

Transfert de nanomatériaux dans les chaînes alimentaires

Camille LARUE | camille.larue@ensat.fr

CNRS - Ecolab- Toulouse – France

Mots clés : Bioamplification, chaîne alimentaire, chaîne trophique, écotoxicologie, milieu aquatique, milieu terrestre, nanoparticules, toxicité

C'est un fait : les nanoparticules (NPs) ont envahi nos supermarchés (1) et notre environnement dans sa globalité (2,3). De nombreuses études traitent de leur toxicité sur divers organismes en utilisant différents scénarii d'exposition (voie environnementale vs. voie alimentaire). Depuis quelque temps, on constate également l'émergence de plus en plus importante de publications s'intéressant au transfert de nanomatériaux dans une chaîne trophique, abordant ainsi les inter-relations entre milieu contaminé et organismes producteurs primaires (tels que les végétaux), consommateurs primaires (herbivores) et secondaires (carnivores). Ces études ajoutent donc un niveau de complexité et se rapprochent ainsi un peu plus de la réalité environnementale. Pour illustrer cette nouvelle tendance, les trois articles choisis se focalisent respectivement sur une chaîne trophique aquatique à deux maillons (détritivore, carnivore) avec des NPs de TiO₂, une chaîne trophique terrestre à deux maillons (détritivore, carnivore) exposée aux NPs d'Ag et une chaîne trophique terrestre à trois maillons (producteur primaire, herbivore, carnivore) en contact avec des NPs de CeO₂.

Transfert trophique et accumulation de nanoparticules de TiO₂ du ver Néréis (*Perinereis aibuhitensis*) au juvénile de turbot (*Scophthalmus maximus*) dans une chaîne alimentaire marine benthique.*

Wang Z. et al. (2016). Trophic transfer and accumulation of TiO₂ nanoparticles from clamworm (*Perinereis aibuhitensis*) to juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*) along a marine benthic food chain. *Water Res* vol.95:p250-59

Résumé

Cet article rapporte le transfert de NPs de TiO₂ (20 nm, 10, 50 et 100 mg/L) dans une chaîne trophique aquatique: néréis (invertébré) et juvénile de turbot (poisson carnivore). Après 24h dans une eau de mer contaminée aux NPs, le néréis a accumulé le Ti surtout dans la partie inférieure du tractus digestif (60%) avec des facteurs de bioconcentration* de 10,8 et 1,9 respectivement pour les expositions à 10 et 100 mg/L.

Le Ti s'accumule également dans les turbots nourris pendant 20 jours avec des néréis contaminés (branchie > intestin > estomac > peau > foie > muscle). Il n'y a pas de bioamplification* (BMF*=0,3). Après une étape de dépuración*, la majorité du Ti est éliminée des animaux. Les turbots exposés par voie directe (par la colonne d'eau) accumulent plus de Ti et l'éliminent plus rapidement que ceux exposés par la voie alimentaire. Après exposition alimentaire, il n'y a pas de mortalité mais une modification de la hauteur de nage dans la colonne d'eau est observée, le développement des turbots est ralenti et des dommages sont visibles au niveau du foie et de la rate. Les chercheurs ont détecté une augmentation des lipides et une diminution des protéines qui altèrent les qualités nutritionnelles du turbot. La condition se révélant la plus toxique pour le turbot est l'exposition à 10 mg/L par voie directe (diminution de masse, de croissance, de la teneur en protéines et une

augmentation de la morbidité, des dommages au foie, de la teneur en lipides).

Commentaire

Les conclusions des auteurs sont assez alarmistes vis-à-vis du transfert dans la chaîne alimentaire (mais sans bioamplification) et l'altération des qualités nutritionnelles du poisson. Néanmoins, il faut relativiser ces résultats, qui sont réversibles : la diminution du contenu en Ti des poissons est observée lorsque la source de pollution est supprimée.

Un paramètre confus est la concentration en Ti dans les sédiments puisque les auteurs n'ont pas suivi la partition du Ti entre la colonne d'eau et les sédiments. D'autre part, l'eau contaminée est renouvelée tous les jours pour maintenir une concentration constante en TiO₂ ; on peut donc s'attendre à une accumulation de Ti importante dans les sédiments, potentiellement supérieure à la concentration de 100 mg/L stipulée dans l'article. Enfin, la question de la spéciation des NPs dans les différents compartiments biologiques est abordée par les auteurs mais il n'y a pas de données fournies pour soutenir leurs hypothèses.

Le transfert trophique de nanoparticules d'argent à partir d'un ver de terre perturbe la locomotion du collembole*

Kwak J. et al. (2016). Trophic transfer of silver nanoparticles from earthworms disrupts the locomotion of springtails (*Collembola*). *J. Hazard Mater*, vol.315: p.110-16.

Résumé

Cette étude s'intéresse au transfert de NPs d'Ag (0,2% PVP* dispersant, <100 nm) dans une chaîne trophique à deux maillons : le ver de terre et le collembole*. Un sol (loam sableux*) est artificiellement contaminé avec des NPs d'Ag

(50 à 500 µg/g). Après sept jours d'exposition, le taux de survie, la création de galeries et la surface des turricules* des vers ont significativement diminué à la plus forte concentration. Le contenu en Ag des vers n'est pas modifié après dépuración* (24h) ; il augmente significativement aux plus fortes concentrations d'exposition sans dépuración.

Les collembolés* nourris pendant six jours avec des vers dépurés ne contiennent pas d'Ag et ne montrent aucun symptôme de toxicité. À l'inverse, les collembolés ayant consommé des vers non dépurés exposés à 500 µg/g ont une teneur en Ag significativement plus importante que dans la condition témoin (nourriture : ver non exposé, non dépuré). Si leur survie n'est pas affectée, leur comportement est néanmoins perturbé avec une diminution de la mobilité aux plus fortes concentrations d'exposition.

La bioamplification de l'Ag dans cette chaîne trophique est très faible.

Commentaire

Ce travail est relativement complet avec la prise en compte du devenir des NPs dans le sol (forme, dissolution), la validation croisée de certains résultats en utilisant différentes techniques complémentaires. De plus, différentes voies d'exposition (contact direct vs. alimentaire) sont envisagées pour mieux comprendre la contribution de chacune au transfert trophique. Quelques petites lacunes existent cependant comme l'étude de la taille des particules qui, bien qu'effectuée par les auteurs, n'apparaît pas plus précise que celle fournie par le producteur (<100 nm). Dans les expériences d'accumulation les écarts-types sont très importants ce qui suggérerait l'utilité d'un plus grand nombre d'individus pour obtenir des résultats plus fiables.

Un autre aspect qu'il serait intéressant de développer est la détermination de la spéciation de l'Ag le long de cette chaîne trophique (ions vs. NPs, ligand de l'atome d'Ag (Cl, S, NO₃, ...)).

Enfin, la conclusion montre que, même s'il n'y a pas de mortalité aigüe, la modification du comportement des animaux dans leur environnement naturel pourrait entraîner une mort indirecte à cause d'une plus grande vulnérabilité vis-à-vis des prédateurs.

Bioamplification du cérium dans une chaîne alimentaire terrestre : influence de la taille de la particule et du stade de développement

Majumdar S. et al. (2016). Cerium biomagnification in a terrestrial food chain: influence of particle size and growth stage. *Environ Sci Technol*. Vol. 50 (13): p 6782-92.

Résumé

Cet article s'intéresse au transfert de nano et microparticules de CeO₂ (bâtonnet : 67 x 8 nm) dans une chaîne trophique terrestre : sol (mix loam sableux + terreau, 1000 ou 2000 mg/kg), une plante (haricot), un herbivore (larve de coccinelle) et un carnivore (punaise). Après 36 jours d'exposition, une augmentation significative de la concentration en Ce est détectée dans les feuilles (non visible après 22 et 29 jours d'exposition). La majorité du Ce consommé par les larves de coccinelle est éliminée dans les

fèces (98%). Au stade adulte, le Ce est plus internalisé avec seulement ≈33% excrété. L'excrétion est plus efficace quand il s'agit de NPs que de microparticules. Les punaises présentent également un contenu en Ce augmenté après exposition aux NPs (vs. microparticules). Aucun symptôme de toxicité n'est visible sur les plantes (pas de changement d'humidité, de biomasse et de croissance) et les insectes (pas d'augmentation de la mortalité, pas d'altérations morphologiques ou de déficits physiologiques). Il y a bioamplification* du Ce du haricot à la punaise (BMF*=5,3). Les BMF* sont plus importants pour les microparticules du sol à la plante et de la plante à la larve de coccinelle (0,9 vs 0,4 pour les NPs) mais ils sont plus élevés pour les NPs dans le transfert vers la punaise (≈5,5 vs. 1,6 pour les microparticules). Les deux types de particules auront donc un devenir différent dans l'environnement.

Commentaire

Cet article est particulièrement intéressant car il présente une chaîne trophique relativement complexe qui implique un transfert des NPs à travers quatre compartiments (sol, plante, herbivore, carnivore). Les équipes de recherche associées pour ce travail possèdent un vrai savoir-faire sur le sujet avec la publication de plusieurs papiers portant sur différents organismes. De plus, on peut noter le soin apporté à la mise en place de l'expérience (description précise du type de sol, des NPs, utilisation de standard de référence pour valider les méthodes). Néanmoins, le manque de protocoles normalisés pour les études sur les NPs entraîne des lacunes, par exemple le standard utilisé pour la quantification du Ce n'est pas sous forme de NPs ce qui peut modifier son comportement et donc biaiser la quantification ; de plus, le diamètre des microparticules n'est pas précisé.

Les auteurs mettent encore en avant l'importance de la spéciation du Ce sur le devenir des NPs, mais aucune donnée expérimentale n'est disponible. Un autre point qui aurait pu être intéressant à aborder est l'étude du comportement des insectes : par exemple est-ce que les coccinelles consomment plus ou moins de haricot selon le milieu dans lequel il a poussé (témoin, avec NPs ou microparticules).

CONCLUSION GÉNÉRALE

L'étude de l'écotoxicologie des NPs atteint un niveau de complexité supplémentaire avec la prise en compte des relations trophiques au sein d'un écosystème donné. Pour l'instant, les résultats sont très contrastés avec certaines études mettant en évidence une bioamplification* et donc un risque accru pour la sécurité alimentaire. A l'inverse, d'autres études constatent un effet de dilution des NPs d'un maillon trophique à l'autre. De nombreux paramètres semblent influencer ces résultats : durée d'exposition, stade de développement des organismes, espèce considérée,.... D'autres études sont donc nécessaires pour comprendre les mécanismes mis en jeu dans les transferts trophiques. Un mécanisme évoqué ici est la formation d'une barrière physique (effet d'encapsulation) par les NPs ce qui nuirait aux bons échanges entre l'organisme et son environnement (racine, branchie, poumon, intestin). La spéciation des contaminants apparaît également être un paramètre primordial.

Ces articles montrent également que le problème de l'harmonisation des matériels et méthodes n'est pas résolu puisqu'il manque toujours des caractéristiques nécessaires pour faire des inter-comparaisons. Diamètre nominal, phase cristalline, type de sol, protocole de contamination des milieux, suivi dans le temps de ces variables sont autant de paramètres qui peuvent influencer les résultats de transfert et donc sur la toxicité.

GENERAL CONCLUSION

With the study of trophic relationship in a given ecosystem, nano-ecotoxicology has reached a new level. Up to now, the results are quite contrasted with some studies demonstrating biomagnification (so an increased risk for food safety) while some others suggest a dilution of NP contamination throughout the food chain. Several factors can influence those results: exposure duration, growth stage of the organisms, species,... Therefore, more studies are required to deepen our understanding of the underlying mechanisms. One mechanism suggested through these studies is the formation of a physical barrier by NPs (trapping effect) that would disrupt the exchange between the organisms and the environment (root, gill, lung, intestine). Elemental speciation is also thought to be important.

Those articles also highlight the need for more normalized protocols since some important parameters for subsequent study comparisons are still missing. Nominal diameter, crystalline phase, soil type, contamination procedure and follow-up of these parameters can all deeply influence the translocation and the toxicity of NPs.

Lexique

Benthos : ensemble d'organismes aquatiques vivant à proximité du fond des mers ou des cours d'eau. Par opposition, on parle de pélagos pour désigner l'ensemble des organismes qui occupent la tranche d'eau supérieure.

Bioaccumulation : accumulation d'un contaminant dans les tissus d'un organisme vivant après absorption dans son milieu de vie ou par consommation de proies contaminées. Il existe deux types de bioaccumulation : la bioconcentration et la bioamplification.

Bioamplification : absorption d'un contaminant et son accumulation dans les tissus à la suite de l'ingestion d'espèces du niveau trophique inférieur.

BMF : concentration dans un maillon supérieur / concentration dans un maillon inférieur.

Bioconcentration : absorption d'un contaminant et son accumulation dans les tissus d'organismes vivants après contact direct avec le milieu environnant.

Collemboles : classe de petits arthropodes pancrustacés. La plupart vivent dans les premiers centimètres du sol, mais de nombreuses espèces vivent au-dessus du sol, y compris dans la canopée des arbres tropicaux. Ils participent indirectement à la transformation de la matière organique et au cycle des nutriments.

Dépuration : action par laquelle on dégage un corps quelconque des matières qui en altèrent la pureté. Dans ce cas, le but est de vider les intestins.

Loam : classe texturale composée de moins de 52 % de sable, 28 à 50 % de limon et de 7 à 27 % d'argile. Selon les proportions, ce sera du loam sablonneux, limoneux ou argileux.

PVP (polyvinylpyrrolidone) : polymère organique souvent utilisé comme agent dispersant dans de nombreuses applications industrielles (E1201).

Turricule : rejet des vers de terre et des vers de vase, présents à la surface du sol.

Publications de référence

1 Laboratoire national de métrologie et d'essais. Rapport d'essai : dossier P156452. 2016. 26p

2 Kolosnjaj-Tabi J. et al. (2015). Anthropogenic carbon nanotubes found in the airways of Parisian children. *EBioMedicine*, vol. 2 (11): p1697-1704.

3 Gottschalk F. et al. (2013). Environmental concentrations of engineered nanomaterials: Review of modeling and analytical studies. *Environ Pollut*, vol.181: p287-300.

Revue de la littérature

Anjum NA, Rodrigo MA, et al. Transport phenomena of nanoparticles in plants and animals/humans. *Environ Res* 2016;151:233-43.

Autres publications identifiées

Gupta GS, Kumar A, et al. Assessment of agglomeration, co-sedimentation and trophic transfer of titanium dioxide

nanoparticles in a laboratory-scale predator-prey model system. *Sci Rep.* 2016;**6**:31422.

Kubo-Irie M, Yokoyama M, et al. The transfer of titanium dioxide nanoparticles from the host plant to butterfly larvae through a food chain. + 2016;**6**:23819.

Chen Q, Hu X, et al. Effect of subcellular distribution on nC₆₀ uptake and transfer efficiency from *Scenedesmus obliquus* to *Daphnia magna*. *Ecotoxicol Environ Saf.* 2016;**128**:213-21.

Chae Y, Kim SW, et al. In vivo visual evaluation of nanoparticle transfer in a three-species terrestrial food chain. *Chemosphere.* 2016;**151**:101-7.

Liens d'intérêts :

Les auteurs déclarent n'avoir aucun lien d'intérêt.