

# Utilisation de composts pour améliorer la stabilité structurale des sols limoneux

M. Annabi (1, 3), Y. Le Bissonnais (2), C. Francou (3), M. Le Villio-Poitrenaud (3), et S. Houot (1)

(1) UMR INRA INA-PG Environnement et Grandes Cultures, 78850 Thiverval-Grignon

(2) UMR ENSA-M-INRA-IRD Interactions Sol-Agrosystème-Hydrosystème 34060 Montpellier

(3) CReeD (Centre de Recherches pour l'Environnement, l'Energie et le Déchet), 78520 Limay

## Préambule

Cet article fait partie du travail de thèse de Mohamed Annabi soutenue le 13 mai 2005 à l'INA-PG. Il ne s'agit ni d'un résumé, ni d'une synthèse de cette thèse. D'autres aspects ont été développés dans celle-ci concernant l'influence de la dose d'apport de composts sur la stabilité des agrégats et le suivi de la dégradation d'un lit de semence en conditions contrôlées de laboratoire et au champ.

## Introduction

Dans les sols limoneux de grandes cultures d'Europe de l'Ouest, l'instabilité de la structure est le principal facteur qui explique leur sensibilité à l'action dégradante des pluies et à l'érosion hydrique. Dans ces sols, la stabilité de la structure est essentiellement contrôlée par la quantité et la nature des matières organiques (MO), étant donnée leur pauvreté en agents de stabilité tel que les argiles ou les sesquioxydes métalliques (oxydes et hydroxydes de fer et d'aluminium). Différents compartiments de MO interviennent dans cette stabilisation de la structure : organismes vivants du sol, polysaccharides, substances humiques, lipides... (Tisdall et Oades, 1982 ; Diné *et al.*, 1991 ; Piccolo, 1996). Ces fractions agissent : (1) en augmentant la cohésion entre les particules solides des agrégats, ce qui améliore leur résistance à l'éclatement lors de leur humectation, et à la désagrégation mécanique sous l'impact de l'énergie cinétique des gouttes de pluie, (2) en diminuant la mouillabilité de la surface des agrégats, ce qui limite aussi leur éclatement lors de leur humectation.

Les pratiques culturales intensives conduisent à la diminution des teneurs en MO des sols limoneux tempérés, accentuant ainsi l'instabilité de leur structure. Pour palier ce risque de dégradation physique, l'apport au sol d'amendements organiques était une pratique culturale classique. Mais dans les zones de grandes cultures, la spécialisation des exploitations agricoles a conduit à la disparition des amendements organiques traditionnels tels que les effluents d'élevage. En zones péri-urbaines, les sols agricoles peuvent bénéficier d'une source importante de matières organiques issues du traitement biologique par compostage des déchets organiques produits par les villes. Le compostage permet l'hygiénisation des déchets traités et la stabilisation de leur matière organique. Le travail de thèse d'où sont extraits les résultats présentés ici, avait pour objectifs : (1) d'étudier la possibilité d'utiliser des composts d'origine urbaine pour stabiliser la structure des sols limoneux ; (2) de relier leur efficacité au type de déchets compostés et au degré de stabilisation de leur MO ; (3) de comprendre les mécanismes intervenant dans l'action des composts.

## Matériels et méthodes

Notre étude s'est déroulée en conditions contrôlées de laboratoire et naturelles de plein champ. A ces deux échelles, les composts proviennent des mêmes plates-formes de compostage, soit :

- un compost de la fraction fermentescible des ordures ménagères (**BIO**) collectée sélectivement et co-compostée en mélange avec des déchets verts<sup>1</sup>.
- un compost d'ordures ménagères résiduelles (**OMR**), issu du compostage d'ordures ménagères résiduelles après collecte sélective des emballages propres et secs (papiers, cartons et contenants plastiques).

La stabilité de la MO des composts est évaluée à partir de l'intensité de la minéralisation de leur C organique au cours d'incubations en conditions contrôlées de laboratoire. Leur degré d'humification est mesuré par extraction des fractions fulviques et humiques (Francou, 2003). Un fractionnement biochimique de type Van Soest est également réalisé pour caractériser la MO des composts.

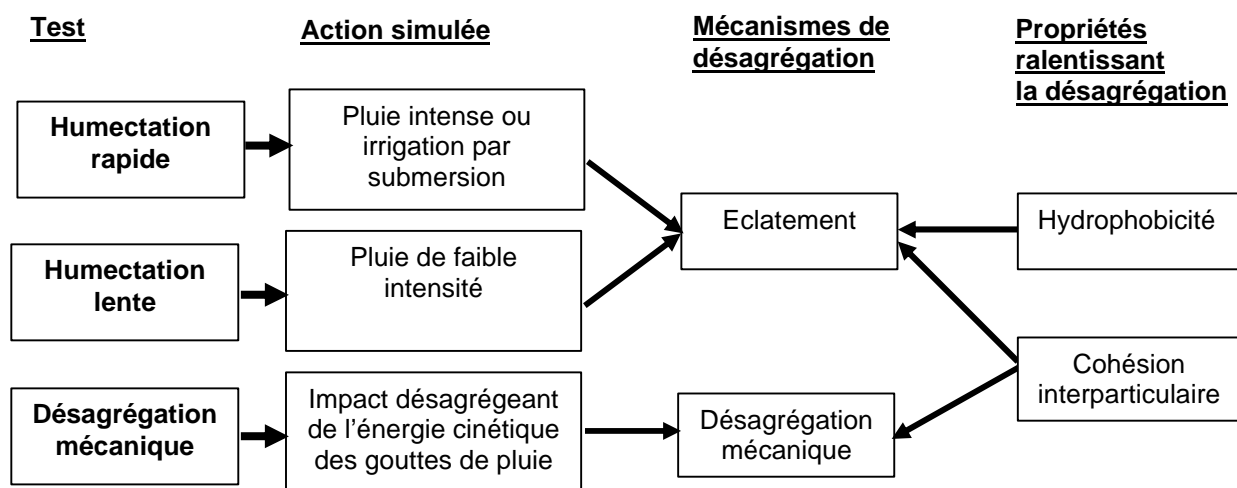
---

<sup>1</sup> Un compost de boue résiduaire urbaine co-compostée avec des déchets verts et des broyats de palettes (DVB) a également été utilisé. Les résultats sont similaires à ceux obtenus avec le compost BIO et ne seront donc pas présentés ici ; tous les résultats sont disponibles dans la thèse. *A noter que l'abréviation « BIO » a été choisie dans le sens de BIOdéchets, et ne signifie pas que ce compost est issu de l'agriculture BIOlogique, ou pourrait être utilisé dans le cadre de l'agriculture biologique (NDLR).*

Au laboratoire : Afin d'évaluer l'influence du degré de maturité des composts sur la stabilisation de la structure d'un sol limoneux [78 % limon, 16 % argile, 6 % sable, et 1 % de carbone organique total (COT), pH<sub>eau</sub> de 6,9], les composts utilisés sont échantillonnés à deux niveaux de maturité contrastés: composts immatures (1 mois de compostage : **BIOi** et **OMRi**) et composts mûrs (6 à 8 mois de compostage : **BIOm** et **OMRm**). Des mélanges constitués de 125 g d'agrégats de sol additionnés de compost apportant l'équivalent de 5,1 g de C (dose équivalente à 19,5 t C.ha<sup>-1</sup>, soit environ 5 fois la dose utilisée classiquement par les agriculteurs) sont placés en incubation à une température adéquate pour une activité microbienne importante (28°C) pendant 336 jours. Trois répétitions par traitement sont réalisées. L'activité microbienne dans les mélanges « sol-compost » est suivie au cours des incubations : biomasse microbienne par fumigation-extraction (Vance *et al.*, 1987), et biomasse fongique par dosage d'ergostérol (Djakirana *et al.*, 1996).

Au champ : Le dispositif expérimental localisé à Feucherolles (Yvelines, Ile de France), a pour objectif d'évaluer les effets à long terme des composts urbains sur les propriétés du sol et la qualité des récoltes (Houot *et al.*, 2002). Les résultats présentés ici concernent les traitements recevant des composts de mêmes types que ceux utilisés au laboratoire, soit les composts **BIOe** et **OMRe** (4 répétitions par traitement). Trois épandages ont été effectués en 1998, 2000 et 2002. Les quantités de COT apportées par les composts BIOe et OMRe sont respectivement de 2,6 et 3,0 t C.ha<sup>-1</sup> en 1998, de 4,4 et 5,3 t C.ha<sup>-1</sup> en 2000 et de 4,5 et 2,6 t C.ha<sup>-1</sup> en 2002.

Evaluation de la stabilité de la structure : Pendant toute la durée des incubations au laboratoire et 19 mois après le premier et le troisième apport au champ (soit une quantité cumulée de C apporté de 11,5 et 10,9 t C.ha<sup>-1</sup> respectivement pour BIOe et OMRe), la stabilité d'agrégats de taille 3 à 5 mm est évaluée selon la méthode de Le Bissonais (Le Bissonais et Le Souder, 1995), méthode actuellement en cours de normalisation par l'AFNOR. Cette méthode comprend trois tests correspondant à différents mécanismes de désagrégation de la surface du sol par l'eau (Figure 1).



**Figure 1** : Mécanismes de désagrégation et de résistance à la désagrégation à la base des 3 tests de la stabilité structurale de Le Bissonais (adaptée de Le Bissonais et Le Souder, 1995).

Après chacun de ces tests, les proportions des classes de taille d'agrégats résiduels sont évaluées par tamisage et

les résultats sont exprimés en termes de diamètre moyen pondéré (DMP) calculé selon  $DMP (mm) = \sum_i^n \bar{x}_i w_i$  ;

avec  $\bar{x}_i$  : diamètre moyen entre deux tamis,  $w_i$  proportion de la masse totale d'agrégats résiduels dans chaque tamis. Plus les agrégats sont résistants à l'action destructive de l'eau et restent de taille importante, plus le DMP est grand, plus la structure du sol est considérée comme stable. Le Bissonais propose un classement de la stabilité de la structure des sols basé sur les valeurs de DMP moyen des 3 tests (Tableau 1).

DMP moyen	< 0,4 mm	0,4 – 0,8 mm	0,8 – 1,3 mm	1,3 – 2,0 mm	> 2,0 mm
Structure	Très instable	Instable	Moyennement stable	Stable	Très stable

**Tableau 1** : Classes de stabilité de la structure des sols d'après la moyenne des DMP des 3 tests de stabilité structurale (Le Bissonais et Le Souder, 1995).

## Résultats

### Caractéristiques de la MO des composts utilisés

Les principales caractéristiques de tous les composts étudiés sont données dans le tableau 2. Les composts échantillonnés à 1 mois de compostage restent très instables, particulièrement OMRi comme le montre l'intensité de leur minéralisation (C-CO<sub>2</sub> de 23,4 et 37,7 %, respectivement pour BIOi et OMRi). Après 6 à 8 mois de compostage, la MO des composts est stabilisée avec moins de 7 % du COT qui se minéralise. Parallèlement à cette stabilisation, la proportion de cellulose+hémicellulose diminue alors que la proportion de soluble augmente, évolution classique des fractions biochimiques des composts (Francou, 2003). La proportion de fraction humique augmente avec la stabilisation de la MO des composts alors que les fractions fulviques diminuent avec la durée de compostage, traduisant une augmentation de l'humification. Les composts apportés au champ ont des caractéristiques proches de celles du compost mûr pour les composts BIOe et sont intermédiaires entre immatures et mûrs pour OMRe.

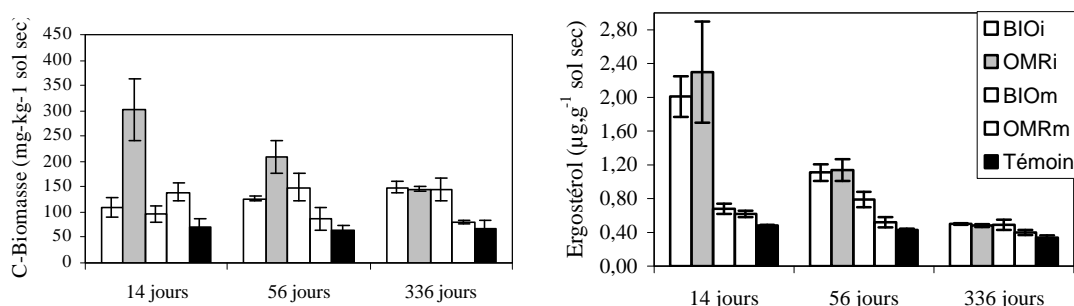
Composts		C (% MS)	N <sub>total</sub> (% MS)	C-CO <sub>2</sub> * (% C)	Substances humiques (% MS)		Fractionnement Van Soest (% MO)		
					Fraction humique	Fraction fulvique	Soluble	Cellulose + Hémicellulose	Lignine
Labora- toire	BIOi	26,0	1,6	23,4	2,4	2,4	33,7	37,8	28,5
	OMRi	22,8	1,4	37,7	1,0	2,8	29,5	52,0	18,5
	BIOm	18,1	1,9	6,9	3,6	0,8	53,9	22,5	25,5
	OMRm	14,8	1,7	5,7	1,4	1,1	61,5	18,5	20,0
Au champ	BIOe 1998	15,8	1,6	8,4	-	-	47,1	24,1	28,9
	OMRe 1998	30,4	2,0	27,8	-	-	50,8	35,5	13,7
	BIOe 2000	17,6	1,2	1,6	-	-	30,2	20,5	49,3
	OMRe 2000	31,3	2,1	28,3	-	-	48,7	31,9	19,4
	BIOe 2002	17,3	1,4	6,4	-	-	43,7	28,7	27,7
	OMRe 2002	27,1	1,6	29,1	-	-	46,8	39,3	14,9

\* Quantité de carbone organique des composts minéralisé après 28 jours d'incubation à 28 ° C en mélange dans le sol.

**Tableau 2 :** Caractéristiques chimiques des composts utilisés au laboratoire et au champ.

### Effet des composts sur l'activité microbienne en conditions contrôlées de laboratoire

Les composts immatures entraînent une augmentation des biomasses microbiennes et fongiques durant les deux premiers mois d'incubation (Figure 2). Ensuite, l'activité microbienne diminue mais reste supérieure à celle du témoin. L'activité microbienne est moins stimulée par rapport au sol témoin en présence des composts mûrs. Cet effet des composts immatures sur l'activité microbienne du sol est lié à la présence de carbone organique facilement minéralisable dans ces composts. L'augmentation de l'activité microbienne est d'autant plus importante que la MO des composts est facilement biodégradable (OMRi>BIOi, voir C-CO<sub>2</sub>, tableau 2). L'activité microbienne augmente avec la biodégradabilité des composts, qui dépend essentiellement de leur richesse en cellulose. La stabilisation de la MO au cours du compostage diminue la biodégradabilité des composts et donc leur effet stimulant sur la microflore des sols.

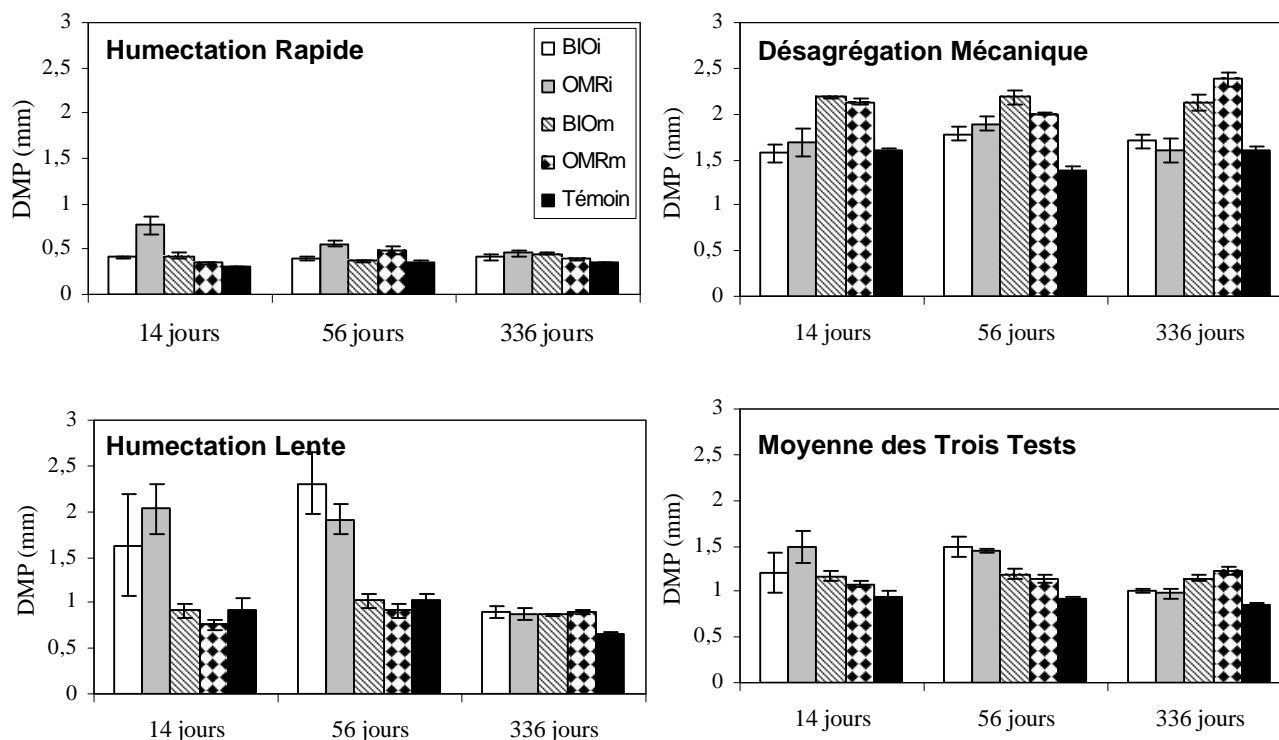


**Figure 2 :** Evolution des biomasses microbiennes et fongiques au cours des incubations.

## Effet des composts sur la stabilité des agrégats en conditions contrôlées de laboratoire

Les niveaux de DMP des mélanges avec composts et du sol témoin (sans apport organique) aux différentes dates d'échantillonnage sont illustrés dans la figure 3. L'apport des deux composts immatures entraîne une amélioration de la résistance des agrégats aux trois tests de stabilité structurale, par rapport au sol seul. Les deux mécanismes de résistance à la désagrégation sont impliqués : (i) augmentation de la cohésion interne qui améliore la résistance à l'éclatement et à la désagrégation mécanique, (ii) augmentation de l'hydrophobicité qui améliore la résistance à l'éclatement (Fig. 1). L'effet du compost OMRi en début d'incubation est plus important que celui du BIOi.

L'apport des composts mûrs n'améliore pas la stabilité des agrégats vis-à-vis des tests d'humectation rapide et lente, mais l'augmente fortement vis-à-vis du test de désagrégation mécanique, avec une efficacité supérieure à celle des composts immatures. Ce test met en évidence l'augmentation de la cohésion interne des agrégats, qui est donc plus importante avec les composts mûrs.



**Figure 3 :** Evolution au cours des incubations des DMP des 3 tests de stabilité des agrégats et des DMP moyens : variation avec le type de compost et leur degré de maturité.

Avec les composts immatures, deux phases sont observées : augmentation rapide de la stabilité, liée à la stimulation de l'activité microbienne par la présence de carbone facilement minéralisable dans ces composts immatures, suivie par une diminution progressive de la stabilité pour atteindre des valeurs finales qui restent supérieures à celles mesurées dans le sol seul. Le rôle de l'activité microbienne dans la stabilisation des agrégats a souvent été évoqué : rôle mécanique des hyphes fongiques, rôle de ciment des agrégats par les polysaccharides sécrétés par la microflore (Tisdall et Oades, 1982). L'augmentation de la stabilité des agrégats suite à l'apport des composts mûrs est plus lente et moins intense qu'avec les immatures, mais persiste au cours du temps. Elle pourrait être due aux quantités plus importantes de substances humiques, de fer et d'aluminium dans les composts mûrs, favorisant la formation des complexes organo-minéraux et la stabilité des agrégats (Piccolo, 1996). En fin d'incubation, la stabilité des agrégats en présence des composts mûrs est légèrement supérieure à celle mesurée en présence des composts immatures.

### Validation au champ

Initialement les parcelles suivies ont un DMP (moyenne des trois tests) de l'ordre de 0,4 mm (tableau 3), ce qui classe le sol comme ayant une structure instable. En 2000 et 2004, on observe une augmentation significative de la stabilité des agrégats dans les deux traitements organiques par rapport au traitement témoin. Celle-ci est plus importante dans le traitement OMRi. Les effets des composts BIOe semblent se cumuler au fur et à mesure des apports.

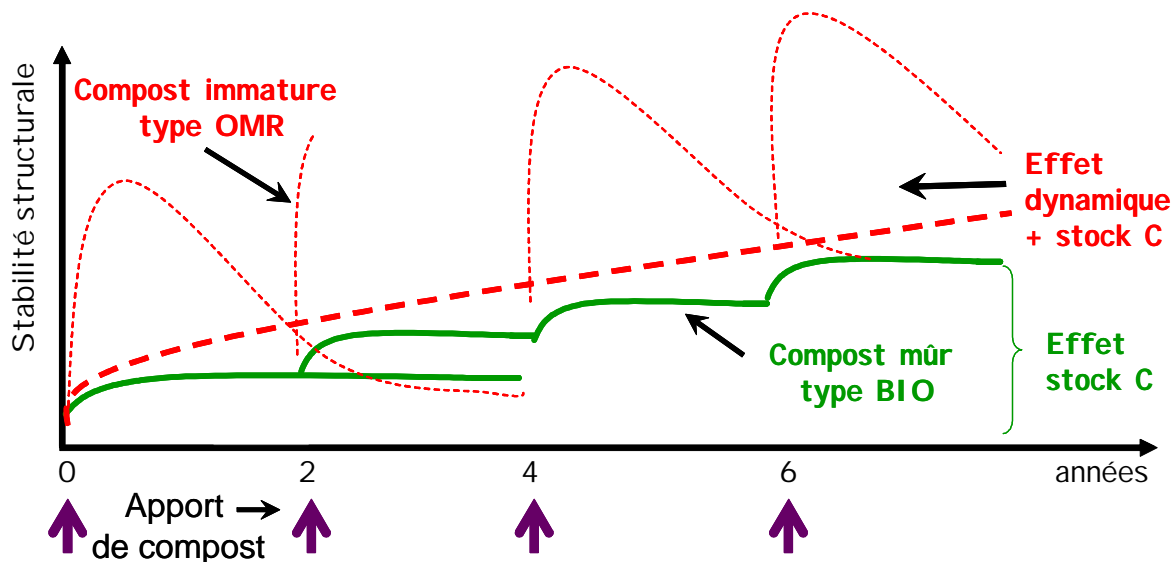
D'après les résultats de minéralisation (C-CO<sub>2</sub> du tableau 2), les composts BIOe sont des composts stabilisés alors que les composts OMRe restent très instables. Les composts OMRe agissent donc plutôt via la stimulation de l'activité microbienne alors que l'effet des composts BIOe serait lié à l'apport de substances humiques. La hiérarchie de l'efficacité des composts apportés au champ sur la stabilité structurale suit le même ordre que celui observé au laboratoire (OMRe>BIOe).

Cependant de fortes variations interannuelles des valeurs du DMP sont observées, y compris dans les parcelles témoins (les niveaux de DMP se multiplient par 2 entre 2000 et 2004), qui peuvent être supérieures aux variations inter-traitements. Cette variabilité pourrait être due à l'action du climat et/ou de l'activité faunique et/ou des racines des plantes cultivées.

		Etat initial			2000 (1 apport)			2004 (3 apports)		
		BIOe	OMRe	Témoin	BIOe	OMRe	Témoin	BIOe	OMRe	Témoin
DMP (mm)	Humectation rapide	0,22	0,25	0,24	0,52	0,55	0,38	0,42	0,46	0,35
	Désagrégation mécanique	0,58	0,63	0,86	0,95	1,05	0,83	1,81	1,86	1,50
	Humectation lente	0,32	0,37	0,32	0,57	0,37	0,35	0,80	0,86	0,61
	Moyenne des 3 tests	0,37	0,42	0,47	0,68	0,78	0,57	1,01	1,06	0,82
DMP relatif	Humectation rapide	0,91	1,04	1	1,36	1,44	1	1,20	1,30	1
	Désagrégation mécanique	0,67	0,73	1	1,14	1,27	1	1,21	1,24	1
	Humectation lente	1,00	1,15	1	1,12	1,43	1	1,30	1,40	1
	Moyenne des 3 tests	0,78	0,89	1	1,19	1,37	1	1,23	1,29	1

**Tableau 3 :** Stabilité des agrégats (DMP en mm et en relatif par rapport au témoin) dans les traitements au champ, à l'état initial, après un apport de composts (2000) et après 3 apports (2004).

A partir de la synthèse des résultats de laboratoire et du champ, les cinétiques d'évolution de la stabilité des agrégats en présence des composts immatures et mûrs peuvent être schématisées comme dans la figure 4 en cas d'applications répétées au champ tous les 2 ans, comme c'est le cas dans l'essai étudié. Sur la base de la fonction de température proposée par Rodrigo *et al.* (1997), les 336 jours d'incubation au laboratoire à 28°C sont équivalents à 4 ans au champ. La stabilité structurale présente de fortes fluctuations en présence des composts imparfaitement stabilisés (compost de type OMRe) et une augmentation plus lente mais régulière en présence des composts mûrs (type BIOe).



**Figure 4 :** Présentation schématique des effets variables des composts sur la stabilisation des agrégats du sol en fonction de leur degré de maturité.

## Conclusion

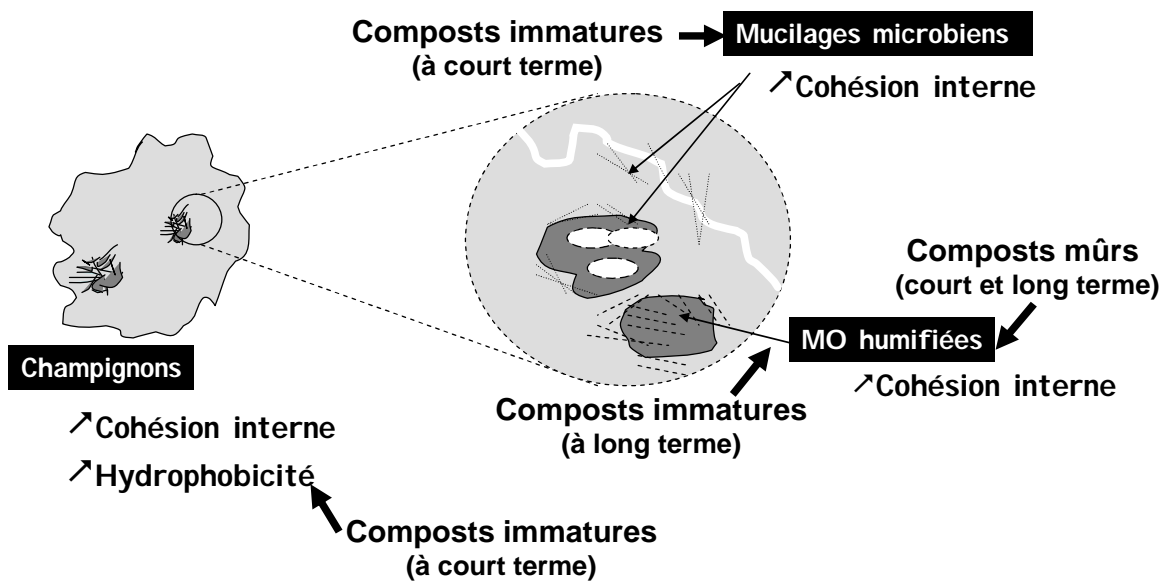
Au laboratoire, tous les composts étudiés améliorent la stabilité de la structure. L'effet positif des **compost immatures** sur la stabilité de la structure est rapide. Il est lié à l'activité microbienne, stimulée par la présence d'une grande quantité de carbone facilement biodégradable. Les composts immatures agissent sur la stabilité des agrégats en augmentant à la fois **leur hydrophobicité et leur cohésion** interne, donc ils améliorent la résistance

des agrégats à l'éclatement en cas de pluie de forte intensité et également leur résistance à la désagrégation mécanique (figure 5).

L'augmentation de la stabilité des agrégats suite à l'apport des composts mûrs est plus lente et moins intense qu'avec les composts immatures mais persistante au cours du temps. Ils augmentent essentiellement la **cohésion** interne des agrégats et dans une moindre mesure leur hydrophobicité, ce qui augmente fortement la résistance à la désagrégation mécanique des agrégats et dans une moindre mesure leur résistance à l'éclatement. L'action des composts mûrs pourrait être due à leur plus grande richesse en substances humiques par rapport aux composts immatures.

Les observations conduites en plein champ ont permis de valider les observations de laboratoire, puisque comme au laboratoire un effet positif des composts a été observé aussi au champ.

En conclusion, l'application en fin d'été début d'automne de composts encore partiellement biodégradables, avant l'implantation d'une culture de printemps, peut être préconisée pour permettre de laisser se développer l'action sur la stabilisation de la structure. On veillera toutefois à atteindre un degré de maturité suffisant pour assurer la bonne hygiénisation des produits. L'application de composts stabilisés pourrait se faire à tout moment dans une optique d'amélioration progressive de la stabilité de la structure d'un sol.



**Figure 5 :** Stabilisation des agrégats du sol par les agents agrégeants organiques (adapté de Robert et Chenu, 1992) : mécanismes d'action des composts en fonction de leur degré de maturité.

## Références

- Diné H., Levesque M., Mehuys G.R., 1991- Effects of long-chain aliphatic compounds on the aggregate stability of a lacustrine silty clay. *Soil Science*, 131: 228-239.
- Djajakirana G., Joergensen R.G., Meyer B., 1996- Ergosterol and microbial biomass relationship in soil. *Biol, Fertil, Soils*, 22: 299-304.
- 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. Thèse de doctorat de l'INAPG: 286P.
- Houot S., Clergeot D., Michelin J., Francou C., Bourgeois S., Caria G., Ciesielski H., 2002- Agronomic value and environmental impacts of urban composts used in agriculture. In *Microbiology of Composting*, H Insam, N Riddech, S Klammer ed. (Springer- Verlag Berlin Heidelberg): 457-472.
- Le Bissonnais Y., Le Souder C., 1995- Mesurer la stabilité structurale des sols pour évaluer leur sensibilité à la battance et à l'érosion. *Etudes et Gestion des Sols*, 2, 43-56.
- Piccolo A., 1996- Humus and Soil conservation- In *Humic Substances in Terrestrial Ecosystems*: 225-264.
- Rodrigo A., Recous S., Neel C., Mary B., 1997- Modelling temperature and moisture effects on C-N transformation in soils: Comparison of nine models. *Ecological Modelling*, 102: 325-339.
- Robert M., Chenu C., 1992- Interactions between soil minerals and microorganisms. In *Soil Biochemistry*. Ed Dekker, Inc, 7: 307-393.
- Tisdall J.M., Oades J.M., 1982- Organic matter and water-stable aggregates in soils. *J. Soil. Sci*, 33: 141-163.
- Vance E.D., Brookes P.C., Jenkinson D.S., 1987- An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil. Biol. Biochem*, 19: 703-707.