

## FOCUS

# l'étude « Écotoxicité et écodynamique des nanoparticules d'oxydes métalliques dans les sols »

Agnès RICHAUME-JOLION

## CONTEXTE DE L'ÉTUDE

Cette étude écotoxicologique du stress s'inscrit dans la lignée des travaux menés par ce laboratoire d'écologie. Elle a été entamée en 2012, à partir du constat que, contrairement à d'autres compartiments environnementaux, les altérations du fonctionnement microbien du sol consécutives à la présence de divers composés toxiques largement utilisés et considérés comme des polluants émergents font l'objet d'une attention moindre. C'est le cas des nanoparticules utilisées dans de nombreux produits de la vie courante mais pour lesquelles on dispose actuellement de peu d'information quant à leur écotoxicité et à leurs conséquences sur la fourniture de services écosystémiques par les sols.

## POSITIONNEMENT AU REGARD DE LA RECHERCHE RHÔNALPINE ET FRANÇAISE

Il s'agit d'une étude pionnière en ce qu'elle cherche à comprendre l'impact des nanoparticules de dioxyde de titane ( $\text{TiO}_2$ ) sur le fonctionnement de l'écosystème, et en particulier comment divers services écosystémiques peuvent en être affectés. Le travail s'effectue donc à l'échelle de communautés de microorganismes impliquées dans des processus biologiques en lien avec la fertilité des sols – plutôt qu'à l'échelle d'un organisme ou d'une population modèle, comme dans la plupart des études écotoxicologiques classiques.

## ILLUSTRATION

Cette étude pluridisciplinaire a nécessité, pour les aspects d'écodynamique et de caractérisation des contaminants et de transferts dans les sols, la mise en place d'une collaboration avec l'équipe de physico-chimie HYDRIMZ dirigée par Jean Martins au Laboratoire des Transferts en Hydrologie et Environnement (LTHE) de Grenoble.

Pour la première fois, on a étudié un panel de sols variés, contenant non pas un seul microorganisme modèle mais les communautés microbiennes indigènes, notamment celles impliquées dans le cycle de l'azote (microorganismes qui participent donc de la production des nitrates – ils sont dits « nitrifiants » – ou de leur élimination – les « dénitrifiants »). Ce travail spécifique sur le cycle de l'azote a été complété d'une étude plus générique sur la respiration des microorganismes dans le sol, ce qui a permis d'obtenir des résultats concernant une diversité microbienne encore élargie.

On a utilisé des systèmes simplifiés appelés « microcosmes », avec des échantillons de 50 g de sol mis en flacons ; les équipes ont pour la première fois utilisé des doses réalistes de nanoparticules, proches des niveaux que l'on est susceptible de rencontrer sur le terrain (1 mg/kg de sol, quand les études jusque-là disponibles dépassaient 500 mg/kg de sol), sur une durée maximale de 90 jours.

On a ensuite travaillé sur des colonnes de sol de 10 cm, pour étudier le transfert des nanoparticules dans le sol après une à trois injections successives de polluants afin de simuler des contaminations aiguë (un seul apport de nanoparticules) ou chronique (plusieurs apports).

### STATUT

Professeur d'université (Lyon 1)

### DISCIPLINES

Écologie microbienne – écotoxicologie microbienne – microbiologie environnementale

### FONCTIONS

- Directrice de l'Institut Génie de l'Environnement & Écodéveloppement (IG2E)
- Responsable de la mention de Master « Environnement et risques industriels et urbains »
- Membre du conseil scientifique du programme GESSOL du ministère de l'Environnement et du Réseau thématique prioritaire (RTP) Ecotoxicomic (INRA, IRSTEA, CNRS)

### PRÉSENTATION DU LABORATOIRE ET DE L'ÉQUIPE

Le laboratoire d'écologie microbienne (UMR 5557) est associé à VETAGRO, au CNRS, à l'université Lyon 1 et à l'INRA. Il rassemble 80 permanents et environ 60 non permanents, répartis en 8 équipes de recherches.

Agnès Richaume-Jolion est membre de l'équipe « Diversité fonctionnelle microbienne et cycle de l'azote » et est coresponsable de l'axe de recherche transversal « Écotoxicologie microbienne », créé au laboratoire en 2013.

### POSITIONNEMENT VIS-À-VIS DE LA THÉMATIQUE SANTÉ-ENVIRONNEMENT

L'équipe « Diversité fonctionnelle microbienne et cycle de l'azote » et l'axe transversal « Ecotoxicologie microbienne » portent des recherches en lien avec la qualité du sol, c'est-à-dire sa capacité à fonctionner au sein d'un écosystème et d'un usage tout en permettant la production biologique mais également le maintien de la qualité de l'environnement et la préservation de la santé des plantes, des animaux et de l'Homme.

La qualité des sols et la santé humaine sont donc interdépendantes et ce pour diverses raisons : d'une part, le sol est le support de la production végétale et de sa qualité dépend celle des cultures et des aliments produits ; d'autre part, le sol est une zone de transfert et joue un rôle de filtre : les éléments constitutifs et les conditions physico-chimiques ainsi que





les organismes vivants conditionnent les propriétés des polluants (mobilité, facilité de transfert vers les plantes et les eaux souterraines, toxicité en relation avec les formes chimiques sous lesquelles ils se trouvent).

Le lien entre la qualité de l'environnement et la santé humaine nécessite l'élargissement du champ d'étude de l'écotoxicologie en y intégrant une dimension écosystémique, ce qui est mis en œuvre au sein de l'UMR 5557.

#### BIBLIOGRAPHIE À CONSULTER

- Simonin M, Guyonnet JP, Martins JMF, Ginot M, Richaume A (2015) Influence of soil properties on the toxicity of TiO<sub>2</sub> nanoparticles on carbon mineralization and bacterial abundance. *Journal of Hazardous Materials* 283 (2015) 529–535
- Simonin M, Richaume A (2015) Impact of engineered nanoparticles on the activity, abundance and diversity of soil microbial communities: a review. *Environ Sci Pollut Res* (2015) 22:13710–13723
- Simonin M, (2015) Dynamique, réactivité et écotoxicité des nanoparticules d'oxydes métalliques dans les sols : impact sur les fonctions et la diversité des communautés microbiennes, Thèse de Doctorat, Université de Lyon

## PRINCIPAUX RÉSULTATS

L'altération des fonctions microbiennes de nitrification et dénitrification ainsi que de la respiration a été mise en évidence seulement dans un sol (argileux, sous culture de maïs) parmi les 6 types de sols étudiés (jusqu'à 60 % de diminution de l'activité microbienne a ainsi été observée). Ce sol est celui dont la teneur en matière organique et le pH sont les plus élevés. Ceci laisse supposer que ces paramètres (teneur en matière organique et sa nature et pH du sol) peuvent influencer sur la toxicité des nanoparticules dans les sols. La sensibilité des communautés microbiennes peut également être déterminante dans la réponse des microorganismes vis-à-vis des nanoparticules dans la mesure où chaque sol dispose d'une communauté propre. A ce stade, il est cependant difficile de trancher cette question qui nécessite des investigations spécifiques.

L'un des constats majeurs de cette étude dans ce sol particulier concerne les effets sur le processus de nitrification – qui est le plus impacté par la pollution – et plus précisément sur sa 1<sup>ère</sup> étape à savoir l'oxydation de l'ammonium en nitrites ; en effet, cette étape met en œuvre des microorganismes appelés archées, représentées dans le sol d'étude par un seul genre qui apparaît très sensible aux nanoparticules.

S'ensuit alors un effet en cascade qui, de la réduction du nombre et de l'activité des archées en charge de la nitrification induit la baisse du processus global de nitrification puis la diminution d'activité des cellules en charge de la dénitrification.

On a ensuite comparé les effets avec des doses de 1 mg/kg et 500 mg/kg, sans constater d'effet dose/réponse : la quantité de nanoparticules injectées dans le sol ne change rien. On constate enfin une tendance à l'amplification des effets à long terme, sans résilience : les effets observés à 90 jours de l'injection initiale sont supérieurs à ceux constatés à 7 ou 30 jours.

Le travail en colonnes de sol a ensuite montré que :

- les nanoparticules sont très fortement retenues dans les sols (à plus de 98%)
- pour une même dose globale, l'apport chronique de nanoparticules accroît très sensiblement leur toxicité.

## QUELLE UTILISATION CONCRÈTE PAR LES ACTEURS ÉCONOMIQUES ?

Cette étude pourrait être utilisée par l'industrie phytosanitaire pour évaluer l'impact de leurs produits avant mise sur le marché.

## PISTES D'AVENIR

Afin de mieux connaître le rôle de la nature de la communauté microbienne dans l'écotoxicité des nanoparticules, il faudrait revenir à des systèmes expérimentaux beaucoup plus simples, où l'on stériliserait les différents sols déjà étudiés avant d'y réintroduire des populations microbiennes isolées les unes des autres.

Afin de cerner l'influence du mode d'application des nanoparticules, et de se rapprocher des conditions réelles de terrain, il faudrait utiliser des colonnes de sols plus conséquentes, des mésocosmes simulant de véritables agroécosystèmes avec une diversité de plantes, une rotation des cultures, et soumis à des apports chroniques de nanoparticules.

Sur le plus long terme, l'idéal serait de pouvoir se rapprocher encore plus de la réalité en prenant en compte le vieillissement et la dégradation des nanoparticules dans les produits utilisés, mais aussi les effets conjugués de la contamination par les nanoparticules à d'autres facteurs de stress écologique (pollution aux métaux lourds, aux produits pharmaceutiques, etc.).