



Mission Recyclage Agricole
du Haut-Rhin

Association pour la Relance Agronomique en Alsace

Mission recyclage agricole du Haut-Rhin

2, allée de Herrlisheim

68 000 COLMAR

Responsables des travaux : Nathalie VALENTIN et Anne SCHAUB

Tél. : 03 89 22 95 70

Avec la collaboration de :



ESSAI DE LONGUE DUREE DE PLEIN CHAMP D'ENSISHEIM :

Effet des épandages de boues urbaines, chaulées ou non,
sur la qualité des terres et des cultures.

Trace elements in soil, maize and wheat in a long term field experiment with sewage sludge

Synthèse des résultats 1995-2006

**Etude financée par : Agence de l'Eau Rhin-Meuse
Conseil Général du Haut-Rhin
Producteurs haut-rhinois de boues recyclées en agriculture
ADEME**

Mars 2008

Contrats ADEME (Fabienne MULLER-DAVID) : n°0575 C 0045 (18/11/05 – 18/03/08), n°0275007 (18/11/02 – 18/11/05), n° 9975026 (03/12/99 – 30/06/02), n°4750034 (15/09/95 – 15/04/99) - 11 ans.

Les agriculteurs, les collecteurs, les industriels de l'agroalimentaire et plus généralement les consommateurs s'interrogent et s'inquiètent des risques liés à l'épandage en agriculture des boues de station d'épuration. Ces préoccupations ont été mises en relief dans le Haut-Rhin par une enquête réalisée par l'Institut de l'élevage en 1995 à la demande de la Mission recyclage agricole, service de l'ARAA. La réactualisation de cette enquête en 2001 confirme la persistance de ces inquiétudes. La crainte des « métaux lourds » est toujours forte.

Face à ce constat, la Mission recyclage agricole a contribué à la mise en place de 3 essais au champ de long terme dans le département : à Ensisheim (maîtrise d'œuvre : MRA68 ; boues urbaines sur sol acide ; 1995-2006), à Colmar (maîtrise d'œuvre : INRA Colmar et Grignon ; composts sur sol basique ; 2000-2010), à Bergheim (maîtrise d'œuvre : MRA68 ; boues industrielles sur sol acide ; 2002-2008). Ces essais complémentaires visent à répondre concrètement à la question des agriculteurs et des consommateurs : **comparés à des pratiques agricoles « classiques », les épandages de boues conformes à la réglementation génèrent-ils un risque de dégradation de la qualité du sol ? Le concept de qualité du sol englobe ici la fertilité, donc sa valeur foncière, mais aussi la qualité des récoltes, dans une optique de sécurité sanitaire.**

Pour répondre concrètement à la question, nous avons suivi sur le site d'Ensisheim des indicateurs physiques, chimiques et biologiques, dont 13 éléments traces¹ et 23 composés traces², à partir d'analyses dans le sol, les grains, les résidus de récolte et les intrants (engrais, boues). **Nous avons comparé les traitements comportant des boues chaulées et non chaulées avec le traitement ne comportant que des engrais minéraux, pour identifier l'impact des épandages.**

Protocole

Le dispositif expérimental est de type bloc, comprenant 4 répétitions de 3 traitements : une fertilisation minérale exclusive (traitement « Minéral »), une boue urbaine biologique déshydratée chaulée complémentée par des engrais minéraux NPK (traitement « BCH »), une boue urbaine biologique déshydratée non chaulée complémentée par des engrais minéraux NPK (traitement « BOUE »). Il y a donc 12 micro-parcelles de 10*10 m chacune, séparées par des bandes tampons de 3 à 6 m. A l'extérieur de ce dispositif, se trouve une micro-parcelle témoin zéro sans engrais azoté ni boue, dont l'emplacement change chaque année, et qui permet d'évaluer les fournitures en azote du sol.

Les doses d'épandage pratiquées sur l'essai reflètent ce qui est réellement pratiqué dans le secteur. Les boues, les doses et les périodes d'épandage sont bien entendu conformes à la réglementation sur le recyclage agricole et à la directive « Nitrates », puisque l'essai est situé en « zone vulnérable ».

Cinq épandages à 15-20 t MB/ha ont été réalisés en 11/95, 11/98, 11/01, 03/03 et 03/04, pour un total de 20,7 tonnes de matière sèche pour les boues chaulées (hors chaux) et 13,3 tonnes de MS pour les boues non chaulées. Les doses de boues de 15-20 t MB/ha par épandage sont celles pratiquées dans le département.

Les deux traitements comportant des boues sont complémentés par une fertilisation minérale de façon à ce que les différents traitements soient à des niveaux équivalents en éléments N, P et K supposés disponibles pour le maïs, en provenance des boues et des engrais.

La parcelle est cultivée en monoculture de maïs grain irrigué jusqu'en 2004. En 2005, un blé irrigué a été implanté, suivi d'un maïs. Les grains sont exportés pendant que les résidus de culture retournent au sol.

Depuis la campagne 2001, la parcelle est cultivée en non labour, c'est-à-dire pour les 3 derniers épandages, avec un travail du sol limité à 5 cm de profondeur.

Le sol du site est un sol brun décalcifié rougeâtre légèrement lessivé, moyennement profond à profond, sur gravier rhénan (néoluvisol fersialitique caillouteux). Sa texture est limono-argilo-sableuse à argilo-limono-

¹ Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se, Zn, B, Co, Mo, As, Mn

² PCB 23, 52, 101, 118, 138, 153, 180, benzo(a) pyrène, benzo(b)fluoranthène, fluoranthène, benzo(ghi)pérylène, benzo(k)fluoranthène, indéno(1.2.3.-cd)pyrène, acénaphthylène, acénaphthène, fluorène, phénanthrène, anthracène, pyrène, benzo(a)anthracène, chrysène, dibenzo(ab)anthracène, naphthalène

sableuse. Son pH initial est à peine de 6 en surface. Ce dernier critère a été volontairement choisi à la limite réglementaire (pH 6), de façon à maximiser la probabilité de transfert des éléments traces vers les cultures et à identifier l'effet chaux de la boue chaulée.

Principaux résultats acquis entre 1995 et 2006

Suite à 5 épandages de boues et 11 cultures, une réponse peut être avancée à la question : l'exposition aux 13 éléments traces et aux 23 composés traces, qu'on sait toxiques quand ils sont en excès, est-elle supérieure après épandage de boues, comparée à celle issue d'une fertilisation minérale exclusive ? **A moyen terme, il n'y a pas de risque pour la chaîne alimentaire via une accumulation de ces 13 éléments ou de ces 23 composés traces dans le maïs, ni d'atteinte à la fertilité du sol. Seule une accumulation de Hg est décelable dans le sol suite aux épandages des boues chaulées ; les teneurs restent dans la fourchette de celles des sols non contaminés. Les épandages ont également un effet sur le pH du sol, sur la spéciation des éléments traces et sur les teneurs en certains éléments traces dans le maïs.**

2.1. Effet des traitements sur la productivité

Les rendements de grain et de biomasse aérienne, ainsi que le poids de 1000 grains, ont été mesurés chaque année ; le taux d'amidon également depuis 1999.

Concernant le rendement en grains, aucune tendance n'est observable : aucun traitement ne sort du lot de façon régulière. Ceci confirme l'effet bénéfique des boues sur la productivité, puisque une partie des engrais minéraux a été substituée par des boues. Globalement, l'évaluation des valeurs azotée et phosphatée des boues a permis de conduire de façon adéquate la fertilisation complémentaire minérale et d'atteindre de bons rendements, plus de 110 q/ha de maïs et 85 q/ha de blé.

D'autres facteurs édaphiques et la nutrition azotée expliquent les différences de rendement entre les traitements quand elles existent. Les éléments et composés traces mesurés dans le sol et dans le maïs ne sont pas responsables des augmentations et diminutions de rendement.

Chaque année, la production de biomasse sèche est la même pour tous les traitements, sauf en 1996 et 2006, où le traitement BCH produit 1,3 et 3,4 t/ha de plus que les 2 autres traitements.

Aucune différence de taux d'amidon entre les traitements n'est détectable sauf en 2006 où le traitement Minéral a un taux plus important.

2.2. Effet fertilisant des boues

2.2.1. Effet d'amendement basique des boues chaulées

Après 5 épandages, le pH du sol, initialement légèrement acide (pH 5,7), remonte dans les micro-parcelles ayant reçu les boues chaulées, jusqu'à 7,3 dans l'horizon 0-5 cm. L'effet des boues chaulées sur le pH se ressent jusqu'à 40 cm de profondeur.

2.2.2. Effet d'engrais azoté des boues

Le but premier de l'essai est d'étudier les transferts d'éléments traces ; la fertilisation azotée est volontairement non limitante et nous ne disposons pas de courbe de réponse à l'azote. Par contre la présence systématique d'un témoin non fertilisé a permis d'estimer la fourniture aux cultures d'azote issu des boues.

L'effet azoté des boues est confirmé, et globalement bien évalué sur la base des tests en laboratoire. Les effets directs sont élevés avec un coefficient équivalent engrais compris entre 30 à 50 %. Selon l'année, l'azote est plus disponible dans une boue ou dans l'autre.

Les arrière-effets semblent pouvoir être négligés pour un apport occasionnel. Pour les boues chaulées, l'arrière-effet cumulé des 5 épandages commence à être important.

2.2.3. Effet d'engrais phosphaté des boues

Les boues présentent un coefficient équivalent engrais de 100 %, y compris la boue chaulée. Cette forte disponibilité du phosphore conduit à prendre le phosphore comme facteur limitant des doses d'apport des boues.

2.3. Effet des traitements sur le sol

Concernant les éléments traces dans le sol, 3 compartiments chimiques sont distingués, correspondant à des mobilités croissantes : éléments totaux, éléments complexés avec les matières organiques et les oxydes, éléments échangeables sur le complexe argilo-humique. Les indicateurs utilisés sont, respectivement, les extractions totales à HF, et les extractions sélectives à l'EDTA et à CaCl_2 .

2.3.1. Effets des traitements sur les teneurs totales en éléments traces du sol

Les mesures de teneurs totales en éléments traces du sol ont été effectuées en 1995 (avant épandage), 1998, 2001, 2004 et 2006.

Des différences statistiquement significatives entre traitements, de faible amplitude, sont observables pour certains éléments certaines années. Cependant, un effet des traitements observé une année ne se retrouve pas les autres années, sauf **pour le Hg, dont la teneur est plus élevée en surface pour le traitement BCH** en 2004 et 2006. Les teneurs en Hg restent dans la fourchette de teneurs « normales » des sols non contaminés.

La différence significative de teneur totale en Hg est cohérente avec le calcul du bilan entrées-sorties.

En effet, pour le traitement BCH, le bilan entrées (par boues et engrais) moins sorties (par grains) montre une augmentation théorique de +25 % dans BCH par rapport à Minéral dans 0-20 cm. Les autres augmentations ou diminutions de bilan sont inférieures à 10 %.

Par contre cet accroissement de Hg dans le sol ne se traduit pas par des teneurs plus élevées dans les parties aériennes des cultures.

2.3.2. Effets des traitements sur les teneurs extractibles en éléments traces du sol

Des mesures des quantités d'éléments extractibles au CaCl_2 et à l'EDTA ont été réalisées en 2004 et 2006. Elles montrent que, si les épandages ont peu d'effet sur les teneurs totales en éléments traces, ils ont en revanche un impact sur leur forme chimique et donc leur mobilité.

Les teneurs en **Cd, Ni et Mn extractibles au CaCl_2** sont statistiquement inférieures pour le traitement BCH. Les teneurs en **Cu et Zn extractibles au CaCl_2** sont plus élevées dans le traitement BOUE et moins élevées dans le traitement BCH que dans le traitement Minéral. Les teneurs en **bore soluble à l'eau** sont statistiquement inférieures pour le traitement BCH.

Cette diminution de la quantité d'éléments échangeables sur BCH est certainement un effet de l'augmentation du pH du sol.

Les teneurs en **Cu et Zn extractibles à l'EDTA** sont statistiquement supérieures pour le traitement BCH, puis BOUE, elles mêmes supérieures pour le traitement Minéral. Les teneurs en **Mn, Ni, Co extractibles à l'EDTA** sont statistiquement inférieures pour le traitement BCH.

L'effet des épandages sur la quantité d'éléments complexés est plus complexe. Il fait en effet notamment intervenir le pH, mais aussi la quantité et la qualité des matières organiques.

Il est à noter que l'effet des épandages sur les teneurs extractibles est décelable bien en dessous de l'horizon où est incorporée la boue.

Pour les autres éléments, il n'y a pas de différence significative.

2.3.3. Effets des traitements sur les teneurs en composés traces organiques du sol

Les teneurs en composés traces organiques dans le sol sont inférieures aux limites de quantification (0,01 mg/kg pour les PCB, 0,05 à 0,5 mg/kg pour les HAP selon les molécules).

2.3.4. Effets des traitements sur la vie des sols

Les épandages de boues chaulées auraient un impact sur la structure des communautés bactériennes totales et celle des endomycorhizes. Cependant ces impacts semblent réversibles. Ils ne sembleraient pas avoir d'effet sur la structure des communautés des bactéries oxydant l'ammoniaque.

Aucun effet des épandages n'a été décelé sur les populations de lombrics. Deux facteurs ont peut-être masqué cet impact : les observations ont été réalisées longtemps après le dernier épandage (3 ans) et le sol, tassé de façon hétérogène, a induit une grande variabilité des résultats.

2.4. Effet des traitements sur l'accumulation de polluants potentiels dans le maïs

Toutes les teneurs en éléments traces mesurées dans les grains comme dans le reste des parties aériennes sont faibles et ne présentent pas de danger pour la chaîne alimentaire. **Les concentrations en composés traces sont toutes inférieures aux seuils de quantification.**

Les différences de teneurs en éléments traces dans le maïs entre traitements ne présentent pas de tendance nette, sauf pour **le Mn, le Cd, le Ni et le Co où des différences significatives arrivent au moins 3 années sur 11.**

Les teneurs en Mn et Cd dans les cultures, et dans une moindre mesure celles en Ni, sont plus faibles pour le traitement BCH (9 années sur 11 pour Mn, 6 sur 11 pour Cd et 3 sur 11 pour Ni). L'hypothèse explicative est un transfert sol-plante plus faible, dû à la présence de formes chimiques moins disponibles pour les racines ; ceci suite au chaulage et à l'augmentation du pH, entraînant une diminution de la solubilité du Mn, Cd et Ni dans le sol. Ceci est confirmé par les extractions au CaCl₂ (Mn, Cd, Ni) et à l'EDTA (Mn, Ni).

Les teneurs en Co sont parfois plus élevées dans les résidus de culture sur le traitement BOUE (3 années sur 11).

Les teneurs en Hg dans les cultures ne sont pas plus élevées sur BCH, malgré l'accroissement de la teneur dans le sol.

Le changement de spéciation observé pour Cu, Zn, B et Co ne se traduit pas par une différence de prélèvement par les cultures.

Conclusion

Suite à 5 épandages de boues et 11 cultures, il n'y a pas de risque pour la chaîne alimentaire via une accumulation de ces 13 éléments traces ou de ces 23 composés traces dans le maïs, ni d'atteinte à la fertilité des sols.

Les évolutions statistiquement significatives suite à l'épandage de boues concernent le pH du sol qui est plus élevé sur BCH, les teneurs totales dans le sol en Hg, plus importantes sur BCH, les teneurs en éléments extractibles dans le sol (Mn, Ni, Cd, B, Co, Cu, Zn), les teneurs en Mn, Cd, Ni plus faibles dans les cultures sur BCH et plus élevées en Co sur BOUE par rapport au traitement Minéral.

Les données issues de cet essai, très nombreuses, seront intégrées dans une base de données des essais français sur les produits résiduels organiques, gérée par l'INRA. Ceci permettra d'exploiter les résultats de façon plus poussée et de les utiliser, conjointement avec ceux d'autres essais, pour des synthèses thématiques ou pour de la modélisation.

Par ailleurs, même si l'essai n'est actuellement plus suivi, il peut cependant être un support intéressant pour des chercheurs pour des investigations complémentaires, à partir de la banque d'échantillons, ou à partir de nouveaux prélèvements au champ.