

Matières Organiques Exogènes (MOEx) issues de l'élevage et de la ville en milieu tropical : quels potentiels agronomiques ?

Auteurs : Rabetokotany-Rarivoson Nantenaina^{1,2}, Razafimbelo-Andriamifidy Tantely¹, Masse Dominique², Thuriès Laurent³, Rakotoarivelo Faniry¹, Andrianaivonirina Mickaia¹,

Institutions :

¹ Laboratoire des Radioisotopes, Université d'Antananarivo, BP 3383, Antananarivo, Madagascar, nanoutwentytwo@gmail.fr

² LEMSAT/UMR ECO&SOLS, Centre IRD ISRA Bel Air BP 1386, CP18524, Dakar, Sénégal.

³ CIRAD, UPR78 Recyclage et Risque, BP 40, St Denis, La Réunion

Résumé :

Les déchets organiques qualifiés de Matières Organiques Exogènes (MOEx) provenant des activités agricoles et de la ville sont multiples et posent souvent des problèmes de gestion. Cependant, il est probable que leur statut change en « produit » (commercialisable) avec une possible valorisation agricole. Le manque de références liées aux MOEx en milieu tropical peut représenter un frein à leur utilisation rationnelle. Madagascar et La Réunion, deux îles tropicales voisines, ayant des traits communs mais différant par le niveau de vie et les contraintes réglementaires sont considérées. Il paraît important de documenter le potentiel agronomique de ces matières dans ces contextes. On se propose 1) de déterminer la valeur amendante d'une large gamme de MOEx tropicales sur la base de la détermination de l'indice de stabilité de la matière organique (ISMO), 2) d'intégrer afin de comparaison ces MOEx dans la carte de distribution des ISMO établie à partir de MOEx françaises métropolitaines. Nos résultats ont permis de vérifier que 1) la stabilité d'une MOEx dans un sol donné est inversement proportionnelle à sa biodégradabilité : plus Ct_3 et la fraction soluble sont élevées, moins importante est l'ISMO 2) c'est la fraction la plus résistante d'une MOEx qui a un rôle pertinent dans sa propriété amendante 3) l'établissement d'une carte de distribution typologique des MOEx tropicales est indispensable pour mieux apprécier leur comportement dans le sol.

Mots-clés : Effluents d'élevage, Effluents urbains, Minéralisation du carbone, Fractionnement biochimique, Indice de Stabilité de la Matière Organique

Introduction

La gestion des déchets organiques, que l'on peut qualifier de Matières Organiques Exogènes (MOEx), qu'ils soient issus de l'élevage ou de la ville, constitue une des grandes préoccupations du monde moderne (Bernal et al., 2009; Guermoud et al., 2009; Kumar et Goel, 2009). Dans la plupart des cas, ils sont considérés comme des déchets destinés à être éliminés. Pourtant, il est bien probable que leur statut de déchets change en « produits » valorisables en agriculture dans le cadre de la gestion durable des sols.

En effet, la matière organique est l'une des composantes essentielles de la fertilité des sols puisqu'elle influence les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols. En général, l'apport au sol de MOEx a ainsi un effet sur ces propriétés (Parnaudeau, 2005). A court terme, l'évolution de ces propriétés est en partie liée à la décomposition de la matière organique du sol. Entre autre les MOEx avec l'activité des micro-organismes décomposeurs permettent la

stabilisation des agrégats dans les sols (Abiven, 2004). Leur décomposition pilote également la dynamique de nutriments comme l'azote ou le phosphore (Swift et al., 1979). A plus long terme, l'apport des MOEx peut augmenter le stock de carbone organique des sols.

Différents indicateurs tels l'Indice de Stabilité Biologique (ISB) (Linères et Djakovitch, 1993) ou le Tr_{CBM} (Robin, 1997) ou l'Indice de Stabilité de la Matière Organique (ISMO) (Lashermes et al., 2009) permettent d'évaluer la potentialité de stockage de C. Le dernier semble plus robuste que les précédents (ISB et le Tr_{CBM}) car il a été établi sur la base d'un grand nombre de données analytiques et validé sur un jeu indépendant de données n'ayant pas servi à sa définition.

Au laboratoire, deux méthodes sont utilisées pour calculer l'ISMO : le fractionnement biochimique, selon la norme XPU 44-162 (AFNOR, 2009) et la mesure des potentiels de minéralisation du C et de N en conditions contrôlées dans un sol selon la norme XPU 44-163 (AFNOR, 2009).

La détermination de cet indicateur de potentiel agronomique des MOEx issues de l'élevage et de la ville en milieu tropical, en provenance de La Réunion et de Madagascar, et sa comparaison avec une typologie des MOEx françaises métropolitaines constituent les objectifs principaux de ce travail.

Matériels et Méthodes

MOEx

Quinze (15) MOEx ont été considérées dont neuf (9) issues de l'élevage et six (6) de la ville. En ce qui concerne leur provenance géographique, neuf (9) MOEx ont été prélevées à La Réunion et six (6) à Madagascar. Leurs codages sont respectivement précédés de R- et de M- suivant le lieu de prélèvement.

Le Tableau 1 présente les caractéristiques chimiques des MOEx. Afin de faciliter les interprétations, les MOEx ont été préalablement classées suivant la typologie proposée par Lashermes (2009).

Incubations en Conditions Contrôlées

Des Incubations en Conditions Contrôlées (ICC) ont été menées durant trois jours afin d'apprécier la minéralisation du carbone des MOEx une fois apportées au sol. Ces ICC ont été réalisées suivant la norme AFNOR XPU 44-163 (AFNOR, 2009).

Ainsi, 0,5g de produit a été mélangé dans un pot à un équivalent de 30g de sol sec, ajusté à une humidité représentant 66% de la capacité maximale de rétention en eau du sol puis mis dans un bocal hermétiquement fermé avant d'être placé dans une chambre thermostatée à 28°C. Un blanc (sans sol ni matière organique) et un témoin sol sans aucun apport organique ont été également incubés avec les pots contenant les mélanges sol-produit. Pour chaque blanc, témoin, et sol+MOEx, trois répétitions ont été réalisées.

Le C-CO₂ minéralisé a été prélevé après 1, 2, et 3 jours d'incubation. Pour les MOEx réunionnaises, le C-CO₂ est piégé dans 30ml de soude à 1M puis dosé par méthode colorimétrique tandis que pour les MOEx malgaches, le C-CO₂ est mesuré par chromatographie en phase gazeuse.

Tableau 1 : MOEx utilisées et leur rapport C/N

Classe	Codage	Nature	Origine	C/N	
Boues de stations d'épuration (a)	R-BP	Boues Process	La Réunion	12	
Matières Organiques Compostées	Compost urbain (b)	R-CDVB	Compost de Déchets Verts+Boues	La Réunion	10
	Fumure Compostée (c)	R-CRP	Compost de reproductrices	La Réunion	12
Effluents d'élevage non compostés	sans litière (d)	R-FPD	Fientes de pondeuses	La Réunion	9
	avec litière (e)	R-LBV	Lisier Bovin	La Réunion	17
		R-FCB	Fumier Cabri	La Réunion	12
		R-FBV	Fumier Bovin	La Réunion	17
		R-LVL	Litière Avipôle	La Réunion	10
		M-FBV	Fumier bovin Belobaka	Madagascar	14
		M-FCB	Fumier ovin et caprin	Madagascar	19
		M-FPC	Fumier porcin Ambondrona	Madagascar	17
Support de culture (g)		M-TTA	Terreau Tananamadio	Madagascar	20
Autres produits (z)		R-ECU	Ecumes	La Réunion	19
		M-PCT	Poudre de Corne	Madagascar	3
		M-DCP	Déchets de crabe, poissons et crevettes	Madagascar	6

Fractionnements biochimiques

Le fractionnement Van Soest tel que décrit dans la norme XPU 44-162 (AFNOR, 2009) a été appliqué aux MOEx. Cette méthode fractionne la matière organique des MOEx en fraction soluble à l'eau bouillante (EAU), fraction soluble dans l'eau bouillante + réactif NDF (SOL), fraction équivalente hémicellulose (HEM), équivalente cellulose (CEL) et équivalente lignine+cutine (LIC). Ces fractions sont séparées successivement par extraction dans des réactifs d'acidité croissante.

Indice de Stabilité de la Matière Organique

L'indicateur ISMO (Indice de Stabilité de la Matière Organique) est calculé sur la base des fractions biochimiques et du C minéralisé en 3 jours au cours d'incubations dans un sol (Ct₃) soit :

$$\text{ISMO (g.kg}^{-1}\text{ MO)} = 10 \times (44,5 + 0,5 \cdot \text{SOL}(\% \text{MO}) - 0,2 \cdot \text{CEL}(\% \text{MO}) + 0,7 \cdot \text{LIC}(\% \text{MO}) - 2,3 \cdot \text{Ct}_3(\% \text{Corg})) \quad (1)$$

ISMO représente un bon estimateur de la valeur amendante des MOEx. Les fractions organiques déterminées selon le principe énoncé ci-dessus sont utilisées pour calculer la quantité relative de matière organique du produit plus résistante à la minéralisation et résiduelle environ un an après apport. Ce calcul résulte d'une corrélation statistique établie entre les fractions organiques et le pourcentage de carbone organique minéralisable après 3 jours d'incubation d'une part et les taux de carbone résiduel déterminés par extrapolation de cinétiques de minéralisation réalisées en condition contrôlées d'autre part.

Résultats

Cinétique de minéralisation du Carbone

Les figures 1 et 2 représentent les cinétiques de minéralisation apparentes du carbone des quinze produits testés pendant les trois (3) jours d'incubation, calculées par différence entre le dégagement de CO₂ du traitement avec MOEx et celui du sol seul. Par ce mode de calcul, on néglige une éventuelle extraminéralisation de la MO du sol (ou priming effect carboné) liée à l'apport des produits organiques (Robin, 1997).

Pour les effluents urbains, c'est le terreau qui se décompose très rapidement. (20% du C initial est minéralisé en trois jours). Ensuite, vient la boue (18%) et les autres produits.

Pour les matières organiques compostées, celle d'origine animale (7%) se minéralise beaucoup plus vite que le compost urbain (3%) au bout des trois (3) jours.

On observe une grande variabilité pour les effluents d'élevage non compostés suivant leur nature : bovin, porcin, caprin ou de volaille et leur mode de production avec ou sans litière. Les valeurs sont comprises entre 2 et 27%. Toutefois, la cinétique de minéralisation des fientes de reproductrices est très voisine de celle de la litière de volaille, respectivement 22% et 27% après trois (3) jours d'incubation.

Fractions Biochimiques

La Figure 3 illustre les pourcentages de matières minérales (cendres), de lignine, de cellulose, d'hémicellulose et de substances solubles pour chacune des MOEx étudiées.

Les histogrammes pour la boue de process R-BP et le terreau M-TTA sortent du lot par leur forte teneur respective en soluble et en cendres.

On peut observer des fractions similaires au niveau des 2 matières compostées (R-CDVB et R-CRP) et des effluents d'élevage sans litière (R-FPD et R-LBV).

Indice de Stabilité de la Matière Organique (ISMO)

L'ISMO est calculé à partir de la formule (1) citée plus haut. Les valeurs calculées sont reportées sous forme d'histogrammes à la Figure 4.

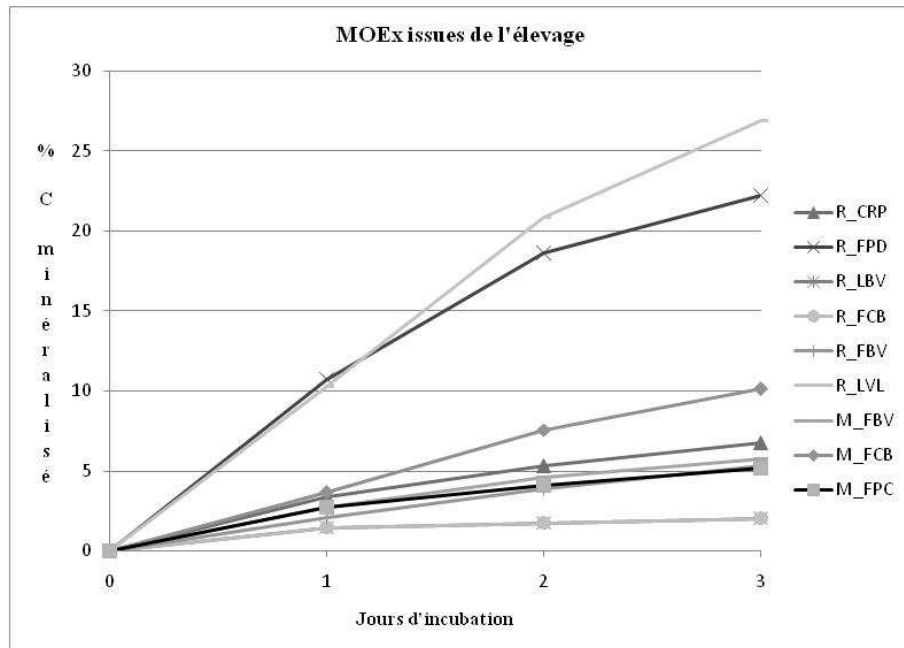


Figure 1 : Cinétiques de minéralisation cumulée du carbone exprimé en % de C initial des MOEx issues de l'élevage

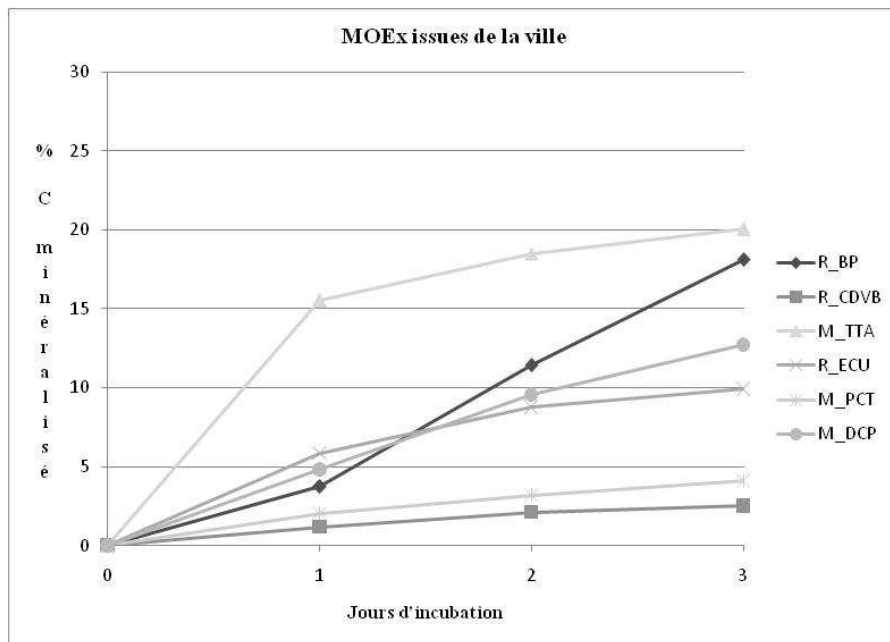


Figure 2: Cinétiques de minéralisation cumulée du carbone exprimé en % de C initial des MOEx urbaines

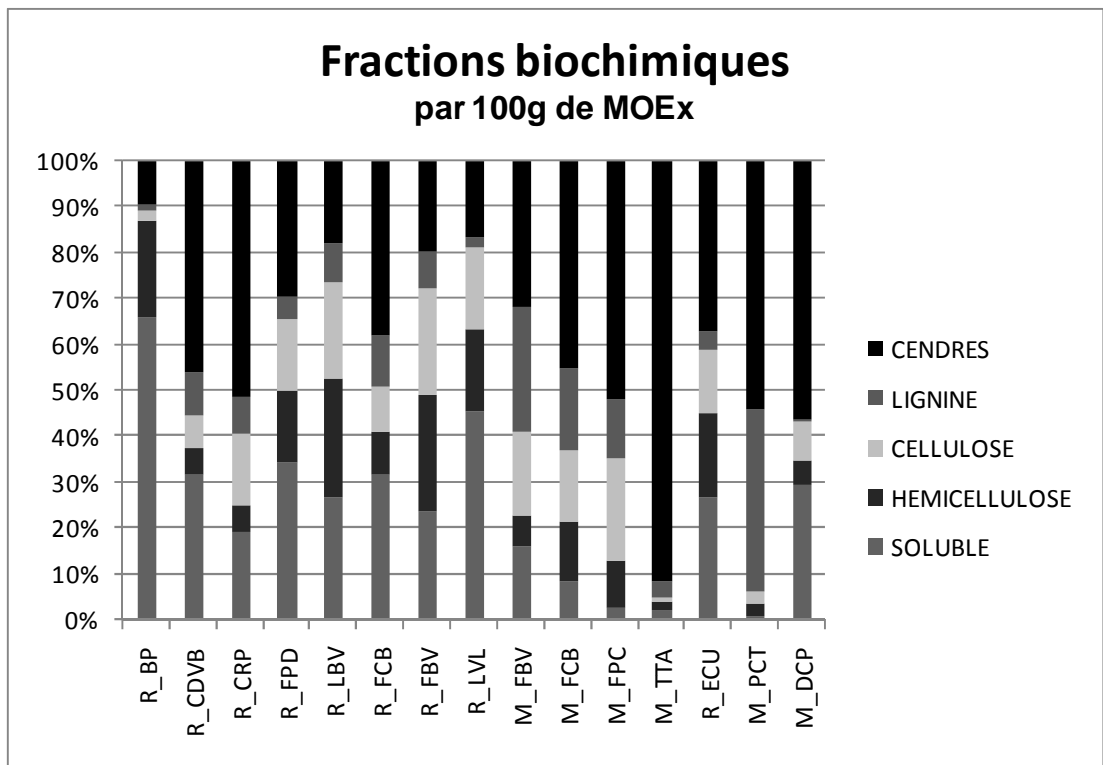


Figure 3 : Fractions biochimiques en g.100g⁻¹MS

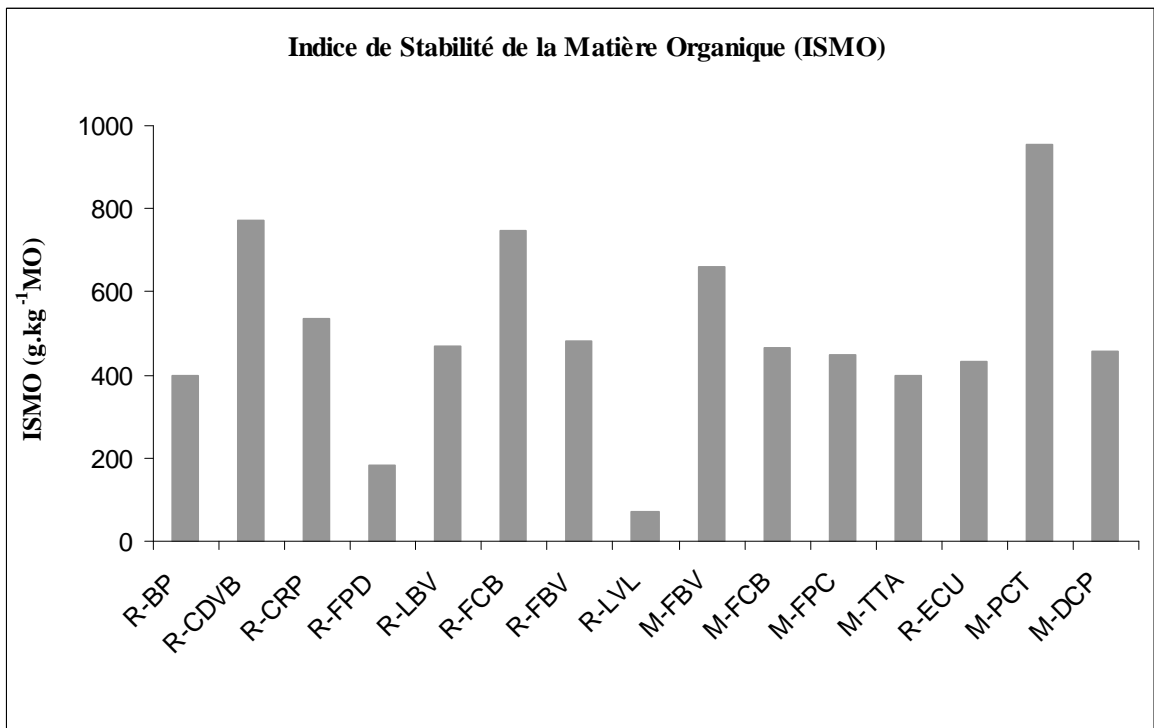


Figure 4 : Indice de Stabilité de la Matière Organique en g.kg⁻¹ MO

Discussion

Valeur Amendante des MOEx tropicales

L'ISMO permet d'évaluer la proportion de matière organique susceptible d'entretenir le stock de matière organique du sol donc d'estimer la valeur amendante d'une MOEx donnée.

En effet, les résultats présentés ici ont montré que l'ISMO est inversement proportionnel à Ct_3 pour la plupart des MOEx étudiées. Celles qui présentent une forte minéralisation de carbone à trois (3) jours telles que la litière de volaille (R-LVL) ou la fiente de poules (R-FPD) ont des ISMO faibles. Ceci explique pourquoi les MOEx à minéralisation forte et rapide n'entretiennent pas le stock de carbone du sol à plus long-terme. Ces résultats sont conformes à ceux déjà établis sur les composts par Francou (2003) ou sur les fumiers par Morvan (2006). Parmi les fractions biochimiques, on peut dire que c'est la lignine qui a une influence positive sur la valeur de l'ISMO car on a constaté que pour les MOEx à forte fraction de LIC (lignine et cutine) comme les déchets de crabe (M-PCT) ou le fumier de bovin (M-FBV) ont des ISMO élevées. C'est sa part de lignine et cutine qui offre à une MOEx sa capacité à être incorporé dans les matières organiques du sol (Parnaudeau et al., 2004).

Par contre, la fraction soluble qui représente la part biodégradable d'une MOEx a une influence négative sur l'ISMO (Lashermes et al., 2009). Ceci est constaté pour la plupart des MOEx, nous pouvons citer les valeurs pour la boue agro-industrielle (R-BP) ou le fumier de porc (M-FPC) où les fractions solubles sont respectivement élevées et faibles et inversement les ISMO sont moindre et importante. Ainsi, une MOEx présentant une part soluble importante est peu capable d'alimenter le stock de matières organiques de sols à long terme.

Ces dernières années, un modèle mécaniste a été mis en place pour prédire les transformations des apports organiques (TAO) dans les sols (Thuriès et al., 2001). Une investigation plus avancée permettant de modéliser la minéralisation des MOEx a été ensuite entreprise sur la base de cette TAO et les fractions biochimiques. (Thuriès et al., 2002; Thuriès et al., 2005). Ces travaux furent les précurseurs de l'établissement de l'ISMO. Toutefois, ces techniques étant lourdes, longues et onéreuses, que de nombreux auteurs se sont tournés vers, une technique plus fiable, rapide et peu coûteuse développée à partir de la spectroscopie proche infrarouge pour la caractérisation de MOEx (produits agro-industriels ((Thuriès et al., 2005), composts (Vergnoux et al., 2009), fumiers (James B. Reeves, 2002), etc.). Tout récemment, la possibilité d'évaluer l'ISMO par la SPIR a été étudiée par Peltre et al, (2010), cette estimation s'est avérée satisfaisante.

Typologie des MOEx françaises métropolitaines vs MOEx tropicales

Comme nos travaux n'ont porté que sur une MOEx par classe donnée, il semble judicieux de les comparer à la plage des ISMO qui a servi à l'élaboration de la typologie des MOEx françaises métropolitaines étudiées par Lashermes et al., 2009.

Nos résultats sont superposés à la carte de distribution des MOEx que Lashermes et al., 2009 a proposée (Figure 5)

Pour la plupart des MOEx tropicales, les valeurs des ISMO se trouvent en dehors des fourchettes délimitées pour chaque classe. Ceci se justifie par la différence des caractéristiques intrinsèques qui existe entre les MOEx d'une classe donnée mais d'origine différente. En effet, les MOEx sont caractérisés par une grande variabilité de composition et de nature (Chabalier et al., 2006). Leur composition s'accorde aux habitudes culturelles, économiques, sociales d'une localité donnée. Les différences entre le niveau de vie et même les saisons ont des répercussions sur la qualité des MOEx (Guermoud et al., 2009).

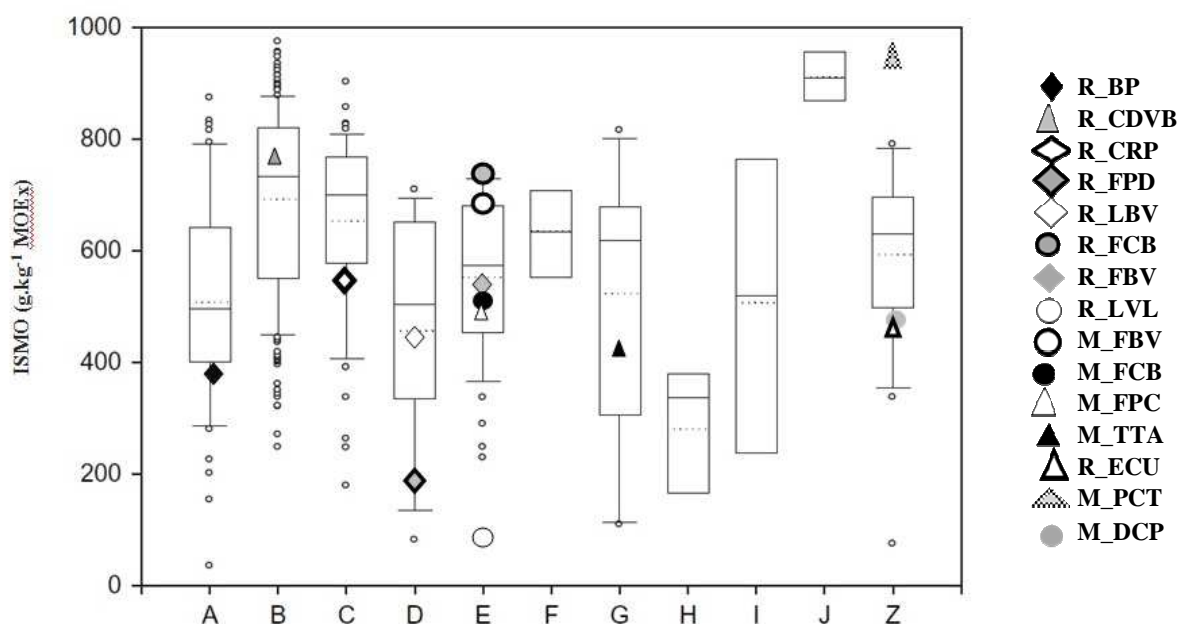


Figure 5 : Superposition des ISMO MOEx tropicales sur la Typologie des MOEx françaises métropolitaines établies à partir de leur ISMO (Lashermes et al., 2009)

Afin de maîtriser le comportement des MOEx en milieu tropical, une adaptation de cette typologie est à envisager. Bien que ceci nécessite une très large gamme de MOEx tropicales, son établissement est indispensable pour une meilleure gestion de leur valorisation agronomique. En effet, cette typologie permettrait d'avoir plus de généralité des résultats et une meilleure prédiction des effets (Houot, 2010).

Conclusion

Nos objectifs étaient de déterminer la valeur amendante de MOEx tropicales à l'aide d'un indicateur de leur potentialité à régénérer le stock de matières organiques des sols : l'ISMO et de comparer ces résultats à la plage des valeurs d'ISMO par classe de MOEx établie à partir de MOEx françaises métropolitaines.

La propriété amendante des MOEx est ainsi directement dictée par leurs caractéristiques intrinsèques : biodégradabilité, proportion soluble, part résistante à la minéralisation.

Une typologie des MOEx tropicales est à établir pour une meilleure orientation de leurs valorisations qui doit dépasser le contexte agronomique et éventuellement se tourner vers une valorisation énergétique.

Remerciements

Nous tenons ici à remercier la Région La Réunion et l'Union Européenne (Fonds Européen de Développement Régional) à travers l'octroi d'une allocation régionale de bourses doctorales, les bailleurs AIRES Sud (Recherches méthodologiques sur la caractérisation des matières organiques du sol et des produits résiduels organiques et leur implication dans les cycles de carbone, azote et phosphore) et ANR-SYSTERRA 2008 (« Intensification écologique des Systèmes de production Agricoles par le Recyclage des Déchets ») ainsi que l'International Foundation for Science à travers leur financement pour les travaux de laboratoire et de terrain.

Bibliographie

- Abiven, S. (2004), Relations entre caractéristiques des matières organiques apportées, dynamique de leur décomposition et évolution de la stabilité structurale du sol, Agrocampus, Rennes, Ecole Doctorale Vie, Agronomie, Santé
- AFNOR, Ed. (2009). Norme française XP U 44-163. Amendements organiques et supports de culture. Caractérisation de la matière organique par la minéralisation potentielle du carbone et de l'azote. Paris, AFNOR.
- AFNOR, Ed. (2009). Norme française XPU 44-162. Amendements organiques et supports de culture – Fractionnement biochimique et estimation de la stabilité biologique. Paris, AFNOR.
- Bernal, M. P., J. A. Albuquerque and R. Moral (2009), Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review, *Bioresource Technology*, 100, 5444-5453.
- Chabalier, P., V. V. d. Kerchove and H. S. Macary (2006). Guide de la fertilisation organique à La Réunion, CIRAD Montpellier
- Francou, C. (2003), Stabilisation de la matière organique au cours du compostage de déchets urbains: Influence de la nature des déchets et du procédé de compostage - Recherche d'indicateurs pertinents, Ecole Doctorale ABIÉS, Paris-Grignon, Institut National Agronomique Paris-Grignon
- Guermoud, N., F. Ouadjnia, F. Abdelmalek, F. Taleb and A. addou (2009), Municipal solid waste in Mostaganem city (Western Algeria), *Waste Management*, 29, 896-902.
- Houot, S. (2010). Recycler les déchets urbains et agricoles en agriculture: comment évaluer les impacts sur le sol. *Forum Sol*, 3 Juin 2010. Versailles, INRA.
- James B. Reeves, I., Jo Ann S Van Kessel (2002), Spectroscopic analysis of dried manures. Near- versus mid-infrared diffuse reflectance spectroscopy for the analysis of dried dairy manures, *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 10, 93-101.
- Kumar, K. N. and S. Goel (2009), Characterization of Municipal Solid Waste (MSW) and a proposed management plan for Kharagpur, West Bengal, India, *Resources, Conservation and Recycling*, 53, 166-174.
- Lashermes, G., B. Nicolardot, V. Parnaudeau, L. Thuriès, R. Chaussod, M. L. Guillotin, M. Linères, B. Mary, L. Metzger, T. Morvan, A. Tricaud, C. Villette and S. Houot (2009), Indicator of potential residual carbon in soils after exogenous organic matter application, *European Journal of Soil Science*, 60, 297-310.
- Linères, M. and J. L. Djakovitch (1993). Caractérisation de la stabilité biologique des apports organiques par l'analyse biochimique. *Matières organiques et agriculture*, France, Actes des 4èmes journées du GEMAS et du 5ème forum du COMIFER.
- Morvan, T., B. Nicolardot and L. Péan (2006), Biochemical composition and kinetics of C and N mineralization of animal wastes: a typological approach., *Biol. Fert. Soils*, 42, 513–522.
- Parnaudeau, V. (2005), Caractéristiques biochimiques de produits organiques résiduels, prédiction et modélisation de leur minéralisation dans les sols., ENSAR, Rennes, ENSAR
- Parnaudeau, V., B. Nicolardot and J. Pagès (2004), Relevance of Organic Matter Fractions as Predictors of Wastewater Sludge Mineralization in Soil, *Journal of Environmental Quality*, 33, 1885-1894.
- Peltre, C. (2010), Potentialité de stockage de carbone dans les sols par apport de matières organiques exogènes, UMR Environnement et grandes cultures, Thiverval-Grignon, AgroParisTech

- Robin, D. (1997), Intérêt de la caractérisation biochimique pour l'évaluation de la proportion de matière organique stable après décomposition dans le sol et la classification des produits organominéraux, *Agronomie*, 17, 157-171.
- Swift, M. J., O. W. Heal and J. M. Anderson (1979). *Decomposition in terrestrial ecosystems*. Oxford, UK.
- Thuriès, L., D. Bastianelli, F. Davrieux, L. Bonnal, R. Olivier and M. Pansu (2005), Prediction by NIRS of the composition of plant raw materials from the organic fertiliser industry and crop residues from tropical agrosystems, *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 13, 187-199.
- Thuriès, L., M. Pansu, C. Feller, P. Herrmann and J. C. Rémy (2001), Kinetics of added organic matter decomposition in a Mediterranean sandy soil, *Soil Biology and Biochemistry*, 33, 997-1010.
- Thuriès, L., M. Pansu, M. C. Larré-Larrouy and C. Feller (2002), Biochemical composition and mineralization kinetics of organic inputs in a sandy soil, *Soil Biology and Biochemistry*, 34, 239-250.
- Vergnoux, A., M. Guiliano, Y. Le Dréau, J. Kister, N. Dupuy and P. Doumenq (2009), Monitoring of the evolution of an industrial compost and prediction of some compost properties by NIR spectroscopy, *Science of The Total Environment*, 407, 2390-2403.