

Cambier P¹, Houot S¹, Benoit P¹, Bodineau G¹, Deschamps M¹, Etievant V¹, Rampon JN¹, Petraud JP², Caria G³, Proix N³, Francou C⁴, Poitrenaud M⁴

¹ UMR INRA - AgroParisTech Environnement et Grandes Cultures, 78850 Thiverval-Grignon, France

² PESSAC, UR251, INRA, RD 10, 78000 Versailles, France

³ Laboratoire d'Analyse des Sols, INRA, 62000, Arras, France

⁴ Centre de Recherche sur la Propreté, Veolia-Environnement R & D, 78520, Limay, France

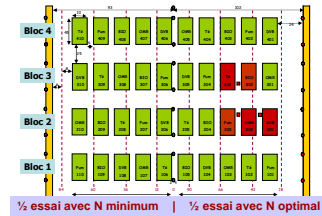
INTRODUCTION

Dans le cadre des programmes ADEME Bioindicateurs et QualiAgro, en vue d'évaluer tous les impacts du recyclage agricole de produits résiduels organiques (PRO), nous recherchons des indicateurs d'exposition des organismes du sol plus pertinents et plus précoces que la teneur totale en contaminants. Les matières organiques particulières (MOP) des sols concentrent relativement certains contaminants, notamment des éléments-traces métalliques ou ETM (Ducaroir et Lamy, 1995; Balabane et van Oort, 2002). Elles jouent par ailleurs un rôle important de substrat de l'activité biologique et plus généralement dans le fonctionnement du sol cultivé (Puget et al, 2000). Nous présentons ici les résultats de fractionnement granulo-densimétrique (FGD) de 2 composts d'origine urbaine et d'échantillons d'horizons de sols recevant ces composts dans l'essai de longue durée QualiAgro, avec les analyses des fractions obtenues, en particulier de plusieurs ETM et HAP.

Site Expérimental

Un essai au champ, sur un luvisol décarbonaté, en rotation blé/maïs, reçoit tous les 2 ans depuis 1998 divers PRO, à des doses équivalentes à 4 t/ha de C organique. Nous considérons ici 4 traitements :

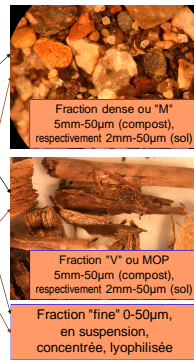
- > Témoins (sans PRO) recevant une faible dose de N minéral (T-N)
- > Témoins recevant une dose optimale de N (T+N)
- > Apport de compost d'ordures ménagères résiduelles (obtenues après collecte sélective des emballages propres), + fertilisation minérale optimale (OMR+N ou OMR)
- > Compost de déchets verts + boues d'épuration, + N (DVB+N ou DVB)



Méthodes FGD et Analyses

1 compost de DVB (en 3 répétitions)
1 compost d'OMR (en 3 répétitions)

1 échantillon de sol de chacune de 3 parcelles semblables <-> 3 blocs de l'essai x 4 traitements (DVB, OMR, T+N, T-N)



La méthode de FGD (Balesdent et al, 1991) est adaptée pour les composts. La mise au point amène à re-agiter des fractions pour une meilleure séparation des constituants. In fine, sur les composts tamisés à sec <5mm, les coupures équivalentes à 2mm, 200 et 50µm sont effectuées. Les particules denses et légères sont séparées par flottation, hormis pour la fraction "fine" 0-50µm qui est concentrée par centrifugation et lyophilisée.

En vue des analyses les plus complètes (incluant ETM et HAP), pour des raisons de coût et de masse nécessaire, les fractions > et < 200µm sont re-mélangées intimement.

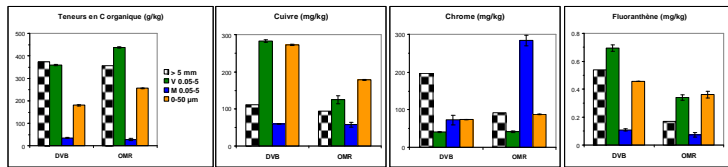
ANALYSES CHIMIQUES (Laboratoire d'Analyses des Sols INRA d'Arras)

ETM (attaque HF) = Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn. Cd généralement <LQ dans les fractions M
16 HAP analysés, les principaux, généralement >LQ dans les fractions de composts et les MOP des sols = fluoranthène, benzo(b) et benzo(k)fluoranthène, pyrène, benzo(a)pyrène, phénanthrène, benzo(a)anthracène

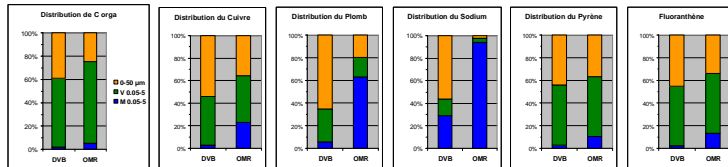
PRINCIPAUX RESULTATS et ELEMENTS DE DISCUSSION

Composts de DVB et d'OMR – Teneurs et distribution des contaminants dans les fractions

Les FGD réalisés 3 fois sur chaque compost tamisé à 5 mm sont pour la distribution en masse très reproductibles (variations relatives de 4-5%). Les résultats analytiques sont reproductibles, avec davantage de dispersion pour quelques éléments dans la fraction M (Figures : barres = écarts-types). Les refus >5mm obtenus à sec sont hétérogènes, d'après l'analyse d'une aliquote broyée et un essai FGD; ils ne sont pas considérés dans les bilans présentés par la suite.



Les fractions légère (V) et fine (0-50µ) des 2 composts présentent les plus fortes teneurs en C, N, P, Cu, moins nettement en Zn et Ni, et concentrent la plupart des HAP. Les MOP du compost DVB sont aussi assez chargées en Pb parmi les autres contaminants; mais les 2 composts se différencient surtout au niveau de la fraction dense M qui, pour OMR uniquement, est très chargée en Pb, Cr, Mn, Na et Ca.



En terme de distribution des éléments dans les fractions (<5mm), les MOP contiennent la majeure partie des éléments de la MO, ainsi qu'une part importante du Cu et des HAP. Pour OMR uniquement, Cr et Pb sont concentrés dans la fraction M. Ni et Zn sont dans le compost d'OMR répartis assez uniformément. Tous les ETM sont abondants ou + concentrés ? dans la fraction fine du compost de DVB.

Fractions Granulo-Densimétriques des échantillons de SOLS

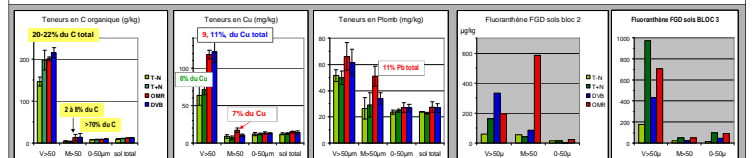
Les 3 répétitions concernent cette fois les échantillons moyens d'horizons labourés de 3 parcelles (3 blocs) de l'essai QualiAgro. Les MOP et fractions denses (M) 0.05-2mm ne représentent en masse que 1-2% et 5-8% respectivement. La reproductibilité des FGD est cependant suffisante pour dégager des différences significatives entre les %MOP des différents traitements.

Les parcelles DVB contiennent davantage de MOP que Témoin ou OMR, à T1 et T5 (1 mois et 2 ans après amendement).

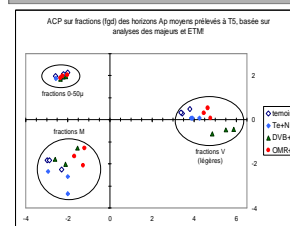
Les analyses chimiques des fractions donnent aussi des résultats reproductibles pour les majeurs et les ETM (Fig. barres écarts-types) mais une hétérogénéité spatiale initiale des teneurs en HAP limite l'interprétation sur ces contaminants organiques. Les bilans bouclent à ±17% pour majeurs et ETM (sauf 5 fois sur 360 combinaisons élément x parcelle x prélèvement).

Les MOP présentent des teneurs en C, N, Cu, Zn, bien plus fortes que les fractions M 50µm-2mm et 0-50µm, si bien que de l'ordre de ~1% en masse concentre par exemple 20 à 22% du C organique de l'échantillon total, 6 à 11% du Cu (Figures C et Cu).

Les apports de composts quasiment doublent les teneurs des MOP en Cu, augmentent un peu moins celles de Zn, Ni, ou Pb... Les composts d'OMR enrichissent la fraction M en Pb, Cr, Zn, Ni, Ca, Mg, Na (ex. 11% du Pb des échant. OMR dans la fraction M).



Exemples de distribution d'éléments dans les FGD de sols prélevés à T1 - moyennes ± écart-type (n=3 parcelles) sauf HAP fluoranthène (n=1)



Les MOP ont des teneurs en HAP ~10 fois plus fortes que les fractions 0-50µm (ex. fluoranthène). Celles issues des parcelles DVB généralement sont encore plus chargées, mais on peut observer l'inverse, selon les blocs (variabilité spatiale).

Une Analyse en Composantes Principales (36 individus = 3 FGD x 4 trait. x 3 répétitions; variables = majeurs & ETM à T5, axes 88% variance) montre :
- la différenciation des fractions,
- l'amplification de la différenciation des traitements au niveau des MOP, et des fractions M, par rapport aux fractions fines (= échantillons totaux). T5 ou T1 donnent quasiment les mêmes ACP, donc l'effet MOP (et M) sur la distribution des éléments persiste entre 2 amendements (2 ans).

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Les MOP du compost d'OMR concentrent particulièrement les ETM Cu, Ni, Zn, la plupart des HAP, et contribuent de manière importante à leur entrée dans les sols amendés. La fraction minérale grossière de ce compost joue un rôle majeur pour les ETM Cr et Pb, et significatif pour les autres ETM. Les données optiques et chimiques, en particulier la localisation de Na, suggèrent que des verres concentrent Pb, Cr et d'autres éléments. Dans le compost de DVB, la fraction minérale est plus importante; les ETM et HAP se répartissent entre MOP et fraction fine. La localisation des éléments C, N confirme que les fractions légères sont essentiellement organiques; une caractérisation plus fine serait utile pour mieux appréhender leur devenir dans les sols.

En effet, les SOLS recevant le compost de DVB contiennent un supplément de MOP qui, au moins en partie, persiste durant 2 ans (délai entre apports). Pour les parcelles amendées par les 2 types de composts, on note l'enrichissement de ces MOP par rapport à celles des parcelles Témoins en Cu, Zn, et de manière moins nette en Ni et Pb. Or ces fractions contiennent des débris végétaux, notamment des cultures de l'année, qui ne diffèrent pas significativement du point de vue des teneurs en ETM (Houot et al, 2008). Ces résidus de culture doivent donc diluer l'effet des MOP issues des PRO et l'enrichissement relatif en ETM des MOP séparées des sols amendés est d'autant plus remarquable.

Les HAP dans les sols sont majoritairement dans la fraction organominérale <50µm qui est de loin la plus abondante. La contribution des MOP est cependant non négligeable et est en moyenne supérieure dans les parcelles DVB. La variabilité observée pour les sols est forte, alors que les résultats d'analyse d'HAP de fractions de composts sont reproductibles. Il s'agit donc de variabilité spatiale, ce qui conduirait à privilégier, pour la mise en évidence d'éventuels impacts des PRO sur les teneurs en HAP des sols, le suivi de ces teneurs, totales ou fractionnées, dans chaque parcelle en fonction du temps.

Enfin, du point de vue du développement d'indicateurs, les FGD associées aux analyses chimiques représentent un outil plus sensible que le suivi des teneurs totales mais aussi plus lourd à mettre en œuvre. Sa pertinence écotoxicologique reste à démontrer dans la mesure où l'ensemble du programme « Bioindicateurs d'impacts du recyclage agricole de PRO » n'a pas mis en évidence d'effets biologiques délétères de ces apports.

REMERCIEMENTS et REFERENCES

Ce travail a bénéficié du soutien de l'ADEME (programme Bioindicateurs de qualité des sols, 2005-2008), et depuis 1998 de celui de Veolia R&D dans le cadre d'un programme de recherche sur les impacts environnementaux du recyclage en agriculture de composts d'origine urbaine (QUALIAGRO).

Balabane M., van Oort F., 2002. Metal enrichment of particulate organic matter in arable soils with low metal contamination. *Soil Biology & Biochemistry* 34, 1513-1516

Balesdent J., Pétraud J.P., Feller C., 1991. Effets des ultra-sons sur la distribution granulométrique des matières organiques des sols. *Science du Sol* 29, 95-106

Ducaroir J., Lamy I., 1995. Evidence of trace metal association with soil organic matter using particle-size fractionation after physical dispersion treatment. *Analyst* 120, 741-745

Houot S., et al, 2008. Bilan du programme QualiAgro 1998-2008

Puget P., Chenu C., Balesdent J., 2000. Dynamics of soil organic matter associated with particle-size fractions of water stable aggregates. *European Journal of Soil Science* 51, 595-605