

INCIDENCES DE LA POLLUTION SUR LA VIE MARINE

par France SOUDAN

La pollution de la mer peut être chronique ou accidentelle suivant qu'elle résulte des déversements urbains et industriels ou du rejet de matières nocives par suite de naufrages, de retombées d'engins balistiques ou d'ouverture de conduits et containers immergés.

Dans le premier cas, elle affecte essentiellement les proches abords de la côte, surtout les estuaires qui drainent tout l'arrière-pays et où s'installent fréquemment les industries grosses consommatrices d'eau; dans le deuxième, elle peut porter atteinte successivement à la vie marine en haute mer et dans la zone littorale. Dans tous les cas les espèces vivantes sont d'autant plus exposées qu'elles sont moins mobiles : végétaux, coquillages, crustacés, poissons plats, œufs et alevins risquent davantage que les espèces pélagiques.

La pollution peut avoir des effets directs ou indirects, à court ou à long terme, suivant la nature physique, chimique et bactérienne des rejets. Les produits rejetés ont une action directe s'ils sont toxiques en eux-mêmes (pesticides, détergents) ou s'ils rendent le milieu impropre à la vie de l'organisme (colloïde se plaquant sur les branchies, boues changeant la consistance des fonds, nappe de pétrole empêchant la réoxygénation superficielle, matières organiques réduisant le taux d'oxygène dissous, eaux résiduaires modifiant la salinité, le pH...).

Indirectement, les substances polluantes peuvent rompre l'équilibre biologique en faisant disparaître sélectivement telle forme intermédiaire indispensable à la vie d'une espèce ou telle espèce de la chaîne alimentaire, tandis que les espèces d'ordinaire rares deviendront surabondantes et gênantes. Ainsi la disparition des algues sur les frayères menace les espèces qui viennent s'y reproduire, la prolifération excessive des algues lorsque les gastéropodes ont été détruits par le pétrole gêne le développement des coquillages et plus généralement perturbe l'équilibre biologique normal.

Nuisance indirecte également, la contamination des eaux par des microorganismes pathogènes qui, en s'accumulant dans les mollusques bivalves, rendent leur consommation dangereuse pour l'homme.

Les effets des pollutions peuvent se manifester au point de rejet ou apparaître seulement à une certaine distance après une dilution ou une hydrolyse de substances responsables. Ils peuvent être immédiats ou être différés si les substances sont assez stables pour persister et s'accumuler jusqu'à atteindre un taux critique à un point quelconque de la chaîne alimentaire.

C'est ainsi que le DDT, appliqué à des vergers, lessivé par les pluies et entraîné jusqu'à la mer se retrouve au taux respectif de quelques mg par kg dans des crabes et une centaine de mg/kg dans les oiseaux qui mangent les crabes.

Les populations qui fréquentent le bord de la mer, le monde de la pêche aussi bien que les services publics s'inquiètent de la pollution de nos côtes. Nous examinons ici les principaux cas qui peuvent survenir en signalant au passage les travaux en cours et les organismes publics ou privés français qui s'en sont occupés.

Action des pollutions selon leur nature.

L'influence des pollutions sur le milieu dépend de l'état physique et de la nature chimique des rejets aussi bien que de la topographie et de l'hydrologie locales.

Afin d'étudier plus commodément leurs effets, nous distinguerons 6 types de pollutions : les microorganismes, les matières organiques biologiques, les produits chimiques usuels (détergents, pesticides), les rejets industriels, les produits pétroliers, les substances radioactives.

Les 3 premiers cités ont pour vecteur commun les eaux ménagères et sont liés à toute vie humaine. Leur importance augmente constamment avec l'accroissement de la population et sa concentration en communautés urbaines plus nombreuses.

Les techniques de traitement destinées à minimiser leurs effets lors du rejet en milieu naturel (principalement dans les cours d'eau) sont étudiées depuis plusieurs dizaines d'années et sont constamment améliorées, notamment grâce aux travaux de l'Institut de recherches chimiques appliquées (I.R.C.H.A.).

Diverses Sociétés françaises, Dégremont, l'Omnium d'assainissement, Luchaire, la Société générale d'épuration et d'assainissement, société Eau et assainissement ont acquis une renommée mondiale dans ce domaine.

I. - POLLUTIONS PAR LES MICROORGANISMES.

Toutes sortes de microorganismes pathogènes pour l'homme, allant des parasites aux virus sont véhiculés par les eaux-vannes. S'ils sont capables de survivre en mer, ils peuvent infecter les baigneurs ou contaminer les animaux marins (coquillages, oursins) et induire ainsi des maladies chez l'homme qui consomme ces animaux crus.

La capacité de survie des microorganismes varie d'une espèce à l'autre. Elle dépend de nombreux facteurs, de sorte qu'il est presque impossible d'extrapoler l'expérience *in vitro* au milieu marin. La survie de *Escherichia coli*, espèce abondante, typique de la flore intestinale humaine, a été la plus étudiée, en particulier par plusieurs laboratoires français (I.S.T.P.M., divers laboratoires de microbiologie des facultés des Sciences, de l'Institut Pasteur, de la ville de Paris). Elle est un peu plus faible que celle de *Salmonella typhi* et des streptocoques fécaux. Celle des virus commence à être étudiée à l'étranger.

La disparition relativement rapide des bactéries d'origine terrestre dans l'eau de mer est attribuée à différents facteurs : sédimentation après adsorption, salinité, insolation, absence de substrat suffisant, mais aussi à la présence de substances douées de pouvoir anti-biotique. Les chercheurs sont partagés sur ces importantes questions.

Le risque croissant de contamination des poissons littoraux par des bactéries anaérobies strictes d'origine terrestre a retenu l'attention, notamment en Ecosse.

Les pollutions bactériennes sont particulièrement à craindre dans les eaux côtières où les coquillages sont exploités. Elles font l'objet d'une surveillance constante de la part de l'I.S.T.P.M. Dans ces zones, il importe d'étudier chaque cas particulier de rejet d'eaux usées afin de déterminer le degré d'épuration nécessaire en fonction du régime local des eaux. Le plus souvent l'aseptisation finale de l'effluent par le chlore est indispensable.

Dans les régions en cours d'aménagement (Languedoc-Roussillon, côte des Landes), le plan d'ensemble d'assainissement est établi en même temps que le programme de construction. Sont en cours actuellement les études de l'étang de Thau, de la baie de Somme, de la baie de St-Brieuc, du bassin d'Arcachon (I.S.T.P.M.) — de la côte méditerranéenne, de la Corse, du Calvados, d'Ille-et-Vilaine (Centre d'études et de recherches de biologie et d'océanographie médicales, C.E.R.B.O.M.) — de la baie de la Canche et de la rade de Brest (Institut national de la santé et de la recherche médicale, I.N.S.E.R.M.).

Le Secrétariat permanent pour l'étude des problèmes de l'eau se propose de faire l'inventaire de l'état d'assainissement des côtes et des travaux à entreprendre. Un programme de région sera établi en fixant l'ordre d'urgence et le calendrier.

D'après l'enquête du C.E.R.B.O.M., la côte d'Azur est relativement peu polluée en dehors des abords des grandes villes, celle du Languedoc est moins atteinte. Là comme en Manche, les estuaires sont d'ordinaire nettement plus contaminés que la côte voisine.

II. - POLLUTIONS PAR LES MATIERES ORGANIQUES BIOLOGIQUES.

Lorsque les matières organiques biologiques contenues dans les eaux ménagères sont rejetées directement en mer, elles polluent de larges surfaces correspondant à l'étalement sur l'eau de mer des eaux douces moins denses et souvent plus chaudes qu'elle. Ceci est très désagréable pour le tourisme.

Ces matières sont minéralisées par oxydation naturelle ou bactérienne, soit spontanément, soit dans les stations d'épuration où elles sont collectées avant rejet. De toute manière, elles apportent des phosphates, des nitrates, des sulfates, des sels ammoniacaux qui favorisent l'éclosion d'une végétation souvent abusive même pour le tourisme (algues gênantes sur les plages).

Les espèces nitrophiles se développent au détriment des espèces nécessitant une eau pure. L'efflorescence du phytoplancton est suivie d'une multiplication, elle aussi sélective, du zooplancton. La croissance pléthorique du zooplancton augmente la consommation d'oxygène alors que la photosynthèse diminue. Un peuplement d'espèces peu exigeantes en oxygène s'installe tandis que les organismes supérieurs sont asphyxiés. Ce phénomène est connu sous le nom d'« eaux rouges » en raison de la coloration des organismes par lesquels il se manifeste. Il a été étudié surtout en eaux douces par les laboratoires d'hydrologie de l'Institut national de la recherche agronomique (I.N.R.A.).

Des exemples d'eutrophisation et d'« eaux rouges » ont été observés récemment sur la côte méditerranéenne par les laboratoires de l'Université de Marseille et par ceux de l'I.S.T.P.M.; un autre est en cours d'étude dans le Belon à la suite d'une mortalité brutale d'huîtres.

III. - POLLUTIONS PAR LES PRODUITS CHIMIQUES USUELS.

Les produits de nettoyage et les pesticides dont l'usage journalier s'est généralisé, sont le plus souvent très stables; ils sont drainés en quantité très importante vers la mer par les pluies et les cours d'eau. Leurs inconvénients sur la faune et la flore aquatiques sont encore insuffisamment connus.

a) **Détergents.** 3 700 ont été recensés par SISLEY et WOOD en 1964. Ils se répartissent d'après leur structure chimique en cationiques (surtout ammonium quaternaire), anioniques, de loin les plus nombreux, enfin non ioniques dont le nombre et la variété augmentent sans cesse. Les quantités consommées sont en Europe occidentale respectivement 1 %, 85 à 93 % et 7 à 15 %. La consommation française porte essentiellement sur les alcoylbenzylsulfonates (ABS), les moins chers des détergents actuellement sur le marché. Elle était en 1965 de 1,6 kg par habitant et par an. Les animaux à branchies et les algues sont extrêmement sensibles à ce type de détergents alors qu'ils supportent mieux les non ioniques.

La toxicité imputée parfois aux propriétés tensio-actives des détergents est liée également à leur formule chimique puisque les doses létales à l'égard d'une même espèce varient dans un large intervalle de famille à famille mais aussi dans une même famille, alors que les pouvoirs tensio-actifs sont voisins. Chez les poissons, le métabolisme hydrique paraît être en jeu.

Pour réduire la nuisance, on peut diminuer les quantités de détergents rejetées en soumettant les eaux résiduaires à un traitement approprié ou chercher à limiter les effets en créant des détergents moins toxiques ou moins stables. Ces trois voies sont suivies concurremment. Notons que dans la série des ABS l'aptitude à la dégradation ne s'accompagne pas nécessairement d'une moindre toxicité.

L'essentiel des travaux sur les détergents ont été faits en eau douce, tant à l'étranger qu'en France (Station centrale d'hydrobiologie appliquée, Institut national de recherche chimique appliquée, Laboratoire d'hygiène de la ville de Paris, Laboratoire de chimie organique et de toxicologie de la faculté de médecine et de pharmacie de Lyon). Des essais d'efficacité pratique ont été conduits en mer à l'occasion de la catastrophe du Torrey Canyon, essentiellement par l'I.R.C.H.A.

Plusieurs laboratoires se sont servis des détergents comme traceurs des pollutions ménagères.

b) Détersifs. Les produits de nettoyage contiennent toujours une quantité notable (60 à 80 %) de sels alcalins : carbonates, phosphates, perborates, silicates, sulfates qui ont une action polluante propre. Le cas est à rapprocher des effluents basiques des industries chimiques.

c) Pesticides. Les pesticides sont par définition destructeurs de vie. Les sels de métaux lourds (Cu, Pb, Hg) ou les produits naturels (pyrèthre), anciennement utilisés, sont aujourd'hui largement supplantés par les produits organiques de synthèse : organochlorés, organophosphorés, carbamates, hormones végétales, chlorophénols, triazines dérivés du fluorène. Ceux-ci sont si employés dans les pays civilisés qu'ils se retrouvent jusque dans les pays les plus inhospitaliers (dérivés organochlorés détectés dans la faune marine antarctique) entraînés par les vents et les courants. L'application sous forme d'aérosol, fréquente pour les insecticides, se prête particulièrement à une large dispersion. Dans les climats tempérés, les pesticides sont employés surtout durant la période de vie végétative intense. Ils peuvent se concentrer à la surface des végétaux et des terres pendant les étés secs et se trouver à des taux élevés dans les eaux lors des pluies d'automne. Certains sont conçus pour demeurer actifs toute la saison tandis que d'autres sont plus labiles.

La sélectivité dans le pouvoir destructeur est plus ou moins effective. Les organophosphorés et les carbamates, par exemple, qui inhibent un enzyme indispensable au fonctionnement du système nerveux, la cholinestérase, atteignent sélectivement certaines classes (insectes), ou espèces (mouches) selon leur configuration qui les adapte à l'enzyme de l'espèce considérée si elle est assez différente de celle des espèces voisines (abeille). Néanmoins, les pesticides employés à dose relativement faible nuisent à la vie d'organismes complètement différents (mammifères). Les effets sur les différentes espèces ne sont pas toujours prévisibles, en particulier en raison des synergies qui peuvent survenir. Une meilleure connaissance des mécanismes d'action des pesticides et la recherche des processus biologiques très spécifiques d'une famille ou d'une espèce devraient diminuer les destructions secondaires causées par les pesticides en augmentant leur spécificité. De nouveaux produits sont constamment à l'étude chez les fabricants.

Les pesticides comme les détergents sont d'autant plus à craindre qu'ils sont plus stables ou qu'ils donnent par dégradation des produits eux-mêmes stables et toxiques (DDT se dégradant en TDE et DDE). Les organochlorés très stables en eau de mer sont habituellement plus nocifs que les organophosphorés dont la toxicité propre est parfois plus forte mais qui s'hydrolysent plus facilement. Liposolubles, ils s'accumulent dans les tissus adipeux et par concentrations successives peuvent se trouver, dans les aliments d'origine marine, à des taux de dizaines de mg/kg, peu souhaitables pour

le consommateur. La concentration relative dans les différents organes des diverses espèces suivant la nature du pesticide serait intéressante à connaître.

Les crustacés qui sont des arthropodes comme les insectes sont détruits par les insecticides à des doses parfois aussi faibles que 1 partie par milliard. Les crevettes semblent plus sensibles que les crabes. Les poissons ne le sont guère moins.

Des mortalités massives de crevettes ont été observées sur les côtes de Caroline du Sud après un lessivage, par les pluies, de terres qui avaient été traitées contre les fourmis, 6 jours plus tôt par l'heptachlore.

En moyenne, les organochlorés, à quelques exceptions près, lindane et BHC notamment, sont plus toxiques que les organophosphorés ou les carbamates.

Les coquillages adultes sont relativement moins incommodés par les pesticides car ils ont la faculté de s'isoler d'un milieu hostile. Les bivalves peuvent rester fermés une à deux semaines et résister ainsi momentanément à l'agression d'un produit concentré, alors qu'ils seraient détruits par le même produit à une concentration plus faible qui ne provoquerait pas la réaction de défense. Les huîtres qui ont souffert des pesticides les éliminent en partie après transfert en eau propre et retrouvent une croissance normale. Leurs larves semblent plus sensibles qu'elles. La résistance relative des bivalves a été mise à profit pour détruire certains de leurs prédateurs (crustacés).

Les végétaux, le phytoplancton notamment souffrent de la présence d'organochlorés. Par contre, la faune marine supporte assez bien les herbicides.

En France, les études sur ces sujets sont conduites principalement par l'industrie privée en liaison avec l'I.R.C.H.A. Les Sociétés françaises (Progil-Pechiney et Rhône Poulenc) disposent à la fois de laboratoires de recherches et de stations d'essais tandis que les Sociétés étrangères (Bayer, Shell, Geigi, Ici) n'ont guère que des stations où elles appliquent les produits sélectionnés dans leurs laboratoires étrangers. Les buts et les méthodes semblent les mêmes pour tous : les travaux visent à augmenter la spécificité et l'efficacité des produits; ils s'étendent rarement à la vie aquatique.

IV. - POLLUTIONS INDUSTRIELLES.

Les pollutions dues à l'activité normale de l'industrie sont des plus variées en nature et en quantité : liquides ou solides, organiques ou inorganiques, acides, basiques, oxydantes, réductrices ou neutres.

A. - Rejets liquides.

a) **Eaux de refroidissement.** Les eaux de refroidissement des compresseurs, des condenseurs et autres appareils risquent de perturber le milieu récepteur en raison de leur volume et de leur température plus que de leur nature chimique. Elles peuvent former une couche superficielle chaude et peu oxygénée qui nuit à la vie aquatique. De plus, elles contribuent à la pollution par les traces des graisses et des produits de la fabrication entraînés qui représentent des dizaines de tonnes perdues par an. Ainsi les abords des raffineries de pétrole comme la baie de Seine, l'estuaire de la Loire ou l'étang de Berre, sont-ils en grande partie inexploitable pour la pêche.

b) **Effluents inorganiques.** Ils sont généralement plus denses que l'eau de mer parce que chargés de sels minéraux. Leur réaction est souvent fortement acide, plus rarement basique. En fait, ces effluents sont assez facilement neutralisés grâce au pouvoir tampon que les carbonates, bicarbonates et borates confèrent à l'eau de mer. Il faut environ 8 m³ d'eau de mer pour neutraliser 1 kg d'acide sulfurique. La neutralisation est facilitée lorsque l'effluent s'écoule sur un fond calcaire.

Lorsque l'effluent est basique, il se neutralise par échange de cations avec les sels de magnésium et de calcium relativement abondants dans la mer. Les sels insolubles, éventuellement formés, ont les mêmes inconvénients que les boues évoquées plus loin.

Les effluents nettement oxydants ou réducteurs sont toxiques à très faible dose en raison des modifications qu'ils apportent aux échanges d'oxygène. Si les oxydants comme les chromates sont réduits assez facilement en sels de chrome inoffensifs, les réducteurs comme les sulfites des usines de pâte à papier ne s'oxydent que lentement au fur et à mesure des apports d'oxygène dans l'eau. Les espèces animales les plus exigeantes en oxygène sont les plus sensibles à ce type de rejet. Les huîtres et leurs larves dépérissent lorsque les effluents sulfités de papeterie avoisinent 10 ppm dans l'eau, tandis que les organismes du phytoplancton dont ils se nourrissent, supportent sans dommage des concentrations 100 fois plus fortes. Des destructions d'huîtres ont été observées dans des baies comme Puget Sound (Washington) au bord desquelles se trouvent des usines de pâte à papier au sulfite.

Les effluents peuvent contenir des éléments toxiques, sels de cuivre ou de zinc par exemple qui se rencontrent au voisinage des exploitations minières. Les mêmes éléments peuvent être apportés par la corrosion des matériaux immergés (carcasses de bateaux) ou par lessivage des produits de protection des matériaux (produits antixylophages par exemple). Cuivre et zinc se fixeront dans les tissus à des taux si élevés que les huîtres périssent et acquièrent un goût déplaisant. Des huîtres provenant de l'estuaire du Tage où se trouve un gisement de pyrite contiennent jusqu'à 9 g de cuivre par kg de chair sèche. Elles n'en éliminent qu'une faible part en plusieurs mois après transfert dans une autre eau.

c) Effluents organiques. Les effluents de nature organique ont d'ordinaire une réaction plus proche de la neutralité que celle des effluents inorganiques. Les eaux résiduaires des industries alimentaires (abattoir, laiterie, conserverie, distillerie, etc.) qui contiennent surtout des matières fermentescibles se comportent approximativement comme les eaux ménagères, mais les fermentations et la contamination bactérienne subséquente sont typiques de chaque industrie. Les rejets, peu importants en moyenne par usine, varient en quantité et en qualité suivant les saisons. La présence de produits nettement toxiques (flegmes, fusels) aggrave parfois les dommages.

Il en est de même dans les papeteries qui fabriquent la pâte par cuisson du bois dans une lessive de soude et de sulfure de sodium (procédé dit « aux sulfates »). Les eaux de lavage de la pâte fortement colorées et malodorantes sont chargées en produits glucidiques, lignosulfonates, tannins, acides résiniques plus ou moins toxiques qui favorisent le développement de bactéries filamenteuses dans le milieu récepteur, ainsi que la disparition des végétaux à chlorophylle et des poissons.

Dans le cas de « la Cellulose du Pin », située sur l'Eyre au fond du bassin d'Arcachon, l'épandage en forêt des jus les plus concentrés, effectué depuis 2 ans à titre d'essai, paraît apporter un remède intéressant. L'I.S.T.P.M. a entrepris une étude sur cette question. Les eaux résiduaires des industries chimiques de synthèse organique : colorants, produits pharmaceutiques, matières plastiques ont une nocivité analogue à celle des détergents ou des pesticides. La nuisance dépend de la toxicité propre de chaque substance; elle peut parfois être réduite sans grand frais par un traitement approprié : neutralisation, oxydation, fermentation contrôlée.

B. - Rejets solides.

De nombreuses industries rejettent un effluent chargé de matières insolubles ou qui s'insolubilisent en milieu marin. Ces rejets sont constitués, tantôt de matières minérales plus denses que l'eau, tantôt de matières organiques qui flottent. Quelle que soit leur nature (déchets d'exploitation minière ou résidus de fabrication de la grande industrie chimique), les matières minérales sont gênantes par la place qu'elles occupent, particulièrement sur les hauts-fonds (côte des Flandres par exemple). Entraînées le plus souvent par un courant d'eau qui permet de les déverser par canalisation fixe, elles for-

ment à l'orifice un cône de déjection qui s'étend largement à la surface du fond, y rendant toute vie impossible. Déversées par chaland, elles forment une couche mince continue, mais aussi nuisible.

A l'action physique du rejet s'ajoute celle due à sa nature chimique : alcalinité des « boues rouges » restant après extraction de l'alumine de la bauxite, acidité des boues blanches venant de la préparation de l'acide phosphorique ou de l'acide borique, toxicité des borates ou des fluorures. Cette action est comparable à celle étudiée à propos des effluents liquides, à ceci près que les échanges avec le milieu sont plus difficiles.

La probabilité de solubilisation est très faible malgré l'énorme volume d'eau disponible, à moins que la matière soit très finement divisée et tombe dans un milieu de grande turbulence. Ces conditions sont recherchées par les usines qui préparent l'acide phosphorique à partir des phosphates naturels et rejettent chaque jour des centaines de tonnes de sulfate de calcium. Elles semblent avoir été rencontrées dans les estuaires atlantiques où sont installées plusieurs de ces usines (Loire, Charente, Gironde, Adour). En eau calme, il y a lieu de craindre la formation, au contact des dépôts, d'une couche saturée en sel impropre à la vie. Des informations précises manquent sur ce point.

Les rejets solides organiques (déchets de cuirs, poils, fibres cellulosiques, globules graisseux), sont souvent inoffensifs chimiquement. Les plus gros débris sont habituellement éliminés par filtration avant rejet, mais les plus fins suffisent pour former sur les branchies un feutre qui empêche toute respiration. Certains produits qui s'insolubilisent au contact de l'eau de mer (acide alginique dans l'effluent des usines traitant les algues) ont les mêmes inconvénients. Des tonnes de langoustes ont été ainsi perdues en Bretagne il y a une vingtaine d'années.

Cet inventaire des pollutions industrielles montre assez combien elles sont diverses. Chaque industrie est un cas d'espèce qui nécessite une étude particulière. Ce genre d'études, source de dépenses improductives, n'est entrepris que devant l'hostilité du voisinage et est limité au strict minimum.

La création récente du Secrétariat permanent pour l'étude des problèmes de l'eau, destiné à appliquer la politique de la Mission interministérielle, permettra sans doute de faire effectuer les études nécessaires. Les Agences de bassin ont commencé une enquête et des études.

V. - POLLUTIONS PAR LES PETROLES.

Le pétrole est rejeté, de façon habituelle près des raffineries ou des ports. Répandu en surface, il réduit les possibilités de vie en empêchant l'oxygénation de l'eau et en absorbant la lumière. Les œufs et larves flottant dans les eaux superficielles sont détruits, ce qui peut contribuer à la disparition d'espèces rares.

La destruction peut prendre l'ampleur d'une catastrophe lorsque le pétrole est déversé en nappes de dizaines de milliers de tonnes comme il arrive de plus en plus souvent par suite de naufrage.

Une étude systématique de l'évolution de la faune et de la flore en pareil cas a été faite dans une crique mexicaine qui avait été inventoriée par hasard peu de temps avant l'envahissement par le pétrole. En pratique, toute vie animale a disparu après l'accident. Toutefois, quelques bivalves ont survécu en s'isolant assez longtemps du milieu. D'autres espèces apparemment indemnes sur le moment ont disparu ultérieurement. Les végétaux ont mieux résisté, bien que beaucoup d'algues aient été détruites. Certaines algues rouges ont survécu. La reconstitution de la flore a commencé dès le 2^e mois, celle de la faune un peu plus tard. La croissance des algues a été particulièrement vigoureuse en raison sans doute de l'absence de certains herbivores. Le peuplement d'origine s'est rétabli peu à peu mais plusieurs espèces animales (oursins, ormeaux) manquaient encore 7 ans après l'accident.

Cependant, le pétrole à faible dose paraît être nettement plus toxique pour les plantes que pour les animaux. Un contact de quelques heures avec des produits à haut point d'ébullition à la dose de 0,1 % suffit à perturber fortement la photosynthèse d'algues, sans doute en raison de l'infiltration jusqu'au cytoplasme au travers des membranes cellulaires ou par suite de formation d'une couche isolante à la surface, tandis que divers bivalves vivent normalement dans une eau contenant 1 % de pétrole. Les poissons fuient les eaux pétrolières mais semblent pouvoir supporter une concentration en pétrole de 0,1 %. Rappelons cependant que le pétrole, difficilement métabolisé est, soit excrété soit stocké dans les graisses de réserve. Dans ce cas, il rend le poisson et les coquillages imangeables dès que la dose dans l'eau dépasse 100 mg/m³.

Fort heureusement, les pétroles sont moins stables dans l'eau de mer qu'on ne l'imaginerait. En couche mince ou émulsionnés à la surface de l'eau, ils sont oxydés par l'oxygène de l'air sous l'action de la lumière solaire surtout en présence de certains catalyseurs, ou bien ils sont dégradés par les microorganismes.

95 % des *Pseudomonas* ainsi que de nombreuses autres souches existant dans la mer ou dans le sol sont capables de dégrader les pétroles avec une certaine spécificité selon la nature de ceux-ci (aliphatiques saturés ou non, ramifiés ou non, aromatiques, cycliques).

ZOBELL a répertorié 60 espèces appartenant à 14 genres capables de transformer le pétrole en partie en acides gras qui sont métabolisés par les organismes marins.

SENEZ a montré que les germes aptes à utiliser le pétrole augmentent dans des proportions considérables en valeur absolue comme en valeur relative dans les eaux qui en sont souillées.

30 à 40 % des hydrocarbures sont ainsi convertis en matière organique vivante, le reste passant à l'état de CO₂, CH₄ et H₂O. Le facteur limitant la disparition est l'oxygène dissous. La vitesse varie avec la nature du pétrole et la température de l'eau.

Un cas particulier de pollution par les hydrocarbures est celui des polycycliques et cancérigènes, notamment du benzo 3-4 pyrène. En fait, ce carbure ne se trouve pas dans les pétroles bruts mais paraît se former lorsque les substances hydrocarbonées sont comburées à des températures comprises entre 400° et 1 200°C. Aussi est-il relativement abondant dans les eaux ou les sédiments des ports dans lesquels se dissolvent les gaz de combustion des moteurs; il s'accumule dans les mollusques vivant à proximité. Il a été étudié surtout au laboratoire municipal de Paris.

Les pollutions pétrolières ont suscité un grand intérêt en France au moment de la catastrophe du « Torrey Canyon ». Précédemment quelques travaux y avaient été consacrés (I.R.C.H.A., I.F.P. (1), I.S.T.P.M., I.N.R.A.).

VI. - POLLUTIONS RADIOACTIVES.

Les pollutions radioactives comme les pollutions pétrolières peuvent être chroniques (effluents d'usine) ou accidentelles (retombées après les explosions de bombe, ouverture de récipients à déchets immergés).

L'étendue des contaminations commises en mer par les premières bombes atomiques sont encore dans toutes les mémoires. Heureusement, la radioactivité ambiante n'a pas crû au rythme des expé-

(1) I.F.P. : Institut français du pétrole.

riences nucléaires : les bombes « H » opérant par fusion produisent moins de déchets radioactifs que celles utilisant la fission et les éjectent à une distance de la terre telle que les retombées sont moindres.

On a pu observer que, après une chute abondante pendant les premières semaines qui suivent les expériences, les retombées se font surtout par l'intermédiaire des pluies. La pluviosité étant différente sur les océans et les continents, les enquêtes, faites à terre, renseignent mal sur ce que reçoivent effectivement les océans.

Les rejets ordinaires des usines utilisant l'énergie atomique sont beaucoup moins importants que ceux dus aux bombes. Ils sont sévèrement contrôlés par des services spécialisés auxquels les gouvernements ont confié l'étude et l'exploitation de cette forme d'énergie : en France, Centre de l'Énergie Atomique, Service central de protection contre les rayonnements ionisants et EURATOM.

Les animaux paraissent beaucoup plus sensibles aux radiations ionisantes que les végétaux. Certaines cellules d'algues supportent 2 millions de rads, alors que les poissons succombent à 500. A des doses plus faibles, les radiations perturbent les mécanismes physiologiques, notamment ceux de la reproduction. Les femelles se montrent plus sensibles que les mâles et les œufs plus que les spermatozoïdes. Les taux d'éclosion peuvent être normaux ou même supérieurs à la normale mais les alevins ne sont pas viables ou sont difformes. Une disparition de l'aptitude à la reproduction a été observée chez *Artemia salina* exposée à une irradiation continue. Des déformations de la nageoire caudale ont été décrites chez des poissons fortement radioactifs.

Les risques représentés par les rejets radioactifs varient suivant les éléments qui s'y trouvent. Ceux dont la période (1) est longue ou dont le taux de fixation normale dans les organismes est élevé sont particulièrement à craindre puisqu'ils s'accumulent dans le milieu et se fixent en quantités plus importantes. Ainsi le strontium 90 ou le césium 137 dont la période dépasse 25 ans sont-ils dangereux puisqu'ils sont métabolisés respectivement comme le calcium et le potassium, donc fixés activement par les mollusques, les crustacés et les poissons.

Les substances radioactives sont transmises surtout par l'intermédiaire du plancton qui les absorbe rapidement en milieu contaminé. La fixation est assez labile chez les végétaux, plus solide chez les animaux. Dans un même milieu, la radioactivité diminue des herbivores aux omnivores et de ceux-ci aux carnivores. Ceux qui se trouvent dans les eaux littorales semblent plus exposés que les espèces pélagiques.

CONCLUSION.

Les études sur la pollution des eaux ont été faites généralement en eaux douces; elles commencent à peine à se développer en milieu marin. Les premiers résultats peuvent orienter les recherches à faire en mer bien que les phénomènes de pollution soient différents, non seulement à cause de la salinité, mais aussi en raison de la plus grande complexité du milieu : influences des marées, des courants, des vents, du relief, du rivage et des fonds.

Les études sur la pollution bactérienne du milieu marin sont relativement nombreuses, celles sur la pollution chimique beaucoup moins. Or, le comportement des substances chimiques en mer a tout lieu d'être différent de ce qu'il est dans l'eau ordinaire : les sels présents peuvent entraîner des précipitations, des floculations ou des redissolutions; la microflore particulière aux eaux salées peut opérer des dégradations spécifiques.

(1) Période : durée au terme de laquelle la moitié de la quantité initiale de l'élément considéré a disparu.

Lorsque des recherches toxicologiques ont été faites, elles ont porté le plus souvent sur quelques espèces de poissons en aquarium, elles ont rarement été étendues à un milieu se rapprochant assez du milieu naturel et ont négligé les invertébrés dont certains (huîtres, moules, crevettes, langoustes) présentent pourtant un intérêt économique incontestable.

Le besoin de recherche sur l'influence des pollutions sur la vie marine est donc certain. Les travaux devraient viser à préciser les effets et à réduire les inconvénients des pollutions les plus abondantes ou les plus nocives en s'attachant particulièrement à la protection des zones conchyliques.

Si le critère de l'abondance et de la fréquence est retenu, ce sont les rejets urbains qui se classent au premier rang, d'autant plus que l'aménagement des côtes en vue du tourisme oblige à envoyer en mer des volumes d'eaux usées de plus en plus importants. Il serait bon de mieux connaître le risque que cela représente dans la propagation des maladies à virus. Il y aurait lieu également de développer les recherches sur les effets biologiques des rejets d'eaux usées : sélection d'espèces, eutrophisation, destruction, en analysant parallèlement le cycle de l'azote, du phosphore et du soufre entre l'eau, le sol, les végétaux et les animaux.

Il conviendrait de rechercher par ailleurs les effets des détergents et des pesticides en s'efforçant de distinguer les plus efficaces et les plus spécifiques qui soient les moins toxiques pour la vie marine. Ceci implique, d'une part l'extension au milieu naturel d'essais faits tout d'abord en aquarium, d'autre part la connaissance des processus de dégradation microbiologiques ou chimiques dans le milieu, aussi bien que physiologiques chez les animaux et végétaux marins, enfin la mesure de la toxicité des substances ou de leurs produits de scission.

De telles études seraient à conduire par les Instituts spécialisés tels que l'Institut des Pêches en liaison avec l'Industrie et l'Université, l'une préparant les produits nouveaux, tandis que l'autre rechercherait les lieux électifs de l'organisme où l'action risque d'être la plus sélective. Actuellement, les informations sur le comportement des détergents semblent les plus nécessaires.

Une autre question préoccupante est la pollution chronique par les pétroles en raison du développement de l'exploitation et du raffinage en zone maritime. Les moyens de réduire les rejets, de rompre les émulsions eau/pétrole et de détecter les traces de pétrole seraient à améliorer. La lutte contre les accidents relève plutôt du domaine réglementaire ou de la mise en place rapide de moyens mécaniques appropriés.

Les autres pollutions industrielles sont très diverses. L'ensemble justifierait d'être confié à un organisme qui les étudierait sur le plan national.

Notons que dans chacun des cas évoqués ci-dessus, les recherches devraient comprendre l'étude du problème général et l'application au milieu particulier où il se pose : le même rejet peut polluer différemment suivant qu'il a lieu sur une côte plate sableuse et chaude ou dans une faille rocheuse profonde et froide. Elles seraient abordées au mieux par des équipes mixtes comprenant des océanographes, des biologistes, des microbiologistes, des chimistes, des toxicologues.
