Res. Found.*
- MALLET (1961). Recherches des hydrocarbures polybenzéniques du type benzo 3-4 pyrène dans la faune des milieux marins (Manche, Atlantique et Méditerranée). *C. R. Acad. Sc. Paris*, vol. 253 : 168-170.
- MALLET (1966). Pollution marine par les hydrocarbures polycondensés du type benzo 3-4 pyrène de la côte occidentale française. Leur incidence sur le milieu biologique, et en particulier le plancton. 85^e Congrès de l'A.F.A.S., Rouen.
- MALLET et LAMI (1964). Recherches sur la pollution du plancton par les hydrocarbures polybenzéniques du type benzo 3-4 pyrène dans l'estuaire de la Rance. *C. R. Soc. Biol.*, vol. 158 : 2261-2262.
- MALLET et LE THEULE (1961). Recherche du benzo 3-4 pyrène dans les sables vaseux marins des régions côtières de la Manche et de l'Atlantique. *C. R. Acad. Sc. Paris*, vol. 252 : 565-567.
- MALLET et SARDOU (1964). Recherche sur la présence de l'hydrocarbure polybenzénique benzo 3-4 pyrène dans le milieu planctonique de la région de la baie de Villefranche (Alpes-Maritimes). *C. R. Acad. Sc. Paris*, vol. 258 : 5264-5267.
- MANWELL et BAKER (1967). Oil an detergent pollution. Past, present, politics and prospects. *J. Devon Trust Nat. Cons.*, Suppl. : 39-72.
- MARCHETTI (1964). Investigation of the toxicity of some surfactants to fish. *Riv. ital. Sost. grasse*, vol. 41 : 533-542.
- MARCHETTI (1965). The toxicity of nonylphenol ethoxylate to the developmental stages of the rainbow trout *Salmo gairdnerii*. *Ann. appl. Biol.*, vol. 55.
- MOFFIT et ORR (1938). Recent disastrous effects of oil pollution of birds in San Francisco Bay region. *Calif. Fish. Game*, vol. 24 : 239-244.
- MÖRZER-BRUYN (1959). Stookolievogels op de nederlandse kust. *De levende natuur*, vol. 62, n° 8 : 172-178.
- NELSON-SMITH (1967). Oil, emulsifiers and marine life. *J. Devon Trust Nat. Cons.*, Suppl. : 29-33.
- NORTH (1961). Successive biological changes observed in a marine cove exposed to large oil spillage. *Univ. Calif. Inst. mar. Resources*, vol. 61, n° 6 : 1-33.
- NORTH, NEUSHUL et GLENDENNING (1965). Successive biological changes observed in a marine cove exposed to a large spillage of mineral oil. *Symp. Poll. mar. Micro-org. Prod. pétr. Monaco* : 335-354.
- PEDRIAU (1964). Pollution marine par les hydrocarbures cancérigènes du type benzo 3-4 pyrène. Incidences biologiques. *Cah. océan.*, vol. 16 : 205-229.

- PORTIER (1934). Mécanisme de la mort des oiseaux dont le plumage est imprégné de mazout. *Bull. Soc. Nat. Accl.*, vol. 11.
- PORTIER et RAFFY (1934). Mécanisme de la mort des oiseaux dont le plumage est imprégné de carbures d'hydrogène. *C. R. Acad. Sc. Paris*, vol. 198 : 851-853.
- ROGER (1965). Contribution à l'étude des pollutions des mollusques par les produits pétroliers. *Symp. Poll. mar. Micro-org. Prod. pétr. Monaco* : 367-369.
- STOONER (1967). Biological effects of the « Torrey Canyon » disaster. *J. Devon Trust Nat. Cons.*, Suppl. : 12-19.
- SURBER et THATCHER (1963). Laboratory studies of the effects of Alkyl benzene sulfonate (ABS) on aquatic invertebrates. *Trans. amer. Fish. Soc.*, vol. 92 : 152-160.
- TUCK et LIVINGSTONE (1959). Oil pollution in Newfoundland. *Proc. Int. Conf. Gil. Poll. Sea, Copenh.* : 76-79.
- VASSEROT (1962). La pollution des animaux marins comestibles par des hydrocarbures cancérogènes. *Penn ar Bed*, vol. 3, n° 29 : 183-186.
- YOUNG (1964). Some effects of sewer effluent on marine life. *Calif. Fish and Game*, vol. 50 : 33-41.
- ZO BELL (1964). The occurrence, effects and fate of oil polluting the sea. *Adv. Wat. Poll. Res.*, vol. 3 : 85-118.