

Biodisponibilité des métaux particuliers chez la dreissène

Adeline Bourgeault^{1,2}, Sophie Ayrault³, Delphine Lottin^{1,2}, Catherine Gourlay-Francé^{1,2*}
et Marie-Hélène Tusseau-Vuillemin^{1,2}

¹UR Hydrosystèmes et Bioprocédés, Cemagref Antony

²FIRE FR-3020, 4 place Jussieu, F-75005 Paris

³LSCE, CEA-CNRS-UVSQ/IPSL, Gif sur Yvette
* catherine.gourlay@cemagref.fr

1 Introduction

Le modèle biodynamique [1] décrit de façon simple l'accumulation dans un organisme comme le résultat d'une accumulation par voie dissoute, une accumulation par voie trophique et un phénomène de dépuratation. Ce modèle est utilisé afin d'évaluer l'importance relative des voies d'accumulation des contaminants (dissoute et/ou trophique), mais également afin de prédire la contamination d'un site par la mesure de la contamination des organismes qui y sont présents.

Après avoir étudié les facteurs de contrôles de la bioaccumulation des métaux par voie dissoute chez la dreissène en 2008 [2], nous avons cherché au cours de l'année 2009 à quantifier les apports par voie trophique.

Le comportement alimentaire des bivalves apparait primordial dans les mécanismes de bioaccumulation. De nombreuses études reportent la capacité de sélection que les dreissènes ont vis-à-vis de leur nourriture. Ce processus digestif dépendrait à la fois de la qualité et de la quantité de nourriture mais également du métal considéré [3, 4]. Decho et Luoma [4] ont mis en évidence la capacité pour certains bivalves de modifier leur comportement alimentaire afin de réduire leur exposition à une contamination en chrome. En effet une exposition croissante en Cr influence à la fois le taux d'ingestion des bivalves mais également la proportion de nourriture passant par la glande digestive (voie digestive dite longue en comparaison à la voie intestinale plus rapide) et donc le temps de rétention de ces particules au niveau du système digestif. De plus l'assimilation diffère selon le métal considéré; ainsi des métaux comme le Cr ou le Am sont généralement très peu assimilés comparé à d'autres métaux comme le Cu, le Ni ou le Zn.

Ainsi les estimations du modèle biodynamique (du point de vue trophique) pourraient être faussées si la qualité de la nourriture n'était pas convenablement prise en compte.

Il convient donc d'étudier en laboratoire les mécanismes d'accumulation des métaux par voie trophique tout en considérant l'aspect qualitatif et quantitatif de la nourriture ingérée. Ainsi, nous nous sommes intéressés à deux paramètres du modèle biodynamique décrivant l'accumulation des métaux par voie trophique: le taux d'ingestion (IR) qui correspond à la quantité de nourriture ingérée par un organisme, et l'efficacité d'assimilation (AE) qui correspond au pourcentage de métal ingéré réellement assimilé par l'organisme. Les métaux étudiés ici sont le cadmium, le cuivre, le chrome et le nickel.

2 Matériels et méthodes

2.1 Prélèvement et acclimatation des dreissènes

Les moules sont prélevées dans le canal de la Meuse à Commercy. Elles sont calibrées (20-22 mm) puis acclimatées en laboratoire à 15°C avec un cycle jour/nuit 10h/14h. Pendant cette phase d'acclimatation, l'eau des bacs est progressivement remplacée par de l'eau d'exposition (eau minérale Valvert). Les dreissènes sont nourries régulièrement de chlorelles en poudre à raison de 3,2 g/jour/1000 moules. De plus, l'eau des bacs est renouvelée lorsque les concentrations des différentes formes de l'azote atteignent les valeurs seuils suivantes: NH_4 : 2 mg.L⁻¹, NO_2 : 0,25 mg.L⁻¹ et NO_3 : 25 mg.L⁻¹. Une pompe et un bulleur sont également installés, afin de garantir un courant d'eau dans le bac et l'oxygénation du milieu.

2.2 Principe de l'expérience

Le principe de l'expérience repose sur la méthode du "pulse-chase feeding" combinée à l'utilisation d'isotopes stables des métaux. Elle a été mise au point et appliquée au gammare en 2008 au Cemagref dans le cadre PIREN Seine [2]. Nous avons adapté la méthode aux dreissènes.

Les dreissènes sont exposées pendant une courte période à de la nourriture contaminée en isotopes stables: ^{62}Ni , ^{65}Cu , ^{106}Cd et ^{53}Cr . Ces isotopes stables, de par leur abondance naturelle minoritaire (respectivement 3,6%, 30,8%, 1,2% et 9,5%), permettent de s'affranchir des contaminations métalliques antérieures des tissus. S'ensuit une phase de dépuración pendant laquelle les fèces sont collectées afin de suivre le passage de cette nourriture contaminée à travers le système digestif des organismes. Suite à cette phase de dépuración les tissus mous sont collectés puis analysés afin de mesurer la quantité de métaux internalisée et ainsi en déduire l'efficacité d'assimilation (AE) de chacun des métaux.

Le suivi des métaux dans les fèces permet de vérifier qu'en fin de phase de dépuración, il ne reste plus de nourriture contaminée par des isotopes stable dans le système digestif des organismes et que, par conséquent, tout le métal isotopiques qui est mesuré dans les tissus des dreissènes est bien du métal internalisé dans l'organisme.

2.3 Dopage en isotopes stables de la nourriture

La nourriture inclut à la fois des algues (*Selenastrum capricornutum*) et les particules minérales de kaolinite. La première étape consiste à doper ces particules en isotopes stables des métaux.

Après 4 jours de culture des algues dans un milieu sans Cu, Zn ni EDTA, les algues sont exposés à un milieu contaminé en isotopes stables (Eurisotope, Saclay, France) selon les concentrations suivantes: $500\ \mu\text{g.L}^{-1}$ de ^{62}Ni , $740\ \mu\text{g.L}^{-1}$ de ^{65}Cu , $200\ \mu\text{g.L}^{-1}$ de ^{106}Cd et $29\ \mu\text{g.L}^{-1}$ de ^{53}Cr pendant 24 heures. Les solutions isotopiques étant acides, le pH a été réajusté par ajout de soude suite au dopage en métaux.

Les particules de kaolinite, quant à elle, ont été dopées suivant le protocole d'Arifin et Bendell-Young [5]. Brièvement, 25 mg de kaolinite (Kaolin blanc product, Prolabo) sont mis dans 500mL d'eau Valvert pendant 24 heures avec agitation ($350\ \text{tr.min}^{-1}$). Les métaux sont ensuite introduits à raison de $54\ \mu\text{g.L}^{-1}$ de ^{62}Ni , $14\ \mu\text{g.L}^{-1}$ de ^{65}Cu , $10\ \mu\text{g.L}^{-1}$ de ^{106}Cd et $75\ \mu\text{g.L}^{-1}$ de ^{53}Cr . Là encore, le pH a été réajusté par ajout de soude suite au dopage. Le bécher est alors passé dans un bain à ultra son pendant 5min afin d'obtenir un mélange homogène. Après 24 heures, le mélange de kaolinite est dilué dans un volume de 2L afin de limiter au maximum toute désorption des métaux pendant l'exposition en présence des dreissènes et laissé pendant 4 jours.

Après le dopage, les particules sont filtrées sur un filtre polycarbonate (PC) $0,4\ \mu\text{m}$ puis remises en suspension dans 300 ml d'eau minérale Valvert pour être utilisées comme nourriture pour les dreissènes.

Un prélèvement sur filtre PC (diamètre de pore : $0,4\ \mu\text{m}$) de la solution d'algue et de kaolinite est effectué afin de déterminer la contamination effective de la nourriture. Dans le cas des algues, un bain d'EDTA ($3\ \text{mmol.L}^{-1}$, pH ajusté à 7) est également utilisé afin de distinguer les métaux adsorbés (qui sont éliminé des algues par l'EDTA) des métaux internalisés (qui résistent au bain d'EDTA) [6].

2.4 Conditions expérimentales

2.4.1 Exposition par voie trophique

Les dreissènes sont exposées pendant 2 heures à de la nourriture contaminée de différentes qualités et concentrations (3 et 15 mg/L) (Tableau 1). Les quatre qualités différentes de nourriture (0, 33, 66 et 100% d'algues) ont été obtenues par différents mélanges d'algues et de particules minérales. Chaque bécher contient 500 mL de milieu (eau Valvert) et 5 dreissènes.

Les concentrations en nourriture ont été choisies de façon à minimiser l'effet de sélection de la nourriture dans un cas (i.e. exposition à faible concentration de nourriture limitant la production de pseudo-fèces) et le favoriser dans l'autre (i.e. exposition à plus forte concentration). En effet l'effet de sélection (via la production de pseudo-fèces) n'est pas observé à faible concentration de nourriture [7]; ceci probablement afin de satisfaire au maximum leurs besoins énergétiques.

		Qualité de la nourriture			
		100% kaolinite	66% kaolinite - 33% algues	33% kaolinite - 66% algues	100% algues
Quantité de nourriture	3mg/L	x	o (blanc) x	x	x
	15mg/L	x	x	x x x	x

Tableau 1 : Caractérisation des différents milieux d'exposition. Chaque "x" correspond à un béccher. Le blanc correspond au témoin négatif, c'est-à-dire un milieu où les dreissènes sont exposées à de la nourriture non-contaminée

Des paniers, composés de tamis en nylon de porosité 100µm, permettent une récupération facilitée des fèces tout en assurant une bonne circulation des particules dans le béccher par une agitation magnétique constante (: Caractérisation des différents milieux d'exposition. Chaque "x" correspond à un béccher. Le blanc correspond au témoin négatif, c'est-à-dire un milieu où les dreissènes sont exposées à de la nourriture non-contaminée Figure 1).

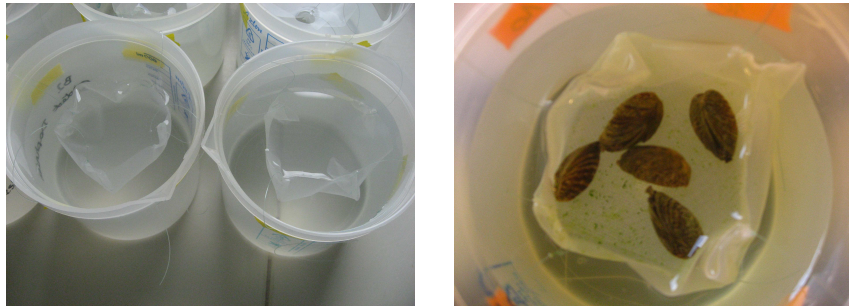


Figure 1: Préparation des bécchers d'exposition

Suite à la période de contamination, les dreissènes sont rincées à l'eau Valvert puis transférées dans un nouveau béccher non contaminé pour la phase de dépuración. Elles sont alors nourries pendant 70h avec de la nourriture non-contaminée mais présentant les mêmes caractéristiques trophiques (qualité et quantité) que pendant la phase d'exposition. Au cours de cette phase de dépuración, les fèces et les pseudo-fèces sont collectées régulièrement (Figure 2) sur des filtres PC préalablement pesés.

Que ce soit pendant la phase d'exposition ou celle de dépuración, les milieux sont régulièrement redopés en particules afin de maintenir une concentration constante dans le béccher (Figure 2). Les concentrations en particules sont déterminées en utilisant un compteur Coulter Z1 DT.

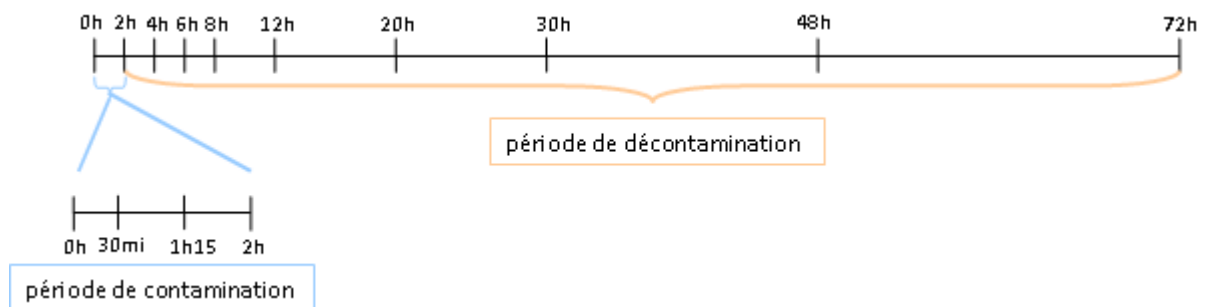


Figure 2: Dates de redopage en nourriture et de prélèvements des fèces

Les tissus de dreissène sont prélevés à la fin de la phase de dépuración. Des échantillons d'eau sont régulièrement prélevés par filtration seringue 0,45µm que ce soit pendant la phase de contamination ou de décontamination.

2.4.2 Contrôle d'une éventuelle exposition par voie dissoute

Suite au 2h de contamination une partie du milieu d'exposition est filtré sur filtre PC. Le filtre, chargé en particules, est analysé afin de vérifier la contamination de la nourriture en fin d'exposition pour chacun des béciers.

Le reste du milieu d'exposition est filtré sur un filtre GFF 0,45µm préalablement grillé. Les particules retenues sur le filtre sont analysées pour mesurer la fraction inorganique et organique dans les différents types de nourriture : les filtres GFF sont placés à l'étuve à 100°C pendant 24h puis à 500°C pendant 2h et sont pesés après chacune de ces étapes.

Trois dreissènes sont exposées pendant 2h au filtrat afin d'évaluer l'accumulation éventuelle des métaux dissous résultant d'une désorption de métal à partir des particules de nourriture. Les tissus sont ensuite prélevés.

2.5 Préparation des échantillons

Les prélèvements d'eau sont acidifiés à 1% avec de l'HNO₃.

L'ensemble des échantillons de fèces, pseudo-fèces, tissus de dreissènes et particules de nourriture est lyophilisé, pesé puis minéralisé. La minéralisation des échantillons est faite par Digiprep, en utilisant un protocole comportant des ajouts successifs d'HNO₃ et H₂O₂ (cas des tissus de dreissène) ou d'HNO₃/HCl et H₂O₂ (cas des fèces, pseudo-fèces et nourriture) ainsi que des phases de montée en température.

Un matériel de référence est utilisé afin de s'assurer de la validité du protocole de minéralisation (ERM-CE 278).

2.6 Analyse

Les échantillons sont analysés par ICP-MS (ThermoFisher Scientific) au LSCE pour l'ensemble des isotopes du Ni (⁵⁸Ni, ⁶⁰Ni, ⁶¹Ni, ⁶²Ni et ⁶⁴Ni), Cd (¹⁰⁶Cd, ¹⁰⁸Cd, ¹¹⁰Cd, ¹¹¹Cd, ¹¹²Cd, ¹¹³Cd, ¹¹⁴Cd et ¹¹⁶Cd), Cu (⁶³Cu et ⁶⁵Cu), Cr (⁵⁰Cr, ⁵²Cr, ⁵³Cr et ⁵⁴Cr) et Ge (⁷²Ge et ⁷⁴Ge). Afin de s'affranchir d'éventuelles variations de sensibilité de l'ICP-MS, un étalon interne (Ge) a en effet été ajouté à chaque échantillon.

Pour limiter toutes interférences poly-atomiques l'ICP-MS a été utilisé dans la configuration CCT (cellule à collision). Il est en effet fréquent d'observer des interférences résultant de la combinaison entre les ions de la matrice et le gaz vecteur (ex: association de ⁴⁰Ar et ¹⁴C correspondant à la masse du ⁵²Cr). La CCT est une cellule permettant de séparer ce type d'association par collision avec 2 gaz auxiliaires: He et H₂. L'intérêt de l'utilisation de la CCT dans ce type de suivi a été montré lors des travaux précédents [2].

Le matériel certifié SRM 1640 (NIST) a été utilisé pour contrôler la fiabilité de l'analyse.

2.7 Cadre d'interprétation

La quantité d'isotope ⁵³Cr, ⁶²Ni, ⁶⁵Cu et ¹⁰⁶Cd nouvellement accumulé est déterminée selon Croteau et al. [8]. En prenant l'exemple du chrome, la concentration en ⁵³Cr se calcule suivant l'équation :

$$[{}^{53}\text{Cr}]_{\text{ajouté}} = [{}^{53}\text{Cr}]_{\text{mesuré dans l'échantillon}} - [{}^{53}\text{Cr}]_{\text{initialement présent}}$$

$$[{}^{53}\text{Cr}]_{\text{ajouté}} = p^{53}\text{Cr} \cdot ([\text{Cr}]_{\text{évalué par } {}^{53}\text{Cr}} - [\text{Cr}]_{\text{évalué par } {}^{52}\text{Cr}})$$

Où $p^{53}\text{Cr}$ est l'abondance naturelle du ⁵³Cr, [⁵³Cr] est la concentration en isotope 53 du chrome et [Cr] la concentration en élément chrome (tous les isotopes) évaluée soit par la masse de l'isotope 53 ou celle de l'isotope 52. L'abondance naturelle de chacun des isotopes a été calculée dans les solutions standards de calibration de l'ICP-MS. Elle correspond au rapport de l'intensité du signal d'un isotope sur la somme des intensités des signaux de tous les isotopes de l'élément. Il a été vérifié que ces abondances correspondaient à

celle de la littérature.

L'efficacité d'assimilation (AE) est calculée par le rapport entre la quantité de métal résiduelle dans les tissus de dreissène après 70h de dépuración et la quantité de métal ingéré. Le taux d'ingestion (IR) est déterminé comme la quantité de particules filtrées dans une période de temps donnée (moins la production de pseudo fèces) divisée par le poids sec des tissus de dreissène ($\text{g} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$).

3 Résultats et discussion

3.1 Contamination de la nourriture

Les concentrations en ^{62}Ni , ^{65}Cu , ^{106}Cd et ^{53}Cr dans les solutions d'algues et de kaolinite sont présentées dans le Tableau 2.

		53Cr	62Ni	65Cu	106Cd
algues non contaminées		0.3	0.007	0.7	0.02
solution mère d'algues contaminées		35	1089	3617	457
milieu d'expositions	100% algues - 3mg/L	1.5	29	644	17
	100% algues - 15mg/L	12	115	2112	68
kaolinite non contaminée		0.07	0.006	0.4	0.1
solution mère de kaolinite contaminée		50	0.3	3	0.2
milieu d'expositions	100% kaolinite - 3mg/L	45	0.3	3	0.2
	100% kaolinite - 15mg/L	54	0.2	4	0.3

Tableau 2: Concentration ($\mu\text{g/g}$ poids sec) en isotopes stables dans les algues et la kaolinite de différents milieux

Plusieurs points importants peuvent être soulignés:

- la **contamination de la nourriture est importante**. Les concentrations en métaux sont plus élevées dans les solutions mères ayant servi à la contamination des milieux et dans les milieux eux-mêmes (mesure effectuée à T=2h) que dans les solutions non contaminées.
- Les **algues sont bien plus contaminées que la kaolinite**, exception faite du chrome. Ainsi la contamination des algues dans les milieux d'exposition est en moyenne supérieure d'un facteur 300, 400 et 150 pour le Ni, le Cu et le Cd.
- Dans le cas des algues, les contaminations sont bien inférieures dans les milieux d'exposition en comparaison des solutions mères. Ceci pourrait s'expliquer par une **désorption des métaux, des algues vers la phase dissoute**. Cette hypothèse est corroborée par l'analyse de la répartition des métaux dans les algues (Figure 3). En effet la majorité des métaux sont présents dans la fraction extracellulaire (respectivement 86, 60, 83 et 95 % pour le ^{62}Ni , le ^{65}Cu , le ^{106}Cd et le ^{53}Cr).
- A l'inverse, dans le cas de **la kaolinite, il ne semble pas y avoir eu désorption** des métaux puisque pour l'ensemble des métaux les concentrations sont quasiment identiques entre la solution mère et les solutions d'expositions.

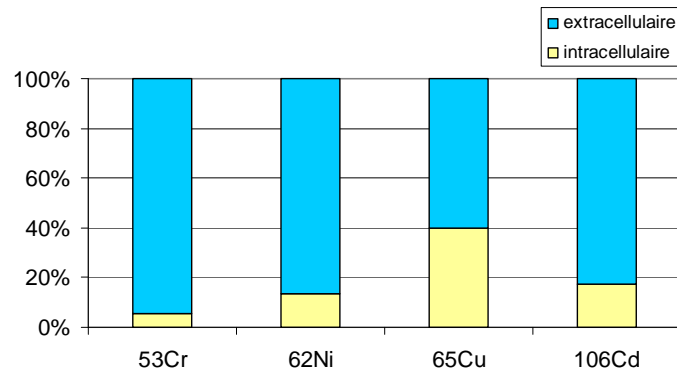


Figure 3: Répartition intra et extracellulaire des métaux dans les algues

3.2 Contamination par voie dissoute

Les concentrations en métaux dissous (Figure 4) dans l'eau ont augmenté au cours de la phase d'exposition par voie trophique. Ces concentrations, qui étaient respectivement dans le contrôle de 27, 53, 14 et 2 ng.L⁻¹ pour le ⁶²Ni, ⁶⁵Cu, ¹⁰⁶Cd et ⁵³Cr ont atteint au maximum 7, 3, 4 et 0.1 µg.L⁻¹ selon les milieux. A l'exception du Chrome, les concentrations en métaux dans l'eau sont d'autant plus grandes que la nourriture contaminée est algale.

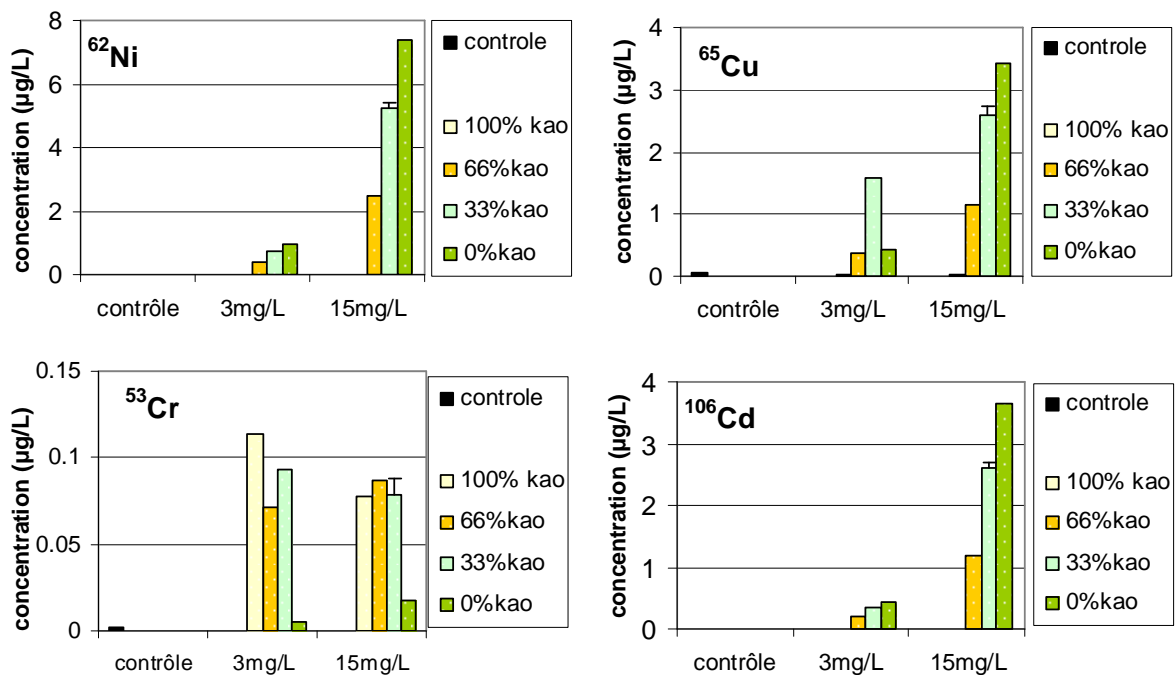


Figure 4: Concentration en ⁶²Ni, ⁶⁵Cu, ¹⁰⁶Cd et ⁵³Cr (µg/L) dans l'eau filtrée des milieux après 2h d'exposition

La contamination de l'eau que l'on observe après 2 heures d'exposition a pu entraîner une accumulation des isotopes par voie dissoute en même temps que celle par voie trophique. Ceci est confirmé par les concentrations importantes en isotopes dans les tissus des dreissènes exposées pendant 2 heures à l'eau filtrée seule (Figure 5).

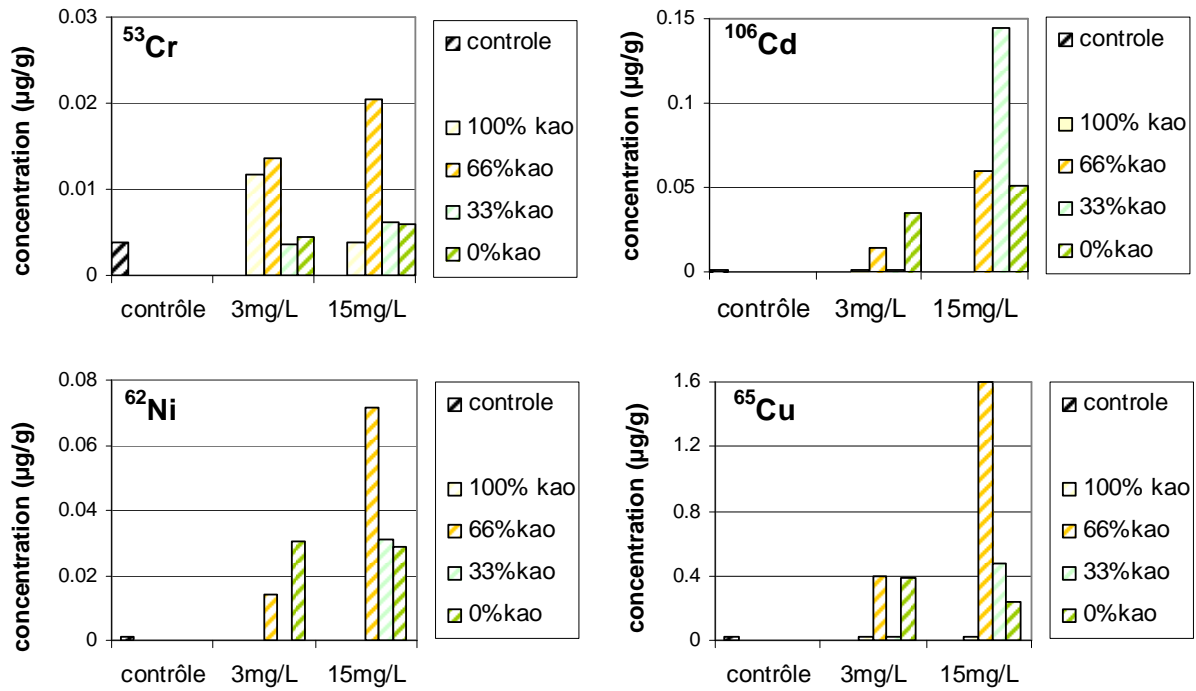


Figure 5: Concentration en ^{62}Ni , ^{65}Cu , ^{106}Cd et ^{53}Cr ($\mu\text{g/g}_{ps}$) dans les tissus de dreissènes exposées 2h au filtrat des différents milieux

3.3 Taux d'ingestion des dreissènes

Les taux d'ingestion (IR) ont été plus faibles dans les milieux les moins concentrés (Figure 6) quelque soit la qualité de la nourriture considérée. A faible teneur en MES, le taux d'ingestion diminue quand la qualité organique de la nourriture augmente, alors qu'il reste constant à plus forte teneur en MES.

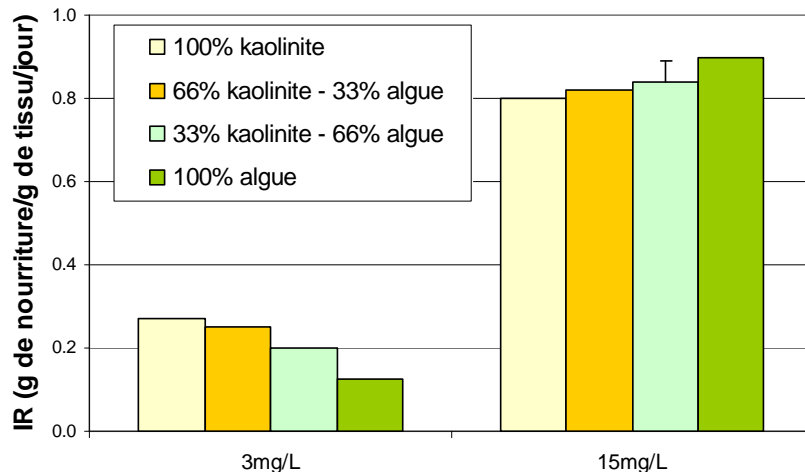


Figure 6: Taux d'ingestion (IR) des dreissènes ($\text{g}_{\text{nourriture_poids_sec}}/\text{g}_{\text{tissu_poids_sec}}/\text{jour}$) au cours de la phase d'exposition

3.4 Excrétion des isotopes

Les métaux ingérés ont été excrétés dès le premier prélèvement de fèces, c'est-à-dire dès la fin de la phase d'exposition (Figure 7). Ainsi la durée de transit intestinal (GRT) est inférieure à la durée d'exposition par voie trophique (i.e. 2h). Pour l'ensemble des métaux, l'intégralité de la contamination en isotopes stables est

excrétée pendant les 30 premières heures.

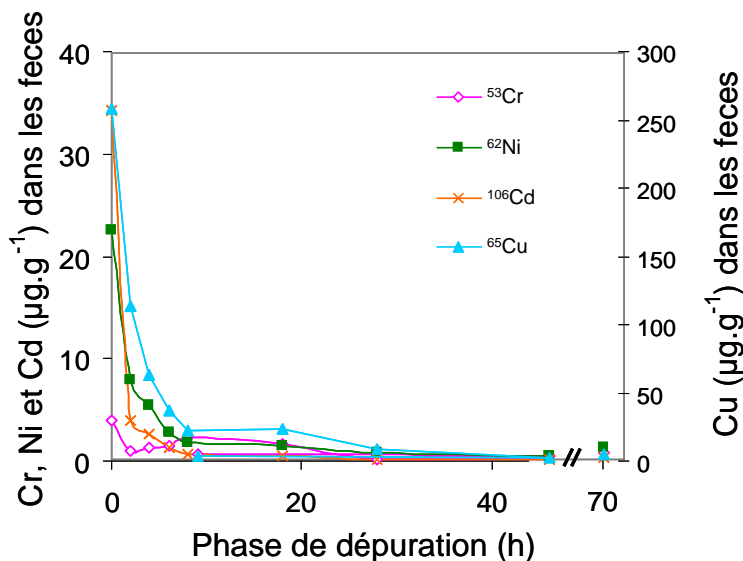


Figure 7: Suivi de la contamination des fèces ($\mu\text{g}/\text{g}_{\text{poids_sec}}$) excrétés par les dreissènes exposées à 3 mg/L d'algues contaminées

3.5 Efficacité d'assimilation

Etant donné la contamination très largement supérieure des algues par rapport à la kaolinite (Tableau 2), les efficacités d'assimilation calculées dans le cas de milieux d'exposition comportant une nourriture obtenue à partir d'un mélange d'algue et de kaolinite, se réfèrent toutes aux assimilations de métaux portés sur les particules algales. En effet, sur l'ensemble des expériences réalisées avec différents mélanges d'algue et de kaolinite, l'apport de métaux par la kaolinite représente au maximum 2% de l'apport par les algues (exception faite du chrome).

L'assimilation du chrome reflète à la fois l'assimilation par les algues et la kaolinite, étant donné que la contamination de ces deux types de particule est du même ordre de grandeur pour ce métal.

3.5.1 Prise en compte de l'accumulation par voie dissoute

Etant donné l'accumulation des dreissènes par voie dissoute, la contamination dans les tissus exposés par voie trophique a été corrigée à l'aide des données d'expositions par voie dissoute (cf 3.2).

Pour ce faire nous disposons des résultats de contamination par voie dissoute mesurés après 2h d'exposition. Or la contamination par voie trophique a été mesurée après 2h d'exposition et 70h de dépuración. Il convenait donc d'appliquer une phase de dépuración théorique aux tissus contaminés par voie dissoute. Cette estimation a été réalisée en suivant la cinétique de dépuración décrite dans le modèle biodynamique:

$$\frac{dC_w}{dt} = -k_e \cdot C_w$$

$$\text{D'où } C_{w-72h} = C_{w-2h} \cdot e^{-k_e \cdot t}$$

Où C_w est la concentration en métaux dissous accumulés dans les tissus ($\mu\text{g} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$), k_e la constante de dépuración (jour^{-1}) et t le temps (jour) correspondant ici à 70h (i.e. 2,9 jours). Les constantes de dépuración k_e ont été obtenues dans la littérature pour chacun de métaux (i.e. 0.011 j^{-1} pour le Cd et le Cr, 0.019 j^{-1} pour le Ni et 0.022 j^{-1} pour le Cu) [3, 9, 10].

La Figure 8 présente les concentrations en métaux dans les tissus de dreissènes ($\mu\text{g}/\text{g}_{\text{ps}}$) exposées par voie trophique et/ou dissoute (corrigées et non corrigées).

Programme PIREN-Seine : Bioaccumulation des métaux par voie trophique chez la dreissène

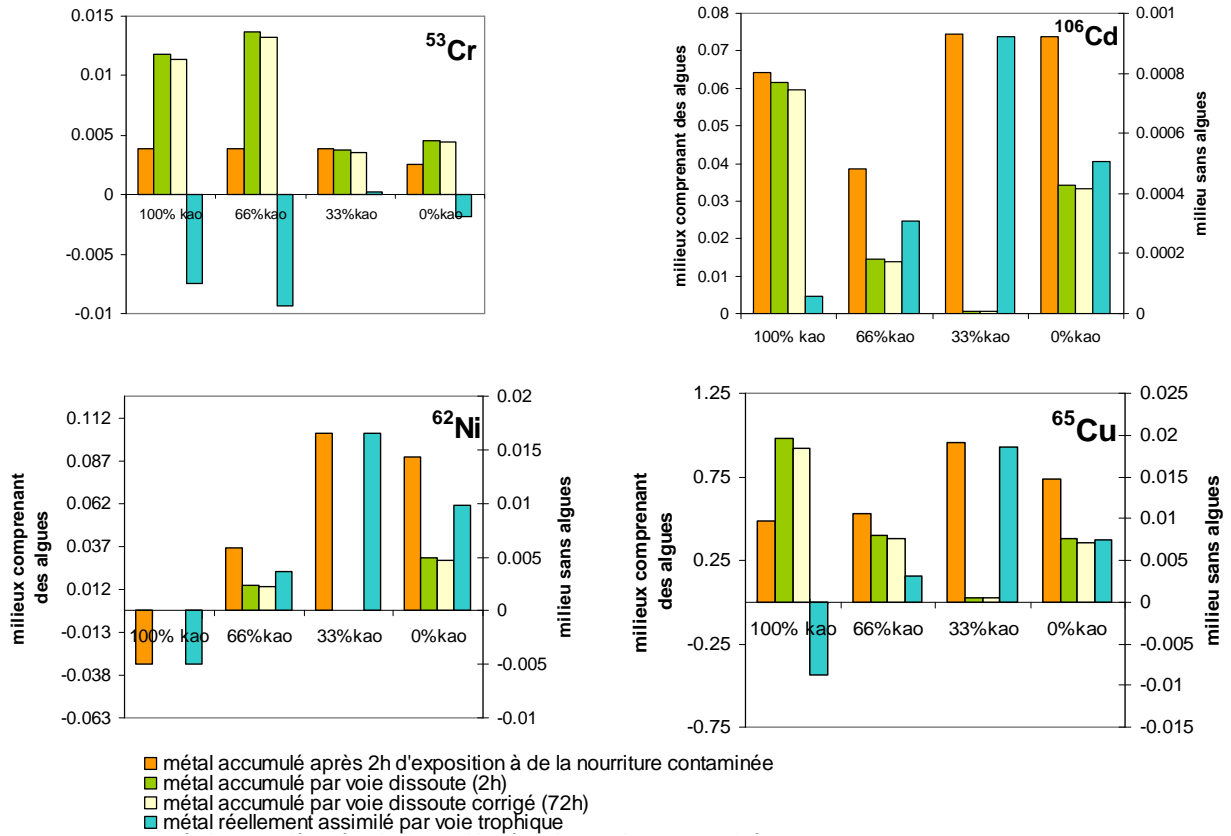


Figure 8: Concentrations en métal accumulé dans les tissus de dreissènes ($\mu\text{g/g}_{ps}$) par voie dissoute et/ou trophique dans les milieux à 3 mg/L (100%, 66%, 33% et 0% de kaolinite). Les concentrations dans le milieu sans algues (100% kaolinite) sont reportées sur l'axe secondaire alors que celles des trois autres milieux sont représentées par l'axe principal

3.5.2 Efficacité d'assimilation VS taux d'ingestion

Les efficacités d'assimilation (Figure 9) ont ainsi été calculées à partir des concentrations en métaux uniquement assimilé par voie trophique (Figure 8). La prise en compte de l'assimilation par voie dissoute a dans quelques cas abouti à une AE négative, notamment dans le cas du Cr. Dans ce cas les valeurs ont été exclues de la représentation graphique.

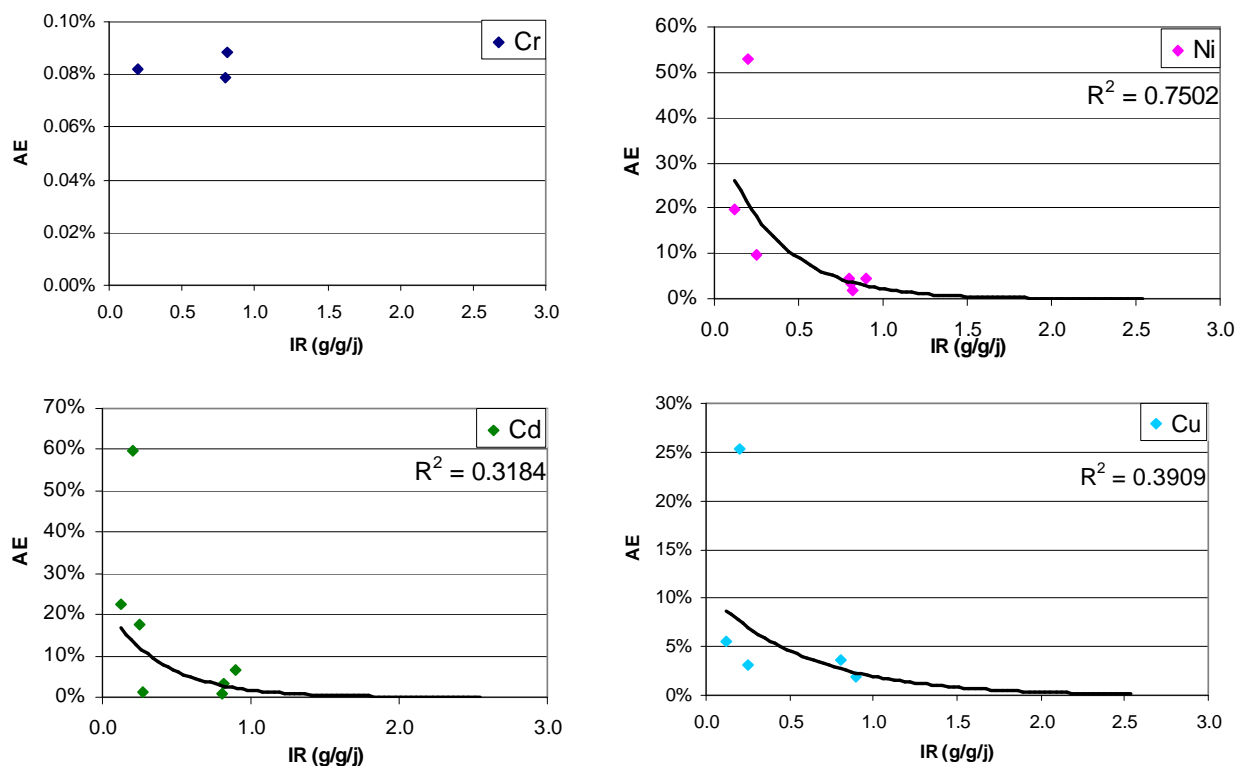


Figure 9: Efficacité d'assimilation (AE) du ^{62}Ni , ^{65}Cu , ^{106}Cd et ^{53}Cr (%) en fonction du taux d'ingestion (IR) ($\mu\text{g}_{\text{poids_sec}}/\text{g}_{\text{poids_sec}}/\text{jour}$)

Le chrome est le métal qui présente la plus faible assimilation quelque soit le milieu considéré. En revanche le Cd montre une assimilation supérieure par rapport à l'ensemble des métaux étudiés: $AE_{\text{Cd}} > AE_{\text{Ni}} > AE_{\text{Cu}} \gg AE_{\text{Cr}}$ (Figure 9). Les résultats d'assimilation pour le Cd et le Cr correspondent à ceux observés par Roditi [3] sur la moule zébrée.

Pour l'ensemble des métaux, l'assimilation est d'autant plus grande que le taux d'ingestion (IR) est faible. Ceci peut s'expliquer par un temps de digestion accrue en présence d'une faible concentration de nourriture conduisant ainsi à une assimilation d'autant plus importante. Cependant aucune corrélation claire n'a pu être mise en évidence entre l'AE et le temps de passage de la nourriture dans le système digestif¹ (GPT). L'hypothèse précédente n'a donc pas pu être vérifiée.

Aucune relation entre l'AE des métaux et la qualité de la nourriture n'a pu être observée.

4 Conclusion

Cette étude a permis d'estimer l'efficacité d'assimilation du Ni, du Cu, du Cd et du Cr à partir d'algues contaminées dans des milieux présentant différentes caractéristiques trophiques. Ainsi le chrome apparaît comme un élément très peu assimilé par rapport aux 3 autres métaux étudiés. Les assimilations sont respectivement de 1%-60%, 2%-53%, 2%-25% et 0.08%-0.09% pour le Cd, le Ni, le Cu et le Cr, tous milieux confondus.

La majeure partie des métaux a seulement été adsorbée sur les algues et non internalisée. Ce qui a conduit à une accumulation par voie dissoute dans les tissus de dreissène suite à la dépuration des métaux à partir des particules d'algue. Afin de palier à ce biais, les données de contamination des tissus par voie trophique ont été corrigées en tenant compte de cette accumulation parasitaire par voie dissoute. Dans certains cas, cette

¹ Temps nécessaire à l'excrétion de 90% des métaux retrouvés dans les fèces

correction a conduit à l'obtention d'AE négatives (principalement du chrome qui est, de base, très peu assimilé par voie trophique).

Les AE ont pu être corrélées au taux d'ingestion mais aucune relation claire n'a pu être établie avec la qualité ou la quantité de nourriture, ni même avec le GPT.

5 Bibliographie

1. Luoma SN, Rainbow PS. 2005. Why Is Metal Bioaccumulation So Variable? Biodynamics as a Unifying Concept. *Environ Sci Technol* 39:1921-1931.
2. Bourgeault A, Pellet B, Gourlay-Francé C, Ayrault S, Tusseau-Vuillemin M-H. 2009. Facteurs de contrôle de la bioaccumulation de métaux traces (Cadmium et Cuivre) dans deux organismes modèles. *Rapport d'activité du PIREN-Seine 2008*.
3. Roditi HA, Fisher NS. 1999. Rates and routes of trace element uptake in zebra mussels. *Limnology and Oceanography* 44:1730-1749.
4. Decho AW, Luoma SN. 1996. Flexible digestion strategies and trace metal assimilation in marine bivalves. *Limnology and Oceanography* 41:568-572.
5. Arifin Z, Bendell-Young LI. 2000. Influence of a selective feeding behaviour by the blue mussel *Mytilus trossulus* on the assimilation of ¹⁰⁹Cd from environmentally relevant seston matrices. *Mar Ecol Prog Ser* 192:181-193.
6. Knauer K, Behra R, Sigg L. 1997. Effects of free Cu²⁺ and Zn²⁺ ions on growth and metal accumulation in freshwater algae. *Environ Toxicol Chem* 16:220-229.
7. Bayne BL. 1993. Feeding physiology of bivalves: Time-dependence and compensation for changes in food availability. *Bivalve Filter Feeders in Estuarine and Coastal Ecosystem Processes*:1-24.
8. Croteau MN, Luoma SN, Pellet B. 2007. Determining metal assimilation efficiency in aquatic invertebrates using enriched stable metal isotope tracers. *Aquat Toxicol* 83:116-125.
9. Zarogian GE, Johnson M. 1984. Nickel uptake and loss in the bivalves *Crassostrea virginica* and *Mytilus edulis*. *Arch Environ Con Tox* 13:411-418.
10. Mersch J, Morhain E, Mouvet C. 1993. Laboratory accumulation and depuration of copper and cadmium in the freshwater mussel *Dreissena polymorpha* and the aquatic moss *Rhynchostegium riparioides*. *Chemosphere* 27:1475-1485.