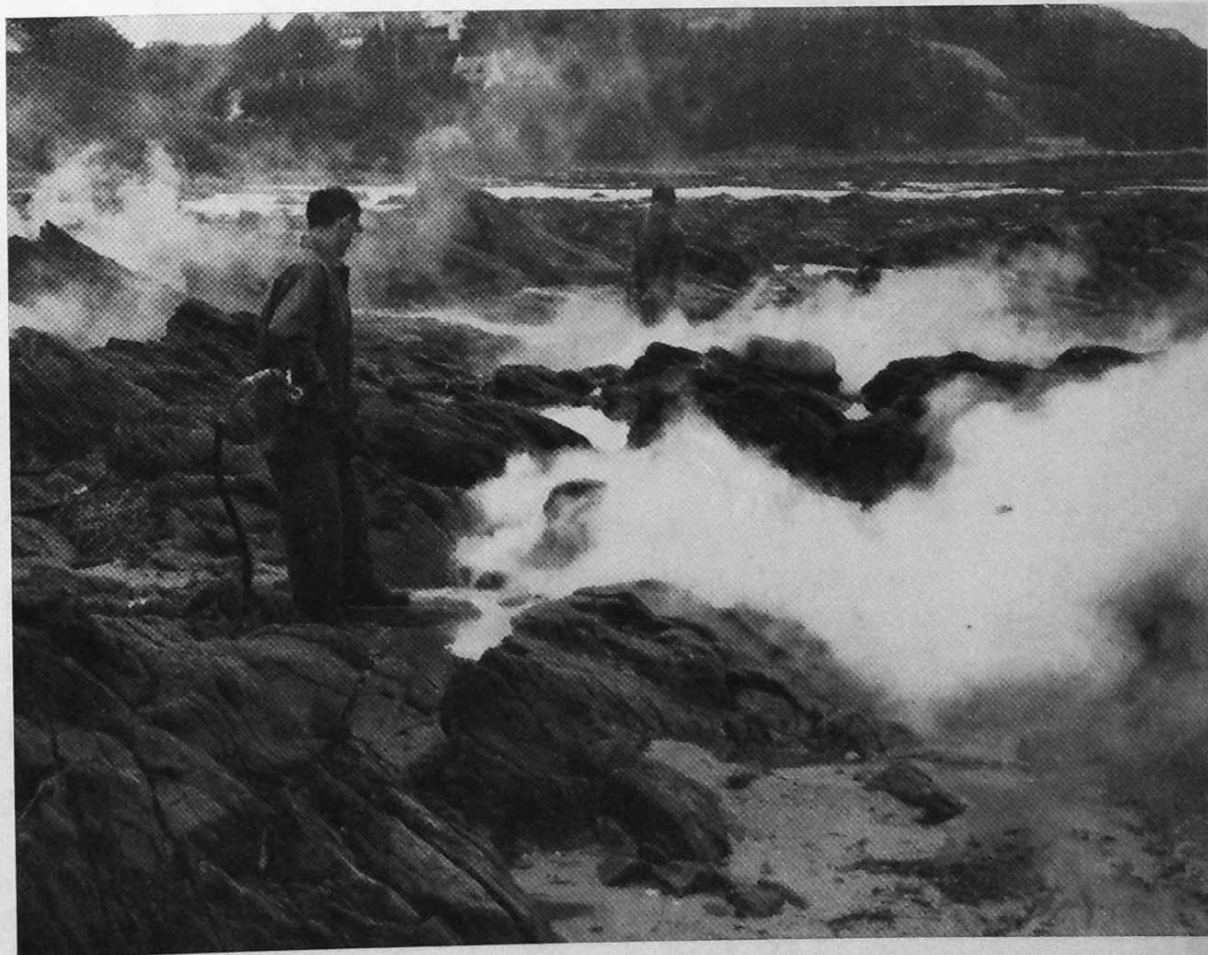


PENN AR BED

La pollution des mers
et des rivages



PENN AR BED

Revue régionale de Géographie, Sciences Naturelles, Protection de la Nature

NOUVELLE SÉRIE

VOLUME 6

N° 50

PUBLICATION TRIMESTRIELLE

14^e ANNÉE

FASCICULE 3

SEPTEMBRE 1967

SOMMAIRE

- A. LUCAS : MENACES SUR UN MILIEU VIVANT.
Cdu BRUSSON : LE PETROLE DU « TORREY CANYON » EN MER.
J. MOUNIER : LES FACTEURS CLIMATIQUES DE LA « MAREE NOIRE ».
N. A. HOLME : POLLUTION PAR LE MAZOUT DES COTES DE CORNOUAILLE ANGLAISE A LA SUITE DU NAUFRAGE DU « TORREY CANYON ».
A. LE PICARD : LA MAREE NOIRE DANS LES COTES-DU-NORD.
X... : LA MAREE NOIRE SUR LA COTE NORD DU FINISTERE.
Cl. CHASSE, M.-Th. L'HARDY-HALOS et Y. PERROT : ESQUISSE D'UN BILAN DES PERTES BIOLOGIQUES PROVOQUEES PAR LE MAZOUT DU « TORREY CANYON » SUR LE LITTORAL DU TREGOR.
J.-Y. MONNAT : EFFETS DU MAZOUT SUR LES OISEAUX MARINS.
J.-P. L'HARDY : LA POLLUTION DES OCEANS PAR LES HYDROCARBURES ET SES CONSEQUENCES BIOLOGIQUES.
M. AUBERT et J. AUBERT : ETUDE SUR LA DIFFUSION DES POLLUTIONS BACTERIENNES EN MER.
C. JOUANIN : EST-IL INEVITABLE QUE L'HUMANITE SOIT ASPHYXIEE PAR SES DECHETS ?

ANNÉE 1967

Cotisation-abonnement ordinaire	15 F
Cotisation-abonnement de soutien	20 F
Abonnement pour Bibliothèques et Collectivités	20 F
(Prix réduit pour Scolaires, Etudiants et cas spéciaux : 10 F)	

À verser à notre compte chèque postal :

S.E.P.N.B. - Penn ar Bed, Faculté des Sciences, Brest — C.C.P. Rennes 1361-60

NOTA. — Les abonnements (et cotisations-abonnements) sont tacitement reconduits, sauf ordre de suppression (ou démission). Ils partent du 1^{er} Janvier de l'année en cours.

Rédaction de « Penn ar Bed » :

Albert LUCAS, Faculté des Sciences, Avenue Le Gorgeu, 29 N Brest
et Jean-Pierre L'HARDY, Station Biologique, 29 N Roscoff

NOTRE COUVERTURE : Nettoyage à la vapeur d'eau de rochers pollués par le mazout (Locquirec, juin 1967).

(Photo Norman A. Holme)

Menaces sur un milieu vivant

par Albert LUCAS

Le 10 avril 1967, la France entière est consternée par cette nouvelle : la marée noire vient d'atteindre nos côtes, quelque part en Bretagne.

Dès lors, la presse écrite et parlée abreuve le public avide de détails pittoresques et entretient sa compassion ou son indignation en mettant l'accent, tour à tour, sur les oiseaux englués, les plages dévastées, la peine des riverains, les cris de protestation, les déclarations de notables. L'orchestration de l'événement est telle qu'elle entraîne des conséquences inattendues : mévente des produits de la mer, menaces pour la saison touristique de la Côte de granit. Bien vite on s'attache à redonner confiance au public et l'actualité se tourne vers d'autres sujets.

Ce n'est pas en compilant les reportages diffusés en avril et mai 1967, que l'on peut se faire une opinion exacte sur la « marée noire » : trop de passions se sont déclenchées à l'époque. Il appartenait donc à *Penn ar Bed* d'établir le bilan le plus complet et le plus objectif possible. Dans ce but nous avons décidé d'éliminer au maximum l'aspect passionnel ou sentimental et nous avons volontairement écarté les illustrations de choc. Toujours par souci d'objectivité nous avons fait appel à ceux qui, par leurs fonctions ou leurs connaissances, ont été amenés à étudier le phénomène. Aucun des articles n'a de caractère polémique. Cela ne veut pas dire que ce soient de froids rapports : les scientifiques, tout en restant objectifs, savent démontrer ce qu'ils ont compris. Dans les études qui suivent on verra combien d'erreurs ont été commises tant par les Britanniques que par les Français. Il est vraisemblable que si une catastrophe semblable se reproduisait, on agirait avec plus d'efficacité :

- en renonçant à employer les détergents,
- en renonçant aux tentatives pour faire brûler le pétrole brut émulsionné avec l'eau,
- en envoyant au plus vite, sur les lieux du sinistre, des navires équipés pour le pompage du pétrole en mer,
- en faisant couler les nappes de pétrole par des produits agglomérants et précipitants.

*
**

Nous ne pouvions passer sous silence l'affaire du « Torrey Canyon », qui eut des conséquences si lourdes sur la nature en Bretagne, mais nous aurions aussi manqué à notre mission en ne dénonçant pas ce scandale plus grave parce que caché et commis en toute connaissance de cause : la pollution permanente

des mers et des rivages. Déjà en 1962, nous avons consacré un numéro à *Penn ar Bed* aux « rejets d'hydrocarbures à la mer ». Cette fois-ci nous aurions voulu étudier la pollution marine sous tous ses aspects : pollution par les hydrocarbures, pollution bactériologique, pollution chimique, pollution atomique. Malheureusement, nous n'avons pas trouvé de collaborateurs pour étudier les deux derniers cas, bien qu'ils soient à nos yeux des plus importants. La pollution chimique, résultat de l'activité industrielle, constitue le plus grave poison pour certains fleuves, qui, à leur tour, ont provoqué la stérilisation d'estuaires, de fjords, ou de baies fermées. Mais le danger atomique est de loin le plus redoutable, car il menace non seulement la nature, mais aussi, directement, les hommes.

**

Depuis les origines, la mer est le réceptacle naturel de tous les déchets de l'activité humaine et jusqu'ici, grâce à ses propriétés intrinsèques, ce milieu vivant a résisté à toutes les pollutions sans grands dommages. Or, en cette seconde moitié du 20^e siècle, l'activité humaine est devenue si intense et si variée pour des raisons économiques et militaires, que la mer ne pourra plus jouer son rôle de réceptacle sans être profondément modifiée. Nous sommes à la veille d'une rupture d'équilibre si des mesures de sauvegarde de caractère international ne sont pas prises.

Lorsqu'un chimiste fait tomber de la soude, goutte par goutte, dans une solution acide contenant de la phtaléine incolore, rien ne change apparemment, quant tout à coup, une goutte supplémentaire fait virer la solution au rouge, mettant en évidence un changement de nature. Ainsi, pour l'instant, la goutte à goutte de la pollution ne modifie pas à nos yeux la composition de la mer, mais tout d'un coup, on s'apercevra qu'une goutte de trop l'aura transformée en poison pour certaines espèces. Ce processus s'est déjà réalisé localement. Il est à la veille de s'étendre.

Le pétrole du « Torrey Canyon » en mer

par le Capitaine de Frégate BRUSSON

Le pétrolier de cent soixante-dix mille tonnes « Torrey Canyon » s'est échoué sur les « Seven Stones » le 18 mars 1967, et c'est le 24 mai seulement que les dernières nappes de pétrole ont définitivement disparu de la surface de la mer. Pendant plus de deux mois, elles ont ainsi dérivé en Manche ou en Atlantique sans que l'on puisse jamais prévoir avec certitude quelle serait leur destination. Notre connaissance de la mer est encore si incomplète, nos moyens d'information si imparfaits, que beaucoup des questions que l'on s'est posées à leur sujet dans les moments les plus cruciaux sont encore restées sans réponses pleinement satisfaisantes : quelle quantité de mazout représentaient-elles ? Comment évoluaient-elles dans leur forme et leur composition ? Se déplaçaient-elles sous l'action des vents ? Des courants ?

Il n'est pas question ici d'apporter ces réponses, mais plutôt quelques éléments d'appréciation et quelques hypothèses.

ORIGINE ET NATURE DE LA POLLUTION

La masse de pétrole brut transportée par le « Torrey Canyon » n'a pas été libérée en une seule fois, mais en deux périodes séparées par un temps mort, ce qui explique que la lutte ait dû être menée sur deux fronts.

La première partie de la cargaison, trente mille tonnes environ, s'est échappée dès les premiers jours qui ont suivi l'échouage pour se diriger d'abord vers l'Est, puis le Sud. Quinze mille tonnes à peu près sont allées sur les côtes anglaises, une quantité équivalente vers celles du Trégor, atteintes le 10 avril. Cette masse a été partiellement traitée à la mer par la Marine anglaise, qui jusqu'au 5 avril a déversé sur elle des détergents liquides.

La part la plus importante est sortie du « Torrey Canyon » lorsque celui-ci s'est disloqué sous l'effet de la mer et des bombardements auxquels a fait procéder le Gouvernement anglais, entre le 26 et le 29 mars, près de dix jours après l'accident. Les spécialistes britanniques estiment à quarante mille tonnes de brut la quantité représentée par cette masse. Il est très vraisemblable qu'en réalité le tonnage de pétrole déversé était beaucoup plus élevé, même compte tenu de l'évaporation des composants plus légers (environ vingt pour cent). Le chiffre de quatre-vingt mille tonnes est sans doute plus près du chiffre réel.

Cette deuxième masse, beaucoup plus compacte que la première, s'est dirigée vers l'ouverture de la Manche, puis en Atlantique. Elle n'a jamais été traitée aux détergents liquides, mais uniquement avec des produits agglomérants ou des précipitants.

Le pétrole se présentait à la mer sous trois aspects caractéristiques :

Brut noir et nauséabond, en larges nappes d'épaisseur variant de un à quelques centimètres ; cette forme a pratiquement disparu après le 20 avril.

Irisations en surface, couvrant des étendues atteignant parfois trente à quarante milles marins de long.

Plaques de boue brun rouge, de dimensions variant de quelques dizaines de mètres de long à plusieurs centaines et même milliers de mètres, et atteignant des épaisseurs de deux à trois décimètres. Ces plaques se trouvaient le plus souvent au vent des larges étendues irisées signalées plus haut.

Cette boue était une émulsion d'eau de mer (80 %) et de pétrole brut (20 %), d'une densité (0,991) très proche de celle de l'eau de mer, d'une cohésion et d'une stabilité très fortes. C'était donc un produit relativement lourd, affleurant à peine à la surface de la mer.

L'opinion s'est répandue que cette boue résultait du traitement aux détergents pratiqué par la Marine britannique (c'est le nom de « mazout traité » qui lui a souvent été donné). En fait, elle avait son origine dans les mouvements de la mer, et il n'est même pas certain que les détergents employés par les marins anglais aient facilité l'émulsion des nappes dérivant en Manche. On sait par contre qu'aucun traitement émulsionnant n'a été pratiqué en Atlantique, où pourtant la pollution a rapidement revêtu la même forme.

On a souvent constaté, au cours des deux mois pendant lesquels les zones polluées ont été suivies, des disparitions partielles des nappes, puis des réapparitions, celles-ci survenant généralement après les périodes de mauvais temps. Plusieurs explications ont été avancées :

— étalement de l'émulsion en couches irisées lorsque le temps est beau, puis reformation de l'émulsion sous l'effet du vent et de l'agitation de la mer ;

— modification de la nature de l'émulsion avec la température ;

— enfoncement ou retour en surface de l'émulsion en présence de couches d'eau de températures, et donc de densités différentes.

Compte tenu de la cohésion montrée par l'émulsion, de sa densité très proche de celle de l'eau, cette dernière explication est la plus vraisemblable.

DEPLACEMENT EN MER

Le premier croquis montre le déplacement des deux masses de pétrole entre le 18 mars et le 10 avril pour la première, entre le 11 avril et le 19 mai pour la seconde. Le trait interrompu correspond au chemin parcouru par cette deuxième masse dans les jours qui ont suivi le bombardement de l'épave et pendant lesquels les renseignements reçus ont manqué généralement de précision.

Le deuxième croquis montre ce qu'aurait été le déplacement

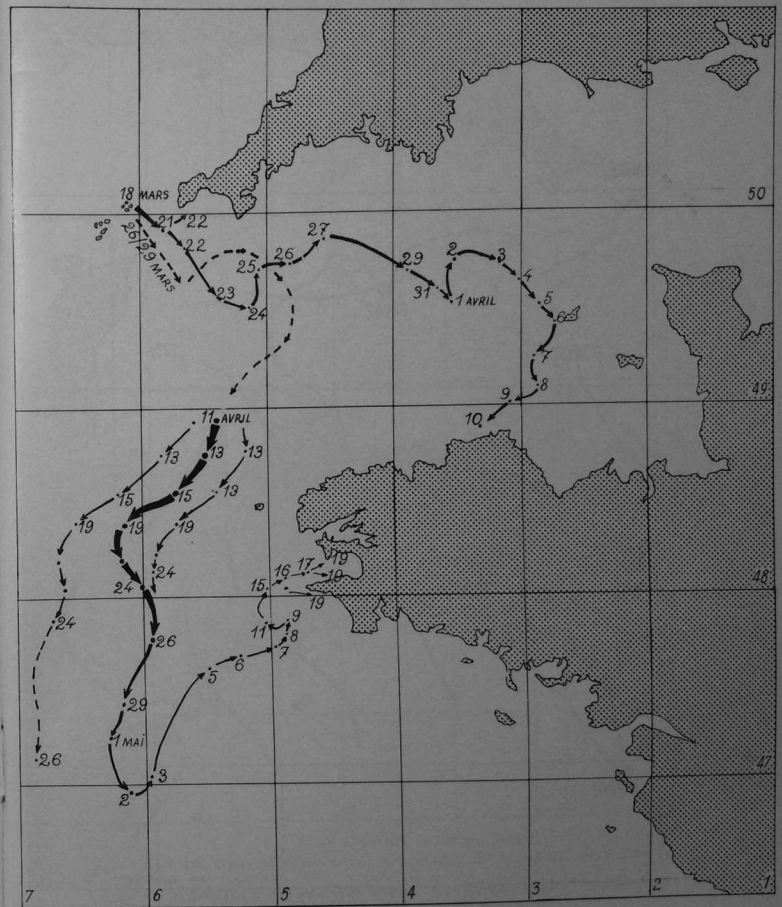


Fig. 1. — Progression des nappes de mazout, du 18 mars au 10 avril et du 26-29 mars au 19 mai (l'épaisseur des traits est proportionnelle à l'importance des nappes).

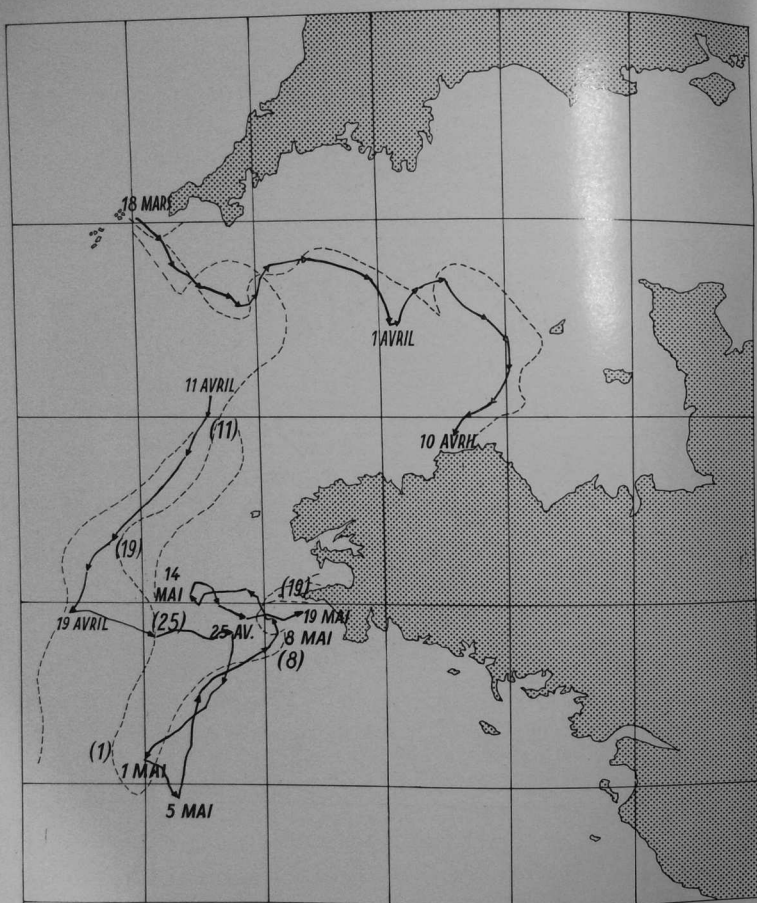


Fig. 2. — Graphique des vents

Le trait plein indique le déplacement d'un mobile dont la vitesse serait égale au 1/40^e de celle du vent, dans la période considérée.
 En pointillé, le déplacement observé du pétrole.

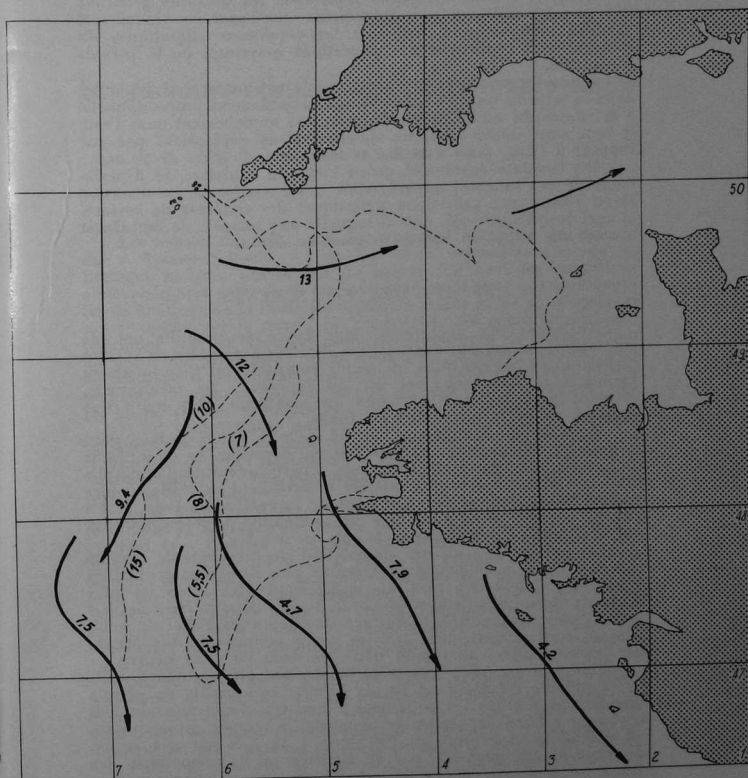


Fig. 3. — Courants généraux (avril)

En trait plein, le déplacement des masses d'eau indiqué en milles par jour (par ex. : 12, 4,5, etc.)
 En pointillé, le déplacement observé du pétrole, indiqué également en milles par jour.

d'un mobile poussé par le vent dans le même sens que lui et à une vitesse égale au quarantième de celle du vent.

Enfin le troisième croquis représente les courants généraux tels que les indiquent les documents nautiques en vigueur, et valables bien entendu tant que les conditions climatiques du moment sont conformes aux conditions moyennes de la période considérée.

D'une façon générale, les nappes de pétrole se sont déplacées dans le sens du vent, et à une vitesse sensiblement proportionnelle à la vitesse du vent. Compte tenu de leur enfoncement dans l'eau, il faut sans doute admettre qu'elles ne se déplaçaient pas par rapport à l'eau, mais avec les couches superficielles de la mer.

On constate également qu'au large du Finistère, le déplacement de ces couches superficielles a été conforme en direction et en vitesse aux prévisions statistiques des courants de surface, et ceci jusqu'au 3 mai, date à laquelle une tempête de Sud-Ouest a créé une situation anormale pour la saison.

EFFETS DES TRAITEMENTS

Au cours des opérations, deux types de produits ont été employés : les agglomérants légers, destinés à coaguler en surface le pétrole en masses plus ou moins compactes et théoriquement faciles à ramasser en mer ou sur la côte ; les précipitants, formant avec les hydrocarbures un amalgame plus lourd que l'eau et les entraînant dans les fonds.

Le principal agglomérant utilisé a été la sciure de bois, dont mille cinq cents tonnes environ ont été déversées au large. Dans l'ensemble, son action en pleine mer a paru décevante. Lorsqu'elle était très sèche, les nappes traitées se divisaient en petites boules compactes, flottant juste en-dessous de la surface de l'eau. Il n'a pas été possible de se prononcer sur la stabilité de cet agglomérat, qui n'a jamais été retrouvé à la côte.

Les précipitants utilisés étaient tous du carbonate de calcium (CaCO₃) présenté en poudres de grains plus ou moins gros. Elles ont toutes donné des résultats satisfaisants, les effets les plus probants étant obtenus avec une craie traitée de manière à devenir hydrophobe : glissant à la surface de l'eau sous l'effet du vent, elle se fixait parfaitement sur les zones polluées, la disparition des taches traitées survenant dans les deux ou trois heures.

Plus de trois mille tonnes de poudre ont été répandues, mais il est difficile d'évaluer en fin de compte la quantité de pétrole directement éliminé. Ce traitement a sans nul doute puissamment contribué à faire disparaître les importantes nappes qui dérivait en Atlantique à l'Ouest du Finistère, à la fois par son action directe, qu'indirectement par la division et la dispersion des zones polluées qui en résultait, facilitant ainsi l'action purificatrice des micro-organismes marins. A cet égard, il a été curieux de constater au cours du mois de mai, la présence d'une quantité très importante de plancton rouge (noctiluques) à proximité immédiate des nappes de pétrole, et il est permis de se demander si ce phénomène n'est pas à rapprocher de la disparition quasi totale de la pollution à cette époque.

Les facteurs climatiques de la marée noire

par Jean MOUNIER

Les causes naturelles qui ont entraîné la nappe de mazout du « Torrey Canyon » sur les côtes septentrionales de la Bretagne ne sont pas le fait du hasard. Ce sont les conditions atmosphériques entre le 18 mars et le 10 avril 1967 qui expliquent les fluctuations de la route suivie par la marée noire et, finalement son irruption sur le rivage du Trégor. Or, ces conditions atmosphériques reflètent bien les données climatiques de notre région au début du printemps. Aussi semblait-il possible, compte tenu de ces aspects du climat bien connus des météorologistes et des pêcheurs bretons, de prévoir le pire et, peut-être d'organiser plus tôt la destruction en haute mer des nappes dangereuses.

Il est incontestable que les nappes d'hydrocarbures liquides se déplacent en haute mer au gré des vents. La prévision des trajectoires de telles nappes relève essentiellement de la prévision météorologique et d'une connaissance sérieuse des éléments climatiques de la région.

Ainsi, jusqu'au 3 avril, il suffit de relire les journaux pour le vérifier, la Bretagne ne semble pas être en danger. Les nappes s'étirent vers l'est de la Manche et s'écartent de nos côtes vers le nord-est. Mais, les 8 et 9 avril, de grandes surfaces de la Manche recouvertes de mazout s'étendent à l'ouest et au sud-ouest de Jersey, sur une cinquantaine de kilomètres. Les déplacements de la marée noire ont changé complètement de direction au début du mois d'avril, et cette modification importante est en rapport avec une variation des régimes des vents aux environs du 5 avril.

Du 18 mars au 2 avril, les vents variables sont à forte dominante d'ouest (fig. 1). En revanche, pendant la semaine du 3 au 10 avril, le régime des vents modérés (5 à 6 m/s) d'ouest-nord-ouest dominant encore, mais, à partir du 6 avril les vents tournent au nord puis au nord-est et, dans la journée du 9 avril, ces vents de nord-est se renforcent atteignant des vitesses de l'ordre de 10 à 12 m/s. Dans les premières heures du 10, la marée noire commence à souiller les plages trégorroises.

Pendant près de quatre jours, des vents venus du nord-est stables et assez forts provoquent un déplacement rapide des nappes vers la Bretagne. Cette constatation nous entraîne à nous demander si, dans une région où les vents d'ouest, de sud-ouest et de nord-ouest dominant, nous n'avons pas eu à faire à une cause forfuite dont la probabilité d'apparition était très faible.

En fait, sur la côte nord de la Bretagne, les vents de secteur nord-est sont loin d'être rares, contrairement à ce que l'on croit

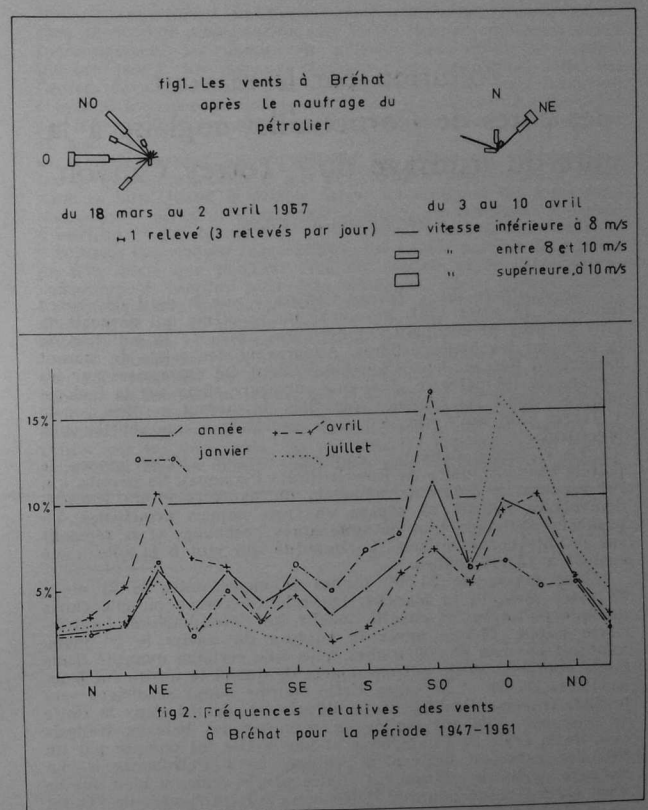
généralement. Bien plus, il faut tenir compte des variations des régimes des vents en fonction des saisons. Justement, en Bretagne le mois d'avril marque au début du printemps un changement saisonnier du régime des vents assez important pour pouvoir en tenir compte dans une prévision à longue échéance. Ainsi, pendant la mauvaise saison, les vents de secteur ouest (O., OSO., ONO.) sont les plus fréquents tandis qu'au printemps, durant le bimestre avril-mai, les vents qui soufflent le plus fréquemment viennent du secteur nord-est (1). C'est même au mois d'avril que ces vents de « nord-est » ont la plus grande probabilité de se produire, comme tend à le confirmer l'analyse des fréquences relatives des différentes directions des vents établie sur une période de 15 ans à Bréhat (fig. 2). Les directions du secteur nord-est (NNE., NE., ENE.) représentent en janvier et en juillet, 11,5 % de toutes les directions mesurées, 13 % en mars, 21,4 % en mai et 22,6 % en avril. Pour ce dernier mois les vents de secteur sud-ouest (SSO., SO., OSO.) n'atteignent pas 17 % des directions enregistrées, contre 30 % durant le mois de janvier.

Cette variation mensuelle des régimes des vents est en relation avec les conditions générales de la circulation atmosphérique dans notre région. Les successions habituelles de situations atmosphériques, de types de temps, commencent à être bien connues. L'on sait, en effet, que fréquemment au début du printemps la Bretagne est soumise à l'influence de deux types de temps qui expliquent l'augmentation de la fréquence des vents de nord-est. Souvent la Bretagne est située sous la face orientale d'anticyclones océaniques qui s'étirent en latitude du centre de l'Atlantique à l'Islande ou à la Scandinavie et, qui provoquent l'arrivée d'air frais venu des régions nordiques ; ou bien, notre région est traversée par des perturbations, des zones de mauvais temps accompagnant des dépressions qui suivent des trajectoires nord-sud de la Scandinavie au Bassin méditerranéen. Ces deux types de temps qui se combinent fréquemment en avril en Europe Occidentale évoluent lentement et contribuent à maintenir pendant plusieurs jours des vents de nord-est sur notre région. De nombreux auteurs, météorologistes et géographes, ont insisté sur la lenteur de la circulation atmosphérique et sur la prédominance des courants nord-sud dans l'Europe océanique pendant le mois d'avril.

Une analyse rapide des types de temps qui se sont succédés du 18 mars au 10 avril, montre bien une évolution vers un type de circulation méridienne et lente qui provoque finalement la stabilité des vents de nord-est. A partir du 4 avril un anticyclone océanique centré au sud-ouest de l'Irlande se développe vers le nord jusqu'à l'Islande puis jusqu'à la Scandinavie, tandis qu'une colonne froide dépressionnaire se déplace lentement du nord de l'Allemagne à la Péninsule Ibérique. Cette « goutte froide » qui pivote au-dessus du Golfe de Gascogne, de la Galice à l'ouest de la France, entretient au sol une dépression qui évolue entre le 8 et le 10 avril de l'Espagne au Massif Armoricain (se reporter aux cartes du temps publiées dans les Bulletins Quotidiens d'Etudes de la Météorologie Nationale). Il en résulte que les côtes septen-

(1) A. DAGORNE, Etude du climat de la région de Dinard.
J. MOUNIER, Contribution à l'étude du vent sur le littoral Nord de la Bretagne.

Communications faites au 1^{er} Congrès de la Mer en 1964 et publiées récemment dans les Annales de l'Institut d'Hydrologie et de Climatologie, Tome XXXIV, N° 94/95, 1967.



trionales de la Bretagne restent situées pendant plusieurs jours dans le secteur nord d'un cyclone où soufflent des vents de nord-est.

Il est facile de tenter d'expliquer des événements passés, plus difficile est d'essayer de prévoir, à un moment donné, leur évolution. Mais dans ce cas, dès lors que la nappe de mazout se maintenait longtemps à la surface de la mer, que son existence se prolongeait au début du printemps, l'on pouvait envisager, compte tenu des connaissances fournies par les météorologistes sur la circulation atmosphérique, une évolution du temps qui risquait, un jour ou l'autre, d'entraîner la marée noire sur une partie des côtes françaises de la Manche.

Pollution par le mazout des côtes de Cornouailles anglaise à la suite du naufrage du "Torrey Canyon"

par Norman A. HOLME

Le naufrage du « Torrey Canyon » sur le récif des Seven Stones le 18 mars 1967, a soulevé un problème qui devenait de plus en plus préoccupant ces dernières années : la pollution de la mer par les hydrocarbures. Auparavant des rejets de mazout avaient eu lieu et des recherches avaient été entreprises sur les moyens de les détruire ainsi que sur leurs effets sur la biologie marine ; mais les énormes quantités de mazout perdues par le « Torrey Canyon » ont reposé le problème à une échelle sans précédents.

Le « Torrey Canyon » contenait environ 119.000 tonnes de pétrole brut originaire de Koweït (Golfe Persique). Ce pétrole, qui fut répandu à différents moments du naufrage et du bombardement du bateau, se sépara en trois nappes principales. La première s'échappa tout de suite après l'échouage et se répandit sur la côte cornouaillaise. La quantité qui vint à la côte a été évaluée à 13.000 tonnes.

Une masse de 21.000 tonnes échappée entre le 21 et le 23 mars remonta la Manche, encercla Guernesey où elle causa quelque pollution, et ensuite toucha les Côtes-du-Nord. La troisième nappe, libérée après la rupture du navire le 26 mars, totalisait environ 48.000 tonnes, plus une certaine quantité (sans doute appréciable) de pétrole non brûlé quand le navire fut bombardé les 28, 29 et 30 mars. Cette énorme nappe se dirigea vers le Sud, traversa l'entrée de la Manche et aboutit dans le Golfe de Gascogne. Elle fut traitée en mer par des bateaux français avec de la craie de Champagne et une partie fut pompée par un pétrolier caboteur hâtivement équipé, le « Petrobourg ». La majeure partie du pétrole fut coulée par la craie, si bien que ce n'est qu'une petite quantité qui échoua sur les rivages de l'Ouest de la Bretagne vers le 20 mai.

Sur la côte de Cornouailles anglaise, le mazout apparut d'abord à Sennen près de Lands End le 25 mars et pendant les quelques jours suivants près de 225 km de côte, de Trevose à Lizard, furent pollués (fig. 1). Seulement une petite étendue de côte orientée à l'Est et Sud-Est, entre Porthcurno et Penzance, y échappa. Il n'y eut pas de dépôts appréciables de mazout sur la côte anglaise à l'Est de Lizard. La pollution fut en général moins forte que dans les Côtes-du-Nord où une quantité supérieure de mazout s'échoua sur seulement 50 km de côte.

L'effet biologique le plus immédiat et le plus spectaculaire concerna les Oiseaux. Plusieurs centaines d'oiseaux de mer, en particulier de Guillemots, ainsi que des Petits Pingouins et des

Macareux moururent. Les Cormorans huppés et les Grands Cormorans souffrirent aussi, tandis que les Goélands semblèrent éviter successivement les nappes de pétrole. Les moins sévèrement touchés parmi les oiseaux mazoutés furent soignés dans des Centres de soins établis tout au long de la côte, mais beaucoup étaient si fortement mazoutés qu'il fallut les sacrifier. La mortalité par le mazout fut accentuée par l'emploi subséquent de détergents en mer.

Dès le premier jour le pétrole fut arrosé de détergent par les navires de la Marine et par des chalutiers spécialement frétés dans ce but. Quand le pétrole arriva au rivage il fut à nouveau intensément arrosé : d'énormes quantités de détergent s'élevant à environ 10.000 tonnes ont été utilisées. Presque toute la côte, y compris des criques inaccessibles, fut traitée par les détergents, de telle sorte que pendant l'été les rochers et le sable furent suffisamment propres pour les vacanciers. Mais quelles furent les conséquences sur la biologie marine de cette abondance de détergent ? et la grande dépense d'argent supportée par les finances locales et nationales fut-elle justifiée ?

Le pétrole brut est toxique pour les animaux marins, mais une fois répandu en mer, des substances toxiques comme le benzène se volatilisent tandis que d'autres, de nature phénolique, sont solubles dans l'eau et sont aussitôt dispersées. Sur les rares endroits mazoutés de la côte cornouaillaise qui ne furent pas traités par les détergents, les patelles, les balanes et les algues semblaient être en bonne santé bien que recouverts de mazout.

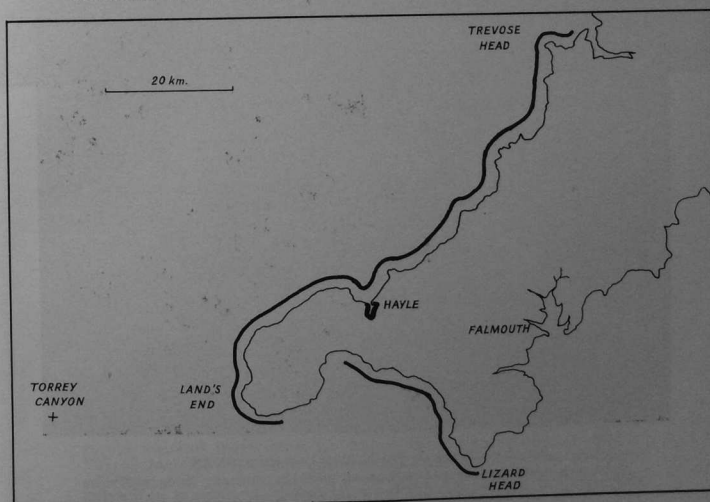


Fig. 1. — Le trait épais indique les endroits de la côte cornouaillaise, pollués par le pétrole du « Torrey Canyon ».

Evidemment lorsqu'ils furent recouverts par une épaisse couche de mazout ils purent éventuellement mourir, mais on a constaté qu'une faible couche n'était pas nuisible.

Un certain nombre d'agents émulsionnants furent utilisés en Cornouailles le plus commun étant le BP 1002. Les détergents (1) sont constitués d'un mélange de solvants et de produits détergents (2), les deux étant toxiques. Des concentrations de 10 p.p.m. (3) de détergent sont toxiques pour les Coques et les Huitres et les larves de mollusques sont détruites à une concentration d'1 p.p.m. ou moins. Le temps d'exposition aux substances toxiques influence évidemment le taux de mortalité ; dans certains cas des animaux côtiers qui étaient devenus léthargiques après exposition aux détergents, récupérèrent par la suite, dans d'autres cas ils moururent après la première exposition. Cependant les effets des détergents sur les animaux côtiers ne furent pas rapides et dramatiques. Les bigorneaux devinrent léthargiques, les moules baillèrent, les anémones se fermèrent, et les couteaux sortirent du sable. Ce n'est qu'après une semaine ou deux que l'on vit clairement quelles espèces étaient mortes et lesquelles auraient pu

- (1) En anglais : émulsifiants.
 (2) En anglais : détergent.
 (3) 1000 p.p.m. = 1 ‰



Fig. 2. — Plage de Praah, Mount's Bay, avril 1967.

La côte a été polluée par le mazout, mais au moment de la visite les détergents n'avaient pas été utilisés sur les rochers. Le *Fucus* et les Patelles sont vivants sur des rochers mazoutés, et dans la mare des algues vertes sont indemnes.

(Photo N. A. Holme)



Fig. 3. — Emploi sans ménagement de détergent à Porthleven (Mount's Bay), 28 avril 1967.
 (Photo P. E. Gibbs)

survivre pour un usage limité du détergent (en général il fut nécessaire de répéter les traitements au détergent pour enlever tout le mazout des plages).

La plus forte mortalité par le détergent eut lieu chez les mollusques. Les Patelles furent toutes tuées sur les rochers traités, où l'on pouvait voir leurs traces antérieures sous forme de dépressions rondes sur les roches ou d'ovales dénudés dans les mares incrustées de corallines. La plupart des autres Gastropodes côtiers : *Littorina littorea*, *L. littoralis*, *Gibbula*, *Calliostoma* et *Nucella lapillus* subirent de fortes pertes ou furent totalement éliminés, mais *Monodonta lineata* sembla plus résistante. *Littorina neritoides* espèce de haut niveau fut souvent épargnée. Les Balanes (surtout *Chthamalus stellatus*) furent durement touchés sur les rochers traités, ainsi que beaucoup d'autres Crustacés. Parmi les Anémones *Anemonia sulcata* fut souvent détruit, mais *Actinia equina* se montra l'un des animaux les plus résistants aux produits toxiques. Les Algues rouges et les Algues vertes furent aussitôt tuées, mais les Algues brunes communes (*Pelvetia*, *Fucus*) bien qu'elles aient souvent subi une décoloration, n'étaient généralement pas détruites. La coralline ramifiée (*Corallina officinalis*) et les corallines incrustantes des mares rocheuses moururent lorsque le traitement fut sévère. Les dégâts furent importants sur l'estran tandis que la plus grande partie de la flore et de la

faune de bas niveau survécit, sauf quand le traitement fut très intense. Sur les rochers qui ne furent pas directement traités, la mortalité ne fut pas importante.

A mesure que les traitements se déroulaient, les détergents formaient une émulsion d'un blanc laiteux à la surface de la mer. Aux concentrations auxquelles l'émulsion était ainsi visible, elle était toxique pour les organismes marins. Les longues traînées d'émulsion, dérivant à partir du lieu de traitement étaient un spectacle caractéristique à cette époque. Les effets toxiques des détergents furent surtout localisés à la surface des eaux et l'on nota quelques destructions de plancton localement. Près des rivages qui avaient été traités intensément, la faune profonde fut affectée. Au large de Porthleven, par exemple, des plongeurs sous-marins découvrirent que les oursins de sable (*Echinocardium cordatum*) étaient sortis du sédiment et mouraient, ainsi que les Mollusques bivalves *Ensis siliqua* et *Maetra corallina*. Les crabes et autres crustacés décapodes étaient morts ou avaient perdu certains de leurs appendices. Les Etoiles de mer (*Asterias rubens* et *Marthasterias glacialis*) apparemment indemnes, se nourrissaient des mollusques qui subsistaient et l'Ophiure des sables (*Acrocnida brachiata*) semblait active. En face de Porthleven, on trouva des animaux contaminés jusqu'à des profondeurs d'au moins 16 m. Les Oursins (*Echinus esculentus*) étaient indemnes sur les zones rocheuses face à Porthleven, mais à Sennen on en trouva des exemplaires moribonds jusqu'à 14 m de profondeur.

Plus au large, des poissons pêchés au chalut sur les fonds marins surmontés de nappes de mazout étaient bien vivants et leur chair n'était pas teinte. Jusqu'ici nous n'avons pas eu connaissance d'une action nocive au large sur les poissons et la faune de profondeur. Il semblerait donc que les effets destructeurs des détergents soient limités aux parties traitées du rivage et que les zones voisines plus profondes ne furent affectées que lorsque les traitements furent menés sans ménagements. Un des effets de la diminution ou de la disparition des populations de Patelles fut la prodigieuse croissance sur les roches d'algues vertes (*Enteromorpha*, *Ulva*) durant l'été 1967. Il faudra sans doute plusieurs années avant que l'équilibre normal des organismes des côtes rocheuses soit rétabli.

Pour traiter les plages, on était souvent conduit à creuser des sillons dans lesquels on répandait le détergent. Le résultat, ce fut de permettre au mélange mazout/détergent de pénétrer profondément dans le sable où il restera peut être pendant des mois ou même des années. On a remarqué une certaine dégradation du mazout par les bactéries qui se manifestait par la formation d'une couche noire tout près de la surface. On a aussi remarqué une tendance à la formation de sables mouvants après le traitement et le sable risque de se montrer plus mobile durant les prochaines tempêtes hivernales.

Dans la nature, les hydrocarbures sont lentement métabolisés par les bactéries et les microorganismes. Sur les rochers seulement contaminés par le mazout, les patelles et d'autres gastropodes (par exemple *Monodonta*) broutent la couche de mazout et en réduisent l'épaisseur. L'usage des détergents a donc pour effet de détruire les agents même qui contribuent à disperser le mazout naturellement. De toutes façons, les traitements n'éliminent pas le pétrole puisque l'émulsion formée est instable et que le pétrole se sépare à nouveau après quelques heures pour être redéposé sur le rivage,

s'il n'a pas, entre temps, été emporté par les courants. Les détergents sont certainement très efficaces pour nettoyer des zones limitées comme des petits ports, ou des jetées, mais leur emploi en grand est non seulement dispendieux mais encore complètement inutile.

On ne peut certainement pas justifier le fait d'avoir traité les rochers inaccessibles, comme cela a été fait en Cornouailles. Là où un grand espace doit être traité au détergent, il est préférable d'étaler le traitement sur une période de plusieurs jours ou plusieurs semaines pour éviter l'accumulation de produits toxiques. Quand les rochers ne sont pas traités des agents naturels, tels que les Patelles, mentionnés plus haut, peuvent au bout d'un certain temps nettoyer les rochers situés dans la zone de balancement des marées. Il serait intéressant de voir si cela se produit dans les Côtes-du-Nord ou des zones importantes n'ont pas été traitées. Au-dessus du niveau des hautes mers, le mazout plaqué aux rochers peut persister longtemps.

J'ai observé le nettoyage à la vapeur d'eau sur les rochers mazoutés à Locquirec (Finistère) (fig. 5). Cela semble efficace, mais peut-être trop lent et donc inutilisable sur de grandes surfaces. Les effets destructeurs sont limités aux seuls rochers traités, aussi la méthode est-elle employée quand il y a des bancs de coquillages dans le voisinage.

Bien qu'efficace sur les faciès rocheux, l'emploi des détergents sur les plages sableuses est d'une valeur contestable pour les raisons évoquées plus haut. Dans les Côtes-du-Nord, on a utilisé



Fig. 4. — Sur les rochers non traités au détergent, les Patelles consomment la pellicule de mazout. La partie nettoyée apparaît ici comme un cercle plus clair. Poldhu, Septembre 1967. (Photo N. A. Holme)



Fig. 5. — Emploi de jets de vapeur pour le nettoyage des rochers à Loequirec. Juin 1967.

(Photo N. A. Holme)

avec un certain succès des cordons de filets et de pailles étendus sur les plages à basse mer. Quand le flot montait, ce matériel roulé sur la plage collectait le sable souillé de mazout. Ensuite on brûlait le tout. On dit que la répétition de ce procédé pendant un mois suffit à nettoyer une plage. Dans d'autres endroits on utilisait des bulldozers pour enlever la couche superficielle de sable qui était transportée et déchargée ailleurs. L'une et l'autre de ces méthodes semble préférable à l'emploi des détergents.

Pendant la marée noire du « Torrey Canyon », les chercheurs du Laboratoire de Biologie Marine de Plymouth ont étudié les implications biologiques de la pollution par les hydrocarbures et par l'usage des détergents. Des études ont été faites sur les effets de la pollution de la faune et de la flore des rivages, sur les degrés de toxicité à la fois à la côte et au large, sur des tests de toxicité au laboratoire, et sur les calculs de dérive des nappes de mazout en fonction du vent. Les résultats seront publiés dans un numéro spécial. Certains des résultats ont été utilisés ici, mais les opinions émises dans cet article le sont sous ma seule responsabilité.

BIBLIOGRAPHIE

- GILL C., BOOKER F. and SOPER T., 1967. *The Wreck of the « Torrey Canyon »*. David and Charles, Newton Abbot, England, 128 p.
 Devon Trust for Nature Conservation, 1967. Conservation and the « Torrey Canyon ». *Suppl. J. Dev. Trust Nat. Cons.*, July 1967, 72 p.
 Marine Biological Association of the United Kingdom, 1968. « Torrey Canyon » pollution and marine life. Cambridge University Press (sous presse).

La marée noire dans les Côtes-du-Nord

par André LE PICARD

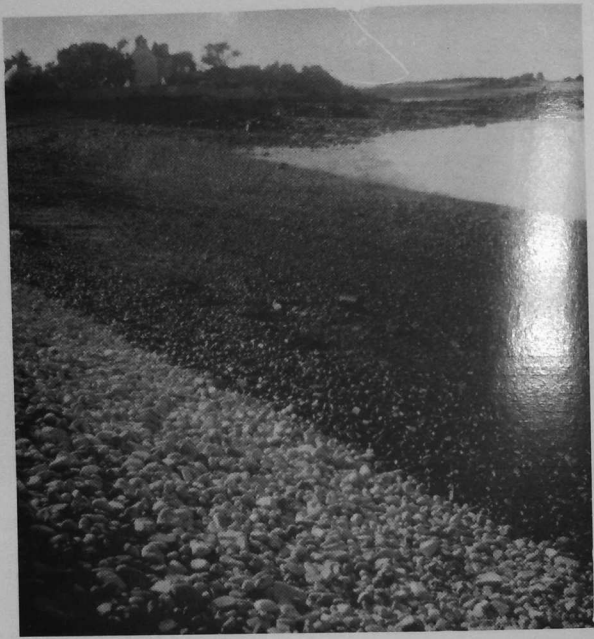
Dès la fin de mars, les journaux, commentant l'inquiétude des pêcheurs, diffusent des conseils et en particulier les soins à donner aux oiseaux de mer qui échouent tous les jours depuis les vacances de Pâques sur les plages, en particulier à Port-Blanc (« Ouest-France », 31 mars).

Les riverains attendent le mazout : le dimanche 9 avril, à Port-Blanc précisément, on remonte de l'eau les agrès de pêche ; on sait qu'une très vaste nappe s'étend entre le phare des Héaux de Bréhat et l'île aux Moines. La direction (nordet) et la force du vent (entre 50 et 60 km à l'heure) va pousser inévitablement la nappe sur nos côtes.

Le 10 avril, dès qu'il fait jour, on a la confirmation du désastre ; l'odeur, d'abord (de Tréguier même on la sent !) ; l'aspect pâteux, brassé par les vagues du bord comme en un pétrin ; la couleur enfin, chocolat brillant, huilé. La mer en descendant laisse derrière elle cette première couche de mazout, nette, épaisse, visqueuse, enrobant les galets. On apprend vite qu'il en est de même depuis le sillon de Talbert jusqu'à Guimaëc, avec plus ou moins d'importance.

Avant la marée du soir, il a déjà été enlevé, par des moyens de fortune (tracteurs, pelles, cuvettes, poubelles), une grande partie de ce pétrole. Mais la marée du soir anéantit l'effort de la journée, tout est à recommencer ! Un peu partout on a trouvé des oiseaux englués à mort ; malgré leur état on essaie de les nettoyer... nous ramenons un Guillemot, très vigoureux, baigné, séché, chauffé, bien nourri, il mourra malgré cela au bout de quatre jours.

Le lendemain, 11 avril, le fléau s'est installé et la lutte s'est organisée avec les moyens locaux. Deux types de solutions, suivant les cas, ont été adoptés. Le nettoyage par la sciure de bois (venant des Landes) est préconisé dans la zone des huilrières, le nettoyage aux détergents est réservé aux plages. Sans attendre que la sciure et les détergents de toutes sortes soient là, on continue le ramassage à l'aide de pelles, brouettes, lessiveuses et pompes à purin (expérience faite au Royau : 2.000 litres pompés en un quart d'heure). Où mettre tout ce mazout ? On cherche des carrières désaffectées ; la population se joint aux cantonniers, aux pompiers, et aux 200 soldats qui arrivent d'abord, sans équipement particulier. Les enfants, en sortant de l'école, parcourent les grèves et ramènent continuellement des oiseaux. Un « Hôpital d'oiseaux » est ouvert à Perros sous la direction



La plage de Port-Blanc, le lundi 10 avril à 16 heures. On voit très nettement la limite de la « marée noire ».
(Photo A. Le Picard)

du Colonel MILON. A Pleubian et Plougrescant il y a aussi des centres de soins.

Pendant quelques jours encore, dépassés par les événements, parfois découragés par le retour persistant du mazout, les bénévoles et les soldats continuent malgré tout avec les mêmes moyens. Déjà les routes glissent, engluées de mazout, le pétrole déversé dans certaines carrières a filtré et souillé des puits et des mares. Des réactions aux vapeurs se manifestent : maux de tête, d'yeux, tache sur la peau, malaises divers et de gravité inattendue : il faut organiser un roulement par équipes.

Le nettoyage est surtout intense à Perros et sur les plages touristiques. On remonte même au bulldozer des cordons de galets pollués, ce qui provoquera plus tard de véritables désastres.

Après une semaine de ces efforts locaux, avec des moyens de fortune, les effectifs de la troupe sont considérablement augmentés. Petit à petit, des tankers, des wagons-citernes, sont acheminés vers la côte, les uns pour déverser de la sciure en particulier à l'île d'Er, en Plougrescant, afin de protéger la faune et les parcs à huîtres de l'estuaire de Tréguier, les autres néces-



Beg-Vilin en Plougrescant, le 28 avril 1967. Chargement de sacs de sciure pour l'île d'Er dans des bateaux amphibies de l'armée.
(Photo A. Le Picard)



Plage de Trégastel, juin 1967. Des machines enlèvent la pellicule de sable pollué. On remarque au bord de l'eau l'aspect laiteux d'une émulsion due aux détergents utilisés pour nettoyer les rochers visibles à l'arrière-plan.
(Photo N. A. Holme)



Grève du Royau en Trévou-Tréguignec, le 22 avril 1967. Au premier plan on remarque des poubelles dont certaines sont remplies de mazout.

(Photo A. Le Picard)

saires à l'évacuation des tonnes de mazout pompés sur les plages, vers les stations de dégazage du Havre et de Brest.

Avec le recul du temps, nous pouvons en déduire que certaines des expériences ont eu un effet nuisible sur la faune : l'emploi des détergents a fait sortir les coquillages enfouis : les Couteaux, par exemple, montaient nettement au-dessus du sable à la rencontre de la marée, et les oiseaux pouvaient ainsi s'en nourrir facilement. Par contre, c'était le meilleur moyen de nettoyer les gros rochers fréquentés habituellement par les touristes, sans avoir à attendre les pluies et tempêtes de l'hiver. A la fin de l'été, les grandes marées ont rendu à plus d'une grève bouleversée par les bulldozers l'aspect habituel ou peu s'en faut.

Etant donné l'ampleur de cette catastrophe, nous n'aurions jamais osé espérer que l'été se passerait aussi bien : il semble que le tourisme n'en a pas trop souffert, ni la pêche à basse mer.

La marée noire sur la côte Nord du Finistère *

I. — ZONE ETUDIEE : CHOIX DE LA PLAGE DE BEG AN FRY.

A la suite du parcours, à marée basse, de l'ensemble des zones polluées situées entre l'est de la pointe de Primel et la pointe de Locquirec, c'est la grève de Beg an Fry qui a été choisie pour l'observation continue des mouvements du dépôt pétrolier, de l'évolution des revêtements sur la roche et les sédiments et des conséquences biologiques à court terme, puis éventuellement à longue échéance, de la pollution.

La grève de Beg an Fry rassemble dans une localisation géographique restreinte les principaux faciès observables tout le long de la côte visitée :

— roches en place sous forme de pointes parallèles avancées dans la mer, raccordées à la base aux falaises du système continu qui surplombe la côte depuis Saint-Jean-du-Doigt jusqu'au Moulin de la Rive (est de Locquirec) ;

— champs de blocs et éboulis issus de ces roches ;
— ceinture de galets sur tous les hauts de plages avec des extensions variables vers les niveaux plus profonds ;

— plage de sable fin et homogène, trié (125 microns), sous les zones de galets et entre les roches, élargie au niveau des basses mers et prolongée en fond sableux continu dans l'angle ouest de ce secteur au contact de la pointe de Beg an Fry.

D'autre part, l'accès de la grève est difficile, éloigné des grandes routes et des agglomérations et probablement peu propice à un nettoyage de grande envergure.

II. — DYNAMIQUE EVOLUTIVE DES DEPOTS.

A — MODIFICATION DES DÉPÔTS DE MAZOUT SUR LE SECTEUR ÉTUDIÉ

La description de l'évolution des dépôts gras est basée sur une série de visites échelonnées entre l'arrivée de la nappe polluante (marée du 11 avril 1967) et le début du mois de juin 1967 :

— marée du 14 avril : 3 jours après les premiers apports ;
— marée du 27 avril : une semaine après la fin des arrivées massives dues au passage de la nappe principale ;

— survol aérien de toute la côte le 7 mai ;
— marée du 11 mai avec les étudiants du 3^e cycle d'océanographie biologique ;

* Extrait d'un rapport collectif rédigé en juin 1967 par M^{lle} S. CHAMROUX, MM. Cl. CHASSÉ, G. DEROUX, J.-R. GRALL, J. LE FÈVRE, J.-P. L'HARDY, M^{me} M.-Th. L'HARDY-HALOS, M^{lle} Y. PERROT et M. J. VASSEROT.

- marées des 27 et 28 mai.
- marée du 4 juin.

Les dépôts épais et discontinus constatés le 14 avril se sont répartis et homogénéisés en même temps que des fragments résiduels de la nappe originelle continuaient à atterrir en petite quantité à chaque marée. Le 27 avril, après la grande vive eau du 24, le revêtement était continu sur toutes les parties rocheuses formant un vernis d'épaisseur variable entre le millimètre et le centimètre dans tout l'horizon des hautes mers et particulièrement au niveau des *Fucus spiralis*, des *Pelvetia canaliculata* et jusqu'aux lichens supra littoraux. Le revêtement descendait jusqu'aux *Fucus serratus* découverts et engluait entièrement les *Chlamydomonas* et la moulière. Les sables étaient encore tachés en surface par des arceaux de grosses granulations et entièrement luisants de film gras.

Des granulations d'émulsion brune truffaient l'intérieur du sable jusqu'à la limite des profondeurs atteintes en creusant. Ces masses d'émulsions agglutinées aux grains dans le volume du sédiment avaient alors des diamètres de quelques millimètres à plus d'un centimètre.

L'étude du 11 mai a révélé, en l'absence de nouveaux apports importants, l'ampleur du remaniement des dépôts par la mer en 3 semaines après la pollution massive et sous l'action des deux vives eaux du 24 avril et du 9 mai.

Les couches d'enduits rocheux sont alors fortement incrustées de sable, d'autant plus complètement qu'elles sont plus proches des bas niveaux de la marée ; on trouve, aux horizons inférieurs (*Fucus vesiculosus* var. *epesiculosus* et *Fucus serratus*) des zones de roches en place entièrement décapées.

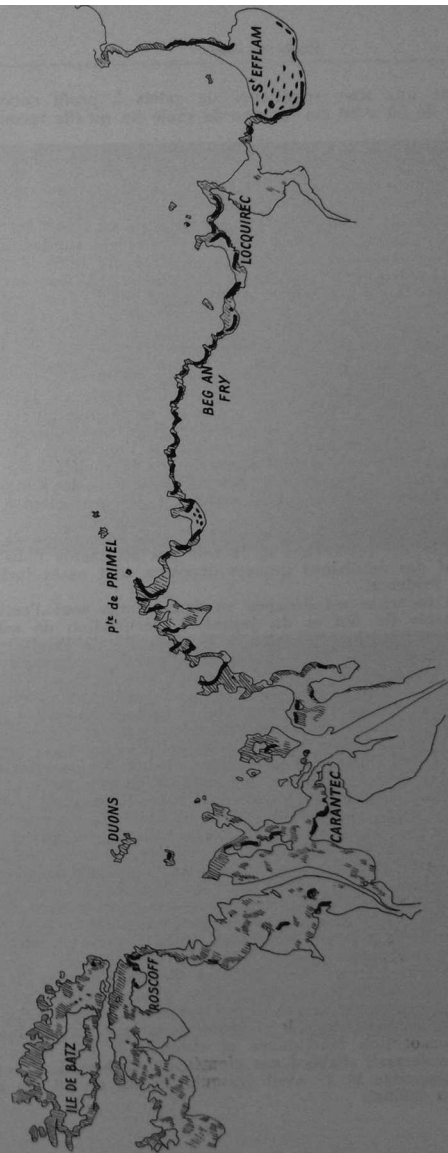
L'enduit des galets, sans incrustation sableuse aussi marquée, semble stabilisé sur la majeure partie de la grève, mais des zones totalement propres apparaissent par places : si l'on enlève ces galets propres, on s'aperçoit qu'ils recouvraient des galets enduits, il s'agit donc d'un enfouissement hydraulique dans les zones de grande turbulence et non de décapage superficiel.

La surface du sable semble propre à part quelques ourlets bruns déposés à l'extrémité de chaque vague au cours du jusant. Ces traces brunes disparaissent rapidement dès que la mer ne remonte plus jusqu'au niveau où elle les déposait. Cependant, chaque rigole d'écoulement, du niveau des sources à la limite de la basse mer, transporte une couche superficielle irisée qu'elle dépose à l'endroit où elle se perd dans le sable des niveaux inférieurs, ou qu'elle apporte à la mer libre.

Dans l'épaisseur des sédiments, l'émulsion grasse n'est plus visible à l'œil nu, mais le sable tache ce qui entre à son contact et l'eau phréatique des cavités creusées rapidement à la bêche se couvre de taches brunes.

Il semble que la libération de corps gras flottant en couche mince à partir de l'émulsion brune soit plus abondante dans les endroits où l'eau d'écoulement contient un apport d'eau douce plus important (ruisseau de l'ouest de la plage, par exemple).

Les 27 et 28 mai, le banc de galets situé à l'ouest du chemin d'arrivée a été nettoyé au bulldozer dont les traces se remarquent encore tout en haut de la plage. Le banc a été étalé vers le bas sur environ 3 à 5 m. Les galets les plus souillés ont été soit enlevés, soit enfouis à la limite de la plage de sable ; quoiqu'il en soit, ce secteur de la plage présente actuellement un aspect



Localisation de la pollution sur le littoral du Nord-Finistère. Le niveau des hautes mers et celui des basses mers ont été indiqués. Les hauteurs correspondent aux zones rocheuses. En noir, les dépôts de mazout.
 Cette carte a été dressée à la suite du survol de la région, par C. Chassé et J. Vassenor, le 7 mai 1967.

artificiel avec une zone supérieure de galets à profil concave surplombant de 50 à 80 cm la zone de sable fin qu'elle recouvre partiellement.

Les zones de sables sont à peu près propres, mais il persiste à marée descendante des trainées de mazout et un film irisé sur toutes les surfaces humides. Le film et les flocons de mazout semblent absorbés par le sable lorsque celui-ci s'essore.

Des dépôts de mazout pouvant atteindre une surface de l'ordre du mètre carré ont encore eu lieu récemment sur les faces O. et S.O. des rochers de la zone étudiée ainsi que dans la zone des blocs à un niveau très élevé (entre les *Pelvetia* et le *Xantharia*). La zone de galets est légèrement souillée par place.

B — MÉCANISMES

La grève de Beg an Fry, comme tout le reste de la côte polluée de Locquirec à Primel, se trouve en mode plus ou moins fortement battu sur presque toute sa surface. Les faces supérieures et les flancs nord et nord-est des roches de l'horizon à *Fucus vesiculosus* sont presque partout couvertes de la variété « *vesiculosus* », la forme typique ne se retrouve que dans les couloirs entre roches et sur la base sud et sud-ouest des gros blocs à la limite des *Fucus serratus*.

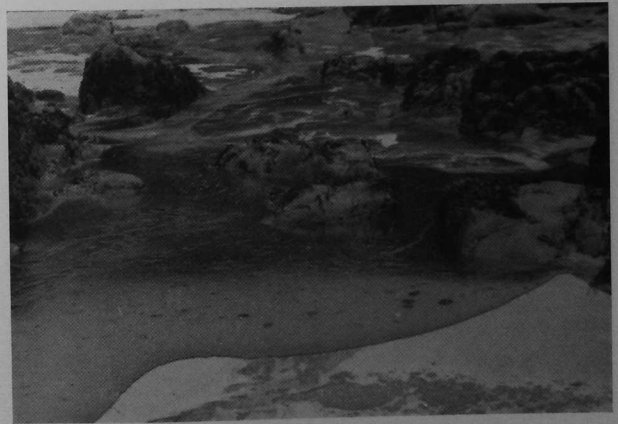
Dans ces conditions, le phénomène d'usure mécanique de la couche enduite sur les roches et le rôle des sédiments dans le cycle évolutif des émulsions grasses déposées sont assez faciles à mettre en évidence.

La zone rocheuse est décapée en deux temps sous l'action des mouvements du flot et du jusant. L'incrustation de sable d'abord, dans l'émulsion, transforme la viscosité de l'enduit et permet l'arrachage, par la suite, de ce nouvel amalgame par la turbulence du front de mer à chaque flot. Les dernières visites (27 et 28 mai, 4 juin) montraient bien la disparité entre l'avenir des enduits dans les hauts niveaux, stabilisés, noircissants et qui n'ont plus été atteints par la mer jusqu'aux marées d'équinoxe et le dégagement important des horizons pollués sous la ceinture des *Pelvetia*. Avant l'incrustation sableuse et dans les zones intermédiaires entre le noircissement par dessiccation prolongée et le décapage intensif, l'enduit gras découvert entre le jusant et le flot subit un écoulement visqueux très lent et finit par s'accumuler à la base des roches, dans les fissures et, le plus souvent, il rejoint le sédiment, là aussi, de cette manière.

Par coulée ou par décapage violent les produits d'usure des dépôts sur roches aboutissent tôt ou tard dans les sédiments.

Les galets pollués enfouis sous les galets propres sont visiblement décapés par frottement abandonnant eux aussi les produits gras au sédiment sous-jacent. Les galets enduits restés en surface prennent le même aspect que les hauts niveaux noircis.

L'observation directe avait montré l'absorption, en trois semaines, des éléments de nappes épaisses alternativement posés sur le sable et repris par le flot et qui subissent à chaque dépôt une imbibition partielle dans le sédiment sous leur surface inférieure. Par absorption fractionnée et enfouissement des portions imbibées il se formait d'abord ces glomérules visibles dans tout le volume observable le 27 avril (jusqu'à 35 cm ou 40 cm de profondeur au moins).



Deux aspects de la plage de Beg an Fry le 14 avril 1967

(Photos J.-P. L'Hardy)

Puis l'émulsion s'est répartie en petites fractions millimétriques, uniformément du haut en bas et sur toute la largeur des plages (état trouvé le 11 mai).

A tous les stades l'écoulement continu en direction du front de mer de la nappe irisée s'est poursuivi et demeure important deux mois après le début des dépôts.

En provoquant un abaissement progressif du niveau de l'eau libre par rapport à un petit volume du même sable disposé obliquement dans un récipient sous la loupe binoculaire, on met très nettement en évidence le rôle de la tension superficielle dans la production du film irisé.

Les glomérules accolés aux grains de sable sont stables tant qu'ils sont immergés complètement, ils sont stables aussi dans du sable humide sans mouvement de l'eau.

C'est au moment où la surface de contact de l'eau et de l'air approche de la périphérie de chaque glomérule que l'éclatement en deux fractions très nettes se produit :

1. des glomérules d'émulsions, plus petits s'écartent du centre d'éclatement et vont aussitôt s'accoler à des grains situés autour d'eux.

2. un film irisé tend aussitôt à couvrir toute la surface libre en eau libre suivant le diamètre du récipient.

Le film superficiel suit l'écoulement de l'eau tandis que les glomérules fractionnaires se trouvent à nouveau répartis dans le volume au-dessus de la surface d'écoulement.

Sur place, le même phénomène semble se produire à chaque marée, sur toute la surface de la plage mais il est probable qu'il se prolonge beaucoup plus à cause de l'écoulement capillaire des eaux phréatiques depuis les niveaux supérieurs à travers l'épaisseur des sables inférieurs pendant une bonne partie de la durée de l'exondation.

C'est apparemment la principale source de production de la nappe irisée quittant les côtes polluées à chaque marée, au moins à partir des zones battues.

C — COMPORTEMENT DU MAZOUT VIS-A-VIS DES COUVERTURES BIOLOGIQUES

Les surfaces rugueuses sont plus mazoutées que les surfaces lisses ; les Chtamales, les Moules, les Hermelles, en créant un substrat irrégulier retiennent davantage le mazout que le rocher nu. L'accumulation du mazout suit un gradient croissant depuis le niveau des basses mers jusqu'au niveau des hautes mer.

Ce sont les végétaux qui jouent le rôle principal dans la rétention du mazout :

Le *Lichina pygmaea* le retient entre ses ramifications et en est littéralement imbibé. Le *Pelvetia canaliculata* s'enveloppe de mazout à la manière d'un pinceau. Les autres Fucales, *Fucus vesiculosus*, *Ascophyllum nodosum*, *F. serratus*, aux frondes plus allongées et moins ramifiées, retiennent plus faiblement le mazout. Dans la sous-strate du *Fucus serratus*, le *Rhodymenia palmata* et le *Laurentia pinnatifida* sont mazoutés.

Notons que, d'une façon générale, les algues des bas niveaux sont à la fois moins polluées et plus rapidement nettoyées.

Le *Porphyra umbilicalis* var. *laciniata*, très abondant sur les rochers du littoral, est totalement recouvert de mazout en couche

épaisse. Les thalles du *Porphyra* épongent même le mazout du sable, là où ils sont en contact avec lui. En revanche, sur les Ulves et les Entéromorphes du même niveau, seule se maintient une pellicule huileuse mince et adhérente. Il se peut que ces différences de comportement s'expliquent par la nature différente des parois cellulaires.

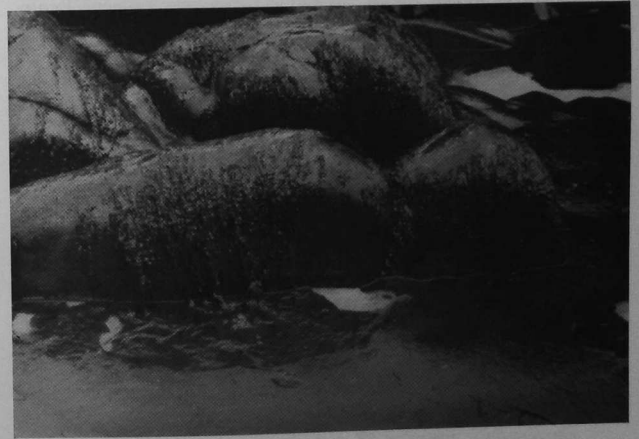
III. — COMPORTEMENT DE LA FLORE ET DE LA FAUNE EN CONTACT AVEC LE MAZOUT.

A — LA FLORE BENTHIQUE

Le *Lichina pygmaea*, malgré son odeur nauséabonde, présente un aspect parfaitement normal. Sur coupe anatomique, les cellules de l'algue symbiote paraissent vivantes. Les *Pelvetia canaliculata* et les *Fucus vesiculosus* sont en mauvais état dans les zones calmes où le mazout s'est fortement accumulé. L'*Enteromorpha intestinalis* et les *Ulothrix* (*U. flacca* et *U. pseudoflacca*) fixés sur les blocs et galets le long de l'écoulement d'eau douce, résistent à la pollution et fructifient normalement malgré la fine pellicule huileuse qui les recouvre.

Le 28 mai, nous n'avons décelé aucune mortalité brutale ou massive, et les observations mettent en évidence une possibilité de survie des tissus végétaux.

Les modifications du peuplement correspondent aux fluctuations saisonnières normales : disparition du *Monostroma grevillei*, développement de *Dumontia incrassata*, apparition de *Lola implexa*.



Plage de Beg an Fry, 14 avril 1967. Algues enrobées de pétrole.

(Photo J.-P. L'Hardy)

Les échantillons récoltés et ramenés au laboratoire sont fragiles et résistent mal au transport : ceci a déjà été observé pour des algues prélevées en eaux vaseuses, riches en matières organiques. Le développement bactérien important en est-il la seule cause ?

B — LA FAUNE BENTHIQUE

Les peuplements des sédiments de Beg an Fry sont identiques à ceux des zones semblables toujours très pauvres en espèces. Pour se faire une idée de l'action du mazout sur des peuplements riches déjà très bien connus par des études quantitatives, deux séries de prélèvements ont été effectuées sur la grève de Saint-Efflam. D'une part, 60 stations étudiées immédiatement après le mazoutage, d'ailleurs peu intense sur cette plage, n'ont révélé aucune mortalité anormale. D'autre part, 100 stations échantonnées deux mois plus tard ont donné des résultats comparables, sauf dans les zones très élevées où le sable s'essore à basse marée et où l'on a noté la disparition des Amphipodes du genre *Bathyporeia* et de l'Annélide Polychète *Nerine cirratulus* dans les emplacements exposés aux vents dominants de N-E. qui correspondent aux zones de dépôt du mazout.

Les peuplements à Hermelles (*Sabellaria alveolata*) bien que mazoutés en profondeur, ne présentent pas de mortalité apparente.

Les arrivées de naissain de Cirripèdes sont identiques sinon supérieures à celles des années précédentes mais la fixation à la roche imprégnée de mazout est moins solide. Les peuplements de Cirripèdes âgés et de moules sont bien vivants, sauf quand le mazout est trop épais.

Il faut remarquer cependant que le mazout ne semble pas identique à lui-même en tous les points de la côte : à Saint-Efflam sur la Roche Rouge, un faible mazoutage a amené localement une mortalité de la moulière de près de 40 % alors qu'à Beg an Fry, un mazoutage plus intense n'a pas amené de mortalité appréciable. La même remarque s'applique pour les Chtamales qui ont une forte mortalité dans les rares taches de mazout des rochers de l'île de Sieck.

Les prédateurs de la moulière : Pourpre (*Purpura lapillus*) *Eulalia viridis*, sont aussi nombreux que d'habitude et en bon état.

Les Gastropodes herbivores semblent un peu plus touchés dans les zones fortement mazoutées.

— les Patelles tiennent mal sur la roche ; dans les premières semaines, elles semblaient ne plus entreprendre leur déplacement nourricier ; puis elles se sont aventurées sur les surfaces mazoutées, et les emplacements « nids » sont souvent beaucoup plus nombreux que les patelles des mêmes zones ; il semble donc qu'elles aient dévissé.

— les Littorines sont souvent plus abondantes sur les surfaces mazoutées mais par contre plus rares dans leurs refuges habituels de basse mer, fissures et dessous de blocs qu'elles semblent moins regagner (animaux affaiblis par le jeûne, dessiccation moindre des surfaces mazoutées ?). On rencontre de nombreux cadavres de Littorines engluées dans les coulées de mazout.

En résumé : jusqu'au 28 mai, des peuplements normaux, une mortalité restreinte, très localisée dans l'espace et dans les groupes systématiques.

Esquisse d'un bilan des pertes biologiques provoquées par le mazout du « Torrey Canyon » sur le littoral du Trégor

par Cl. CHASSÉ, M.-Th. L'HARDY-HALOS et Y. PERROT

Dans une entreprise industrielle ou agricole bien gérée, on a à sa disposition tous les éléments nécessaires à l'établissement du bilan annuel. Dans la vaste entreprise que constitue la nature, il est beaucoup plus rare de disposer des informations nécessaires pour dresser de tels bilans. Aussi, tous les essais de protection de la nature se heurtent-ils à un certain désintéressement de la part du public qui ne peut comprendre et évaluer de manière palpable l'importance réelle de ce qui est en cause. Lors d'une catastrophe comme le naufrage du « Torrey Canyon », il est bien difficile de chiffrer, même de manière très approximative, la valeur de l'enjeu biologique qu'il s'agissait de défendre et à plus forte raison les pertes immédiates, à l'échelle de l'année, qui s'en suivent.

Néanmoins, l'un d'entre nous disposant depuis quatre ans d'un certain nombre d'informations quantitatives sur la faune et la flore normale du Trégorrois, nous essayerons, dans une première étape, de définir l'enjeu. En second lieu, nous tenterons d'évaluer l'ordre de grandeur des pertes subies à l'aide des observations suivantes : la reconnaissance terrestre et aérienne des zones polluées par le mazout non modifié ou traité par les détergents, l'influence de ces derniers sur les organismes de profondeur (ces observations réalisées par le laboratoire I.S.T.P.M. de Roscoff, nous ont été communiquées oralement par J. AUDOUIN et A. CAMPILLO), l'incidence du mazout sur le métabolisme des algues et de certains animaux marins (nous devons à M^{me} DRESKO des observations sur les Sphéromes).

L'enjeu menacé, c'est d'une part la biomasse qui constitue le capital biologique en kilogrammes par mètre de côte ou en tonnes par kilomètre de côte ; c'est d'autre part la production de cette biomasse qui correspond à l'intérêt annuel à un taux de production caractéristique de chaque espèce (= productivité). Le taux de production de chaque espèce calculé à partir de la vitesse de croissance est exprimé par la formule :

Productivité = $\frac{1}{\text{âge en années, où l'organisme a atteint 50 \% de son poids maximum moyen.}}$

Les taux ainsi obtenus mettent en évidence, pour les organismes fixés du littoral breton, une productivité moyenne de 57 %. Ce chiffre est assez proche des 63 % donnés par HARVEY (1950) pour l'épifaune et l'endofaune fixées de la région de Plymouth.

Les espèces animales et végétales se distribuent en ceintures étagées sur le profil rocheux. La méthode quantitative employée peut se résumer ainsi : le poids de matière organique fraîche au mètre carré de surface rocheuse homogène est calculé, pour chaque espèce, aux différents niveaux de la marée. La répartition quantitative de chaque espèce est ensuite projetée sur une surface verticale de 1 m de large et dont la hauteur correspond à l'amplitude de la marée. De telles surfaces sont réalisées dans la nature, sur les jetées ou les balises. Evidemment, le peuplement réel n'est pas réparti sur une verticale ; la surface de peuplement est augmentée à la fois par la pente de l'estran et les irrégularités de la côte (voir le diagramme) :

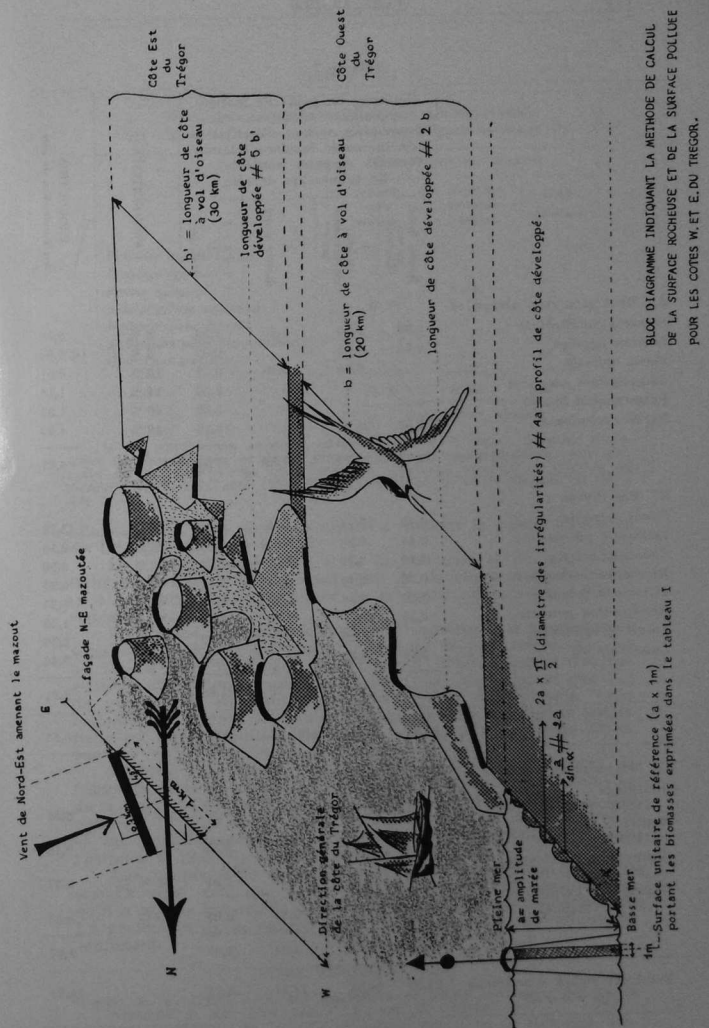
1. la longueur linéaire du profil doit être, dans le cas étudié, multipliée au minimum par 4, pour obtenir le développement réel (1),

2. à cause des indentations du rivage, la longueur de la côte doit être multipliée par un coefficient qui varie de 2 à 5 selon le type de côte envisagé : 5 pour la Côte de Granite Rose découpée et parsemée d'écueils, 2 pour la partie Ouest du Trégor plus uniforme. Or, nos observations aériennes nous ont montré que le mazout s'est déposé essentiellement sur les façades rocheuses exposées au N-E (voir carte). La longueur de côte mazoutée est donc légèrement inférieure (2) à la longueur totale à vol d'oiseau.

Nous avons maintenant en main les éléments nécessaires pour apprécier le potentiel biologique. Bien entendu, l'homme ne consomme pas tout ce qu'il trouve à la grève, algues et animaux de toutes sortes. Pour simplifier, considérons même qu'il ne consomme que le poisson ; mais le poisson se nourrit d'invertébrés qui ont mangé eux-mêmes des algues. La transformation se fait avec un rendement pondéral de l'ordre de 10 % ; autrement dit, un kilogramme d'algues équivaut potentiellement à 100 grammes d'invertébrés (vers, mollusques ou crustacés) qui à leur tour correspondent à 10 grammes de poisson. Le rendement est parfois plus élevé, mais il existe des fuites dans la chaîne alimentaire dont il faut tenir compte : les étoiles de mer par exemple sont très rarement mangées par les poissons, mais elles se nourrissent comme eux d'invertébrés. Pour rendre les résultats plus expressifs, nous avons estimé les biomasses et productions biologiques en poids équivalents de poissons ; le prix moyen du poisson, à la vente au détail, est actuellement de 4 francs le

(1) Connaissant la largeur cartographique de l'estran et l'amplitude marégraphique, on peut calculer la longueur linéaire d'un profil. Sur la côte du Trégor, la pente de l'estran multiplie à peu près par 2, l'amplitude. D'autre part, les blocs supposés sphériques multiplient encore par 2 (un peu plus de la 1/2 circonférence) la largeur linéaire.

(2) La ligne de côte, approximativement orientée E-W, fait un angle de 45° avec la direction des vents de N-E. Pour une unité linéaire de côte, la longueur mazoutée correspond à $\frac{1}{\sqrt{2}}$ (voir le diagramme).



BLOC DIAGRAMME INDICANT LA METHODE DE CALCUL DE LA SURFACE ROCHUEUSE ET DE LA SURFACE POLLUEE POUR LES COTES W ET E DU TREGOR.

1m - Surface unitaire de référence (a x 1m) portant les biomasses exprimées dans le tableau I

Tableau I

	Biomasse en poids de matière organique fraîche, sur les 8 premiers mètres d'oscillation de la marée (surface éclairée mais supposée verticale). En tonnes/km de côte				PRODUCTIVITE	PRODUCTION en Tonnes/Km de côte
	1 Rocher battu, au vent dominant	2 Rocher moyennement battu	3 Rocher abrité	$\frac{1+2+3}{3}$ Moyenne		
A. Haut et moyen niveau :						
<i>Pelvetia canaliculata</i>	0,90	0,40	3,70	1,58	6 %	0,10
<i>Lichina pygmaea</i>	0,04	0,01		0,02	8 % ?	(< 0,01)
<i>Fucus spiralis</i>		0,05	2,10	0,72	10 %	0,07
<i>Ascophyllum nodosum</i>			25	8,30	14 %	1,16
<i>Polysiphonia lanosa</i>			10	3,30	40 %	1,32
<i>Fucus vesiculosus</i>	12,50	26,30	1	13,30	46 %	4,32
Total A :	13,44	26,76	41,80	27,22		6,97
B. Bas niveau :						
<i>Fucus serratus</i>	0,70	12,40	14,50	9,20	30 %	2,76
<i>Laurentia pinnatifida</i>	0,40	0,90	(< 0,01)	0,65	20 % ?	0,13
<i>Chondrus crispus</i>	4,10	2,20	0,30	2,53	20 %	0,50
<i>Himantalia elongata</i>	0,30	2,40	0,80	1,17	20 %	0,23
<i>Bifurcaria rotunda</i>	1,20	1,50	0,90	1,20	20 % ?	0,24
<i>Rhodymenia palmata</i>	0,20	10	7,20	5,80	25 %	1,45
<i>Corallina officinalis</i>	2	0,10		0,70	29 %	0,20
<i>Laminaria sp.</i>	2,60	3,60	4	3,40	100 %	3,40
Total B :	11,50	33,10	27,70	24,65		8,91
Total A + B :	24,94	59,86	69,50	51,87		15,88
C. Moyen niveau surtout :						
Cirripèdes (<i>Chthamalus-Balanus</i>)	1,40	0,70	0,30	0,80	80 %	0,64
Moules (<i>Mytilus edulis</i>)	1			0,33	40 %	0,13
Gastropodes herbivores (<i>Patella-Littorina-Gibbula</i>)	0,36	0,15	1,50	0,67	40 %	0,27
Gastropodes carnivores (<i>Thais lapillus</i>)	0,06	0,07	0,01	0,05	50 %	0,03
Total C :	2,82	0,92	1,81	1,85		1,07
Total des algues + animaux (A + B + C)	27,76	60,78	71,31	53,72		16,95

Tableau I bis

	Couverture de mazout		
	presque totale épaisse	partielle ou totale mince	faible et mince
<i>Pelvetia canaliculata</i>	< 10 %		
<i>Lichina pygmaea</i>	0 %		
<i>Fucus spiralis</i>		1 %	
<i>Ascophyllum nodosum</i>	0 %	5 %	
<i>Polysiphonia lanosa</i>			4 %
<i>Aglaothamnion scopulorum</i>			24 %
<i>Gigartina stellata</i>			30 %
	1 %	3 %	20 %
Estimation globale			

(*) Des expériences voisines, effectuées par J.-R. GRALL (Station Biologique de Roscoff) sur les algues planctoniques provenant des eaux non polluées du large, montrent que l'addition d'extraits aqueux et stériles du mazout récolté à la côte (Beg an Fry) diminue la photosynthèse de 90 à 100 %.

kilogramme ; nous pourrions ainsi en calculer la valeur fiduciaire de la façon suivante :

L'« équivalent-poisson » de la biomasse et de la productivité est multiplié par le coefficient de développement du profil (x 4) et par la valeur estimée de la tonne de poisson, 4.000 F (tableau II).

En résumé, le capital biologique (biomasse) des peuplements sessiles jusqu'à une quinzaine de mètres de profondeur, sur les 50 km de côte du Trégor est d'environ 100.000 tonnes d'algues et de 35.000 tonnes d'animaux (poids frais). Considérant que 1 g de poids frais équivaut approximativement à 1 calorie, cette biomasse représente 10 millions de kilocalories. Sa valeur potentielle est de 5,4 millions de francs, placés à un taux de 43 % par an.

D'après nos calculs, nous avons évalué à 0,8 millions de francs la perte du capital et de l'intérêt d'une année : le sinistre du « Torrey Canyon » correspond, sur le plan biologique, à une perte de 10 %. Compte tenu des destructions de la faune vagile et du retentissement sur une année supplémentaire, on peut l'estimer à 12,5 %, soit un million de francs.

Les peuplements naturels, même non directement exploités par l'homme, ont une valeur intrinsèque souvent considérable, qu'il n'est pas impossible de chiffrer au moins approximativement. La protection de la nature n'est pas uniquement une affaire de sentiment.

INDEX BIBLIOGRAPHIQUE

- HARVEY H. W. (1950) - On the production of living matter in the sea of Plymouth. *J. Mar. Biol. Ass., U. K.*, vol. 29 : 97-137.
 MOORE H. B. (1936) - The biology of *Balanus balanoides*. *J. Mar. Biol. Ass.*, vol. 20 : 263-277.

Tableau II

	Perte				Utilisation de détergents = 100 % de perte sur A et B, + 50 % de perte sur C.
	(1) Capital = Biomasse	(2) Intérêt annuel de la biomasse = Productivité	(1) + (2) Capital + Intérêt	Mazoutage faible = 20 % de perte sur A1 et A2	
A - Haut et moyen niveau :					
1 - Algues	$0,27 \times 4 \times 4000$ = 4.320 F	$0,07 \times 4 \times 4000$ = 1.120 F	5.440 F	3.168 F	21.280 F
2 - Animaux	$0,55 \times 4 \times 4000$ = 8.800 F	$0,10 \times 4 \times 4000$ = 1.600 F	10.400 F		
B - Bas niveau :					
1 - Algues	$0,25 \times 4 \times 4000$ = 4.000 F	$0,09 \times 4 \times 4000$ = 1.440 F	5.440 F		30.880 F
C - Niveau de 0 à —14 m :					
1 - Algues	$0,7 (*) \times 4 \times 4000$ = 11.200 F	$0,5 (*) \times 4 \times 4000$ = 8.000 F	19.200 F		
Total	28.320 F	12.160 F	40.480 F		
Ouest-Trégor :					
Total pour 20 km de côte \times 2 (Coefficient de développement de la longueur de la côte)	$28.320 \times 2 \times 20$ = 1.133.000 F	$12.160 \times 2 \times 20$ = 504.000 F	1.633.000 F	$3.168 \times 0,7 \times 10$ = 22.000 F	$21.280 \times 0,7 \times 10$ = 150.000 F
Est-Trégor :					
Total pour 30 km de côte \times 5 (Coefficient de développement de la longueur de la côte)	$28.320 \times 5 \times 30$ = 4.245.000 F	$12.160 \times 5 \times 30$ = 1.824.000 F	6.069.000 F		
Total pour le Trégor	5.378.000 F	2.328.000 F	7.702.000 F		
					$30.880 \times 0,7 \times 30$ = 650.000 F

(*) L'estimation minimale de la biomasse algale des champs de Laminaires est de 5 kg/m². Sur 14 m de hauteur, elle est de 70 kg/m de côte (= 70 tonnes/km de côte). La biomasse et le taux de production (estimé à 75 %) sont tous deux exprimés en équivalent-poisson.

Effets du mazout sur les oiseaux marins

par Jean-Yves MONNAT

Parmi les ravages occasionnés par la « marée noire », les destructions massives d'oiseaux de mer qui ont accompagné le passage des nappes de pétrole du « Torrey Canyon » sur le littoral cornouaillais et breton sont de ceux qui ont tout particulièrement impressionné le public. Il faut dire que la presse s'est emparée du sujet sans lésiner ni sur la copie, ni sur les illustrations photographiques, souvent excellentes d'ailleurs. Pour la première fois les gens avaient l'occasion de voir de près des animaux dont, pour la plupart, ils ne soupçonnaient même pas l'existence et encore moins la nidification dans nos eaux.

ESPECES TOUCHÉES PAR LE MAZOUT

Sur les 17 espèces d'oiseaux marins concernées, 11 sont nicheuses sur les côtes bretonnes :

Le Pétrel Fulmar (*Fulmarus glacialis*), est une acquisition récente pour notre faune. Ayant une distribution holarctique (son aire de répartition couvre les régions froides, tempérées et subtropicales de l'hémisphère nord), la réserve Michel-Hervé JULIEN, où pour la première fois il a niché en 1967, est le point le plus méridional de nidification de cette espèce. Le Fulmar a été peu touché par le mazout ; seuls deux individus ont eu la face inférieure souillée à Rouzic.

Le Fou de Bassan (*Sula bassana*), est une espèce atlantique, cantonnée à l'Europe occidentale, et à quelques îles du littoral canadien. Son seul point de nidification en Bretagne, le plus méridional pour l'Europe, est constitué par la réserve des Sept-Iles. D'après les données du Colonel MILON, plus d'un millier de Fous auraient été détruits à Rouzic. Ce chiffre paraît étonnamment élevé pour un oiseau que l'on ne voit que rarement sur l'eau. Le Fou a besoin de voir sa proie du haut des airs pour plonger. La présence d'une nappe de mazout doit donc, dans la majorité des cas, l'empêcher d'apercevoir les poissons, et par conséquent, d'entrer en contact avec la surface de l'eau. Cependant, il ne faut pas oublier que l'accident du « Torrey Canyon » a surpris les oiseaux en fin de migration et en début d'activité de reproduction. Au moment où le mazout atteignait nos côtes, les Fous commençaient à édifier leurs nids et, pour ce faire, à récolter les paquets d'algues flottantes. C'est à ces circonstances qu'ils doivent d'avoir été si sévèrement touchés, comme l'ont observé MM. JOUANIN et BROSELIN.

Le Cormoran huppé (*Phalacrocorax aristotelis*) est une espèce nord-atlantique presque exclusivement européenne. Elle est très bien représentée en Bretagne comme on peut le voir sur la figure 1. On ne peut donc qu'être étonné des faibles effectifs de Cormorans mazoutés (une centaine d'individus maximum),

surtout lorsque l'on sait le temps passé sur l'eau par cette espèce.

Le Tadorne de Belon (*Tadorna tadorna*), est un magnifique canard qui niche chez nous dans les estuaires, les rades et sur quelques îlots de la côte Nord. Deux individus de cette espèce, gravement mazoutés, ont été observés à l'île Rouzic.

Le Goéland marin (*Larus marinus*), est un oiseau dont la distribution est nord-atlantique. En Europe, ce sont nos colonies bretonnes qui constituent le point le plus au sud de sa nidification. Depuis quelques années, il y est en augmentation constante. Comme ses parents les Goélands brun et argenté, il n'a été que peu touché par la marée noire. Un seul oiseau de son espèce a été traité à l'hôpital d'oiseaux de Perros-Guirec.

Le Goéland brun (*Larus fuscus*), espèce paléarctique, et le Goéland argenté (*Larus argentus*), oiseau présent comme nous dans la partie arctique du Nouveau Monde et dans le nord-ouest de l'Europe, sont des animaux abondants en été sur tout le littoral breton. Les populations de ces deux espèces ont été peu affectées par la marée noire.

La Mouette Tridactyle (*Rissa tridactyla*), est comme le Fulmar une espèce holarctique. Son point de nidification le plus méridional était, jusqu'à ces dernières années, la réserve de Nar-Hor à Belle-Ile. Elle semble en avoir disparu, ce qui reporterait sa limite sud à la réserve Michel-Hervé JULIEN. Aucun cas de mortalité due au mazout n'a été constaté chez cette espèce pendant la marée noire. Pourtant une trentaine de Mouettes tridactyles portaient des traces de pétrole à cette époque au Cap Sizun.

Quelques Sternes (*Sterna spp.*), ont été trouvées mortes, mazoutées, sur les rivages du Finistère nord.

Mais, comme on pouvait s'y attendre en raison de leur mode de vie, ce sont les oiseaux de la famille des Alcidae qui ont subi les pertes les plus sévères. Tout comme les Cormorans, les Plongeurs et les Grèbes ce sont des espèces qui passent le plus clair de leur temps sur l'eau. C'est de la surface qu'ils plongent pour se nourrir. Ils sont donc presque entièrement à la merci des nappes de mazout qui dérivent sur la mer. Les Alcidae sont représentés chez nous par trois espèces nicheuses.

Le Petit Pingouin (*Alca torda*), est une des rares espèces endémiques de la région nord-atlantique. On ne la trouve que là dans le monde. Son point le plus méridional de nidification est, une fois de plus, la réserve Michel-Hervé JULIEN. C'est, avec le Macareux moine, l'espèce la plus abondamment touchée par la marée noire. 1.200 à 1.500 individus ont été détruits sur les côtes bretonnes.

Le Guillemot de Troil (*Uria aalge*), oiseau à répartition holarctique, est moins abondant en Bretagne que son parent le Petit Pingouin. On peut évaluer à environ 4 à 500 individus les pertes subies par cette espèce sur nos rivages pendant la marée noire. En Cornouailles britannique c'est l'espèce qui a été la plus décimée par le mazout.

Le Macareux Moine (*Fratercula arctica*), a sensiblement la même distribution mondiale que le Petit Pingouin. Comme pour ce dernier, les populations bretonnes du Macareux sont les plus méridionales en Europe. L'espèce a disparu des Glénans depuis quelques années, et le visiteur de la réserve Michel-Hervé JULIEN n'a plus grandes chances de l'y voir : un ou deux individus

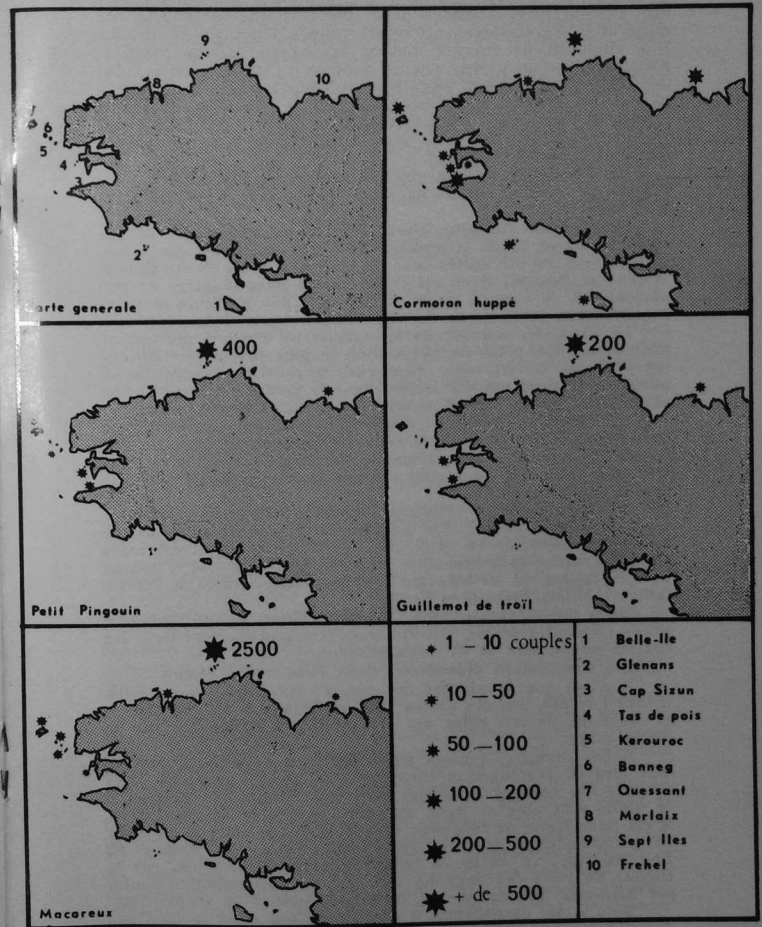


Fig. 1. — Colonies bretonnes des principales espèces d'oiseaux touchées par la marée noire.

seulement fréquentent la grande réserve et l'on ne sait pas s'ils y nichent encore. Il en est de même pour l'îlot du Petit Dahouët aux Tas de Pois. Il semble bien que la limite méridionale de nidification du Macareux ait reculé jusqu'à l'archipel de Molène. Une vingtaine de couples nichent encore sur Bannec dans le Fromveur. Si l'on se base sur les données du Colonel MILON, plus de 4.800 sur les 5.400 Macareux des Sept-Iles auraient péri à la suite du passage du mazout. Le chiffre est énorme. Dans la baie de Morlaix et sur d'autres points du littoral nord-finistériens, une cinquantaine d'individus ont été trouvés morts ou sont morts dans les hôpitaux d'oiseaux.

Les six autres espèces qui ont souffert du mazout sur notre littoral ne sont qu'hivernantes ou de passage dans les eaux bretonnes :

Le Plongeon Arctique (*Gavia arctica*), est une espèce holarctique. Elle est assez commune en hiver sur toutes nos côtes. 13 individus ont été traités dans les trois centres de Perros-Guirec, Morlaix et Roscoff. Il en est certainement mort d'autres un peu partout sur le littoral, mais ils ne sont pas parvenus à notre connaissance.

Le Plongeon Imbrin (*Gavia immer*) est surtout une espèce néarctique. Son point de nidification le plus proche de l'Europe est l'Islande. Il est assez rare chez nous. Deux individus en plumage de noce ont été traités dans le centre de Roscoff, l'un en provenance de Roscoff même, l'autre des Côtes-du-Nord.

Le Plongeon Catmarin (*Gavia stellata*), dont la distribution ne diffère pas énormément de celle du Plongeon arctique, est une espèce de rencontre peu fréquente en Bretagne en hiver. Deux individus mazoutés nous sont connus, tous deux traités dans le centre de Perros-Guirec.

Le Grèbe Esclavon (*Podiceps auritus*), est aussi un oiseau à répartition holarctique. En Europe, sa limite méridionale de nidification coïncide en gros avec le 55° parallèle. Il est assez commun sur les eaux bretonnes en hiver. Une quinzaine d'oiseaux de cette espèce ont été hébergés dans les quatre centres de Perros-Guirec, Morlaix, Roscoff et Brest.

Enfin une Macreuse noire (*Melanitta nigra*), et une Macreuse brune (*Melanitta fusca*), ont été traitées respectivement dans les centres de Morlaix et de Perros-Guirec.

Des observations précédentes deux faits sont à retenir :

1. Alors que la plupart des espèces concernées n'ont subi, il faut l'avouer, que des pertes vraiment négligeables, les Alcidae et les Fous de nos côtes ont été littéralement décimés par la marée noire.

2. Ces dernières espèces sont chez nous à la limite sud de leur aire de reproduction européenne ou même mondiale ; les effectifs des colonies bretonnes sont très réduits par rapport à ce qu'ils sont plus au nord, au centre des aires de répartition. Il est donc facile de concevoir ce que la marée noire a pu avoir de catastrophique pour la représentation de ces oiseaux en Bretagne, tout au moins en ce qui concerne les Alcides, car la colonie de Fous des Sept-Iles qui était en augmentation toutes ces dernières années, pourra vraisemblablement se reconstituer.

Mais si les destructions d'oiseaux qui ont suivi le naufrage du « Torrey Canyon » ont été si spectaculaires, c'est qu'elles ont été concentrées dans le temps et dans l'espace. Il ne faut pas perdre de vue que la pollution permanente de la mer par

les hydrocarbures fait, en un an, plus de ravage parmi les Alcidae que n'en ont fait les nappes du « Torrey Canyon » en un mois. Ceci explique en partie la diminution inquiétante des effectifs européens de Pingouins, Guillemots et Macareux enregistrée depuis quelques années.

Cette diminution a été d'autant plus sensible en Bretagne qu'elle se manifestait sur des nombres déjà réduits d'animaux. Au Cap-Sizun il y avait plusieurs centaines de Pingouins et Guillemots à la Grande Réserve aux alentours des années 1950 : en 1967, ils ne sont plus que cent individus ! De plus, le faible taux de reproduction de ces animaux qui ne pondent qu'un œuf par an ne leur permet pas de reconstituer facilement les effectifs détruits par les causes naturelles (plusieurs hivers rudes successifs) ou d'origine humaine.

Or ce n'est que depuis le mois de juillet 1967 qu'ils sont protégés dans les départements maritimes en France.

TRAITEMENT DES OISEAUX MAZOUTES

Si la marée noire n'a pas permis de résoudre parfaitement le problème du sauvetage des oiseaux mazoutés, elle n'en a pas moins fait faire des progrès incontestables dans ce domaine. Les lignes qui vont suivre sont le résumé des observations faites au printemps dernier dans les différents centres de traitement du Finistère ; elles pourront servir de directives aux personnes qui désiraient soigner elles-mêmes les victimes du mazout qu'elles peuvent avoir l'occasion de trouver sur le littoral. Le cas n'est pas rare, hélas !

ETAT DES OISEAUX AU MOMENT DE LA CAPTURE.

Lorsqu'un oiseau de mer mazouté se laisse capturer à la côte, il est généralement dans un état d'épuisement physiologique et physique extrêmement prononcé, pour les trois raisons suivantes :

1. Une *baisse de température* très importante qui, dans les cas les plus graves, peut atteindre 20 degrés. Cette hypothermie est surtout imputable à la perte de la couche d'air isolante emprisonnée entre le plumage et le corps, conséquence directe de l'imprégnation des plumes par les hydrocarbures. En outre, incapable de s'alimenter, l'oiseau mazouté ne peut entretenir ses réserves énergétiques, ce qui contribue encore à sa faillite thermique.

2. Une *inanition* plus ou moins complète : un oiseau mazouté est dans l'impossibilité de pourvoir à sa nourriture. Et si le mazoutage est intervenu à une certaine distance des côtes, l'oiseau peut être à jeun depuis plusieurs jours au moment de la capture. Dans les cas de dénutrition avancée, on peut constater une véritable fonte musculaire portant essentiellement sur les muscles alaires, de part et d'autre du bréchet. Au lieu d'être pleins et convexes, ceux-ci deviennent plats et même concaves. La perte de poids qui en résulte est de l'ordre de 10 % du poids total.

3. Un *affolement* provoqué par la capture, le transport et les conditions d'élevage. Les espèces grégaires sont tout particulièrement sensibles à l'affolement : un mouvement d'alarme individuel suffit à communiquer la panique à tout le groupe. C'est le cas, par exemple, de tous les Alcides, et des Petits Pingouins en particulier.

Lors de la marée noire, cet état de faiblesse physiologique fut encore aggravé par une intoxication due à la présence de

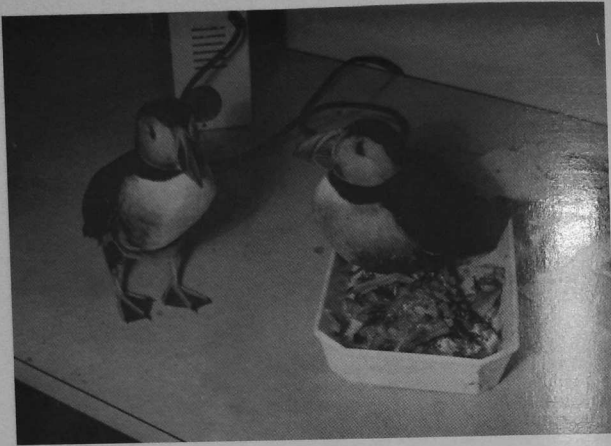


Fig. 2. — Deux Macareux soignés à la Faculté des Sciences de Brest. A l'arrière, un appareil de chauffage. En avant, poissons découpés pour la nourriture. (Photo Antoine)

faibles quantités de détergents dans certaines nappes de mazout déjà traitées en Cornouaille britannique.

PREMIERS SOINS.

Un fort pourcentage des oiseaux recueillis meurent dans les heures qui suivent leur capture, soit d'avoir subi un choc trop important, soit d'avoir été soumis de la part de sauveteurs mal informés, à des manipulations et des soins malheureux aux premières heures, pourtant décisives, de leur traitement.

En premier lieu il faut veiller à ne pas aggraver l'état de choc de l'animal, en limitant le plus possible les causes d'affolement. L'oiseau capturé doit être transporté le plus rapidement possible à un centre de traitement où lui seront donnés les premiers soins : séchage très rapide du plumage, réchauffement et réalimentation. Parce qu'il nécessite une trop longue manipulation, le nettoyage plus poussé ne se fera que sur des oiseaux déjà en bon état, réchauffés et nourris plusieurs fois.

Le séchage préliminaire doit être une opération rapide. Il suffit d'essorer, sans insister, ce que l'on peut du mazout et de l'eau qui imprègnent les plumes au moyen d'un torchon ou d'un vieux linge.

Les oiseaux doivent ensuite être placés dans une enceinte chauffée, l'optimum de température se situant aux alentours de 20° C. L'endroit doit, de préférence, être obscur et garni de boîtes de carton ou de caisses à claire-voie tapissées de chiffons, une par animal. Les spécialistes anglais recommandent même d'envelopper chaque oiseau dans de vieux lainages afin de les garder au chaud et de les empêcher de lisser leurs plumes engluées de mazout. L'isolement des individus a pour avantage de limiter

les effets de l'affolement sur des animaux que peut effrayer le moindre incident dans un environnement totalement étranger.

Après quelques heures d'un tel séjour dans le calme le plus absolu, on peut procéder aux premiers nourrissages. Il est bien rare que les oiseaux prennent spontanément leur nourriture des mains de leurs « infirmiers », les premières fois tout au moins. Il est alors nécessaire de les gaver. Les repas ne seront pas trop copieux et l'on évitera les gros morceaux qui, en l'absence de sucs digestifs en quantités suffisantes, peuvent provoquer la mort par obstruction du tube digestif. Au départ, le poisson doit être trempé dans de l'huile de foie de morue ou toute autre huile comestible, dans le simple but de faciliter, éventuellement, l'élimination du mazout présent dans les voies digestives. En effet, si le mazout ingéré n'est pas directement toxique, il peut quand même constituer de véritables pelotes qui retiennent au passage les arêtes et finissent par provoquer des occlusions ou des perforations intestinales mortelles.

Six heures à vingt-quatre heures de ce traitement préliminaire suffisent généralement à remettre les oiseaux en bon état et à leur faire reprendre une température voisine de la normale (42-43° C au cloaque).

NETTOYAGE.

Le but à atteindre est de rendre à leur milieu naturel, et dans le meilleur délai possible, des oiseaux aussi sains qu'ils l'étaient avant d'être mazoutés. Or le plumage d'un oiseau sain n'est pas seulement propre. Il est avant tout étanche, et cette étanchéité lui est donnée par la couche de graisse naturelle qui recouvre chaque plume et sans laquelle aucun oiseau de mer, si bien portant soit-il, ne pourrait flotter longtemps. Comme tous les corps gras, cette graisse naturelle de l'oiseau est susceptible d'être détruite par les savons, les détergents et les hydrocarbures entre autres. Il est donc indispensable d'éliminer aussi rapidement que possible le mazout qui imbibe le plumage et l'empêche de retrouver son imperméabilité.

Le nettoyage idéal ne doit se faire que sur des animaux en bon état : il sera efficace et rapide. C'est-à-dire qu'en aucun cas l'oiseau ne devra être manipulé plus de cinq à dix minutes sous peine de le voir s'affaiblir à nouveau. Si dans ce délai le mazout n'a pas été entièrement éliminé, il faudra reprendre l'opération vingt-quatre heures plus tard, et ainsi de suite.

De nombreux produits ont été utilisés dont aucun, jusqu'à présent n'a donné des résultats parfaitement satisfaisants.

1. Celui qui a donné les meilleurs résultats en Angleterre est un dissolvant sans eau, à base de lanoline, appelé « Laninol ». Son avantage essentiel est de supprimer les inconvénients de l'alternance lavage-séchage. Ce produit est malheureusement introuvable en France.

2. Les huiles végétales ont été très utilisées en Bretagne pendant la marée noire, notamment dans les centres de Perros-Guirec, Morlaix, Roscoff et Brest. Le principe de leur utilisation est simple : il suffit de bien faire pénétrer l'huile tiédie (30° C environ) dans les parties souillées du plumage, puis d'en essorer le surplus au moyen de chiffons ou de procéder à un lavage à l'eau tiède. L'avantage essentiel de cette méthode est de n'utiliser que des produits parfaitement comestibles par l'oiseau et donc sans danger pour lui. Malheureusement le démazoutage à l'huile

est relativement lent, et le plumage reste très gras lorsque l'on se contente d'un simple essorage au chiffon. D'un autre côté si l'on procède au lavage à l'eau, il y a toujours le risque de refroidissement.

3. Les Anglais préconisent l'emploi de savons liquides très doux (du type « Solilaine » dilué, par exemple) après le passage à l'huile végétale. Dans ce cas le démazoutage est efficace, mais il reste encore l'inconvénient de l'alternance lavage-séchage. De plus, après le lavage, les plumes peuvent garder des traces de savons, peut-être toxiques, que l'oiseau peut avaler en faisant sa toilette.

4. Un produit anglais, le « Saroul », utilisé par les Britanniques pour se débarrasser du cambouis, combine huiles végétales et savons très doux. Il peut sans danger être ingéré par les oiseaux. Son inconvénient majeur est de conserver l'alternance lavage-séchage. Mais il a le gros avantage d'être très efficace pour le démazoutage et de réduire le temps de manipulation à moins de cinq minutes. Il a été utilisé en partie dans les centres de Perros-Guirec et de Brest.

5. Les bains tièdes additionnés de shampooings doux (shampooing « Hégor » ou « D' Ducray », pour bébé) ont été utilisés dans le centre de Douarnenez sans mortalité aucune après le nettoyage. Il convient cependant de noter que ces résultats ne sont nullement comparables à ceux, moins satisfaisants, obtenus dans les centres de Brest ou de Perros-Guirec, par exemple, en raison des énormes différences dans les effectifs d'oiseaux soignés. L'inconvénient essentiel de la méthode n° 3 (la toxicité du produit utilisé) doit également être présent dans cette technique. C'est-à-dire que seul un rinçage méticuleux est susceptible d'éliminer toute trace de savon du plumage. Ceci n'est évidemment réalisable que sur des individus isolés ou des petits groupes d'oiseaux auxquels on peut consacrer tout le temps nécessaire. Ce qui n'était le cas ni à Perros-Guirec ni à Brest. Pas plus que les trois précédentes, cette méthode ne supprime les risques de refroidissement dus à l'alternance lavage-séchage.

Si le mazout n'a pas entièrement mobilisé la graisse naturelle de l'oiseau, les nettoyages successifs auront en général achevé de la faire. Il est donc particulièrement important de veiller à ce que les oiseaux entretiennent soigneusement leur plumage afin d'en reconstituer au plus vite la pellicule imperméable.

A cet effet, on peut essayer de déterminer le réflexe de toilette des animaux, après chaque repas par exemple, en leur plongeant tout simplement la tête dans une bassine d'eau. Une fine vaporisation d'eau sur la tête de l'oiseau suffit souvent à provoquer ce réflexe.

Pour les Petits Pingouins, habituellement négligents dans leur toilette, on peut ajouter une réaction visuelle déterminée par un « boute-en-train » d'espèce différente : Guillemot ou Grêbe.

Dans ces conditions, le plumage des oiseaux reprend une étanchéité à peu près satisfaisante au bout de quinze jours à un mois.

ELEVAGE.

Pendant toute la période où le plumage retrouve peu à peu son enduit protecteur, il faut garder les animaux en élevage, ce qui ne va pas sans poser de nombreux problèmes.

La première chose à faire est d'isoler les animaux en groupes

à peu près monospécifiques. L'optimum paraît être de 10 à 15 individus par groupe. Dans le cas toujours un peu particulier des Petits Pingouins, il est préférable d'adjoindre aux groupes un ou deux Guillemots qui joueront le rôle de boute-en-train pour les repas et la toilette.

La température du local d'élevage ne devrait jamais excéder 20° C. Petit à petit il faudra réaccoutumer les oiseaux aux températures extérieures, tout en leur évitant le plus possible des variations trop brutales.

Pour la « litière » il faut proscrire totalement les matériaux comme la paille, les copeaux ou la sciure de bois. Ils ont l'avantage de boire une partie du mazout, mais l'ingestion de fragments de sciure ou de copeaux avec des morceaux de poissons qui y sont tombés est génératrice d'occlusions ou de perforations intestinales. Quant à la paille, elle peut provoquer des maladies des poumons chez les oiseaux de mer. L'idéal serait d'isoler les animaux de leurs déjections en les plaçant sur les grillages assez fins pour que leurs pattes ne puissent pas passer au travers, et légèrement surélevés par rapport au sol. Des sacs de jute

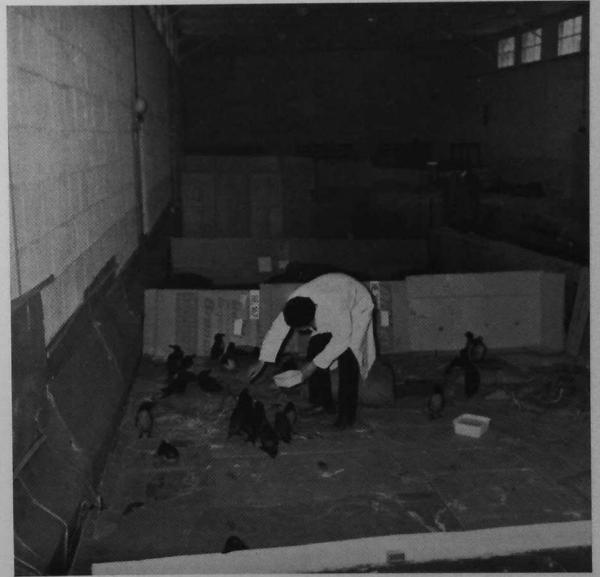


Fig. 3. — Nourrissage des oiseaux (Petits Pingouins et Guillemots) au centre de Brest (rue Yves-Collet). Remarquer, dans les enclos séparés, le sol tapissé de cartons et sacs de paille sur lesquels les oiseaux aiment à se percher.

(Photo Pérignon)

disposés çà et là, serviront de reposoirs aux oiseaux. Les vieux journaux constituent aussi un bon matériau, à condition d'être renouvelés très souvent.

La nourriture sera composée, autant que possible de petits poissons entiers et frais. Les espèces les plus facilement acceptées par les Alcidés sont les sprats, les harenguets, les petites sardines et les lançons. Mais à défaut ils se contentent fort bien de morceaux de filets ou de lambeaux de viande. Les fous, eux, sont plus difficiles à nourrir. Ils n'acceptent en général que des poissons entiers et très frais. Maquereaux et sardines leur conviennent très bien. Si le poisson présenté n'est pas frais, ils refusent de l'avalier. Si on le leur fait avaler de force, ils le régurgitent dans la majorité des cas. Mais ce sont les Grèbes qui sont les plus réfractaires au nourrissage ; les poissons morts ou les morceaux de filet qu'on leur présente les laissent strictement indifférents. Par contre, des petits morceaux de nourriture mis en mouvement dans un peu d'eau semblent les intéresser un peu plus. Mais ils les relâchent à peine touchés. Nous pensons qu'ils accepteraient facilement des petites proies vivantes, poissons ou crustacés, présentées dans un fond d'eau. Enfin l'expérience montre qu'il n'est pas utile de donner plus de trois repas par jour.

Malgré toutes ces précautions, les oiseaux placés dans des conditions d'élevage totalement artificielles sont à la merci d'affections diverses dont les plus courantes sont :

1. Dessèchement et craquellement des palmures et des tarses. Le centre de Douarnenez a utilisé une crème hydratante qui y remédie fort bien (« Mustela » crème 7, « Emulsion SVR »). A défaut de ce produit, on peut masser les palmures à l'huile végétale.

2. Kératite. Ce trouble est surtout fréquent chez les Petits Pingouins dont on sait qu'ils sont particulièrement négligents dans leur toilette. Il consiste en une opacification de la cornée en réaction à une infection de la région des yeux. Un collyre des laboratoires « Chibret » a donné d'assez bons résultats dans le centre de traitement de Brest.

3. Avitaminoses. Les avitaminoses constatées sont sans doute dues, dans la plupart des cas, à des carences en vitamines du groupe B. On peut en ajouter à faible dose dans la nourriture des oiseaux.

Les grandes lignes de ce rapport ont été inspirées par les conclusions d'un groupe de travail de la S.E.P.N.B., qui réunissait les principaux responsables des centres de soins, créés dans le Finistère lors de la marée noire.

BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

- GUILLON J.-C., 1967 - Les effets tardifs de l'intoxication par le « mazout » chez les oiseaux. *L'Homme et l'Oiseau*, 9, pp. 15-16.
- JOUANIN C., 1967 - Le naufrage du « Torrey Canyon ». *Le Courrier de la Nature*, 1/2, pp. 18-19.
- L'HARDY J.-P., 1962 - Le rôle du mazout dans la destruction des oiseaux marins sur le littoral du Finistère. *Penn ar Bed*, 3, pp. 187-191.
- LUCAS A., LEBEURIER E., L'HARDY J.-P., MAZÉAS M., 1967 - Les centres de soins pour oiseaux mazoutés organisés par la S.E.P.N.B. *Penn ar Bed*, 6, pp. 72-75.
- MILON P., 1966 - L'évolution de l'avifaune nidificatrice de la réserve Albert Chappelier (Les Sept-Iles) de 1950 à 1965. *La Terre et la Vie*, 113, pp. 113-142.
- MILON P. et BOUGEROL E.-F., 1967 - Séjour à Rouzic du 20 au 24 avril. *L'Homme et l'Oiseau*, 9, pp. 12-13.
- MAYER-GROSS H., 1967 - The « Torrey Canyon » oiling disaster. *B.T.O. News*, 23, pp. 2-4.

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 diesel (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'antracène, 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.

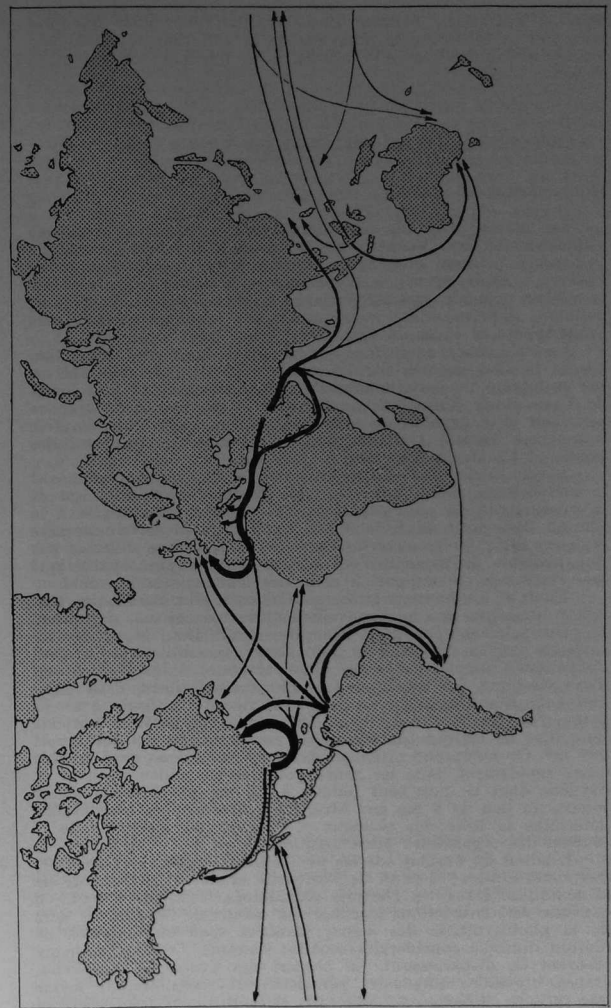
Il existe donc dans le milieu marin des processus de dégradation des hydrocarbures qui permettent une certaine « auto-épuration » de l'eau de mer, mais cette décontamination est trop lente pour oxyder intégralement les millions de tonnes de polluant déversées chaque année. Les nappes d'hydrocarbures 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'hydrocarbone exige 3 à 4 mg d'oxygène que les bactéries puisent nécessairement dans l'eau ambiante. Étant 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 de 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'Étang 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. Hoher)



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

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 millièmes. 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 millièmes. Des expériences récentes ont permis de retrouver des réactions analogues chez d'autres invertébrés marins.

3. Les hydrocarbures cancérigènes.

Mais c'est la pollution par les hydrocarbures cancérigènes 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 cancérigènes 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, 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 « léchant » 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 millième 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 uns 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 Alcédés 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 intempêtifs 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 Alcédés 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.

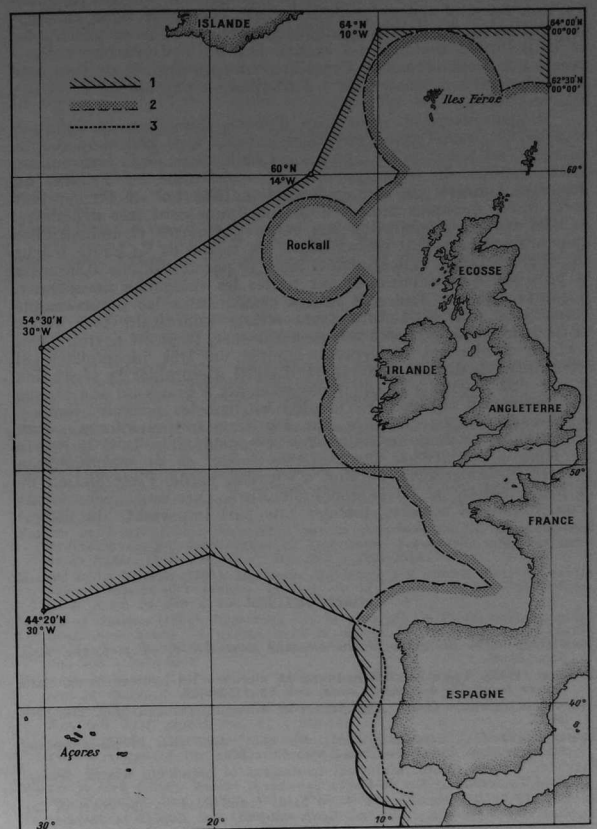
En 1954, sur la proposition de la Grande-Bretagne particulièrement touchée par la pollution, une nouvelle Conférence, réunissant 33 pays, modifia l'extension des zones interdites dont la limite, dans certains secteurs, était reportée à 100 milles des côtes. Elle rédigea également une « Convention internationale 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. Counc. 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.
- BRUIJNS (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.
- CLENENNING (1958). The effects of waste discharges on kelp. *Fuel oil. Univ. Calif. Inst. mar. Resources*, vol. 59, n° 4 : 4-12.
- CLENENNING (1960). The effects of waste discharges on kelp. Phenol and Cresols. *Univ. Calif. Inst. mar. Resources*, vol. 60, n° 4 : 45-47.
- CLENENNING 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 ailées du mazout. *Nat. belges*, vol. 42, n° 4 : 145-156.
- GALSTOFF, PRYTHERICH, 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.
- HAUTEKIEF (1955). Vijf jaar stookolieslachten. *De Wielwaal*, 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.
- LUZACK 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. *35^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 TREULE (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 gairdneri*. *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-BRUVNS (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 CLENENNING (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.
- SPOONER (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 cancérigènes. *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.

Étude sur la diffusion des pollutions bactériennes en mer

par M. AUBERT* et J. AUBERT**

La mer a depuis toujours constitué le réceptacle naturel des eaux résiduaires des populations littorales. Constituées pour la plus grande partie par des effluents domestiques, ces eaux, du fait du développement industriel de notre civilisation, reçoivent un apport non négligeable d'eaux usées provenant de l'industrie, charriant ainsi des produits chimiques et des substances toxiques. Ces eaux urbaines, de qualités biologiques et chimiques très différentes des eaux marines, vont entraîner par leurs rejets, des modifications physico-chimiques ou biologiques du milieu marin, s'étendant à des distances souvent assez considérables, selon leur distribution par les courants.

METHODES D'ETUDE DE LA DISPERSION DES EAUX RESIDUAIRES APRES LEUR REJET EN MER.

Les méthodes d'étude permettant de juger de l'expansion des eaux résiduaires, auront pour but de déterminer l'évolution de ces eaux après leur rejet en mer, leur capacité polluante et leur influence sur le littoral ; elles comportent d'une part, l'étude du milieu marin où s'effectue le rejet et, d'autre part, l'étude de la dynamique du rejet.

ETUDE DU MILIEU MARIN OU S'EFFECTUE LE REJET.

La courantométrie : Les courants qui entraînent les eaux résiduaires après leur sortie sont de deux ordres : les principaux sont les courants de dérive superficielle, dus à l'action du vent à la surface de la mer qui provoque un mouvement moléculaire créant, ainsi, une systématique à laquelle la veine d'eaux douces issue de l'émissaire va être soumise ; ils sont donc un des facteurs principaux de la dispersion des agents polluants. Les courants généraux, par ailleurs, sont susceptibles d'intervenir, mais plus particulièrement dans la partie moyenne et profonde de ces eaux.

* Directeur du Groupe de Recherches de Biologie et d'Océanographie Médicale de l'I.N.S.E.R.M.

** Chargé de Recherches de l'I.N.S.E.R.M.

et leur influence ne se manifesterait que lorsque les courants de dérive sont absents.

Si les courantomètres classiques à hélice donnent de bons résultats pour les couches profondes, on leur préférera pour l'étude de la couche superficielle les courantomètres ou flotteurs de dérive dont on suit l'évolution par repérage topographique ; d'autre part, l'utilisation de flotteurs homothétiques des matières dilacérées (par leur densité et leur flottabilité), circulant immergés juste sous la surface de l'eau, lancés au niveau du point de rejet, permettra de voir la destinée des macro-déchets.

Ainsi, on peut reconstituer, après plusieurs heures de dérive, les vecteurs de courants pour une condition météorologique donnée, et la dérive des flotteurs homothétiques donnera une carte de l'évolution des macro-déchets entraînés par les courants superficiels, soit par prélèvements topographiques successifs, soit par photographies aériennes.

L'étude du complexe température-salinité : Ces deux paramètres sont caractéristiques de l'individualisation de diverses masses d'eau marine. Les résultats des analyses systématiquement effectuées en de nombreuses stations, permettront de tracer des courbes isothermes et isohalines donnant ainsi la situation hydrologique et la reconstitution de l'équilibre et de la dynamique de la zone d'étude.

Les mesures de température seront faites soit par thermomètres à clapet ou à renversement, soit par thermomètres électroniques avec thermistance immergée qui permettent d'effectuer les mesures pendant la marche du navire océanographique. Parallèlement, la salinité est dosée, soit par la méthode classique de KNUDSEN, soit par des électro-salinomètres basés sur la mesure de la conductibilité.

ETUDE DE LA DYNAMIQUE DU REJET.

Les traceurs naturels : Faisant partie intégrante de l'effluent lui-même, ils seront des indicateurs de son évolution en mer.

Les traceurs chimiques — L'un des plus simples est la salinité : elle permet de calculer le coefficient de la dilution de l'eau douce émanant de l'émissaire au cours de sa dispersion en mer.

L'azote est un des plus caractéristiques. On le recherchera aussi bien dans les sédiments que dans l'eau elle-même, soit sous forme d'azote total, soit sous forme de nitrates ou de nitrites. Les taux très élevés trouvés dans les eaux d'égouts sont, en général, 30 fois supérieurs à ceux trouvés dans la mer ; dans les sédiments avoisinant l'émissaire, les taux d'azote total sont aussi très importants du fait des grosses particules organiques qui tendent à tomber vers le fond suivant les zones préférentielles.

Les phosphates sont des éléments caractéristiques des eaux de rivière et des émissaires. En effet, s'ils existent en très faible concentration dans l'eau de mer (1 à 10 microgrammes/litre) leur taux est cent fois plus élevé dans les effluents.

L'oxygène dissous apportera une information supplémentaire dans les zones de pollution situées dans les baies fermées ou les enceintes portuaires où la demande biochimique d'oxygène (D.B.O.) risque d'être dépassée, alors que dans les baies ouvertes, le brassage constant existant à la surface de la mer facilite l'oxygénation de la couche superficielle.

Les traceurs biologiques : Si les traceurs physico-chimiques reproduisent du point de vue physique, d'une manière suffisamment fidèle, le comportement d'un rejet d'eaux douces en mer, ils ne peuvent reproduire aussi exactement le comportement particulaire et biologique des éléments contenus dans l'eau d'égout mis en contact avec le milieu marin dont les témoins les plus significatifs, du point de vue de l'hygiéniste, sont les germes entériques, tests de contamination fécale. Ainsi, les traceurs biologiques d'une pollution créée par un rejet seront les bactéries telluriques émises par cet émissaire, et les analyses bactériologiques effectuées à des distances variables, soit en quadrillage, soit suivant la zone de dérive, permettront d'évaluer la capacité polluante du rejet, tant en surface qu'en profondeur. Les résultats de ces analyses donneront les taux bactériens trouvés en fonction de la distance de l'émissaire et pourront être reportés sous forme de courbes d'isobactéricité.

Les mesures des taux bactériens effectués en s'éloignant progressivement de l'émissaire montrent que les bactéries diminuent très largement pour disparaître presque complètement à des distances de l'ordre de 3.000 mètres (par exemple pour un rejet titrant en moyenne 1.000.000 de germes aérobies/ml dont le débit est de 1 m³/seconde on ne trouve que quelques germes/ml après 3 à 4.000 mètres).

Indépendamment des germes tests de pollution, nous utilisons comme traceurs des bactéries génétiquement différenciées (mutant d'une souche d'*E. coli* n° 27 sélectionnée par le Laboratoire de Chimie bactérienne (C.N.R.S. Marseille), facilement identifiables parmi les germes habituels de l'eau d'égout du fait de leurs caractères spécifiques d'origine génétique (streptomycino-résistants et auxotrophes à l'égard de la méthionine).

Les traceurs artificiels : En dehors de ces traceurs naturels, on peut utiliser des traceurs artificiels, comme les traceurs colorés ou radioactifs qui marquent le fluide lui-même.

On pourra les employer, l'un comme l'autre, soit en injection ponctuelle, soit en injection continue et les eaux ainsi marquées pourront être suivies à des distances assez longues et permettront de calculer les valeurs successives de la dilution.

Parmi les traceurs radioactifs, on utilisera les corps à vie courte, comme l'Iode 131 ou le Brome 82, dont on suivra la radioactivité à l'aide de sondes immergées à diverses profondeurs. Parmi les traceurs colorés, le plus intéressant actuellement est la Rhodamine B et ses dérivés (super Rhodamine G), mesurés à l'aide d'un fluorimètre. Ces méthodes de mesure très sensibles permettent de déceler des taux de dilution de traceurs de 5×10^{-11} curie par litre ou de 5×10^{-11} kg/litre. Ces dernières méthodes représentent un appoint important pour cette recherche, bien qu'elles soient entachées de certaines imprécisions liées au comportement micro ou macro-particulaire de l'eau résiduaire.

Les études corrélatives entre les taux de dilution donnés par le dosage de la salinité et les taux bactériens montrent que les germes disparaissent plus rapidement que la dilution ne le laisse prévoir. L'étude comparative de la dérive des eaux résiduaires par traceurs colorés et radioactifs, d'une part et par traceurs biologiques, d'autre part (recherche des germes telluriques) a permis de mettre en évidence avec précision les coefficients de dilution et les coefficients de diminution bactérienne. Ces derniers sont toujours supérieurs au coefficient de dilution de l'eau douce

par l'eau de mer. Le phénomène d'accélération relative de la dispersion bactérienne peut être défini en fonction de l'espace par la relation : $\log \frac{B_0}{B} = 1,8 \log \frac{A_0}{A}$ (A et B étant les concentrations en un point quelconque de l'espace du traceur physique et du traceur biologique, A₀ et B₀ les concentrations originelles de ces traceurs), et en fonction du temps par la relation : $y = e^{-\lambda t}$ (y : taux de disparition des bactéries, t : temps de contact). (Voir fig. 1 et 2).

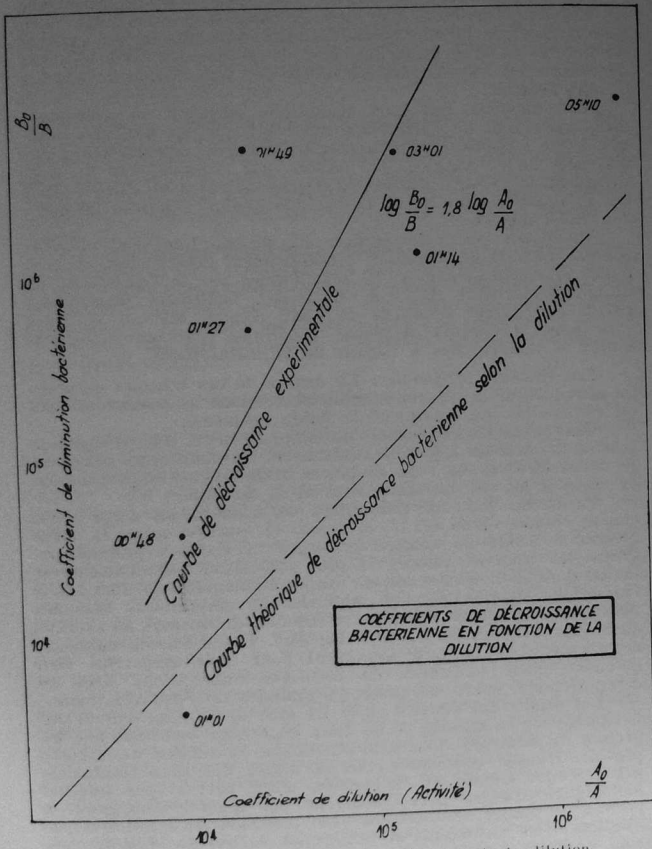


Fig. 1. — Décroissance bactérienne en fonction de la dilution.

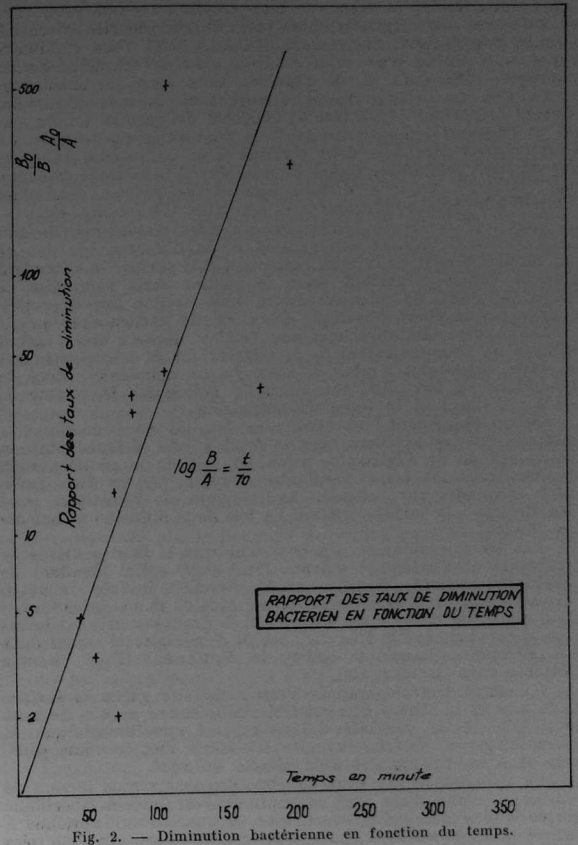


Fig. 2. — Diminution bactérienne en fonction du temps.

Il y a donc un phénomène de disparition progressive des bactéries, fonction de la dilution, de la vitesse de dispersion, mais également fonction d'un facteur d'ordre biologique : le pouvoir autoépurateur du milieu marin.

ASPECTS DE LA DIFFUSION DES EAUX RESIDUAIRES.

En général, les rejets domestiques s'effectuent dans une masse d'eau de mer plus ou moins animée par les courants.

Ainsi, deux fluides différents sont en présence : d'une part, l'eau de mer avec ses caractéristiques particulières (densité, viscosité, salinité, température, mouvements), d'autre part, l'eau résiduaire émise sous forme d'un rejet continu avec des caractéristiques physiques différentes et, de plus, un taux élevé de substances organiques, des déchets divers et surtout des germes en nombre souvent important (1.000.000 à 2.000.000 de germes totaux par ml en moyenne) comprenant toute la flore entérique (coliformes, streptocoques fécaux...) dont certains sont pathogènes (*Shigella dysenteriae*, *Salmonella typhi*, *S. para typhi*, *Klebsiella pneumoniae*, etc...) à laquelle il faut ajouter les germes anaérobies (*Clostridium sulfito-réducteurs*) et les virus (*Poliovirus*, etc.).

Dès leur sortie de l'émissaire, les eaux résiduaires, du fait de la pression qu'elles subissent et de la différence de densité par rapport à celle de la mer, remontent à la surface et s'étendent plus ou moins largement selon le volume émis par unité de temps. Au cours de cette ascension, une sélection s'opère, conditionnée par le poids spécifique des éléments particuliers qu'elle contient (corps flottants, matières fécales, déchets divers ayant échappé au fractionnement de la dilacération, et micro-particules de type organique, certaines sous forme colloïdale), dont la dynamique va être différente selon la flottabilité, le volume, le poids spécifique et la force de propulsion.

Schématiquement, les particules lourdes vont décrire une parabole qui les amènera vers le fond à une distance plus ou moins grande de l'émissaire selon les lois de la sédimentation et constitueront les boues résiduaires, tandis que les fines particules entraînées par l'élément hydrologique de l'émissaire, vont être dirigées à la surface, suivant les lois de la diffusion turbulente des fluides.

Les boues résiduaires s'accumulent vers le fond à l'issue de l'émissaire et s'entassent suivant l'axe préférentiel résultant de l'effet des courants marins sur la direction initiale du rejet. L'expansion de ce cône de déjection est plus ou moins importante ; il est constitué d'une boue fluide dont la granulométrie est inversement proportionnelle à la distance de l'émissaire et créant dans son périmètre immédiat, selon le Professeur FAGE, « une véritable zone azoïque ».

L'élément hydrologique de l'eau résiduaire gagne la surface de la mer et sa dérive non miscible initialement à l'eau de mer, de densité et de viscosité différentes, est conditionnée par la courantologie de surface, soumise elle-même aux courants généraux et à la direction et à la vitesse du vent.

La diffusion de ces eaux va donc progresser sous le vent de l'émissaire dans l'axe du courant et leur aspect spécifique (turbidité due aux petites particules en suspension) s'atténue à mesure que l'on s'éloigne, puis elles cessent d'être individualisées et disparaissent ; seules, les analyses chimiques et bactériologiques nous renseignent encore sur leur extension.

La répartition des germes en fonction des éléments rejetés s'effectue de la manière suivante : selon WOOD, la majeure partie des bactéries se fixe sur les particules de faible granulométrie dont la limite supérieure est de 20 microns, ainsi 98,5 % des bactéries sont fixées aux particules inférieures à 20 microns, alors que les particules d'une taille supérieure à 20 microns ne renferment qu'environ 1,5 % des germes.

Ces données permettent d'expliquer les taux bactériens rela-

tivement bas trouvés dans les sédiments aux alentours des émissaires, alors que les taux bactériens trouvés dans les eaux de surface qui répondent à la diffusion turbulente des fluides sont extrêmement élevés.

POUVOIR AUTO-EPURATEUR DU MILIEU MARIN.

Les études effectuées sur la diffusion bactérienne à la sortie des émissaires permettent de voir, ainsi que nous l'avons dit, que le nombre des bactéries décroît plus vite que ne permettent de le prévoir les taux de dilution des eaux résiduaires en mer, ce phénomène a été appelé le pouvoir auto-épurateur du milieu marin. D'après nos propres études et celles de nombreux auteurs qui se sont occupés de ce phénomène, ce pouvoir auto-épurateur dépend d'un certain nombre de facteurs agissant conjointement et aboutissant à une réduction rapide du taux bactérien d'origine tellurique. Ces phénomènes sont d'ordre physique, d'ordre chimique et d'ordre biologique. Parmi les facteurs d'ordre physique, il faut tenir compte du rayonnement ultraviolet (il semble que son action soit de faible importance, étant donné le peu de perméabilité de l'eau à ce rayonnement), la température du milieu marin relativement basse, la pression osmotique, etc... Parmi les facteurs relevant d'un mécanisme d'ordre chimique, certains auteurs ont évoqué la salinité (son action est cependant très peu sensible) d'autres, les métaux dissous, et plus particulièrement le cuivre (mais il faut remarquer que les taux du cuivre trouvés en mer sont d'un facteur 10 inférieur aux taux nécessaires pour avoir une action antibactérienne), d'autres actions secondaires chimiques ont également été soulignées, comme les gaz dissous, les variations du pH, la pauvreté du milieu en substances nutritives susceptibles d'alimenter le métabolisme bactérien.

L'ensemble des phénomènes d'ordre physique et chimique ne parvient pas cependant à expliquer d'une manière satisfaisante les mécanismes de disparition des bactéries telluriques rejetées en mer, en particulier la suppression de l'action antibactérienne de l'eau de mer après chauffage de l'eau. Il est donc nécessaire de faire appel à un troisième ordre de facteurs, les facteurs d'ordre biologique, parmi eux il a été démontré que les prédateurs contribuaient à cette régression bactérienne. Ces prédateurs sont de deux sortes : les macroprédateurs (copépodes, protozoaires, etc...) et les microprédateurs (bactériophages : *Bdellovibrio bacteriovorus*).

Parmi ces facteurs d'ordre biologique, il faut indiquer également le pouvoir antibiotique dû à des médiateurs biochimiques issus de la faune ou de la flore marine.

L'expérimentation que nous avons poursuivie « in vitro » avec des extraits planctoniques pêchés, a montré que l'addition de ces extraits à l'eau de mer inactive (préalablement stérilisée par autoclavage) lui rendait son pouvoir antibiotique, et celui-ci était d'autant plus manifeste que les extraits utilisés étaient composés de phytoplancton.

Par la suite, dans le but de rechercher et de préciser les espèces phytoplanctoniques douées d'action antibiotique, il fut nécessaire d'obtenir « in vitro » des cultures phytoplanctoniques monospécifiques et axéniques.

Ces différentes espèces ont ensuite fait l'objet de tests systématiques vis-à-vis de divers germes par la méthode des antibio-

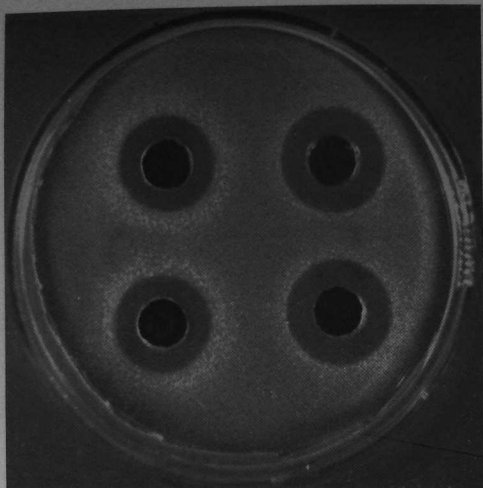


Fig. 3.

Diatomée testée :
Asterionella japonica

Germe test :
Staphylococcus aureus
209 P

Zone d'inhibition :
20 mm

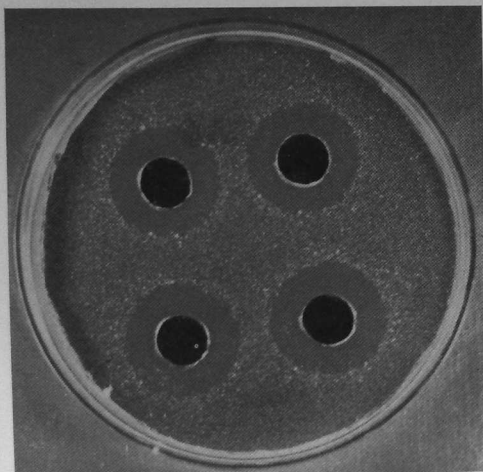


Fig. 4.

Diatomée testée :
Chaetoceros teres

Germe test :
Shigella dysenteriae

Zone d'inhibition :
25 mm

grammes. Nous avons pu, ainsi, déterminer les espèces phytoplanctoniques actives et leur spectre antibactérien : le screening portant sur une soixantaine d'espèces actuellement en culture, montre qu'un certain nombre de Diatomées et de Dinoflagellés sont doués d'activité antibiotique vis-à-vis de différents germes (*Staphylococcus aureus*, *Shigella dysenteriae*, *Sarcina lutea*, *Nesse-ria flava*, *Moraxella bovis*, *Bacillus subtilis*, *Escherichia coli*). (fig. 3 et 4).

Nos propres recherches ont mis en évidence que des substances antibiotiques issues du plancton étaient soit des nucléotides, soit des acides gras.

Mais les travaux d'autres auteurs ont montré l'existence de substances antibactériennes d'origine marine provenant soit de Mollusques (PRESCOTT et coll. 1962), soit des Coraux (BURKHOLDER et coll. 1958) soit des Spongiaires (NIGRELLI et coll. 1960), soit des algues brunes, des algues rouges ou vertes, ou encore des Cyanophycées (PRATT et coll. 1951 ; KAMIMOTO 1955 ; ROOS 1957 ; BURKHOLDER et coll. 1950 ; CHESTERS et STOTTS 1956 ; SIEBURTH et CONOVER 1964 ; ALLEN et DAWNSON 1950), soit aussi des bactéries marines (KRASSILNIKOV 1961).

Ces substances ainsi libérées dans le milieu marin semblent donc responsables du pouvoir antibiotique et leur action conjuguée en assure la continuité.

RAPPORTS DES EAUX RESIDUAIRES ET DE LA BIOMASSE MARINE PRIMAIRE.

L'importance de la biomasse marine primaire conditionnant la productivité du milieu marin utilisable par elle-même, il importe de déterminer les conséquences des rejets d'eaux résiduaires contenant agents bactériens, matières minérales et organiques sur la biomasse marine primaire : le phytoplancton.

Une étude expérimentale a été entreprise au C.E.R.B.O.M., dont voici l'essentiel :

Des bacs de cultures ensemencés avec un taux de cellules planctoniques connu (Diatomée monospécifique : 3.000 cellules/ml) ont été enrichies avec des taux divers d'eaux résiduaires brutes ou épurées, et des boues résiduaires de sédimentation prises aux trois stades de l'épuration biologique classique. Au quatrième jour il a été testé dans chacun des cas la croissance planctonique, la croissance bactérienne, la croissance des Protozoaires, les taux de nitrates, de phosphates et de chlorures, ainsi que le pH. Les résultats obtenus ont été les suivants :

— croissance planctonique : l'introduction de l'eau d'égout brute à des taux progressifs (de 0,5 % à 20 %) donne des facteurs de multiplication cellulaire planctonique respectifs de 7 à 32, et l'eau épurée, des facteurs de 6 à 40, les boues sédimentaires primaires, secondaires et tertiaires se sont révélées moins actives : un taux progressif de 0,05 % à 5 %, les facteurs de multiplication ont été de 5 à 7 pour les boues primaires et secondaires et de 5 à 0,4 pour les boues tertiaires. L'eau d'égout brute ou épurée a donc une action très favorable sur la croissance de la Diatomée testée, alors que les boues résiduaires sont moins actives et même novices si leur concentration est trop élevée.

— croissance bactérienne : en ce qui concerne l'évolution des bactéries apportées dans les bacs de culture par les eaux et les boues résiduaires, elles ont fait l'objet de comptages par numé-

ration totale des germes : (à titre d'exemple, en début d'expérience, l'eau d'égout titrait 2.000.000 de germes totaux/ml, l'eau épurée : 25.000/ml, les boues primaires et secondaires : 8.000.000/ml, les boues tertiaires : 25.000.000/ml. En fin d'expérience, les comptages bactériens montrent que quel que fût le taux d'eau d'égout ou de boues résiduaires ajoutées, le nombre de bactéries tombait à environ : 2.000/ml.

— L'action antibactérienne de la culture planctonique est donc manifeste, surtout si l'on rapproche ces résultats de ceux obtenus après enrichissement par l'eau d'égout de l'eau de mer stérilisée où le taux de croissance bactérienne atteint des facteurs de multiplication de 80 à 112, alors que dans les cultures planctoniques, le facteur de destruction est en moyenne de 5.000.

Il est à noter que dans certains bacs de cultures enrichies sont apparues au 10^e jour des efflorescences de Protozoaires dont le nombre est proportionnel au taux d'enrichissement en eaux ou boues résiduaires.

Les taux de nitrates et de phosphates dosés dans les milieux de culture ont montré, en fin d'expérience, des variations non systématiques et sans corrélation évidente avec les taux de croissance cellulaire. De même, la salinité s'est peu modifiée, restant proportionnelle aux taux de dilution initialement obtenus, les variations de pH ont été faibles mais ont évolué, en général vers une alcalinité plus marquée.

De l'ensemble de cette étude, on peut déduire que les rejets d'eaux résiduaires essentiellement domestiques en milieu marin reconstitué, affectent favorablement la croissance de la biomasse planctonique, même si ce taux d'eau d'égout est très élevé (20 %). D'autre part, ces rejets ont tendance, pour de fortes concentrations, à modifier faiblement l'équilibre biologique en favorisant l'efflorescence concomitante de Protozoaires. Par contre, l'action antibiotique créée par les formes planctoniques progressivement accrues s'est montrée toujours supérieure à la croissance des germes dans le milieu fortement enrichi en eaux d'égout pour aboutir à leur destruction complète.

Il semble donc, à partir de ces expériences, que le rejet d'eaux résiduaires en mer, à l'exclusion de tout rejet industriel, ne risque pas de compromettre la vie marine dans son ensemble et que les modifications qu'il lui apporte sont évidentes mais d'une extension relativement localisée.

Mais ces recherches ne sont pas simplement d'ordre fondamental, elles forment une base solide pour des études d'application pratique car l'approche des lois de la diffusion bactérienne ouvre la voie aux études fonctionnelles des émissaires d'eau d'égout existants ou en projet. Ces travaux prospectifs réalisés en fonction des données tant hydrologiques que courantologiques tiendront compte des impératifs sanitaires en relation avec la localisation des débouchés. Par des mesures systématiques de courants, de répartition des masses d'eau, par l'étude du complexe température-salinité et par des recherches sur les processus de diffusion, variables selon les circonstances hydrologiques ou météorologiques étudiées à l'aide de traceurs physiques ou biologiques, il sera possible de préciser les futures implantations d'émissaires et de déterminer les degrés de traitements épurateurs à effectuer éventuellement avant ces rejets.

BIBLIOGRAPHIE

- ALLEN M.B. and DAWSON E.Y., 1960 : « Production of antibacterial Substances by Benthic Tropical Marine Algae ». *Journal of Bacteriology*, vol. 79, pp. 459-460.
- AUBERT M., LEBOUT H. et AUBERT J., 1964 : « Méthodes d'études des pollutions microbiologiques au débouché en mer d'un émissaire d'eaux usées et examen des résultats ». *Pollutions marines par les micro-organismes et les produits pétroliers - Symposium de Monaco*, pp. 19-23.
- AUBERT M., LEBOUT H. et AUBERT J., 1964 : « Rôle du plancton dans le pouvoir antibiotique du milieu marin ». *Annales de l'Institut Pasteur*, tome 6, n° 1, pp. 147-150.
- AUBERT M., GAUTHIER M. et DANIEL S., 1966 : « Origine et nature des substances antibiotiques présentes dans le milieu marin », III^e Partie : Activité antibactérienne d'une Diatomée marine : *Asterionella japonica* (Cleve). *Rev. Intern. Oceanogr. Méd.*, tome I, pp. 35-43.
- AUBERT M., 1966 : « Le comportement des bactéries terrigènes en mer - Relations avec le Phytoplancton ». *Thèse de Doctorat de l'Université d'Aix-Marseille*, pp. 5-285.
- AUBERT M. et GUIZERIX J., 1966 : « Etude de la dispersion d'eaux résiduaires en mer au moyen de traceurs radio-actifs ». *Rev. Intern. Oceanogr. Méd.*, tome I, pp. 50-59.
- BURKHOLDER P.R., BURKHOLDER L.M., 1958 : « Antimicrobial Activity of Horny Corals ». *Sciences U.S.A.*, vol. 127, n° 3, p. 307.
- BURKHOLDER P.R., BURKHOLDER L.M. and ALMOVAR L.R., 1960 : « Antibiotic Activity of Some Marine Algae of Puerto Rico ». *Botanica Marina*, vol. II, fasc. 1/2.
- CHESTERS G.G.C. and STOTT J.A., 1956 : « Production of Antibiotics Substances by Seaweeds ». 2nd Proceeding International Seaweed Symposium Trondheim, pp. 49-53.
- CONOVER J.T. and SIEBERTH J. McN., 1964 : « Effect of Sargassum Distribution on its Epibiota and Antibacterial Activity ». *Botanica Marina*, vol. VI, fasc. 1/2.
- GUIZERIX J., 1965 : « Etude à l'aide de traceurs radio-actifs de la distribution des eaux usées dans un projet de rejet ». *Cahiers du C.E.R.B.O.M.*, tome XVI, pp. 109-119.
- HARREMOES P., 1964 : « Prediction of Pollution from planed sewage outlets ». *Pollutions marines par les micro-organismes et les produits pétroliers - Symposium de Monaco*, pp. 11-17.
- HEIM DE BALSAC H., BERTOZZI et GOUDIN, 1952 : « Pouvoir antibiotique des eaux de mer vis-à-vis des germes entériques déversés par les effluents pollués des villes ». *Bulletin de l'Académie Nationale de Médecine*, vol. 136, pp. 514-516.
- KAMIMOTO K., 1955 : « Studies on the bacterial substances extracted from seaweeds on the growth of some pathogenic bacteria ». *Japan Journal of Bacteriology*, vol. 10, pp. 897-902.
- KETCHUM B.H., AYERS J.C. and VACCARO R.F., 1962 : « Processes contributing to the decrease of coliform bacteria in a tidal estuary ». *Ecology*, vol. 33, n° 2, pp. 247-259.
- KRASSIL'NIKOVA E.H., 1961 : « Propriétés antibiotiques des micro-organismes marins isolés à différentes profondeurs ». *Mikrobiologia*, vol. 30, pp. 653-791.
- NIGRELLI and JAROWSKA S., 1960 : « Antimicrobial substances from sponges ». *American New-York Academy of Sciences*, vol. 20, n° 3, pp. 917-919.
- PEARSON E.A. and CARTNER R., 1964 : « On eddy diffusivity and current determination in outfall design ». *Pollutions marines par les micro-organismes et les produits pétroliers - Symposium de Monaco*, pp. 25-34.
- PRATT R., MAUTNER H., GARDNER G.M., SHA Y.H. and DUFRENOY J., 1951 : « Report on antibiotic activity of seaweed extracts ». *Journal of American Pharmacy Association*, vol. 40, n° 11, pp. 575-579.
- PRESCOTT C.P., LI B., JAHNES W.G. and MARTINO E.C., 1962 : « Antimicrobial agents from mollusks ». *Transactions of the New-York Academy of Sciences*, Sér. II, vol. 24, n° 5, pp. 504-509.
- ROOS H., 1957 : « Untersuchungen über das Vorkommen antimikrobieller Substanzen in Neeresalgen Kieler Meerestforschungen ». Vol. 13, pp. 41-58.
- SKULBERG O.M., 1966 : « Algal cultures as a means to assess the fertilizing influence of pollution ». *Third International conference on water pollution research*, Munich, 5-9 September.
- WOOD E.J.F., 1963 : « Heterotrophic Micro-organisms in the Oceans ». *Oceanography and Marine Biology Annual Review*, vol. 1, pp. 197-222.

Est-il inévitable que l'humanité soit asphyxiée par ses déchets ?

par Christian JOUANIN

Le pétrole est certes indispensable à notre civilisation : chacun de nous sait ce qu'il perdrait s'il était soudain privé de cette forme d'énergie qui assure, entre autres bienfaits, sa mobilité et son chauffage. Mais dans le même temps que le pétrole favorise l'expansion de notre société, les déchets de son industrie, de sa commercialisation menacent d'asphyxier l'humanité dont il assure le progrès. C'est là tout le problème des déchets de l'activité humaine, l'un des plus graves problèmes auquel, sous ses divers aspects, l'humanité du xx^e siècle se trouve confrontée : le rejet des hydrocarbures à la mer en est un des cas particuliers, mais l'un des plus importants.

Car le naufrage du « Torrey Canyon » n'est qu'un accident, spectaculaire à cause des circonstances de lieu, de temps et de concentration, mais négligeable au regard de la pollution permanente, dans la suite des atteintes quotidiennes à la santé des océans. Un demi à un pour cent de la quantité totale d'hydrocarbures transportée dans le monde est rejeté à la mer, c'est-à-dire que cette année la quantité totale d'hydrocarbures déversée sera de cinquante à cent fois la charge du « Torrey Canyon ». Au cours des années à venir, la quantité d'hydrocarbures transportée progressera selon toute vraisemblance à une allure peu différente de celle que l'on constate pour les années passées (elle a triplé de 1958 à 1966) : si aucune mesure sérieuse n'est prise, c'est plusieurs centaines de fois la charge du « Torrey Canyon » qui sera rejetée chaque année dans les océans qui nous entourent.

Est-ce à dire que nous n'avons pas d'autre choix que de stopper l'expansion de nos industries ou d'anéantir des ressources marines dont les chaînes alimentaires sont déjà prises en compte par les esprits clairvoyants pour assurer la survie de nos enfants et de nos petits-enfants ? Non, car les solutions techniques existent ; elles ont déjà été imaginées, expérimentées, mises au point. Comme le dit justement notre collègue L'HARDY dans le présent fascicule, « aucun argument technique ne peut s'opposer désormais à l'interdiction absolue du rejet des hydrocarbures ». Il suffit de le vouloir. Ce n'est plus un problème technique, c'est un problème d'autorité.

On se heurte ici malheureusement à l'anarchie des intérêts et au maquis des souverainetés dont savent profiter — au sens le plus propre du terme — les puissantes sociétés qui distribuent le pétrole.

Jamais peut-être, avant le « Torrey Canyon », nous n'avions vu tomber dans le domaine public un exemple aussi démonstratif de l'imbroglio des relations économiques dans lesquels se diluent et se perdent les responsabilités. Les journaux quotidiens ont

longuement raconté que le navire en cause appartenait à une compagnie américaine qui l'avait loué à une compagnie anglaise, laquelle faisait transporter sous pavillon libérien, par équipage italien, une cargaison d'origine arabe. Il semble qu'en définitive ce pétrole brut qui n'est jamais arrivé à destination, devait être livré à la British Petroleum. Une perte pour cette dernière, le naufrage ? Moins qu'on ne croit peut-être, puisque les plages de Cornouailles ont été nettoyées avec un certain détergent B.P. 1002 qui n'a probablement pas été cédé gratuitement aux autorités britanniques... par la British Petroleum ! Qu'on ne croit cependant pas que le gouvernement anglais, qui a vu ses plages souillées et a été contraint de les nettoyer, ait été intégralement perdant dans la stricte optique du profit capitaliste : il est en effet, avec 50 % des parts, le principal actionnaire de la B.P. Vraiment on s'y perd ! (Nous ne cherchons pas à faire ici le procès d'une compagnie ni d'un gouvernement, mais à tirer la leçon, valable pour toutes les nations, d'une divergence de pressions qui ne favorise certes pas l'efficacité).

Au-delà intervient le délicat problème des souverainetés internationales. La Ligue française pour la protection des oiseaux — si durement touchée par le désastre en sa réserve des Sept-Iles — a émis un vœu pour que les eaux territoriales françaises soient interdites à tout navire battant pavillon d'un pays qui n'aurait pas adopté les amendements de 1962 à la Convention sur la prévention de la pollution des mers par les hydrocarbures. Dans l'esprit de ses auteurs, la mesure proposée n'avait pas d'autre but que de contraindre les pavillons de complaisance à se plier à la loi commune : la L.P.O. est mieux placée qu'une autre, hélas, pour savoir que la catastrophe peut tirer son origine d'un point situé bien au-delà des eaux territoriales. Le Directeur des Pêches Maritimes (au Secrétariat Général de la Marine Marchande) lui a fait l'honneur de lui répondre qu'une telle interdiction des eaux territoriales serait contraire aux obligations de la convention de Genève (1958) que la France a souscrite en son temps. Il nous plaît que la signature de la France ne soit pas soumise aux aléas des repréailles que suggérerait l'actualité. Si nous faisons fi nous-mêmes des engagements internationaux que nous avons auparavant acceptés, comment pourrions-nous attendre quelque effet de la ratification par d'autres pays de la Convention de 1962 ?

N'y a-t-il donc rien à faire ? Les juristes admettent pourtant la légitime défense. Le principe a, nous semble-t-il, au niveau des nations la même valeur morale qu'au niveau des individus. Malgré l'imbroglio des intérêts auquel nous faisons allusions ci-dessus, la France n'a rien, ou du moins pas grand-chose (car il y a des actionnaires de la B.P. dans notre pays !) à se reprocher dans le naufrage du « Torrey Canyon » qui s'est traduit pour elle par une agression, certes non préméditée mais caractérisée. En valeur relative nos ressources naturelles ont été plus gravement atteintes que celles de la Grande-Bretagne. Serait-il inconcevable que nous refusions l'accès et l'usage de nos ports à tout navire qui ne serait pas muni des installations techniques permettant de ne pas rejeter les résidus pétroliers à la mer ou, dont une inspection aurait révélé qu'il ne s'en est pas servi ? Le voyageur qui entre dans un pays est tenu de se conformer à la législation de celui-ci. Malgré toute sa séduction, une jeune Balinaise ne pourrait se présenter à la douane française les seins nus, dans le simple costume de son pays.

Nous ne sommes pas juristes et nous ignorons quels articles de droit peuvent être invoqués pour mettre un terme au scandale permanent que constitue l'indifférence des pétroliers à l'égard de leurs ordures. Mais nous savons que les bénéfices réalisés par l'extraction, le transport et la distribution du pétrole sont énormes (les compagnies commerciales ne sont pas seules en cause : qu'on pense aux impôts qui taxent le carburant de nos voitures !) et nous savons aussi que les dégâts commis par ces activités ne sont pas inévitables. Nous avons dit plus haut que des solutions techniques existaient et qu'il suffisait de les vouloir. Mais ce vouloir, pour dominer les intérêts et les souverainetés en jeu, se situe à un niveau tel qu'il rejoint le pouvoir politique. Nous retrouvons l'idée, maintes fois exprimée, que la conservation des ressources naturelles ne sera efficace que le jour où elle sera l'objet d'un ministère, d'un « grand » ministère, conscient de remplir la mission la plus urgente de notre génération — puisque de cette mission dépend l'avenir des générations suivantes — et capable d'imposer son dessein à la mêlée des profits privés et des servitudes publiques à court terme.

BIBLIOGRAPHIE

CONSERVATION AND THE « TORREY CANYON ». Numéro spécial du *Journal of the Devon trust for Nature conservation*, Juillet 1967.

Dans cette brochure de 72 pages, 11 articles sont consacrés au désastre du « Torrey Canyon » ainsi qu'à la pollution permanente des mers par les hydrocarbures. Le bilan établi concerne évidemment les côtes anglaises. Mais le numéro comporte surtout un article de 33 pages, fort documenté, de C. MANWELL et A. BAKER sur « La pollution par les hydrocarbures et les détergents, politique passée et présente et prévisions », qui constitue un violent réquisitoire. Les auteurs montrent qu'il existe une véritable conspiration du silence sur la nocivité de produits industriels (herbicides, insecticides, hydrocarbures, détergents...). Ils mettent en évidence les obstructions volontaires qui empêchent toute recherche scientifique d'envergure sur les pollutions. Ils analysent, sur des exemples concrets, comment les scientifiques sont condamnés au silence sur ces questions. Dans leur conclusion ils affirment que la « pollution physique » que nous connaissons, a son origine dans une « pollution mentale » ignorée du public.

A. LUCAS.

LA MAREE NOIRE DU « TORREY CANYON », par Jean MABIRE. Ed. Albin Michel. 1 vol. 254 p. 15 F.

Dans ce volume J. MABIRE, aidé par une équipe de journalistes, retrace l'histoire de la marée noire jusqu'au 17 avril. On ne retrouvera donc que peu de renseignements sur la lutte entreprise par la Marine Nationale et rien sur la pollution de l'Ouest du Finistère, qui eut lieu plus tard. Par contre, du 18 mars au 17 avril, on peut revivre toutes les péripéties de ce drame, retracés dans un style alerte et pittoresque. Malgré sa légèreté apparente, cette étude repose sur une solide documentation. Nous avons reconnu pour notre part, dans le chapitre sur la « Pollution des Océans » (pages 227-228), des faits exposés dans le numéro 29 de *Penn ar Bed*.

Nous sommes persuadés que ce livre constitue un excellent « digest » de toutes les nouvelles et polémiques qui alimentèrent les journaux à cette époque. Mais ce qui demeure le plus étonnant est l'extrême rapidité de sa publication : son impression était achevée le 7 juin 1967 et sa distribution immédiate, tout particulièrement en Bretagne.

A. LUCAS.

NOTE DU TRESORIER

Nous remercions vivement ceux qui nous ont versé leur cotisation pour 1967 et nous prions les autres adhérents de se mettre en règle au plus vite. Merci.

ANCIENS NUMEROS DE « PENN AR BED »

Faire les commandes à la S.E.P.N.B., Faculté des Sciences, 29 N-Brest.

Années complètes :

(Pour les sujets traités, voir aussi les « numéros séparés ». En caractères gras, les numéros spéciaux).

1955 (n ^{os} 4/5, 6) : Richesses marines, Ouessant, Agriculture — Hirondelles, Chauves-souris	50 F
1957 (n ^{os} 10, 11, 12) : Bocage, Muséum Nantes, Moutons d'Ouessant — Protection de la Nature en Bretagne — Arrée, Bocage, Algues, Ouessant	80 F
1958 (n ^{os} 13, 14, 15) : La pêche en mer — La presqu'île de Crozon — Bilan de 5 années	100 F
1959 (n ^{os} 16, 17, 18, 19) : Faune et flore bretonnes — Brest — Cap Fréhel, Paimpont, Ports	100 F
1960 (n ^{os} 20, 21, 22, 23) : Connaissance du milieu marin (21)	30 F
1961 (n ^{os} 24, 25, 26, 27)	30 F
1962 (n ^{os} 28, 29, 30, 31)	20 F
1963 (n ^{os} 32, 33, 34, 35)	15 F
1964 (n ^{os} 36, 37, 38, 39)	15 F
1965 (n ^{os} 40, 41, 42, 43) : Pont-de-Buis, Menez-Luz, Littoral petit Trégor (42)	30 F

Numéros séparés :

N ^{os} 3 (Cap-Sizun, Tas-de-Pois, Nichoirs, le Cranou) ; 29 (Mazoutage) ; 41 (Les Talus)	10 F
N ^{os} 31 (Les Marais) ; 37 (Les Algues)	5 F
N ^{os} 7 (Brest, Gastropodes, Photos d'oiseaux) ; 14 (Presqu'île de Crozon) ; 20 (Quimper, Marché agricole, Plongées, Ouessant) ; 22 (Brest et Essen, Douarnenez, Montagne Noire, la Loutre) ; 23 (Rennes) ; Tiré-à-part 24 (Réserve Cap-Sizun) ; Tiré-à-part 25 (Flore du littoral) ; 26 (Cigognes en Loire-Atlantique, Excursion Rostrenen, Ouessant, Protection des Phoques) ; 27 (Migrations humaines, Tréguennec, le « Kornog ») ; 28 (Pêche des Langoustes, Oies sauvages) ; 30 (Fer, Crabes, Buis, Marquage du bétail en Brière) ; 32 (La Faune et le Froid) ; 33 (Ouessant, Talus, Fonds de la Manche, Bisquine Cancale) ; 34 (Paléontologie en Rade de Brest, Rapaces, Sols) ; 35 (Les Forêts bretonnes) ; 36 (Centrale Monts d'Arrée, Fraises Plougastel, Rat Musqué, Résidences secondaires) ; 38 (Environns Mûr-de-Bretagne, Ouessant) ; 39 (Baleine, Poissons rares, Moulins Ouessant, Excursion Brest, Presqu'île de Crozon) ; 40 (Géologie Morlaix et Crozon, « Nuisibles ») ; 43 (Libellules de Bretagne, Paléontologie, Thon, Penmarc'h, les Réserves), 44	4 F

