

## DISCUSSION

**A. Rico**<sup>1</sup>. – Que devient la spéciation dans cette affaire ?

**M. Lebrun**. – L'analyse de la spéciation des métaux dans le sol et dans la plante est une analyse cruciale à mener en parallèle avec la caractérisation des déterminants moléculaires de la résistance et de l'accumulation des métaux dans les plantes. En effet, cette analyse permet de préciser quels sont les substrats réellement toxiques pour la plante et ainsi de mieux analyser le déterminisme des fonctions physiologiques de résistance au stress mises en œuvre (par exemple : modification du potentiel redox cellulaire)

**P. Feillet**<sup>2</sup>. – Existe-t-il chez le blé, une variabilité génétique du niveau d'accumulation du cadmium dans le grain ? Si oui, les obtentions ne devraient-elles pas prendre en compte ce caractère ? Si oui, la transgénèse pourrait-elle apporter une solution ?

**M. Lebrun**. – Je ne connais pas de travaux relatifs à l'analyse d'une variabilité génétique du niveau d'accumulation du cadmium dans le grain de blé. Cependant, l'analyse génétique de la teneur en certains métaux dans le grain (zinc, par exemple), ainsi que de la résistance à certains autres (aluminium) a été rapportée. Il serait donc certainement tout à fait envisageable et utile de cribler la diversité génétique du blé pour ce type de caractère. Par ailleurs, la caractérisation moléculaire approfondie des déterminants de la résistance et de l'accumulation des métaux permettra de fournir au sélectionneur des données pertinentes sur l'absorption, le transport et l'accumulation des métaux afin : (i) de sélectionner des « candidats » dont le polymorphisme allélique pourrait être utilisé dans des programmes de sélection assistée par marqueurs, (ii) de fournir les bases de constructions moléculaires pour la transformation des plantes. A cet égard, des travaux pionniers assez anciens de l'INRA en collaboration avec la SEITA, ont mis en évidence lors d'essais plein champs de tabacs transformés sur-exprimant une métallothionéine dans les racines, une modification de la répartition du cadmium dans ces plantes et, en particulier, dans les parties aériennes.

**R. Groussard**<sup>3</sup>. – En vous écoutant, on peut se demander si tous les métaux ne sont pas porteurs de graves conséquences pour l'homme en matière de santé. On remplace depuis plusieurs décennies le plomb des tuyauteries de distribution d'eau par du cuivre. Vous nous dites que le cuivre a les mêmes effets nocifs. N'y aurait-il pas lieu d'éclairer l'opinion publique afin de la mettre en garde, tout en relativisant les dangers ? C'est, me semble-t-il, le rôle de l'Académie de faire le point sur ce dossier en l'état actuel des connaissances. Vous pouvez y contribuer

**M. Lebrun**. – Des travaux récents publiés dans les PNAS USA semblent montrer dans un modèle souris qu'il existerait une corrélation entre l'augmentation du cuivre dans l'eau et le développement de symptômes liés à la maladie d'Alzheimer. Ces résultats potentiellement très alarmants devront : (i) être validés plus largement et étendus à d'autres modèles expérimentaux, (ii)

---

<sup>1</sup> Membre de l'Académie d'Agriculture, professeur émérite de l'École nationale vétérinaire de Toulouse.

<sup>2</sup> Membre de l'Académie d'Agriculture, directeur de recherches à l'INRA, membre de l'Académie des Technologies, membre du Comité national de la Recherche (CNER), INRA-Unité de Technologie des Céréales, 2, place Viala, 34060 Montpellier cedex 01. [feillet@ensam.inra.fr](mailto:feillet@ensam.inra.fr)

<sup>3</sup> Trésorier perpétuel honoraire de l'Académie d'Agriculture, conseiller maître de la Cour des Comptes honoraire, ancien directeur général du Centre national pour l'aménagement des structures des exploitations agricoles (CNASEA).

faire l'objet d'une validation épidémiologique si les faits expérimentaux sont généralement avérés. Le rôle d'une assemblée scientifique indiscutable comme l'Académie est certainement majeur pour tempérer des résultats de cette nature où la sur-interprétation peut très souvent prendre le dessus sur une analyse critique scientifique. Ainsi, par exemple, toutes les analyses épidémiologiques menées pour établir une possible corrélation entre l'accumulation d'aluminium dans le cerveau et une plus grande incidence de la maladie d'Alzheimer ont abouti à une absence de corrélation.

**A. Frouin<sup>4</sup>.** – L'augmentation de la solubilité des métaux va-t-elle en augmenter le drainage, donc la pollution des eaux ?

**P. Hinsinger.** – Les variations de la solubilité des métaux dont il a été question dans mon exposé se produisent dans la rhizosphère ; en d'autres termes, elles sont confinées spatialement à une faible fraction du volume total du sol. Compte tenu de la faible mobilité chimique de la plupart des métaux dans le sol, il est vraisemblable que les modifications de leur solubilité sous l'effet des racines ne se produisent que sur des distances courtes, millimétriques ou inframillimétriques, dans le voisinage immédiat des racines. Ces modifications ont donc un impact a priori limité sur les processus se déroulant dans la masse du sol (*bulk soil* de nos collègues anglophones), tels que le drainage et la lixiviation. Cependant, il est vrai qu'une part significative de ces mouvements verticaux est le fait d'écoulements préférentiels dans la macroporosité, y compris les biopores tels que les chenaux racinaires. A ce titre, un effet pourrait être perceptible. Je ne connais pas de travail qui se soit attelé à ce type de question, compte tenu des difficultés métrologiques associées.

**J.-F. Morot-Gaudry<sup>5</sup>.** – Quelle masse représentent les excréments racinaires ?

**P. Hinsinger.** – On reconnaît actuellement que les rhizodépôts qui englobent les exsudats et sécrétions racinaires, ainsi que la respiration rhizosphérique (le dioxyde de carbone produit par les racines et les microorganismes rhizosphériques, suite à la métabolisation des exsudats et sécrétions racinaires) représentent environ 20%, voire jusqu'à 30% du C assimilé au cours de la photosynthèse). Ces valeurs varient selon les espèces, le stade de développement de la plante et de nombreux facteurs environnementaux. Une revue bibliographique récente de la question a été publiée en 2003 dans *Agronomie* par C. Nguyen

**G. Pédro<sup>6</sup>.** – Pouvez vous nous indiquer grosso modo ce que la rhizosphère représente en volume dans un sol cultivé ?

**P. Hinsinger.** – Il est impossible de donner une réponse chiffrée car, selon moi, la rhizosphère est un concept à géométrie variable. Si elle est définie comme le volume de sol soumis à l'influence des racines vivantes, il faut savoir cependant que, suivant les processus considérés, ce volume peut varier considérablement. Il n'existe donc pas une seule rhizosphère, mais des rhizosphères plus ou moins étendues autour des racines. Ainsi, en raisonnant uniquement sur le processus d'absorption d'eau et de solutés (nutriments ou micropolluants métalliques), le gradient de concentration qui en résulte et qui peut être mesuré autour d'une racine a une influence majeure sur le fonctionnement du sol et de la plante. Or, ce gradient peut concerner une distance de moins d'un millimètre pour des éléments peu mobiles tels que le phosphate ou les métaux, de quelques millimètres pour des éléments plus mobiles tels que le potassium, voire de quelques centimètres pour des ions encore plus mobiles tels que le nitrate (idem pour le gradient de potentiel hydrique).

---

<sup>4</sup> Vice-président de l'Académie d'Agriculture de France, membre de l'Académie des Technologies, ancien directeur du département Recherche-Développement du Groupe Soparind Bongrain.

<sup>5</sup> Membre de l'Académie d'Agriculture, directeur de recherches à l'INRA, directeur du Laboratoire du Métabolisme et de la Nutrition des Plantes, route de Saint-Cyr, 78026 Versailles. [morot@versailles.inra.fr](mailto:morot@versailles.inra.fr)

<sup>6</sup> Secrétaire perpétuel de l'Académie d'Agriculture de France.

De même, parmi les rhizodépôts racinaires, certains exsudats tels que les protéines ont peu de chance de diffuser loin des racines car peu mobiles, alors que le dioxyde de carbone va diffuser facilement et concerner un volume de sol beaucoup plus important. Le volume de sol correspondant à la rhizosphère peut ainsi représenter moins de 1%, près de 10%, voire 100% du volume d'un horizon de sol présentant une forte densité de racines tels que l'horizon cultivé dans un champ de maïs, suivant que l'on considère l'appauvrissement en phosphate, potassium ou nitrate engendré par une racine, pour revenir sur l'exemple précédent. Il s'agit là d'ordres de grandeur. Ces volumes peuvent varier suivant les propriétés physiques et chimiques des sols, suivant l'architecture et la densité des racines.