

Épandage en agriculture de boues de station d'épuration : impact sur la productivité et les transferts en éléments traces métalliques (ETM) des cultures

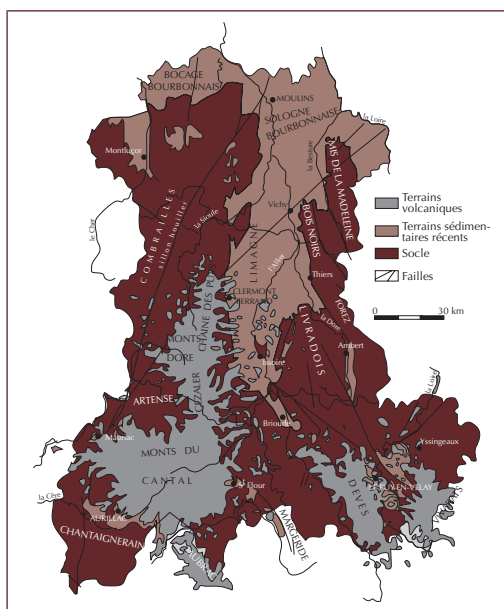
Agnès Piquet-Pissaloux, Sabine Pauly, Soraya Garnier et Fabrice Leprince

L'Auvergne (figure 1), région avant tout agricole et rurale de 26 000 km² et de 1,5 millions d'hectares de SAU (surface agricole utile) se définit par deux grands types de systèmes de production :

– les grandes cultures sont situées dans la plaine des « Limagnes » (6 000 km²) avec des sols relativement fertiles mais hétérogènes. Les surfaces cultivées se situent autour de Clermont-Ferrand et de villes moyennes qui produisent 12 000 tonnes de boues dont une grande part est non valorisée. La nature de la boue est généralement pâteuse et chaulée et de plus en plus compostée. Les composts de déchets verts se développent aussi. L'épandage de boues doit répondre à la réglementation française ainsi que l'épandage des composts à des normes (NFU 44-095, NFU 44-051). Malgré une réglementation stricte, certaines filières agricoles déconseillent encore l'épandage de boues ;

– l'élevage est localisé autour de cette plaine et particulièrement en montagne avec presque un million d'hectares de SAU. Les petites stations d'épuration rurale produisent 6 000 tonnes de boues liquides. Des filières de production animale et végétale déconseillent aussi l'épandage de boues. Dans ces régions de montagne, l'épandage est soumis à dérogation sur les sols naturellement riches en ETM¹ (8 000 km² de sols volcaniques) (ADEME², 2005 ; Piquet, 2006).

Les systèmes spécialisés en grandes cultures (figure 2 – zones en blanc) restituent peu de



▲ Figure 1 – Situation géologique de l'Auvergne (source : BRGM, 1982).

matière organique dans les sols et les surfaces concernées présentent donc un déficit de matière organique. Les systèmes d'élevage (figure 2 – zones en gris et en brun) produisent des déjections animales, mais pas en quantité suffisante pour maintenir la matière organique des sols ou pour améliorer leur composition floristique.

La région Auvergne a ainsi besoin de produits organiques pour ces deux systèmes de production.

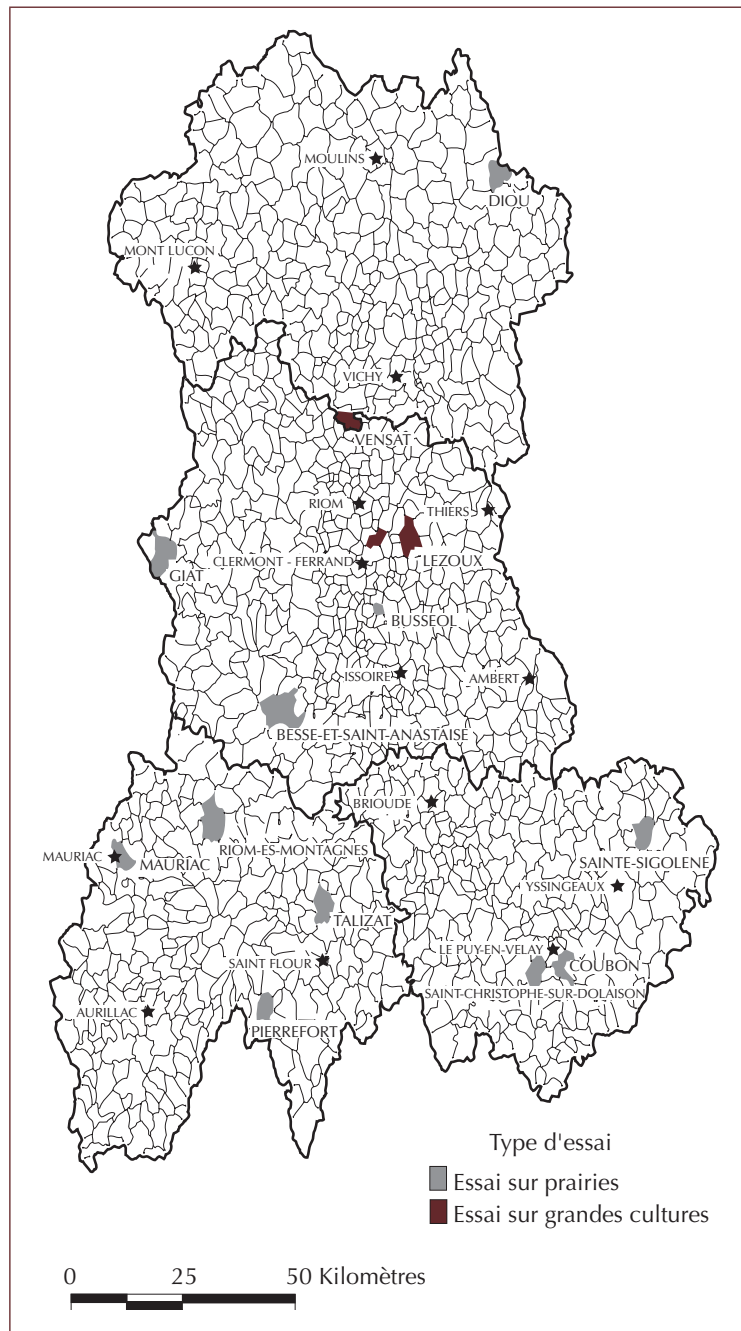
1. Éléments traces métalliques.
2. Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie.

Les contacts

École nationale des ingénieurs des travaux agricoles (ENITA Clermont), Marmilhat, 63370 Lempdes

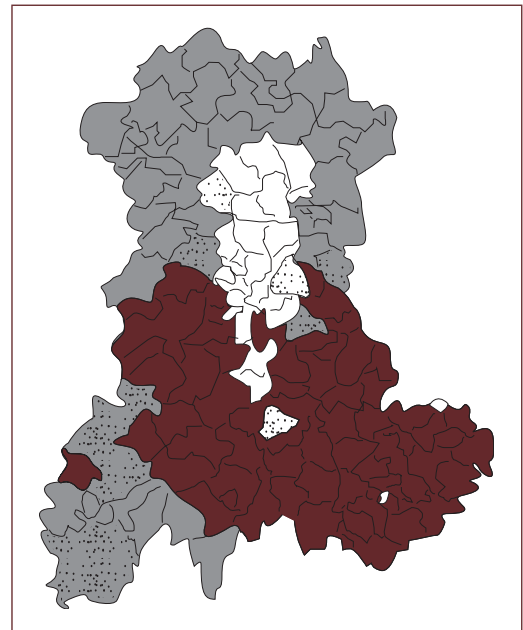
- 3. Recensement agricole.
- 4. Service régional de la statistique agricole.

L'objectif du projet est double :
 – déterminer l'impact de l'épandage des boues sur la productivité et les teneurs en ETM des cultures en conditions réelles de production à travers les deux systèmes de culture ;



▲ Figure 3 – Localisation des parcelles en Auvergne (source : ENITAC, 2006).

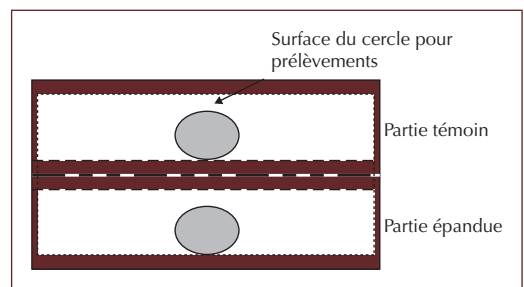
▼ Figure 2 – Productions agricoles de l'Auvergne (source : RA³, 2000 - SRSA⁴).



– raisonner les pratiques culturales et notamment la gestion de la matière organique en lien avec la qualité des productions et le respect de l'environnement.

Matériel et méthodes

Les parcelles agricoles suivies en Auvergne sont représentées en figure 3 par des cultures annuelles (en brun) et par des prairies (en gris). Elles sont conduites selon un dispositif scindé en deux (figure 4) avec une partie témoin (sans apport de boues) et une partie épandue de boues. Les échantillons de sol sont toujours prélevés au même point dans la parcelle à travers un cercle



▲ Figure 4 – Dispositif de prélèvement.

de 15 mètres de diamètre. Les prélèvements de végétaux sont effectués dans ce cercle à raison de quatre échantillons au minimum.

L'ensemble des prélèvements correspond à une surface de 2 m² pour les prairies et de 0,8 m² pour les céréales. Les échantillons sont recueillis au moyen de mini-tondeuse, puis ils sont séchés et pesés pour déterminer la biomasse.

Résultats et discussion

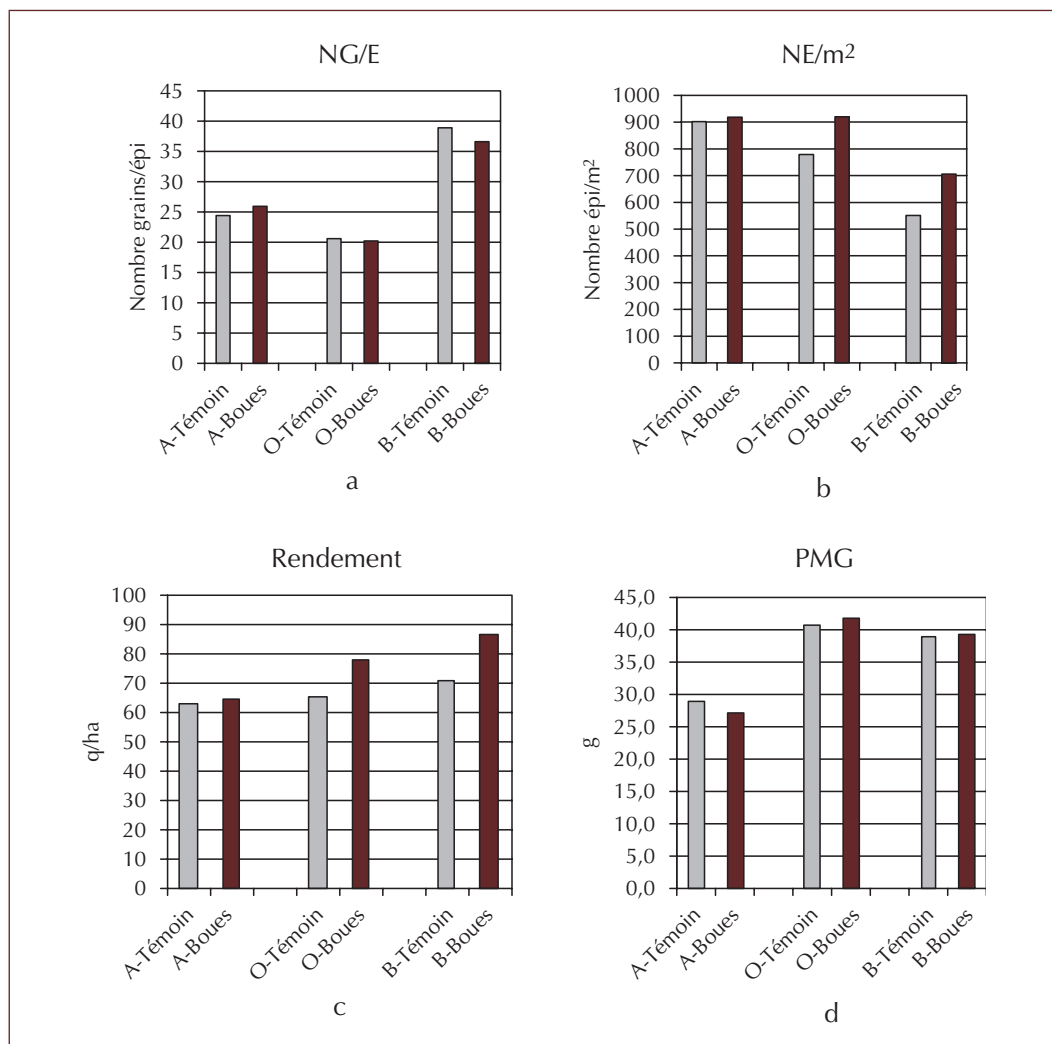
IMPACT DES BOUES SUR LA PRODUCTIVITÉ : COMPOSANTES DE RENDEMENT (FIGURE 5)

L'impact des boues sur la productivité est évalué à partir des composantes de rendement. Pour deux cultures (O = orge et B = blé), les boues

améliorent clairement le nombre d'épis par m² au début du cycle de développement. Pour ce qui concerne le NG/E (nombre de grains par épi), le PMG (poids de mille grains) et le rendement final, l'incidence des boues va dépendre du contexte environnemental (climat, sol, pratiques agricoles).

CONTAMINATION DES SOLS EN ETM (FIGURE 6)

La contamination des sols en ETM est étudiée à partir des stocks d'ETM « naturels » des sols et de l'apport d'ETM par l'épandage des boues. Les résultats portant sur les trois cultures annuelles (localisées sur deux sols normaux et sur un sol riche en chrome) montrent que les quantités de chrome (Cr) dans le sol sont de 100 à 2 000 kilogrammes par hectare. Les quantités de Cr



► Figure 5 – Productivité de trois cultures avec et sans épandage (A : avoine ; O : orge ; B : blé) : a) nombre de grain par épi ; b) nombre d'épi par m² ; c) rendement en quintal par hectare ; d) PMG : poids de mille grains.

apportées par les boues dans le sol sont faibles comparées aux quantités natives du sol.

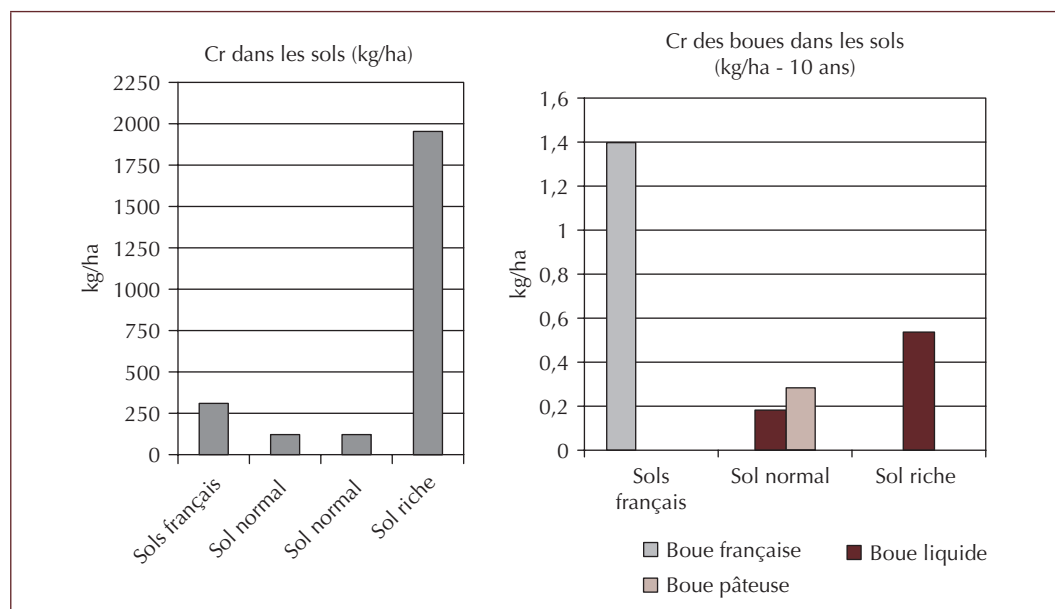
En comparant avec les quantités en ETM des boues apportées aux sols, les quantités natives en ETM des sols sont plus importantes et ont une variabilité plus prononcée.

CONTAMINATION EN ETM DES PLANTES (FIGURE 7)
L'évaluation de la contamination en ETM des plantes est établie à partir des transferts. L'étude des teneurs en ETM dans les différents organes de

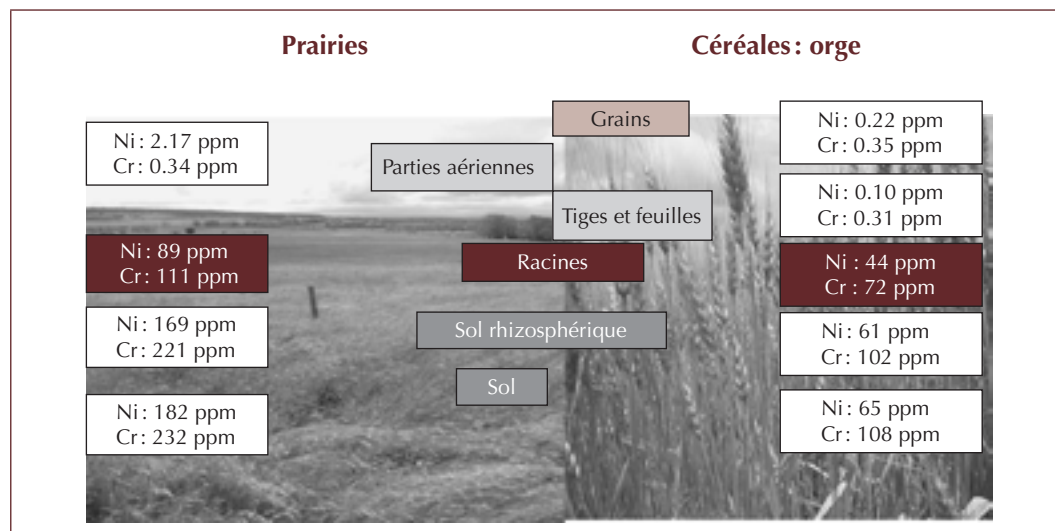
prairies et d'orge montre que les racines ont des teneurs élevées et que celles des parties aériennes sont normales.

Ainsi, les racines limitent le transfert des éléments Ni et Cr vers les parties aériennes. Dans ce cas de figure, la phytodisponibilité des éléments (c'est-à-dire l'estimation de la disponibilité des éléments vis-à-vis des plantes) par des tests sols n'est ici pas satisfaisante pour prédire d'un risque de contamination des plantes, le rôle des plantes n'étant pas négligeable.

► Figure 6 – Quantités de Cr (kg/ha) des trois sols étudiés comparés aux sols français (Baize, 1997) : a) dans le sol et b) provenant des boues.



► Figure 7 – Détermination des teneurs en Ni (nickel) et Cr (chrome) du sol à la culture (à gauche : prairies ; à droite : orge) sur les sols riches en Ni et Cr.



TRANSFERT SOL/PLANTE DES ETM ET TENEURS SEUIL DES ESPÈCES CULTIVÉES

Les teneurs en Ni varient selon les espèces végétales (orge, tournesol et blé), selon les variétés, les organes (grains ou tiges) et aussi selon les années (de 2002 à 2005). Elles sont comparées aux teneurs obtenues au niveau national (figure 8) avec lesquelles une variabilité de teneurs est aussi observée.

Face à cette complexité de résultats, une base de données regroupant les différentes teneurs en ETM issues des parcelles étudiées est alors constituée afin de définir des teneurs seuil par espèce. Pour valider les choix par espèces, les teneurs issues des données régionales sont comparées aux références internationales (Adriano, 2001 ; Kabata-Pendias et Pendias, 2000).

Ainsi, la teneur seuil attribuée au Ni (tableau 1) est de 10 ppm pour les prairies et de 1 ppm pour le blé. Pour le Cr, elle est de 3 ppm pour

▼ Tableau 1 – Proposition de teneurs seuil dans les plantes.

ETM	Références internationales (3,5) sur sols normaux	Projet en Auvergne 2002-2005	Teneur seuil pour valeur dérogatoire
Ni ppm ⁵	0,1 à 10 ppm	1 à 3 ppm 0,1 à 0,6 ppm	Prairies (épiaison) 10 ppm Blé (grain) 1 ppm
Cr ppm	< 5 ppm	0,27 à 2,17 ppm	Prairies 3 ppm
Cu ⁶ ppm	5 à 20 ppm	3,54 à 12,4 ppm	Prairies 20 ppm
Pb ⁷ ppm	5 à 10 ppm	0,52 à 2,11 ppm	Prairies 5 ppm

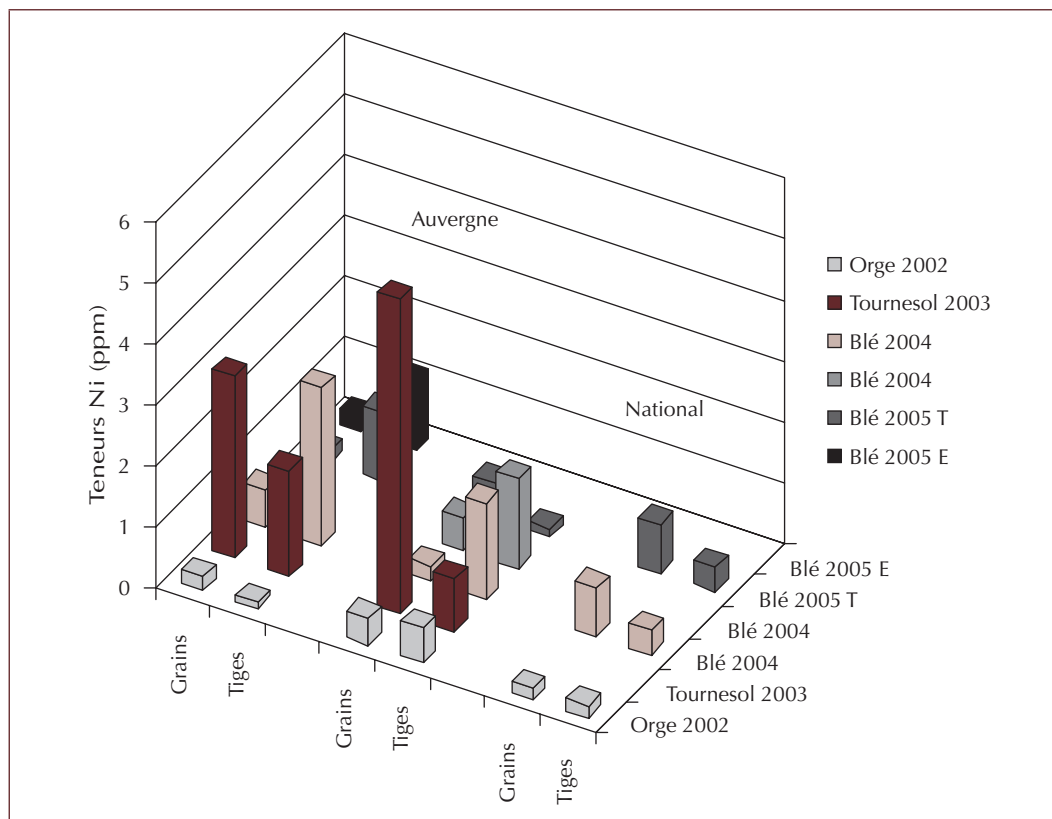
les prairies. Les valeurs seuil des ETM d'autres espèces cultivées en Auvergne devront être étudiées.

5. Ppm : partie par million, unité utilisée pour exprimer les concentrations de polluant lorsque celles-ci sont faibles.

6. Cuivre.

7. Plomb.

▼ Figure 8 – Teneurs en Ni et Cr de cultures selon l'espèce végétale, l'organe et l'année à l'échelle régionale comparées aux teneurs moyennes nationales.



Conclusion

L'épandage de boues a fait l'objet de nombreux travaux (Mench, 1992 ; Baize, 1997) et récemment de séminaires (Carqueiranne, 2006 ; Colmar, 2007). Nos travaux conduits en conditions réelles de production confirment l'intérêt agronomique de l'utilisation des boues sur les sols agricoles par l'augmentation de la matière sèche finale et par son action dès la première année d'épandage et sur l'ensemble du cycle de développement.

La complexité de l'environnement cultural (sol et climat) conduit toutefois à une variabilité de résultats de l'impact des boues sur la productivité dans le temps et dans l'espace qui devra être mieux maîtrisée. D'autre part, la diversité des produits organiques maintenant proposés à l'échelle de la région mérite d'être intégrée à l'étude relatant de la situation organique des sols et les systèmes de culture associés (Piquet, 2007).

L'épandage de boues dans des conditions réelles de production n'a pas révélé de risque direct de contamination des plantes par les ETM. Face à la complexité du transfert sol-plante des ETM devant intégrer la nature de l'élément, de l'espèce végétale et de son stade de développement, une base de données relatives aux teneurs en ETM a été initiée lors de l'étude. De cette base de données, des teneurs seuils par espèces ont été proposées

comme indicateur de contamination en ETM. Cet indicateur doit permettre de suivre la qualité d'espèces végétales suite à des épandages de boues successifs au champ et aussi lors de demande de dérogation à la réglementation de l'épandage sur les sols riches naturellement en ETM (Ni et Cr en Auvergne) (Piquet, 2006). Dans le futur, ces données devront être étendues à d'autres espèces de grandes cultures d'Auvergne. Ce travail devrait répondre au recensement de la qualité des végétaux en cours de constitution à l'échelon national. Au niveau international, l'établissement de directives définissant les concentrations acceptables maximales de contaminants (Cd^8 , Pb , As^9) dans les végétaux consommés serait nécessaire (COST¹⁰ Action européenne 859). Suite à la révision de la directive européenne sur les sols, les sols ne seraient plus considérés uniquement sous l'angle chimique mais plutôt comme des écosystèmes. Cette nouvelle approche devrait conduire à évaluer différemment l'épandage organique, notamment en intégrant de nouveaux critères comme des indicateurs environnementaux à l'échelle de l'épandage (certification environnementale) et du sol (analyse du cycle de vie intégrant les compartiments eau, air). Le développement récent d'outils moléculaires applicables au sol devrait aussi aider à évaluer l'orientation biologique du sol induite par l'épandage organique des sols. □

8. Cadmium.

9. Arsenic.

10. Le programme COST, *European cooperation in science and technology*, constitue un réseau thématique ayant pour objectif de soutenir la recherche et la collaboration entre les différents pays européens.

Résumé

L'Auvergne est une région agricole avec 26 000 km² et 1,5 million d'hectares de surface agricole utile. Elle comprend deux systèmes de production qui nécessitent des produits organiques pour assurer le niveau de matière organique des sols cultivés : les grandes cultures en plaine de Limagnes et le système polycultures/élevage en montagne. Dans le contexte de refus d'épandre ou de demande de dérogation à la réglementation des boues urbaines, les objectifs du projet sont de déterminer l'impact de l'épandage des boues en conditions agricoles réelles sur la productivité et sur les teneurs en éléments traces métalliques (ETM). Nos travaux confirment l'intérêt de l'apport de boues sur les sols agricoles en augmentant la production finale de matière sèche et en jouant sur les différents stades d'établissement du rendement dès la première année d'épandage. À ce stade, ils ne révèlent pas de risque direct de contamination métallique des plantes par l'épandage de boues réalisé dans les conditions réglementaires.

La variabilité des résultats relatifs à l'impact des boues sur la productivité et sur le transfert sol/plante des ETM d'une année à l'autre et d'un site à l'autre a conduit à constituer une base de données en ETM avec un seuil de teneurs par espèce et par élément. Dans le futur, les données devront être étendues à d'autres espèces annuelles. L'objectif final est de raisonner les pratiques agricoles et particulièrement la gestion des apports organiques dans le respect de la qualité de la production végétale et de son environnement.

Abstract

The Auvergne is an agricultural region with twenty six thousand square kilometres and one million five thousand hectares of useable farm area. There are two farming systems which need organic products to manage the organic matter status of soils : - the crops in the plain of Limagnes - and the animal farming in the mountains region. In the context of the spreading refusal or the demand of departure for the law, the objectives of the project are to determine the impact of sludge spreading in real crop conditions on productivity and metallic trace element (MTE) contents. Our works confirm the interest of sludge use on agricultural soils in increasing the final dry matter production and playing on different stages of yield since of the first year of spreading. At this stage, they don't reveal direct risk of MTE plant contamination by the sludge spreading according to the regulation conditions.

The variability of results relating to the impact of the sludge on the productivity and on the MTE soil/plant transfer from year to year and from site to site has led to constitute a data base of MTE with a threshold contents by species. In the future, the data base must be extended to more annual crops. The final objective is to plan the cultural practices and particularly the organic matter management in respect of quality and environmental plant production.

Bibliographie

BAIZE, D., STERCKEMAN, T., PIQUET, A., CIESIELSKI, H., BERAUD, J., BISPO, A, 2005, *Guide technique en soutien aux demandes de dérogations relatives à la réglementation sur l'épandage des boues de stations d'épuration pour les sols à teneurs naturelles élevées en éléments traces métalliques. Comment formuler une demande ?*, ADEME et APCA, ADEME Éditions, 145 p.

ADRIANO, D.-C., 2001, *Trace elements in the terrestrial environment. Biogeochemistry Bioavailability and risks of metals*, Springer-Verlag, 2^e éd.

BAIZE D., 1997, *Teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols (France) : références et stratégies d'interprétation*, INRA Éditions, Paris, 408 p.

KABATA-PENDIAS, A, PENDIAS, H., 2000, *Trace elements in soils and plants*, CRC Press 3^e éd.

MENCH, M., JUSTE, C., SOLDA, P., 1992, Effets de l'utilisation de boues urbaines en essai de longue durée : accumulation des métaux par les végétaux supérieurs, *Bull. Soc. Bot. F., Actual. Bot.* (1), 139, p. 141-156.

PIQUET, A., PAULY, S., GARNIER, S., LEPRINCE, F., ROBIN, A.-K., 2006, Épandage de boues en agriculture et transferts sol/plante des éléments traces métalliques : transfert sol/prairie des éléments Ni et Cr sur anomalie métallique naturelle des sols d'Auvergne, *in : Gestion durable des boues d'épuration Quel avenir pour l'épandage ?*, colloque Cemagref/Enitac, Clermont-Ferrand.

PIQUET, A., MAILLARD, V., BOURREL, S., 2007, Gestion de la matière organique des sols de Limagnes (Puy de dôme) : risque et décisions, *in : Huitièmes rencontres nationales de la fertilisation raisonnée du COMIFER-GEMAS*, Blois.

Textes réglementaires et séminaires

Arrêté du 8 janvier 1998 fixant les prescriptions techniques applicables aux épandages de boues sur les sols agricoles pris en application du décret n° 97-1133 du 8 décembre 1997 relatif à l'épandage des boues issues du traitement des eaux usées (Journal Officiel du 31 janvier 1998).

Directive européenne définissant un cadre pour la protection des sols et modifiant la directive 2004/35/CE – textes adoptés par le Parlement le 14 novembre 2007.

22-24 janvier 2006 : Les matières organiques en France, état de l'art et perspectives, Groupe français IHSS et Réseau « Matières organiques » INRA.

27 novembre 2007 : Retour au sol des produits résiduels organiques, INRA et Mission « Recyclage Agricole du Haut Rhin ».