

Le cuivre dans le Bassin d'Arcachon : Synthèse des connaissances



© U.S. Geological Survey, Flickr, CC by 2.0

RESUME NON TECHNIQUE

Rapport complet disponible à l'adresse suivante :

https://www.siba-bassin-arcachon.fr/sites/default/files/2023-08/2023-siba_rempar_ifremer_rapport_cuivre.pdf

Septembre 2023

Contexte

Dans le Bassin d’Arcachon, comme dans les eaux des sites côtiers français de Manche, Atlantique et Méditerranée, la contamination par les contaminants organiques et métalliques est suivie dans le cadre du réseau ROCCH (Réseau d’Observation de la Contamination CHimique) opéré par l’Ifremer depuis 1979.

Dans ce cadre, l’augmentation des concentrations mesurées dans les huîtres sauvages du fond du Bassin depuis 1980, et qui s’est encore accélérée au début des années 2000, a attiré l’attention des scientifiques.

Pour cette raison, à partir de 2013, le SIBA a décidé d’ajouter le cuivre à la liste des molécules déjà suivies dans les eaux par le réseau REMPLAR (REseau Micropolluants, Macropolluants et Microbiologie du Bassin d’Arcachon). Par ailleurs, des travaux de recherche ont été menés à la fois pour tenter de comprendre les modalités de contamination des huîtres par ce métal et son impact sur deux organismes « clefs » du Bassin, en l’occurrence les huîtres et les zostères.

L’une des actions du profil de vulnérabilité conchylicole mis en place en 2021 sur le Bassin d’Arcachon a conduit ensuite à la réalisation d’une synthèse de l’ensemble des données produites sur le cuivre par les organismes de recherche et gestionnaires du territoire.

Le présent document en est un résumé non technique à l’attention des décideurs et usagers du territoire.

Quelle est la contamination en cuivre des différents compartiments (eau, sédiment, flore et faune) du Bassin ? Comment a-t-elle évolué au cours du temps ? Est-elle élevée par rapport à celles mesurées dans d’autres sites côtiers ?

En préalable à l’examen des données relatives à ces sujets, il semble utile de rappeler que les contaminants parvenant au Bassin d’Arcachon y persistent pendant un temps assez long, en raison de la morphologie de la baie, dans laquelle les échanges avec l’océan sont assurés par des passes relativement étroites.

Cette notion doit être prise en compte dans l’interprétation des résultats touchant à la contamination de l’environnement.

1. Faune : Huîtres

Les animaux, notamment les bivalves, sont exposés aux métaux par différentes voies : phases particulaires et dissoutes, dérivées des sédiments ou de la colonne d’eau, et via leur nourriture.

Les concentrations en cuivre dans les huîtres sauvages de la zone orientale du Bassin d’Arcachon ont augmenté au cours du temps et sont actuellement parmi les dix plus élevées mesurées sur la côte atlantique. Dans la zone plus océanique, on n’observe pas cette élévation et les concentrations y sont globalement faibles vis-à-vis de celles mesurées sur les autres sites du ROCCH (Figure 1).

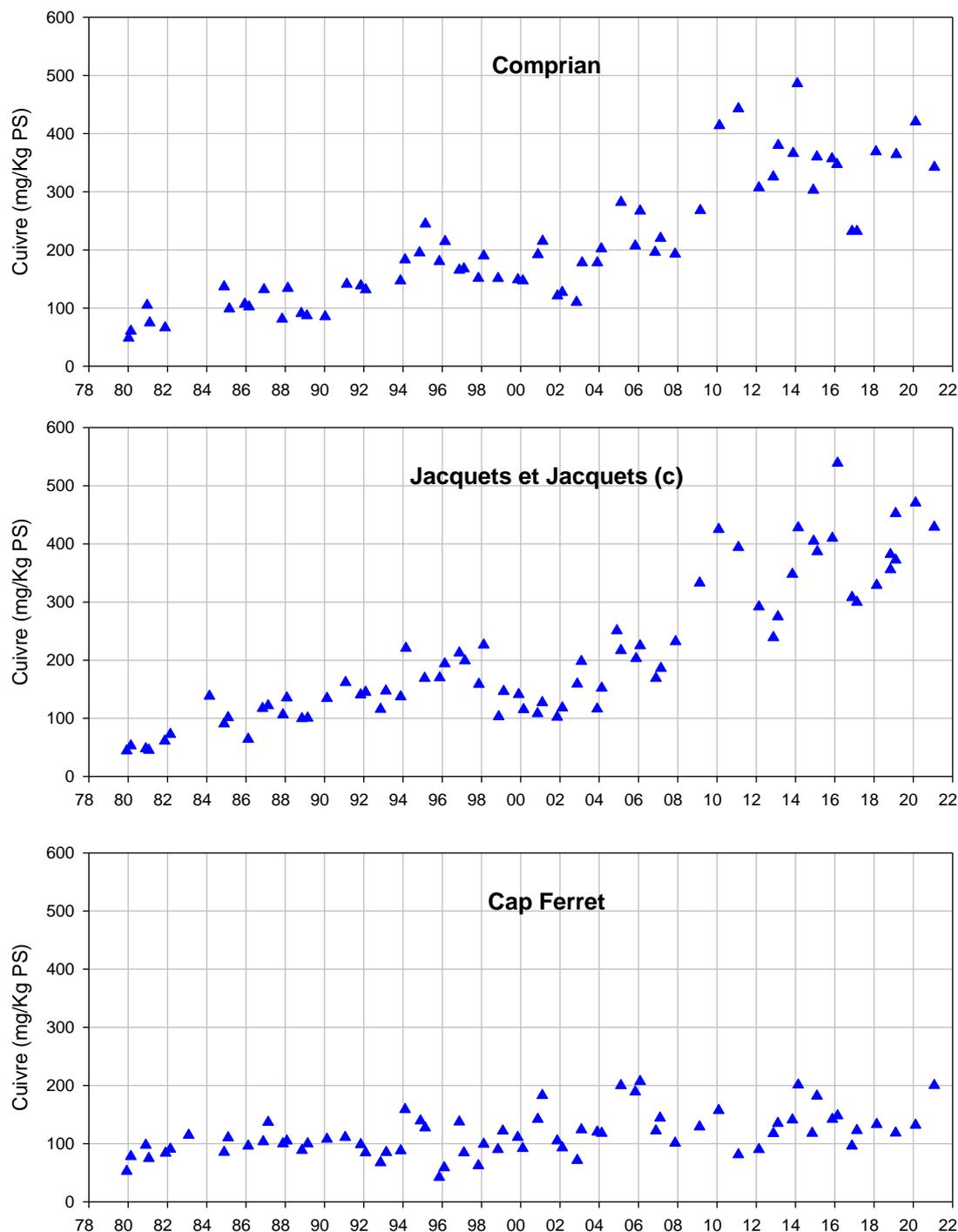


Figure 1 : Concentrations en cuivre dans la chair des huîtres sauvages (mg/Kg de poids sec) du Bassin d’Arcachon suivies dans le cadre du ROCCH - Ifremer entre 1980 et 2022.

Ce gradient a été confirmé par des programmes de recherche ponctuels comme FELIBA (Ifremer-CRC-SIBA), OSQUAR (Université de Bordeaux) et plus récemment TOUCAN (Ifremer). Dès lors, on peut considérer comme probable que cette contamination provient de sources continentales et/ou intra bassin, et non océanique. Et, à priori, ces observations pourraient laisser à penser que les apports de cuivre dans l’environnement ont augmenté.

2. Flore marine

Selon les études recensées, les concentrations en cuivre mesurées dans les zostères du Bassin d'Arcachon, de l'ordre d'une dizaine de mg/ Kg de poids sec, ne sont pas particulièrement élevées par rapport à celles des autres herbiers de zostères, aussi bien à l'échelle nationale qu'internationale. En ce qui concerne les concentrations dans les zostères naines, elles ne semblent pas avoir augmenté entre la fin des années 1980 et la période actuelle. Par ailleurs, au regard des données dont on dispose, on n'observe pas de gradient marqué pour cet élément de l'entrée vers le fond du Bassin.

De nouvelles données concernant la contamination métallique des feuilles de zostères marines de différents sites du Bassin ont récemment été acquises par le Parc naturel marin du Bassin d'Arcachon. Ces données viendront s'ajouter aux précédentes et permettront de compléter nos connaissances sur la variabilité spatio-temporelle de la contamination des plantes par le cuivre.

Concernant les macroalgues, une seule étude, datant de la fin des années 1980 a été recensée. Les ulves, entéromorphes et Fucus de l'estran de la Hume auraient alors présenté des concentrations en cuivre typiques de zones soumises à une contamination élevée (du même ordre que la lagune de Venise). Dans le futur, il sera intéressant de vérifier si ces niveaux sont effectivement importants et de caractériser leur variabilité spatiale.

3. La colonne d'eau

Les métaux, dont le cuivre, se trouvent sous différentes formes (fraction particulaire, dissoute, labile, ...) dans le milieu aquatique. Ces différentes fractions conditionnent leur biodisponibilité (possibilité qu'un contaminant soit assimilé et/ou adsorbé par/sur un organisme vivant) et donc leur potentielle toxicité pour les organismes aquatiques.

Selon les données du réseau REMPAR et du programme TOUCAN, les concentrations en cuivre dissous dans les eaux du Bassin d'Arcachon sont du même ordre de grandeur que celles qui sont mesurées dans la plupart des autres zones côtières. Elles présentent une moyenne autour de 0,5 µg/L avec cependant des maximas relevés compris entre 2,5 et 3 µg/L. Elles sont globalement plus élevées que celles qui sont mesurées dans les principaux cours d'eau qui alimentent la baie (avec des moyennes de 0,35 µg/L et des maximas inférieurs à 2 µg/L pour les principaux cours d'eau). Le Canal des Landes est le tributaire le plus contaminé par ce métal.

Alors que les concentrations en cuivre particulaire présentent peu de différences entre les sites intra-bassin, les concentrations en cuivre dissous et surtout labile sont globalement plus élevées sur le site des Jacquets que dans les autres zones, et sont marquées par une saisonnalité décelable sur tous les sites (même le Banc d'Arguin), avec des valeurs plus fortes en été qu'en hiver.

L'eau des ports est particulièrement contaminée par ce métal, et influe sur la concentration en cuivre des zones attenantes au jasant.

Les effets du ruissellement urbain, notamment lorsque de fortes pluies succèdent à des épisodes de temps sec, entraînent également, de manière sporadique, de fortes quantités de cuivre dans le réseau pluvial.

La contamination de la nappe superficielle est extrêmement variable sur les différents sites, même à micro-échelle, sans qu'il soit possible d'en comprendre la cause.

4. Les sédiments marins

Hors zones portuaires et espaces de stationnement saisonnier des bateaux (corps morts), les concentrations en cuivre dans les sédiments du Bassin d’Arcachon sont plutôt faibles par rapport à celles qui sont mesurées dans d’autres zones côtières françaises et ne semblent pas s’être élevées depuis les années 1970 – 1980. Comme dans le cas de la colonne d’eau, la contamination en cuivre des sédiments augmente en fonction de la concentration des bateaux dans l’eau environnante, avec des concentrations plus élevées dans les zones de mouillage et encore plus dans les ports.

Les concentrations en cuivre mesurées dans le Bassin sont-elles susceptibles de présenter une toxicité pour le biote ?

Le cuivre est un métal essentiel pour tous les organismes vivants, aussi bien animaux que végétaux et fait généralement l’objet de mécanismes de régulation. Il peut toutefois devenir toxique au-dessus d’une certaine concentration, dépendant de l’organisme considéré.

En confrontant les concentrations en cuivre mesurées dans le Bassin et le panel de résultats écotoxicologiques, il semble assez complexe de déterminer si les concentrations en cuivre dissous dans la colonne d’eau qu’on mesure ici peuvent ou non affecter la composition et l’abondance des communautés phytoplanctoniques dans le Bassin d’Arcachon. Le métabolisme lipidique du phytoplancton peut être affecté par la présence de ce métal et limiter leur développement.

A priori, les concentrations en cuivre dissous mesurées dans les eaux du Bassin d’Arcachon sont inférieures aux seuils de sensibilité déterminés pour les macroalgues. A cet égard, on peut remarquer qu’en dépit des fortes concentrations en cuivre dissous mesurées dans les ports, on y observe des populations de macroalgues à la fois sur les substrats durs (notamment partie immergée des traques) ou posées sur les sédiments.

Concernant les phanérogames, d’après le résultat des expériences rapportées dans la littérature dont celles présentées dans la synthèse de Lewis et Devereux (2009), les concentrations en cuivre dissous mesurées dans les eaux du Bassin d’Arcachon (et/ou les concentrations mesurées dans les feuilles de zostères des herbiers locaux) ne semblent pas dépasser les valeurs nuisibles à la croissance des zostères. Toutefois, certaines réserves doivent être apportées.

Tout d’abord, il faut considérer que les différents contaminants présents dans le milieu peuvent avoir un effet nocif additif sur les zostères, comme cela a été démontré par exemple par Gamain et al. (2018) qui se sont intéressés au mélange « pesticides + cuivre ».

D’autre part, des conditions stressantes pour les plantes (forte température, faible éclairage), outre qu’elles réduisent la production végétale, sont également susceptibles d’accroître leur sensibilité à ce (et à ces) contaminant(s) dont l’impact s’exerce prioritairement sur les processus photosynthétiques.

S’agissant des huîtres, les concentrations en cuivre dissous mesurées dans les eaux du Bassin, dépassant parfois 1 µg/L notamment pendant l’été, sont, d’après les résultats de certaines études, susceptibles d’altérer la viabilité des spermatozoïdes, le taux de fécondation et le taux de larves anormales de *Crassostrea gigas*. Il faut toutefois souligner que les concentrations correspondant à la CE50 déterminée pour le taux de larves anormales aux fortes salinités observées pendant l’été dans le Bassin, sont beaucoup plus élevées : respectivement 12,5 µg/L et 4,7 - 7,4 µg/L. Or, ces valeurs n’ont pour l’instant jamais encore été mesurées dans les eaux du Bassin.

Néanmoins, comme évoqué dans le cas des zostères et mis en évidence par exemple par Mai et al. (2020) qui ont étudié l'effet d'un mélange « pesticides + cuivre » sur le taux d'anomalies des larves, l'effet de ce mélange de contaminants est plus important que celui des contaminants pris séparément. Les travaux en laboratoire réalisés par Bijoux (2014) sur des huîtres adultes le confirment et mettent en évidence un stress oxydant causé par le mélange à des niveaux environnementaux autour de 2 µg/L.

De plus, il a été démontré que la présence de cuivre peut affecter l'index de condition des huîtres en raison de son impact sur la composition en acides gras du phytoplancton dont elles se nourrissent.

Quelles sources possibles de cuivre dans l'environnement du bassin d'Arcachon et ces apports ont-ils évolué au cours du temps ?

Les éléments métalliques sont présents, de façon ubiquitaire, à l'état de traces dans l'environnement. Aux contributions d'origine naturelle viennent s'ajouter des apports anthropiques parfois conséquents.

Le cuivre, très largement utilisé dans sa forme métallique pur ou en alliage, est un métal naturellement abondant dans la croûte terrestre (60 ppm ou mg/kg). Dans l'industrie, ses propriétés physiques spécifiques - malléabilité et ductilité, bonne conductivité thermique et électrique, forte résistance à la corrosion - en font un matériau de choix pour le secteur de l'électricité, l'électronique, les télécommunications, dans la construction (tuyauterie d'eau, couverture de toit), dans l'architecture, les transports (composants électromécaniques, refroidisseurs d'huile, réservoirs, hélices), ... Ses propriétés antimicrobiennes, algicides et fongicides sont également mises à profit dans l'industrie textile, l'agriculture ou encore l'industrie nautique.

Les voies d'entrée du cuivre d'origine anthropique dans l'environnement marin peuvent provenir :

- ✓ des particules atmosphériques issues des activités à terre et qui peuvent voyager sur de longues distances avant de se déposer sur le plan d'eau ;
- ✓ des écoulements d'eau pluviale par ruissellement direct ou via les cours d'eau ;
- ✓ de la diffusion par contact direct avec le milieu marin comme pour les peintures nautiques.

Une fois dans l'environnement marin, selon sa spéciation (forme chimique), le cuivre peut se retrouver sous forme dissoute ou particulaire dans la colonne d'eau, se déposer dans les sédiments ou être absorbé par les organismes vivants.

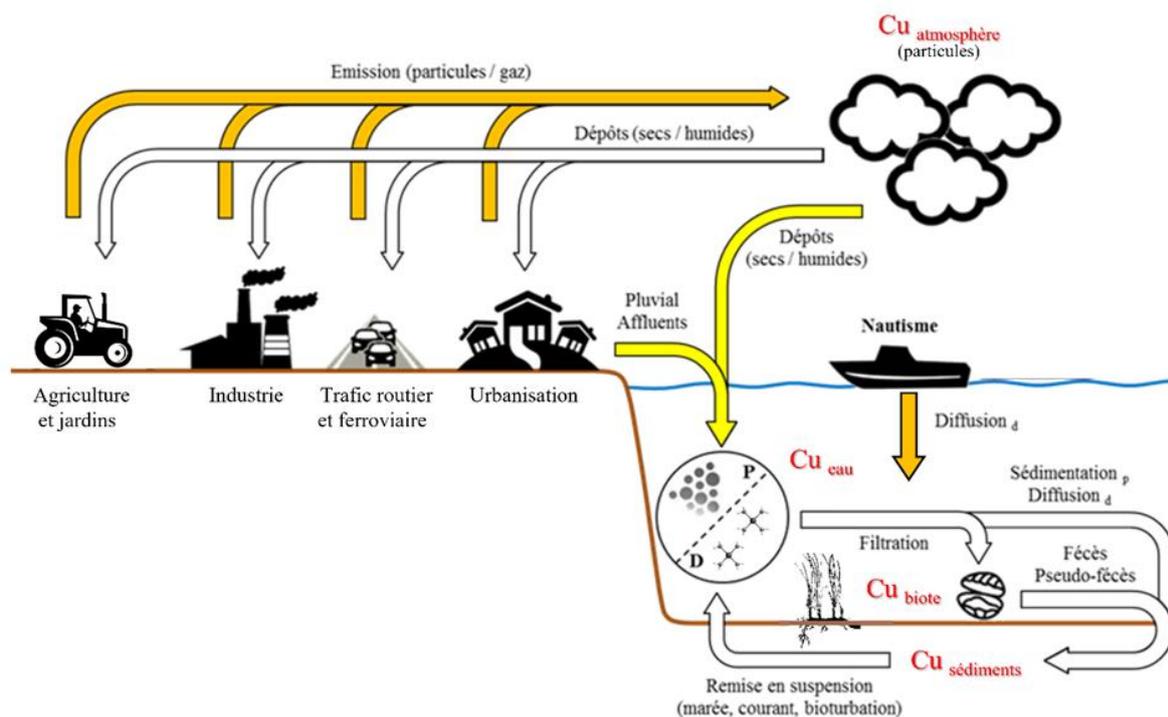


Figure 2 : Le Cuivre dans l'environnement

Comme dans les autres zones côtières, les sources anthropiques de cuivre parvenant au bassin d'Arcachon sont multiples.

Deux de ces sources peuvent être qualifiées de « directes » pour le plan d'eau. Il s'agit tout d'abord des peintures antisalissures qui protègent la coque des navires contre le fouling. Cette pression est l'une des seules qui a pu être quantifiée à plusieurs reprises avec environ 4 000 litres de cuivre appliqués par an sur les coques, et s'avérait déjà importante il y a deux décennies. Cependant, en l'absence d'enquêtes très récentes il est difficile de se rendre compte de son évolution actuelle. La seconde source directe, mais qui s'est tarie depuis plusieurs décennies, était liée au sulfatage des installations conchylicoles dans le but de les débarrasser du fouling.

D'autres sources alimentent le Bassin de manière moins directe, en transitant par les eaux de surface, celles de la nappe superficielle, les réseaux pluviaux ou les particules fines atmosphériques susceptibles de se déposer sur le plan d'eau (au sujet desquelles on ne dispose pas de données). Parmi ces sources, il semble que l'activité agricole (notamment parce que la viticulture n'est pas pratiquée sur le bassin versant) soit peu pourvoyeuse de cuivre. L'utilisation de bouillie bordelaise dans les jardins est probablement importante et est susceptible d'avoir augmenté récemment.

En raison de l'augmentation constante du nombre d'habitants sur les communes situées sur les bassins versants de la baie, les sources liées à l'urbanisation et au trafic routier sont probablement en constante augmentation, même si des mesures environnementales (infiltration à la parcelle, solutions compensatoires), destinées à réduire cet impact, sont mises en œuvre depuis plusieurs années.

Comment expliquer *in fine* la hausse des concentrations en cuivre observée dans les huîtres sauvage du fond du Bassin ?

L'ensemble de ces résultats indique une origine anthropique du cuivre. Bien que différentes sources participent à cette contamination, la contribution du secteur nautique est probablement majoritaire à l'heure actuelle. Cette observation s'appuie sur plusieurs faits :

- ✓ Les concentrations en cuivre dans l'eau sont beaucoup plus élevées dans les ports que dans les sites intra bassin suivis dans le cadre du réseau REMPARG. Les concentrations en cuivre sont également plus élevées dans les sédiments portuaires que dans les sédiments du Bassin, les zones de mouillage présentant une contamination intermédiaire entre les deux.

La localisation de ces ports, situés dans ou à proximité de zones urbaines et d'axes de circulation fréquentés, ne permet cependant pas d'exclure d'autres types d'apports liés au trafic routier.

- ✓ Les concentrations en cuivre dissous et en cuivre labile sont plus importantes en été qu'en hiver dans tous les sites (Comprian, Jacquets, Grand Banc, Arguin) et, pour le cuivre labile, cette variabilité saisonnière est particulièrement marquée sur le site des Jacquets, situé dans le prolongement d'une zone à forte densité de corps morts. On peut ainsi suspecter que cette saisonnalité reflète celle du relargage du cuivre à partir des peintures antisalissures.

La fréquentation routière, reconnue comme une source significative de cuivre pour l'environnement, étant également maximale pendant l'été, elle peut aussi participer à l'émergence de cette saisonnalité. Il serait de ce fait nécessaire de caractériser le niveau et la temporalité de ces apports, en particulier par la voie atmosphérique.

A l'inverse, les apports en cuivre par les cours d'eau (concentrations en cuivre et débits - donc flux) et les eaux de ruissellement sont plus élevés en hiver qu'en été, en lien avec la saisonnalité de la pluviométrie. Ces voies d'entrée ne déterminent donc pas la dynamique temporelle des concentrations de cuivre dans l'eau observée dans le Bassin, marquée par des minima hivernaux et des maxima estivaux.

- ✓ La composition isotopique du cuivre dans les huîtres du fond du Bassin se rapproche de celle des peintures antisalissures. Cependant, ce dernier argument doit être manié avec prudence, d'autres sources anthropiques présentent des signatures du même ordre de grandeur que les peintures.

Les huîtres du fond du Bassin semblent constituer alors le seul compartiment dans lequel on observe une augmentation des concentrations en cuivre, particulièrement marquée depuis la fin des années 2000.

En l'absence de données historiques, il est impossible de statuer sur l'évolution des teneurs en cuivre dissous dans l'eau au cours de dernières décennies. En ce qui concerne la période récente (2016-2022) les concentrations en cuivre dissous des eaux du fond du Bassin semblent toutefois montrer une tendance à la hausse. La poursuite du suivi du REMPARG permettra de consolider cette observation.

En revanche, l'examen des données du réseau hydrologique ARCHYD de l'Ifremer montre que les concentrations en matières en suspension des eaux du fond de la Baie ont augmenté depuis la fin des années 2000.

L'évolution des concentrations en matières en suspension (MES) dans la partie orientale du Bassin peut être mise en relation avec la forte réduction de l'emprise des herbiers de zostères.

On peut alors se demander si cette modification du milieu physique, liée à la régression des herbiers et générant une augmentation des concentrations en matières en suspension, peut expliquer au moins partiellement l'accroissement des concentrations dans les huîtres en lien avec (1) à une plus faible dilution pondérale de ce contaminant due à une plus faible croissance des mollusques (coût énergétique supplémentaire de la filtration) et (2) à une plus forte exposition des huîtres au cuivre particulaire (via leur filtration) dans les zones internes du Bassin.

Il faut également souligner que cette exposition à de plus fortes quantités de cuivre peut également directement entraver la croissance des mollusques en augmentant le coût énergétique généré par les processus de détoxification.

Les concentrations en cuivre dans les eaux du Bassin atteignent parfois (notamment pendant l'été), des concentrations susceptibles de commencer à perturber la reproduction des huîtres, via une chute du taux de fécondation ou une élévation du taux de larves anormales. De plus, la contamination en cuivre du phytoplancton, en modifiant sa composition en acides gras, est susceptible de réduire leur intérêt nutritif pour les huîtres. D'une façon générale, l'accumulation de cuivre dans les mollusques peut interférer négativement sur leur potentiel de croissance en induisant une demande d'énergie supplémentaire liée à la détoxification.

Enfin, il faut rappeler que le cuivre est loin d'être le seul contaminant présent dans le milieu et susceptible d'y générer des dysfonctionnements. Or, comme l'ont montré différentes expériences, en fonction de leur mode d'action sur le vivant et des autres paramètres physico-chimiques (température notamment), les effets de ces contaminants peuvent s'avérer additifs : c'est ce que l'on appelle les effets mélanges.

Conclusion

Le cuivre présent dans le Bassin a une origine majoritairement anthropique. Notamment en raison de la saisonnalité des concentrations de ce métal dans l'eau, minimale en hiver et maximale en été, on peut suspecter que sa source principale réside dans les peintures antisalissures utilisées sur les coques des navires. Il n'est toutefois pas exclu que les sources liées au trafic routier, également maximal en été, participent à expliquer cet état de fait. Les métaux provenant de cette origine sont susceptibles d'être lessivés lors des pluies (et se retrouvent alors dans le réseau pluvial) ou d'être transportés vers le Bassin par les particules fines auxquels ils sont liés. A cet égard, il serait nécessaire de caractériser et de quantifier les apports atmosphériques en contaminants sur le plan d'eau.

On ne dispose pas de suffisamment de données pour avoir la certitude que les niveaux de cuivre dans l'eau ont augmenté au cours des dernières décennies. Les concentrations dans les niveaux superficiels du sédiment n'ont pour leur part pas évolué depuis le début de nos suivis. De même, il semble que les zostères (au moins celles de la zone de la Hume – Gujan Mestras) ne sont actuellement pas plus contaminées que dans les années 1990. L'accroissement des concentrations en cuivre dans les huîtres sauvages au cours de ces 30 dernières années pourrait ne pas refléter directement (ou seulement) un accroissement des apports au milieu mais être lié à l'augmentation des concentrations en suspension consécutif à la régression des herbiers de zostères. Dans les zones les plus exposées à ce phénomène, à la fois parce que de fortes concentrations en MES et une plus forte exposition au métal contenu dans ces particules provoquent une réduction de la croissance, le cuivre absorbé par les huîtres serait moins dilué dans les tissus.

Hors zones portuaires, si l'on considère ce seul contaminant et dans des conditions abiotiques favorables, ces niveaux de concentration en cuivre dans le milieu ne sont pas de nature à nuire drastiquement aux organismes pélagiques (vivant dans l'eau) et benthiques (vivant sur et dans le sédiment). Toutefois, les résultats des expériences menées notamment sur les huîtres et les zostères en les soumettant à des concentrations environnementales en différents contaminants (cuivre et pesticides) et/ou à des températures élevées dans le cas des zostères, ont démontré que l'impact de telles concentrations pouvait alors être significatif. Par ailleurs, le métabolisme lipidique du phytoplancton serait affecté par la présence de cuivre aux concentrations mesurées dans le Bassin, réduisant leur potentiel nutritif pour les huîtres. Enfin, l'augmentation de la concentration en cuivre dans les huîtres (et peut-être dans les autres organismes filtreurs), quelle que soit leur cause génère un accroissement de leurs besoins énergétiques en lien avec les processus de détoxification. A ce titre, cette contamination peut affecter leur survie et leurs performances de croissance.