

L'homme, la chimie et la mer :

connaître la contamination pour la combattre

Les océans et les mers, qui recouvrent les deux tiers de notre planète bleue, sont bel et bien un immense habitat (voir le Chapitre de D. Desbruyères). Nous y avons plongé et découvert que cet univers est extraordinairement bien organisé, avec des interactions complexes et subtiles entre organismes (faune et flore), minéraux (roches et sels) et molécules organiques en suspension dans l'eau. De véritables cycles naturels mettent en harmonie organismes et matière pour faire vivre les écosystèmes de notre planète.

Pendant des siècles, l'humanité a considéré que l'océan était une ressource inépuisable, à même de nous nourrir et d'absorber nos déchets sans discontinuer. Au cours des activités humaines sont introduits toutes sortes d'éléments étrangers à la mer, qui conduisent à une dissémination d'une multitude de molécules susceptibles de perturber les équilibres des écosystèmes. Quand la mer est ainsi contaminée, il faut agir pour la sauvegarder.

Dès lors, il est fondamental de comprendre les problèmes de

contamination par les substances chimiques pour mieux saisir leurs effets biologiques sur un milieu extrêmement changeant, et à l'interface avec le continent : le milieu côtier.

1 Prendre connaissance des ennemis de la mer : les contaminants

1.1. Quels sont les contaminants de la mer ?

La mer regorge de molécules et d'organismes qui participent à la vie et à son équilibre. Toute substance ne participant pas à cet équilibre est un contaminant de la mer. De manière générale, un contaminant de l'environnement a été défini par la Convention internationale Oslo-Paris (OSPAR) comme « *toute substance décelée dans un lieu où elle ne se trouve pas normalement* »¹.

Les contaminants peuvent être de natures diverses :

1. La Convention internationale OSPAR définit les modalités de la coopération internationale pour la protection du milieu marin de l'Atlantique du nord-est. Entrée en vigueur le 25 mars 1998, elle remplace les Conventions d'Oslo et de Paris.

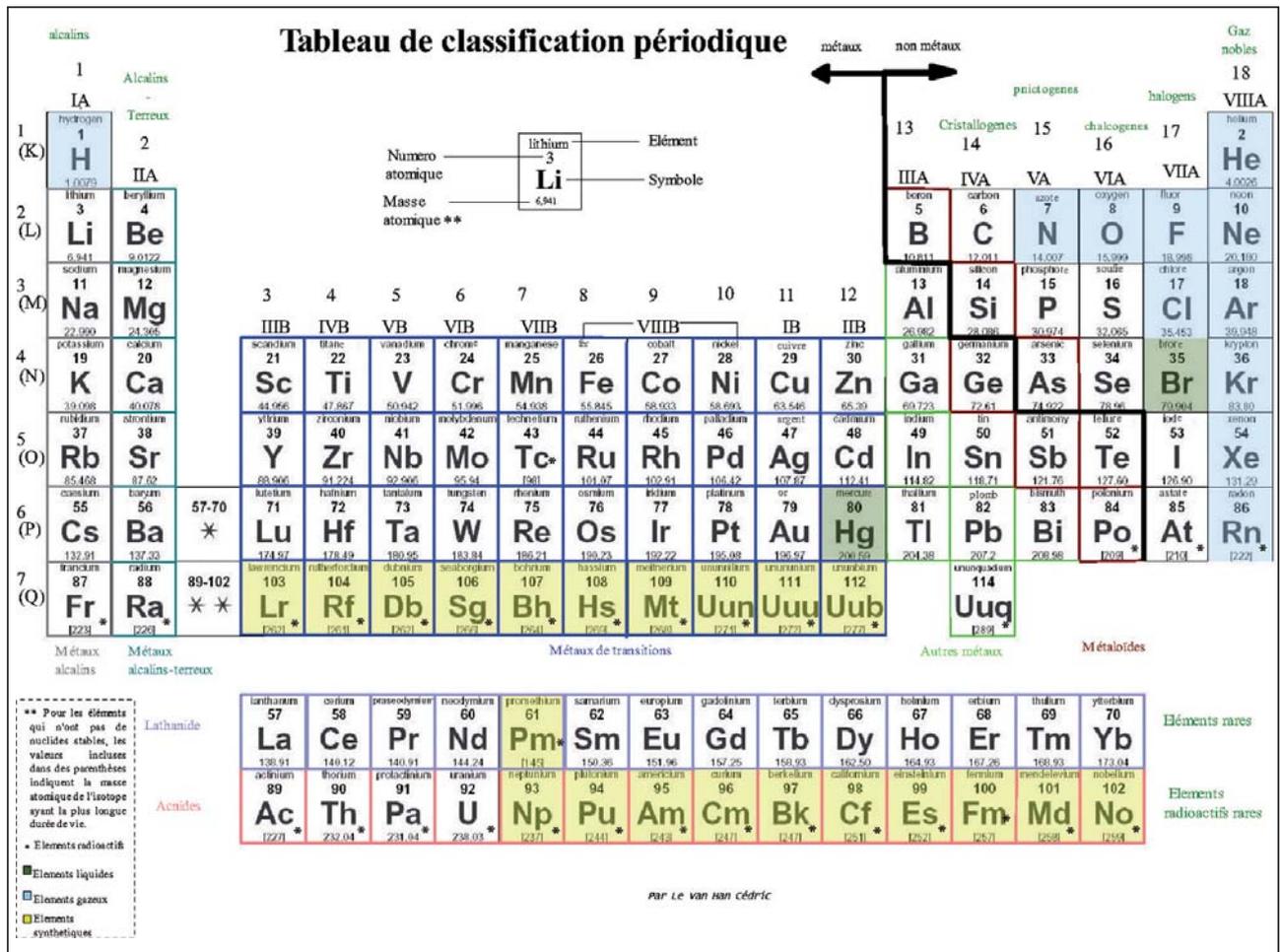


Figure 1

Le tableau de la classification périodique de Mendeleïev.

biologique (virus, bactéries, etc.), radioactive (présence d'une source radioactive), chimique... Un rapide coup d'œil sur la classification périodique de Mendeleïev (Figure 1) permet de se rendre compte de la diversité des éléments chimiques existants : halogènes (chlore, iode...), métaux (potassium, magnésium, chrome, fer, mercure, aluminium, plomb...), métalloïdes (bore, silicium, arsenic, tellure...), lanthanides (cérium, néodyme...), ou encore actinides (uranium, plutonium...).

Une grande partie de ces éléments, comme l'aluminium, le magnésium ou le fer, participent au cycle naturel de la vie : ce sont les oligoéléments. Ils sont donc essentiels au fonctionnement des

écosystèmes... mais à des concentrations bien précises. Ainsi, par exemple pour l'oxygène dissous, dès que la concentration est trop faible ou nulle, les conséquences environnementales sur les écosystèmes marins peuvent être catastrophiques, conduisant parfois à des zones mortes, comme c'est le cas dans le golfe du Mexique, à l'embouchure du Mississippi ; si la concentration est trop élevée (comme pour l'aluminium, le cadmium, le zinc...), ces éléments peuvent être considérés comme des contaminants !

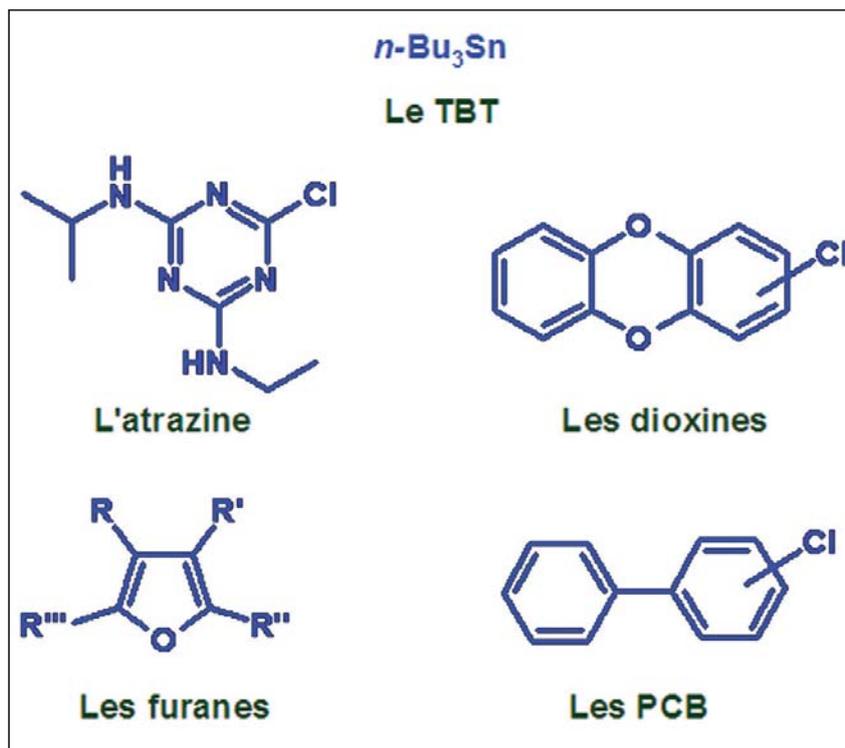
On comprend que dès lors qu'une substance chimique, même naturelle, est artificiellement introduite dans la mer, elle peut la contaminer sérieusement et y causer

de profonds dommages. Les catastrophes écologiques telles que les marées noires sont malheureusement là pour en témoigner (voir le Chapitre de F.-X. Merlin).

Les hydrocarbures sont loin d'être les seules substances chimiques à être transportées par l'homme. Parmi les 37 millions de substances actuellement répertoriées dans le monde, 100 000 sont disponibles sur le marché européen, et parmi celles-ci, 2 000 sont systématiquement transportées par voie maritime !

En effet, s'ajoutant aux substances naturelles, les nombreuses substances que l'homme a inventées pour les besoins de ses activités sont venues diversifier les contaminants potentiels de la mer (Figure 2).

On peut citer le **tributylétain** (TBT), utilisé dans les revêtements antisalissures pour protéger les coques des bateaux de l'adhésion d'organismes marins (voir le Chapitre de C. Compère et F. Quiniou). Ce biocide s'est révélé toxique pour les végétaux et d'autres organismes tels que les mollusques, même à des concentrations extrêmement faibles, si bien que les peintures à base de TBT sont aujourd'hui interdites ; et c'est l'**irgarol** (biocide pesticide et algicide) qui est venu remplacer le TBT, par exemple dans le bassin d'Arcachon. Il présente cependant des effets directs sur le phytoplancton jusqu'aux plantes supérieures, ainsi que des effets indirects sur le pH de



l'eau, et donc sur l'équilibre des écosystèmes locaux.

Des problèmes environnementaux et de toxicité sont également survenus avec l'**atrazine**. Depuis sa première introduction en 1960 au Canada, cet herbicide a été utilisé de façon intensive à travers le monde pour maîtriser les mauvaises herbes dans les champs de maïs, de colza et de bleuet nain. Toxique pour les poissons, les invertébrés d'eau douce et les plantes aquatiques, il a contaminé les eaux de ruissellement, les nappes d'eau souterraine, les rivières et les fleuves. Il est interdit depuis quatre ans dans l'Union européenne.

Autres composés issus de l'activité humaine, les **dioxines** (ou polychlorodibenzodioxines, PCDD) et les **furanes** : ils se forment par oxydation lors de la combustion incomplète de divers dérivés aromatiques chlorés.

Figure 2

De nombreuses molécules produites par l'homme sont susceptibles de contaminer les eaux et de les polluer.

Par exemple, des dioxines sont émises lors de l'utilisation de moteurs à explosion, de l'incinération de déchets, ou dans les rejets d'usines chimiques et de papeteries. Chimiquement stables et non biodégradables, les dioxines présentent un fort pouvoir contaminant pour les sols et les eaux.

Les polychlorobiphényles (**PCB**) sont des composés organiques de synthèse qui ont été utilisés jusqu'en 1987, notamment dans l'industrie de l'électricité. Ils sont dits **persistants** et **bioaccumulables**, c'est-à-dire qu'ils peuvent s'accumuler dans les tissus adipeux de tout organisme animal, du fait de leur grande solubilité dans les graisses. De ce fait, s'ils sont toxiques, ils peuvent agir directement sur les organismes vivants.

Enfin, citons les retardateurs de flamme qui ignifugent le matériel et sont utilisés pour la protection des forêts en période d'incendie. Leur composition chimique (produits phosphorés ou bromés) en fait des contaminants potentiels pour l'eau.

1.2. Quelles connaissances scientifiques sur l'état de la contamination marine ?

En examinant la littérature relative aux contaminations chimiques (terrestres ou maritimes), par exemple en Méditerranée, un point important nous frappe : deux tiers des publications scientifiques concernent les PCB, le dichlorodiphényltrichloroéthane (**DDT**) – deux substances aujourd'hui interdites

– et les hydrocarbures aromatiques polycycliques. Toutes les autres substances sont encore peu ou non décrites. Il reste donc un effort considérable à fournir pour développer la connaissance des multiples autres substances réellement utilisées dans le monde, aujourd'hui ou dans le passé, pour connaître leurs effets sur l'environnement et leur devenir.

2 Quand survient une contamination...

Le milieu marin côtier est en contact permanent avec de nombreuses activités (transports, effluents urbains, industriels, agriculture, etc.) ; il est de ce fait particulièrement exposé aux contaminations chimiques. Trois caractéristiques particulières en font un milieu très vulnérable :

- il s'agit du milieu récepteur ultime de la pollution terrestre. Tout ce qui est produit finit tôt ou tard dans l'océan ;

- la zone côtière est très riche en matériels organiques et composés particuliers fins. Par conséquent, elle constitue un enjeu de recherche scientifique majeur : on peut se demander ce que deviennent ces composés au cours de leur passage dans cette interface mer/terre ;

- la zone côtière est sujette à de nombreuses activités (pêche, **conchyliculture**, **sali-culture**, baignade...), qui sont plus ou moins exposées aux contaminations diverses.

De ces spécificités émerge donc la nécessité de surveiller et de comprendre ce qui se passe en milieu côtier, afin de

parer à toute pollution due aux contaminants. Plusieurs expériences dramatiques vécues dans le passé, qu'elles soient ponctuelles ou chroniques, nous poussent aujourd'hui à réagir.

2.1. Des grandes catastrophes pétrolières aux contaminations diffuses : il faut réagir !

Les grands accidents pétroliers choquent toujours autant l'opinion publique, par leur côté spectaculaire et catastrophique. En amont, ces accidents aux hydrocarbures (qui, rappelons-le, sont des substances naturelles), résultent très souvent d'un problème de contrôle et de massification des transports (voir le Chapitre de F.-X. Merlin).

En 1996, le transport maritime mondial de pétrole passe essentiellement par deux ou trois routes, dont certaines sont situées en Europe. Globalement, les premiers déversements pétroliers ont d'ailleurs eu lieu dans les eaux européennes. L'activité en Méditerranée est principalement concentrée entre Marseille, Gênes et la côte corse. Les accidents sont plus fréquents dans ces zones, comme cela a été le cas pour le *Haven*, lequel, suite à une violente explosion d'une citerne le 12 avril 1991, a pris feu et a coulé dans le Golfe de Gênes (**Figure 3**). De même, la densité de trafic maritime en Manche est responsable d'un certain nombre de catastrophes bien connues : Amoco Cadiz, Erika, Prestige... Les accidents de déversement de plus de 700 tonnes d'hydrocarbures depuis 1970 jusqu'à



Figure 3

*Gênes, Italie, avril 1991 :
141 000 tonnes de pétrole...*

nos jours ont conduit les autorités à redoubler d'efforts en termes de contrôles, ce qui commence à avoir des effets : le nombre d'accidents pétroliers diminue.

Moins spectaculaires et moins médiatisées que ces grandes catastrophes, les contaminations chroniques et diffuses font des ravages dont le public ne soupçonne pas toujours l'ampleur. Pourtant, les scientifiques les ont bien dans leur ligne de mire, et de plus en plus. Il est maintenant question de contaminants à l'état de traces. En effet, même une concentration minimale en contaminant peut avoir des effets sur les organismes vivants, comme le montre le cas des huîtres du bassin d'Arcachon dans les années 1980 (voir le Chapitre de C. Compère et F. Quiniou et la **Figure 4**). Ce sont ainsi des écosystèmes entiers qui sont contaminés, et tout un équilibre de vie bouleversé.

Pour traquer ces contaminants invisibles, il faut être capable de détecter des traces et donc de passer de quantités de l'ordre du gramme, au milligramme,

puis au microgramme et au nanogramme. Les chercheurs tentent maintenant de détecter des quantités de l'ordre de la dizaine de femtogrammes : 10^{-15} g ! Il est donc nécessaire de manier des échantillons avec grande précaution et d'utiliser des techniques analytiques très élaborées afin de pouvoir doser ces contaminants à l'état de traces.

2.2. Réglementer les activités maritimes

La prise de conscience de la fragilité des océans face aux activités humaines a conduit l'US Coastal Society (Tripp & Farrington, 1985) à mentionner trois points clés, qui restent toujours d'actualité :

- la santé humaine et les ressources marines peuvent être altérées par les contaminants chimiques, particulièrement en milieu côtier, où la majeure partie des ressources coexiste avec d'importants apports en contaminants ;
- il est important de disposer de données sur les niveaux de concentration dans lesquels on trouve les contaminants, de connaître leur cheminement et leur effet sur les organismes et la santé ;

- il est donc souhaitable de prédire les effets possibles et de réglementer les rejets.

S'ensuit une volonté internationale de réglementer les activités maritimes, conduisant d'abord à mieux mettre en œuvre les objectifs des conventions internationales (Helsinki, Barcelone, Bucarest). Celles-ci s'accordaient sur un certain nombre de sites ou mers contaminés et visaient principalement les déchets chimiques. Sans vraiment savoir quels moyens déployer, des efforts étaient demandés afin de réduire les apports en contaminants chimiques.

Pour mettre en place des systèmes de prévention et de contrôle, deux approches sont progressivement utilisées aux niveaux européen et français.

- **L'approche préventive** concerne la législation des produits chimiques : elle consiste, dès 1976, à classer les substances dangereuses. Dans les années 2000, une évaluation des risques chimiques a déjà été engagée. REACH (*voir l'encart « La réglementation des activités marines »*) exige auprès des producteurs de substances, et non plus des États, qu'ils démontrent qu'elles ne sont pas nuisibles sur le milieu.

- **L'approche rétrospective** consiste en la protection et la restauration des milieux aquatiques. En 1976, une directive de la Commission européenne oblige les pays à faire état de la contamination chimique dans les eaux côtières ou de surface. En 2007, la France

Figure 4

À seulement 20 ng/l, le TBT produit un chambrage des huîtres (gonflement de la coquille).



est condamnée pour ne pas avoir respecté cette directive. En urgence, une campagne est alors lancée pour déterminer l'état des cours d'eau et du littoral.

En 2000, la directive Cadre sur l'Eau (*voir l'encart « La réglementation des activités marines »*) impose de mesurer le niveau de la contamination chimique et d'être en mesure de la réduire et la rendre compatible avec le développement de la biologie. Cette directive fixe 2015 comme échéance : les milieux moyennement ou fortement dégradés doivent atteindre un bon état écologique. Une nouvelle directive Cadre (Stratégie pour le Milieu Marin) est aujourd'hui étendue aux milieux marins sous souveraineté des États, et vise à préserver de la contamination chimique l'ensemble des eaux côtières européennes.

3 Évaluer l'effet des contaminants

Lors de l'introduction de toute nouvelle substance dans la mer se pose la question : quel risque pour les organismes vivants et l'équilibre écologique ? Autrement dit : quand est-ce qu'un contaminant peut devenir un polluant ? Le recours aux scientifiques, et particulièrement aux chimistes, est incontournable, car ils sont à même de réaliser des mesures précises dans un milieu bien complexe qu'est la mer.

3.1. Analyser et gérer les risques chimiques

Afin d'évaluer les risques de contamination dans les

LA RÉGLEMENTATION DES ACTIVITÉS MARINES

REACH

(Registration, Evaluation and Authorisation of Chemicals)

REACH est le nouveau Règlement sur l'enregistrement, l'évaluation, l'autorisation et les restrictions des substances chimiques. Entré en vigueur le 1^{er} juin 2007, REACH rationalise et améliore l'ancien cadre réglementaire de l'Union européenne sur les produits chimiques. Les objectifs sont de mieux protéger la santé humaine et l'environnement contre les risques dus aux produits chimiques, la promotion de méthodes d'essai alternatives, la libre circulation des substances au sein du marché intérieur et de renforcer la compétitivité et l'innovation. REACH fait porter à l'industrie la responsabilité d'évaluer, de gérer les risques posés par les produits chimiques et de fournir des informations de sécurité adéquates à leurs utilisateurs. En parallèle, l'Union européenne peut prendre des mesures supplémentaires concernant des substances extrêmement dangereuses.

La directive Cadre sur l'Eau

Adoptée le 23 octobre 2000 par le Conseil et par le Parlement européen, cette directive définit un cadre pour la gestion et la protection des eaux par grand bassin hydrographique au plan européen. Elle fixe des objectifs ambitieux pour la préservation et la restauration de l'état des eaux superficielles (eaux douces et eaux côtières) et pour les eaux souterraines et entraînera à terme l'abrogation de plusieurs directives. Celles relatives à la potabilité des eaux distribuées, aux eaux de baignade, aux eaux résiduaires urbaines et aux nitrates d'origine agricole restent en vigueur.

La directive Stratégie Marine

Elle fixe des principes communs sur la base desquels les États membres doivent élaborer au niveau de régions marines identifiées et en collaboration avec les États membres et les États tiers au sein de ces régions leurs propres stratégies afin d'atteindre un bon état écologique dans les eaux marines dont ils sont responsables. Cette stratégie remplit un double objectif : protéger et remettre en état les mers européennes et assurer la viabilité écologique des activités économiques liées au milieu marin d'ici à 2021. Les eaux marines européennes se divisent en trois régions (avec des sous-régions éventuelles) : la mer Baltique, l'Atlantique du Nord-Est et la mer Méditerranée. Dans chaque région et éventuellement dans les sous-régions auxquelles ils appartiennent, les États membres concernés doivent coordonner leur action entre eux ainsi qu'avec les États tiers concernés. Ils peuvent dans ce but profiter de l'expérience et de l'efficacité des organisations régionales existantes.

océans, les scientifiques suivent un protocole bien défini, qui se divise en deux temps :

1) Évaluer la concentration en contaminants dans les eaux (PEC : *Predicted Environmental Concentration*). Pour cela, on peut effectuer des mesures de grande précision (ces concentrations sont mesurées au ng par litre d'eau, au µg par gramme dans les sédiments). On peut aussi réaliser des modélisations numériques permettant de calculer les concentrations dans le milieu. Il existe également d'autres méthodes (souvent indirectes) à disposition des scientifiques.

2) Calculer les PNEC (predict non effect concentration) à partir de données toxicologiques : ce sont les concentrations en contaminants à ne pas dépasser, et qui tiennent souvent lieu de réglementation.

Ces protocoles impliquent une gestion du risque parfois contraignante : recours à des stations d'épuration, à l'industrie... et tout cela coûte !

3.2. Définir les risques : mais sur quelle réglementation ?

On estime qu'il y a risque de contamination dès que la concentration d'une substance dépasse une valeur seuil, que l'on a déterminée par réglementation (PNEC). Mais quelle réglementation fait donc foi ? L'exemple d'un insecticide montre que l'on a vite fait de se perdre dans la multitude de réglementations établies pour une même substance :

- utilisé sur un sol, la concentration maximale à ne pas dépasser pour ne pas avoir d'effet sur les vers sera de 1 mg/kg ;

- appliqué à l'agriculture en tant que produit phytosanitaire pour la protection des sols, la même substance ne devra pas excéder 100 µg/kg ;

- sous forme de produit vétérinaire, cette substance aura une concentration maximale à ne pas dépasser de 10 µg/kg ;

- la concentration maximale dans les épandages de **boues activées**, récupérées depuis les stations d'épuration est de 1 µg/kg.

Cette disparité réglementaire entraîne des difficultés de compréhension. Il était donc nécessaire mettre en cohérence les réglementations, et le travail est considérable.

Entré en vigueur en juin 2007, REACH constitue une avancée très importante pour la gestion des risques liés aux substances chimiques : les industriels doivent désormais prouver que la substance ne présente pas de risques pour l'environnement et que sa gestion est efficace.

REACH constitue une entreprise considérable, car elle concerne 30 000 substances à traiter. Sur ces 30 000 substances, certaines seront sélectionnées, en particulier les **persistantes, bioaccumulables** et toxiques (PBT), les cancérigènes, mutagènes et toxiques pour la reproduction (CMR) et les **perturbateurs endocriniens**, et devront être remplacées par d'autres ayant des effets moins importants.

Les substances prioritaires concernées sont les persistantes, dont le temps moyen de dégradation et disparition est supérieur à 160 jours dans l'eau de mer, et à 180 jours dans les sédiments marins. Sont aussi concernées les substances dont le **facteur de bioaccumulation** est supérieur à 2000, et celles dont la toxicité doit être inférieure à 0,01 µg/L.

Le système REACH est donc basé sur la connaissance de l'écotoxicité et du comportement des substances. Or actuellement, les données sur 86 % des substances concernées en termes de toxicité sont faibles ou inexistantes. L'effort à faire pour évaluer la toxicité des substances constitue donc un défi et un réel besoin, exprimé lors du dernier Grenelle de l'environnement.

4 Surveiller la contamination

4.1. Que deviennent les contaminants ?

Parce que les modes de transport naturel des contaminants sont multiples – vents, marées, infiltrations, transports biologiques *via* les organismes vivants, adsorption sur les particules... –, comme nous avons pu nous en rendre compte (voir le Chapitre de C. Jeandel), il faut pouvoir les pister. C'est encore un fois aux scientifiques que revient la lourde tâche de suivre les contaminants et de contrôler leurs effets au cours de leur séjour dans la mer, séjour qui peut être très long, dans un milieu immense, complexe

et échappant vite à notre contrôle.

Ainsi l'Ifremer a mis en place, depuis 1974, un réseau de surveillance qui a permis de récolter de nombreuses informations sur le littoral. La surveillance est différente selon la « matrice » de travail : on travaille sur l'eau ou sur les sédiments, ou même sur la matière vivante.

4.2. Suivre les contaminants par le sédiment et le minéral

Suivant leur capacité à s'adsorber sur les particules qu'ils croisent sur leur chemin, les contaminants seront transportés de manière différente et leur destin ne sera donc pas le même. Les uns seront des contaminants « dissous » et suivront la dilution classique des eaux ; les autres seront transportés sous forme solide ou par adsorption sur des particules présentes dans le milieu. Et qui peut adsorber ces contaminants ? Le sable par exemple, ou mieux encore, la vase. Celle-ci peut adsorber dix fois plus que le sable, car, à masse égale, elle possède une surface disponible pour l'adsorption dix fois plus importante. Il faut donc surveiller de près les vases, ainsi que tous les échanges entre le continent et l'océan.

Par ailleurs, les scientifiques peuvent réaliser des prélèvements par carottes sédimentaires, lesquelles donnent des informations sur les effets de concentration en contaminant dans un milieu, et témoignent de l'évolution de celle-ci.

4.3. Suivre la contamination chimique dans le vivant

4.3.1. Deux approches basées sur les bivalves

Parmi tous les réseaux de surveillance, seules une quinzaine de substances parmi toutes celles évoquées précédemment sont réellement suivies. Les moules, huîtres et les **bivalves** de manière plus générale constituent la meilleure matrice de surveillance biologique. Par exemple, les moules sont d'excellents bio-accumulateurs. En effet, elles peuvent filtrer 4 à 5 litres d'eau par heure et accumulent donc une partie du matériel filtré pour leur alimentation, et en éliminent une autre partie. Simultanément à la filtration du matériel particulaire nécessaire à leur alimentation (particules extrêmement petites, jusqu'à $1 \mu\text{m}^2$), les bivalves filtrent les contaminants adsorbés à ce matériel, et éventuellement aussi les contaminants dissous dans l'eau. En concentrant les différentes substances présentes dans l'environnement marin, elles constituent donc d'excellents outils de mesures de la contamination chimique.

Deux approches sont adoptées :

- **l'approche passive**, qui consiste à prélever les bivalves directement dans les eaux de production conchylicoles ou sur la côte ; il suffit ensuite de

2. Pour mémoire, les huîtres, qui possèdent les mêmes qualités bio-accumulatrices, retiennent des particules de taille légèrement supérieure ($2 \mu\text{m}^2$).

mesurer la bioaccumulation pour constater l'étendue de leur contamination ;

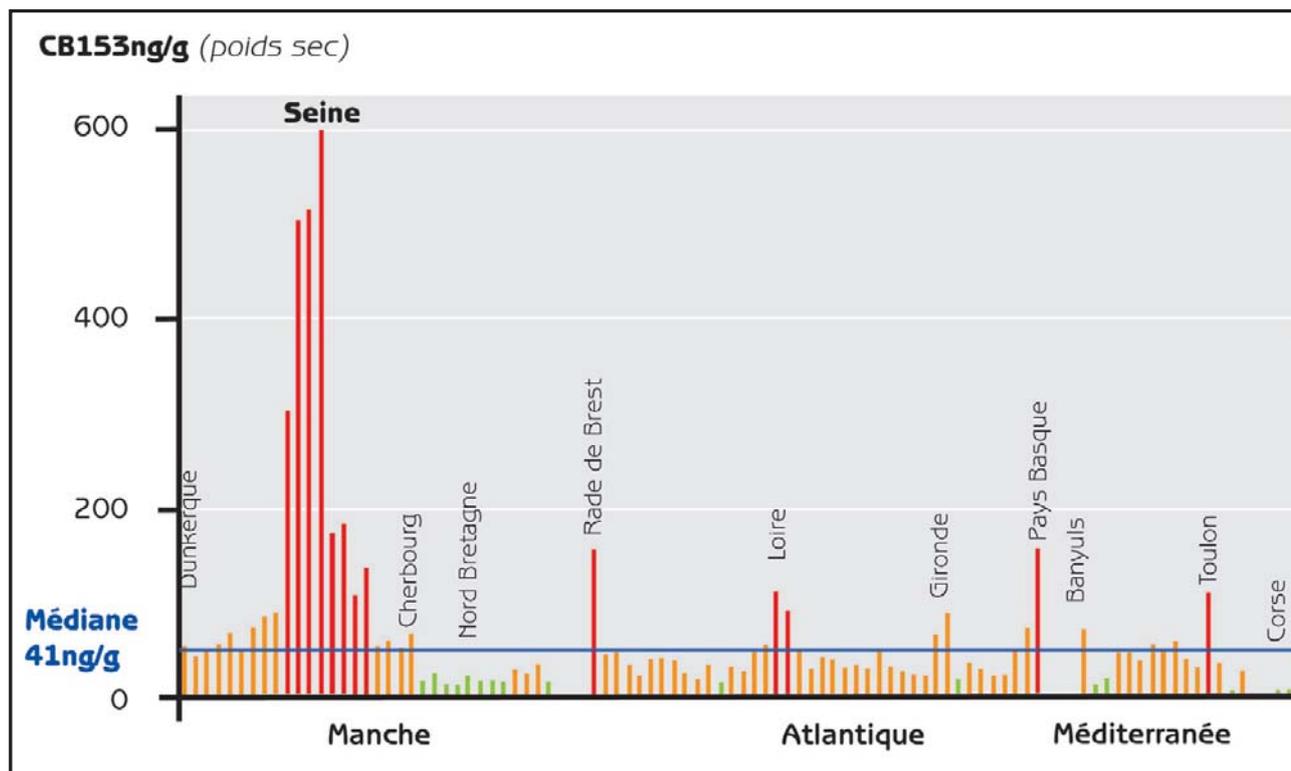
- **l'approche active** : des moules issues d'un même territoire (en général des zones de culture) sont prélevées, placées dans des cages à divers endroits du littoral ; à partir des informations recueillies, il est possible de donner des valeurs de concentration en contaminant. Puis, en utilisant des modèles mathématiques de bioaccumulation, un calcul mathématique appelé déconvolution permet d'accéder aux concentrations en contaminant dans l'eau.

L'approche passive a ainsi permis de déterminer l'état, en 1994, de la contamination littorale par le PCB et ses 209 combinaisons, depuis Dunkerque jusqu'à la Corse. Il apparaît des résultats que la contamination majeure du littoral français est située à l'embouchure de l'estuaire de la Seine (**Figure 5**).

Cette même méthode, utilisée afin d'établir une comparaison, a donné les résultats suivants, pour la contamination aux PCB :

- Seine : 300 ng/l ;
- Rhin : 125 ng/l ;
- Loire : 100 ng/l ;
- Gironde : 80 ng/l ;
- Rhône : 20 à 30 ng/l.

L'approche active a été utilisée à partir de moules prélevées au large de Palavas-les-Flots, et placées sur l'ensemble du littoral de la Méditerranée occidentale, afin de mesurer la distribution des



contaminants chimiques prioritaires. Par exemple pour les PCB, les premiers résultats sur la somme de ces composés montrent que les grandes métropoles (Alger, Naples, Marseille, Barcelone) contribuent majoritairement à la contamination.

4.3.2. Évaluation des tendances de la contamination littorale

Les réseaux de surveillance permettent une telle évaluation, dont on peut citer deux exemples.

D'abord, l'évolution de la quantité du dichlorodiphényltrichloroéthane (DDT) dans les huîtres du bassin d'Arcachon montre une décroissance permanente, mais ce composé est cependant toujours présent, même après trente ans d'interdiction d'utilisation. L'idée d'une persistance de la contamination sur le littoral émerge notamment de ces résultats.

Le deuxième exemple concerne l'évolution de la concentration en cadmium dans les huîtres de la Gironde, que l'on peut suivre sur la **Figure 6**. Suite à des études révélant que la source de la contamination se trouvait au niveau de l'usine de la Vieille Montagne (usine minière et de raffinage de minerais située dans le bassin de Decazeville, dont l'activité dura de 1840 à 1993), des mesures ont pu être prises permettant de réduire la concentration en cadmium à 20 µg/g, valeur certes plus élevée que le seuil sanitaire, mais néanmoins nettement diminuée.

4.3.3. La bioaccumulation

Les questions classiques liées à la **chaîne trophique** (Qui mange qui ? En quelles quantités ? Avec quel apport énergétique ?) sont aujourd'hui relativement bien connues. Celles qui se posent à présent

Figure 5

Contamination du littoral français par les PCB.

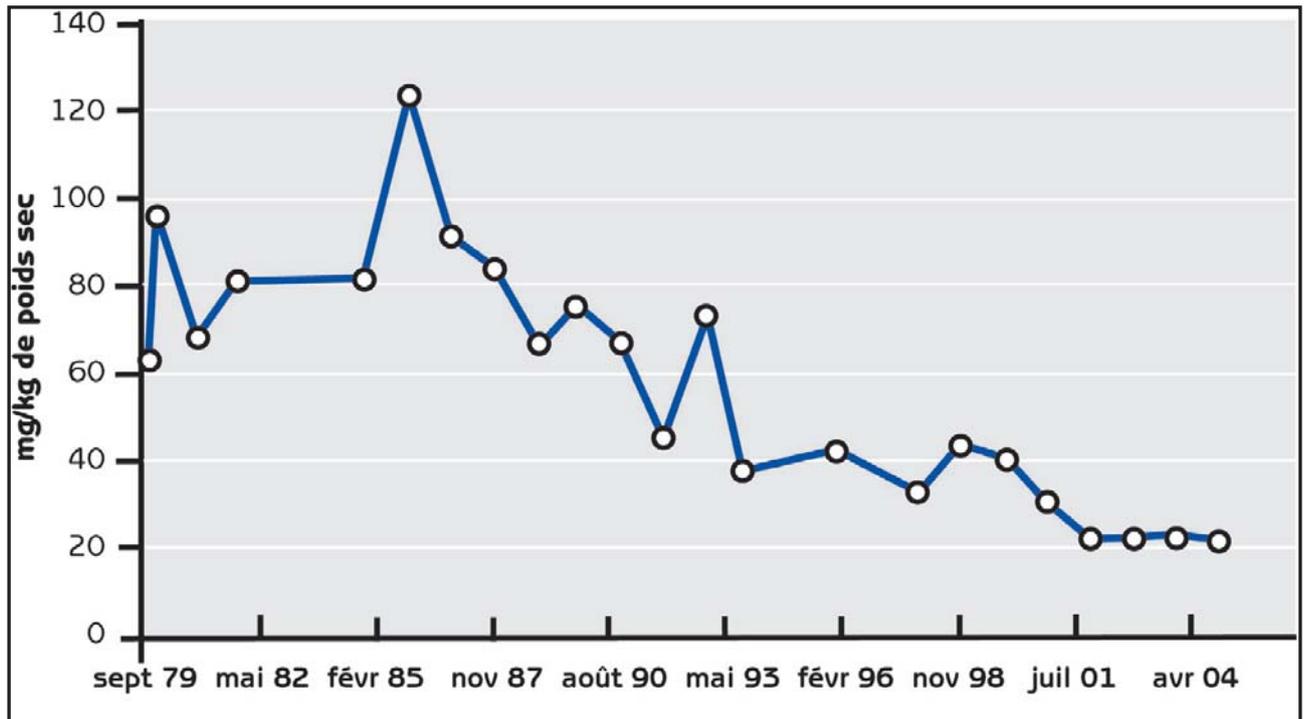


Figure 6

Évolution de la concentration en cadmium dans les huîtres de Gironde (1979-2004).

concernent les contaminants chimiques et leur bioaccumulation au sein de cette chaîne trophique.

En effet, les poissons prélèvent pour leur respiration l'oxygène dissous dans l'eau. En respirant, ils ingèrent une certaine quantité de contaminants. Mais c'est surtout en se nourrissant de poissons pélagiques ou de poissons ou organismes benthiques qu'une autre quantité de contaminants est absorbée par l'organisme. Certains de ces contaminants peuvent être par ailleurs métabolisés et décontaminés par les poissons, et les femelles en perdent également lors de la ponte des œufs. Cela se produit sur l'ensemble des organismes constituant ces chaînes trophiques, mais chacun à des niveaux et à des vitesses qui peuvent être très différentes.

Il s'agit donc de comprendre comment la bioaccumulation s'effectue sur certaines

chaînes trophiques... Un poisson plat, le flet, est un exemple significatif de la bioaccumulation progressive dans la chaîne trophique d'un contaminant appartenant à la classe des PCB : le CB153 (Figure 7).

Par ailleurs, l'étude de la chaîne trophique montre qu'il est inutile, pour déterminer le niveau de contamination lors d'une catastrophe pétrolière, de chercher à doser la concentration en hydrocarbures polyaromatiques. En effet, ceux-ci sont métabolisés par les organismes, d'où une diminution de leur concentration en remontant la chaîne trophique. Ce sont les métabolites qu'il faudrait rechercher...

L'organisme reçoit enfin à travers la chaîne trophique des contaminants à plusieurs niveaux :

- au niveau cellulaire, avec pour conséquence des perturbations fonctionnelles ;

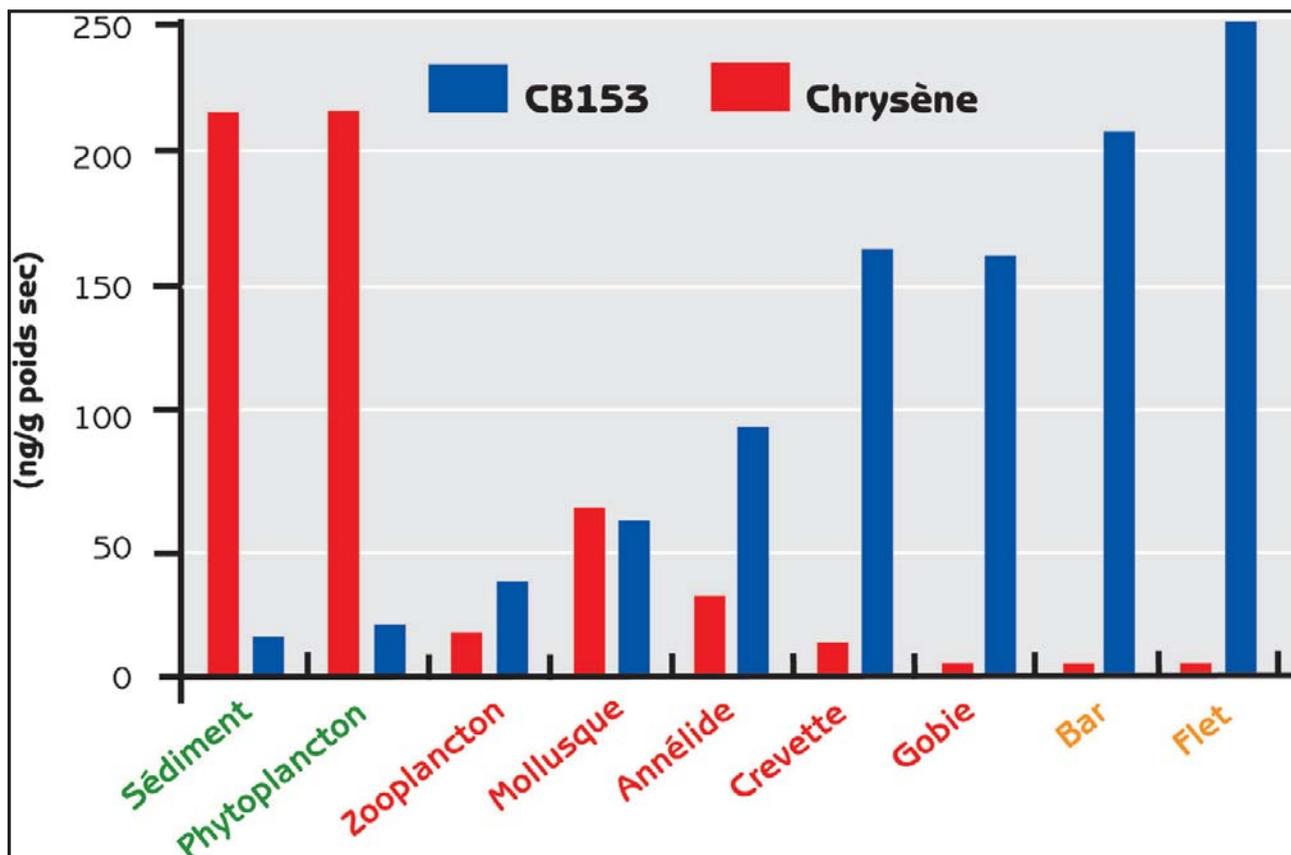


Figure 7

Bioaccumulation du CB153 dans la chaîne trophique du flet.

– au niveau de l'ADN, avec des altérations primaires, comme par exemple la formation d'adduits, ou des cassures.

Cependant, il reste délicat d'extrapoler les répercussions de la présence d'un effet sur des individus à l'ensemble de la population des poissons, et encore moins de ces populations, par rapport à l'écosystème.

4.4. La modélisation numérique

Une autre méthode, dite de modélisation numérique, permet aujourd'hui de reproduire avec une certaine précision les concentrations dans un milieu. En introduisant correctement les apports et flux, que ce soit par les

rivières, les industries ou les villes, et en couplant avec des modèles (physiques, modèles de transport sédimentaire, thermodynamique), la concentration peut être reproduite avec une assez grande fidélité. Ces modèles vont permettre progressivement d'allouer les fonds nécessaires à la réduction de la concentration, car ils indiquent quelles sources sont à considérer. L'échelle de gestion est ainsi modifiée : on passe d'une gestion par les industriels à une gestion globale par les administrations. Cette transition n'est cependant pas facile car les administrations ne travaillent pas toutes ensemble ou ne parviennent pas toujours à un accord sur les mesures à appliquer.

L'avenir : quels défis ?

Les défis restant à surmonter sont nombreux : il faut mettre en évidence une relation causale entre contamination chimique et effet biologique, et ce, sur des organismes biologiques plus complexes (individus, populations et écosystèmes) ; il faut distinguer les effets des pollutions chimiques avec les autres stress environnementaux. Et les sources possibles de stress environnemental sont multiples : température, variations de salinité, conditions trophiques, réchauffement climatique, perte d'habitats...

Par ailleurs, certaines substances, qui ne sont pas encore réglementées, comme les médicaments humains ou vétérinaires ou les produits cosmétiques, finissent tôt ou tard dans les milieux aquatiques (cours d'eau, estuaires ou littoral) car elles ne sont pas nécessairement métabolisées par l'organisme (humain ou animal). Les effets de ces nouvelles substances sur le littoral sont encore inconnus ! Il y a deux ans, on a relevé dans de l'eau de mer, au niveau de la calanque de Cortiou, 250 µg/l de paracétamol à proximité de la station d'épuration. Quels sont les effets d'une telle concentration sur les organismes ? Il y a alors une réelle vigilance à mettre en œuvre quant aux apports dans les cours d'eau de nouvelles molécules que les populations des pays développés consomment de façon croissante.

Les politiques publiques ont aussi leur impact sur le milieu côtier : une interdiction de certaines substances entraîne une diminution progressive de leur concentration, mais d'autres, qui les remplacent, se retrouvent au niveau du littoral. REACH apparaît alors comme un enjeu majeur, qui demandera des efforts considérables relatifs à la toxicologie environnementale et humaine, afin d'approcher au mieux l'ensemble des substances à traiter. Afin de protéger et d'exploiter les ressources marines, leur connaissance est indispensable. Elle nécessite une attention énorme que chaque pays doit porter pour avancer, car, faut-il le rappeler, la mer n'a pas de frontières fixes.

Crédits photographiques

– Fig. 1 : Le Van Han Cédric.