

Effet d'apport de différents amendements organiques sur les propriétés du sol

- Bilan de 15 années d'essai en culture légumière à la SERAIL -

Sophie Dragon, Christian Icard

Ont participé à cette étude : chercheurs / experts techniques – Dominique Berry, Daniel Boitez, Frédérique Bressoud, Claire Chenu, Rémi Chaussod, Annie Clay, Bertrand Decoopman, Pauline Defossez, Olivier Demarle, Hervé Gaillard, Yvan Gautronneau, Sabine Houot, Yves Le Bissonnais, Blaise Leclerc, Xavier Leroux, Dominique Massenot, Bernard Nicolardot, Rachida Nouaïm, Christiane Raynal, Guy Richard, Jean Roger-Estrade, Xavier Salducci, Jean-François Vian. Fournisseurs – DISTRISIM, PHALIPPOU, TPA, VG SOL.

En 1995, à la demande des maraîchers de la région Rhône-Alpes, un dispositif expérimental longue durée a été mis en place à la SERAIL dans le but d'évaluer les effets de différents amendements organiques – composts et fumiers – sur les propriétés du sol. En 2009, au terme de l'essai, une étude approfondie des paramètres chimiques, physiques et biologiques du sol a été menée. Quinze années d'essai ont ainsi permis de mieux appréhender les propriétés à court et long terme des produits testés et d'apporter des éléments de choix aux agriculteurs en fonction des problématiques rencontrées.

Rappel : Les amendements organiques sont destinés à l'entretien ou à la reconstitution du stock de matières organiques (MO) du sol et à l'amélioration de ses propriétés physiques et/ou chimiques et/ou biologiques. Ils se différencient des engrais organiques par une teneur en azote, phosphate et potasse inférieure à 3% du produit brut pour chaque élément (Norme AFNOR NFU 44-051).

Contexte de l'essai et dispositif expérimental

La parcelle expérimentale est située à Brindas (ouest de Lyon, région Rhône-Alpes) sur un sol de type sablo-argileux, caillouteux (30 % d'éléments grossiers), développé sur roche mère granitique. En 1995 le pH_{eau} initial était de 6,6 en moyenne et la teneur en carbone organique (C_{org}) était de 12,2 g/kg de terre fine (environ 2,1 % de MO). La parcelle expérimentale est conduite en planches permanentes selon une rotation légumière¹ (biologique depuis 1999).

Le dispositif en bloc de type split plot à trois répétitions compare cinq amendements organiques à un témoin sans apport :

- un fumier de bovin frais,
- un fumier de bovin déshydraté sous forme de granulés de même origine que le fumier frais,
- un compost de déchets verts (DV),
- un compost d'écorces enrichi en fumier de volaille, lisier et algues,
- un compost de tourteaux de café enrichi en bourres de laine et fumier de mouton.

Deux doses d'apport ont été différenciées (Tableau 1 page suivante) :

- la dose « Equivalent Carbone » (EqC) vise à apporter l'équivalent en carbone de 30 t/ha de fumier frais qui sert de référence. La composition du fumier pouvant beaucoup varier d'une année sur l'autre, une limite maximale de 3 t de carbone/ha/an a été fixée.
- la dose « Equivalent Humus » (EqH) vise à apporter l'équivalent en humus de 30 t/ha de fumier frais. La quantité d'humus apportée par chaque amendement est calculée à partir de leurs Indices de Stabilité Biologique (ISB) respectifs. La différenciation de cette deuxième dose est effective depuis 1999.

Notons que cela se traduit par des doses EqC et EqH équivalentes pour le fumier frais et le fumier déshydraté. Les amendements sont apportés chaque année au printemps avant la première mise en culture. Ils sont enfouis à la rotobèche sur 30 cm de profondeur. Pour chaque modalité « amendement » de la dose EqH, deux conduites azotées différentes sont réalisées : d'une part, un apport d'azote selon sa disponibilité au sol et les besoins de la culture, et d'autre part aucun apport d'azote pour mieux appréhender le potentiel fertilisant azoté de chaque produit. Afin de s'affranchir des différences de fourniture en éléments fertilisants des amendements, un rééquilibrage en P, K, Mg et Ca est réalisé chaque année, sur la base de l'amendement le plus riche et avec une limite de 100 unités/ha/an pour la magnésie et 600 unités/ha/an pour la chaux.

¹ Rotation : Laitue-navet-engrais vert (blé), poireau, Laitue-navet-engrais vert (blé), poireau, carotte, chou-engrais vert (blé), laitue-épinard, blette, poireau, carotte, laitue, céleri branche, chou, poireau, carotte.

Tableau 1 : Apports moyens annuels (t/ha) pour chaque amendement et chaque dose d'apport

	Quantité de produit		Quantité de carbone organique		Quantité d'humus	
	EqC	EqH	EqC	EqH	EqC	EqH
Fumier frais	28,2	28,2	2,6	2,6	2,6	1,7
Fumier déshydraté	7,5	7,8	2,6	2,7	2,7	1,7
Compost déchets verts	23,1	14,7	2,6	1,6	1,8	1,7
Compost écorce enrichi	25,3	19,1	2,6	2,1	2,0	1,7
Compost tourteaux enrichi	10,7	6,2	2,6	1,5	1,7	1,7

EqC = dose « Equivalent Carbone », visant à apporter l'équivalent en carbone de 30 t/ha de fumier frais (référence)

EqH = dose « Equivalent Humus », visant à apporter l'équivalent en humus de 30 t/ha de fumier frais (calculée à partir des ISB)

Caractéristiques des amendements étudiés

On distingue globalement deux grands types de produits : les trois composts, riches en lignine (dosée selon Van Soest) et de ce fait *a priori* stables (ISB élevé), et les fumiers (frais et déshydraté) plus rapidement dégradables. Les granulométries sont très variables selon les amendements, allant de blocs très grossiers pour le fumier à de la poudre pour les composts d'écorces et de tourteaux (Tableau 2).

Tableau 2 : Composition moyenne et ISB des amendements organiques (moyenne sur 15 ans)

	Fumier de bovin	Fumier de bovin déshydraté	Compost DV	Compost d'écorces enrichi	Compost de tourteaux de café enrichi
N	5,9 (1,1)	16,5 (2,7)	8,4 (2,7)	10,4 (1,4)	19,5 (6,0)
P2O5	2,8 (0,7)	9,9 (2,4)	3,8 (0,8)	8,1 (2,2)	10,1 (2,8)
K2O	8,4 (2,3)	28,2 (4,1)	7,6 (2,9)	10,3 (3,7)	18,2 (9,0)
MgO	1,4 (0,4)	4,9 (0,9)	3,8 (0,7)	5,4 (1,4)	23,0 (4,6)
CaO	6,4 (2,6)	22,4 (7,9)	24,2 (11,3)	36,6 (4,4)	49,4 (9,5)
C/N	16,8 (3,5)	22,5 (6,2)	16,1 (7,2)	11,1 (2,4)	14,4 (4,2)
ISB	35 (9)	33 (5)	76 (13)	50 (8)	85 (12)
Granulométrie	Très grossière	0,7 x 1,5 cm	Grossière	Très fine	Très fine
Fraction biochimique en % de MO					
■ Fraction soluble ■ Hémicellulose ■ Cellulose ■ Lignine (Dosage Van Soest)					

Influence des amendements sur le statut organique du sol

La teneur en carbone organique (C_{org}) a été mesurée en début de printemps (avant l'épandage annuel des amendements) sur des échantillons prélevés sur 30 cm de profondeur. Un fractionnement granulométrique de la MO du sol a également été effectué sur les mêmes échantillons. Le fractionnement permet de distinguer trois classes de MO : les matières organiques particulaires grossières (MOPg, 2000-200 μ m), les matières organiques particulaires fines (MOPf, 200-50 μ m) et les matières organiques humifiées (MOH, < 50 μ m). Les MOPg sont généralement considérées comme des MO libres ayant un temps de résidence court dans le sol, les MOH sont

fortement liées à la matière minérale et ont un temps de résidence long, alors que les MOPf sont protégées temporairement de la dégradation grâce à leur localisation au sein des agrégats.

Tous les amendements permettent d'augmenter la teneur en C_{org} du sol. Après 15 années d'apports annuels, ce sont les parcelles ayant reçu les composts de DV et d'écorces qui présentent les teneurs les plus élevées en C_{org} (équivalent à environ + 1 % de MO par rapport à 1995). Le fumier frais, le fumier déshydraté et le compost de tourteaux de café ont entraîné une augmentation moins importante (+ 0,5 % de MO). Ainsi, contrairement à ce que semblait indiquer son ISB très élevé, ce n'est pas le compost de tourteaux de café qui permet d'augmenter le plus le statut organique du sol.

La grande majorité de la MO apportée par les amendements qui n'a pas été minéralisée a été humifiée sous forme de MOH, à l'exception de celle apportée par le compost de tourteaux de café. Cet amendement alimente plutôt le compartiment des MOPg (Figure 1).

Dans l'ensemble, la dose d'apport (EqC vs EqH) n'a pas d'influence significative sur la teneur en C_{org} , hormis pour le compost de DV (Figure 1).

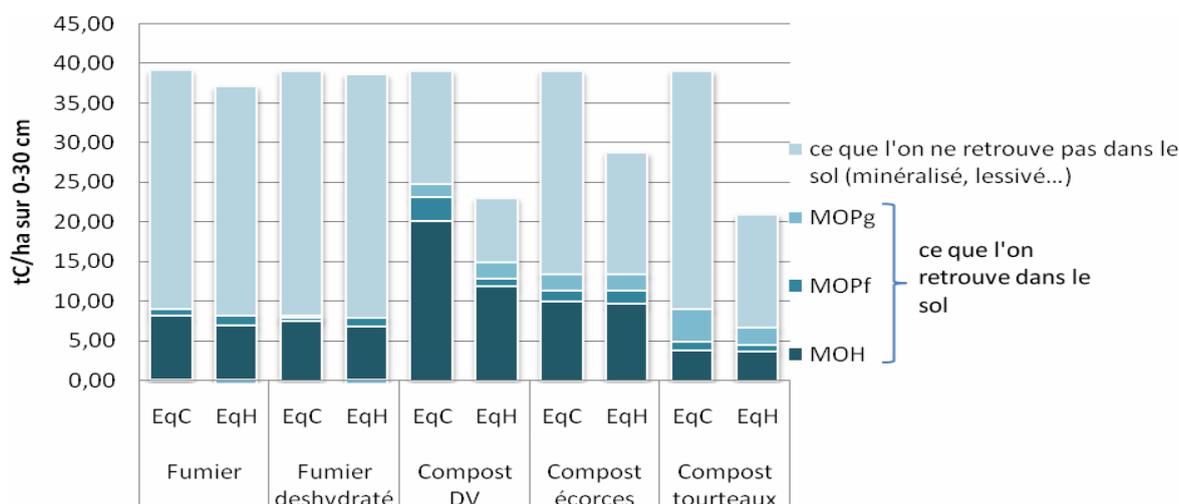


Figure 1 : Apports totaux et devenir de la MO en 15 ans (MOPg = matières organiques particulières grossières (2000-200 μ m), MOPf = matières organiques particulières fines (200-50 μ m), MOH = matières organiques humifiées (< 50 μ m))

Influence des amendements sur la composante chimique du sol

Le compost de DV, le compost d'écorces et le compost de tourteaux de café, qui sont les produits les plus riches en calcium, ont un effet alcalinisant sur le sol. En revanche, le fumier frais et le fumier déshydraté n'ont pas d'effet statistiquement significatif sur le pH. L'augmentation de la Capacité d'Echange Cationique (CEC) est en lien direct avec celle du pH et du taux de MO, en particulier humifiée. De ce fait, ce sont le compost de DV et le compost d'écorces qui améliorent le plus la CEC. Les fumiers ont l'effet le moins marqué et le compost de tourteaux de café est en position intermédiaire. Les mesures de teneurs en Eléments Trace Métalliques (ETM) dans les amendements et dans le sol n'ont pas révélé de dépassement des seuils de tolérance (norme NF U 44-051 pour les amendements organiques et Décret du 8 décembre 1997 pour le sol). Les fluctuations des concentrations en ETM semblent principalement liées à d'autres sources que les amendements : atmosphère, eau d'irrigation, etc. En effet, l'évolution de la teneur en ETM dans le sol témoin entre 2001, 2005 et 2009 est globalement identique à celle des sols amendés.

Bien qu'appartenant à la classe des amendements, certains produits testés peuvent avoir un effet fertilisant non négligeable. Grâce à la présence de matières fermentescibles riches en azote dans leur composition, le compost de tourteaux et le compost d'écorces sont les amendements qui apportent en moyenne le plus d'azote rapidement disponible. Le compost de DV est celui qui en apporte le moins et le fumier est en position intermédiaire. Le caractère fertilisant du fumier varie toutefois selon les années (composition hétérogène).

Influence des amendements sur la biomasse microbienne

Des mesures de biomasse microbienne ont été réalisées en début de printemps (avant le 15^{ème} épandage des amendements) sur des échantillons prélevés sur 30 cm de profondeur. La minéralisation du carbone et de l'azote en conditions contrôlée (28 jours, 28°C) a également été mesurée.

Tous les amendements permettent d'augmenter la taille de la biomasse microbienne du sol par rapport au témoin. Ce sont le fumier frais et le fumier déshydraté qui ont l'effet le plus favorable. Les composts de DV et d'écorces ont

l'effet le moins marqué. Le compost de tourteaux de café est en position intermédiaire. On suppose néanmoins que l'action intense des amendements rapidement dégradables (fumier, compost de tourteaux) sur la biomasse est relativement peu persistante dans le temps (environ 1 an). Pour les trois composts, l'augmentation de la dose d'apport (EqC vs EqH) permet d'augmenter la taille de la biomasse microbienne. La fertilisation azotée a également un effet favorable.

La minéralisation du carbone du témoin est, fort logiquement, inférieure à ce qui est observé dans les modalités avec amendement. Elle varie en fonction des produits et de leur dose d'apport. Lorsqu'ils sont apportés à forte dose (EqC), ce sont les trois composts qui engendrent les plus importants dégagements de CO₂, alors qu'à la dose EqH, les fumiers frais et déshydraté arrivent en tête. Il apparaît que la minéralisation du carbone dépend entre autre de la teneur en MO du sol et de la taille de la biomasse microbienne. Si on rapporte la quantité de CO₂ dégagée à la quantité de carbone présente dans le sol de chaque modalité, c'est pour le fumier, le fumier déshydraté et le compost de tourteaux que la minéralisation est la plus forte. C'est donc grâce à un taux de carbone du sol plus élevé que la minéralisation est supérieure pour le compost de DV et le compost d'écorces apportés à forte dose, malgré une quantité de biomasse plus faible.

La minéralisation de l'azote est également significativement plus importante sur les parcelles amendées que sur la parcelle témoin. En revanche, les modalités amendées ne se différencient pas statistiquement les unes des autres. Par ailleurs, les parcelles recevant un engrais azoté présentent une minéralisation de l'azote significativement supérieure aux parcelles non complémentées en azote.

Influence des amendements sur les propriétés physiques du sol

Etat structural – Les profils culturaux observés à l'automne, cinq mois après le dernier apport d'amendements, ont montré que l'état structural des sols amendés est meilleur que celui du sol témoin, avec moins de mottes compactées. Les observations réalisées au printemps, neuf mois après le dernier apport, vont dans le même sens, avec un état structural néanmoins un peu inférieur pour la modalité fumier par rapport aux autres modalités amendées. En 2009, une culture de carottes a été implantée dans le but d'étudier la forme de leurs racines et le rendement commercial (excluant les carottes tordues, fourchues, fendues, trop courtes). Ces paramètres sont en effet considérés comme de bons indicateurs de l'état structural du sol. Mais cette année, le rendement commercial est équivalent sur toutes les parcelles. En 1999, l'étude des résultats culturaux sur carottes avait toutefois révélé une amélioration statistiquement significative du rendement commercial (racines bien formées) d'autant plus importante que la source organique utilisée influait positivement sur le taux de matière organique. Le compost de DV, le compost d'écorces, et dans une moindre mesure le compost de tourteaux donnaient ainsi de meilleurs résultats que les fumiers. Cette année là, le travail du sol avait été réalisé en conditions humides et difficiles, contrairement à 2009 où les conditions étaient optimales. L'influence des amendements sur le rendement commercial en lien avec l'état structural du sol ne serait perceptible qu'en conditions de travail du sol difficiles.

Stabilité structurale – Des tests de stabilité structurale ont été réalisés selon la méthode décrite par Le Bissonais et Le Souder (1995) en début de printemps. Il ressort de ces tests que, neuf mois après le 15^{ème} apport d'amendement, ce sont les fumiers frais et déshydraté qui confèrent au sol la meilleure stabilité structurale. Les trois composts auraient une action moins prononcée. Notons néanmoins que les différences entre les produits sont très faibles et non statistiquement significatives. C'est l'effet des amendements sur la biomasse microbienne du sol qui semble différencier ces derniers (corrélation statistiquement significative entre la biomasse et la stabilité structurale, $r^2 = 0,6$, $p < 0,05$). La biomasse, favorisée notamment par les apports de fumiers, produirait en effet des composés glucidiques qui agissent fortement sur l'agrégation des particules de sol. Toutefois, il semblerait que cet effet des fumiers dû à la biomasse microbienne ne soit pas durable dans le temps (pas plus d'une année culturale). Les composts agiraient plutôt sur la stabilité structurale directement grâce à la MO stable qu'ils apportent, qui aurait un effet protecteur. Cet effet serait moins intense mais plus durable dans le temps.

Résistance au compactage – La résistance du sol au tassement a été évaluée grâce à des tests oedométriques qui permettent de modéliser le phénomène de compactage par les engins agricoles. Ces tests ont été effectués sur des échantillons prélevés en début d'été sur 30 cm de profondeur. Il ressort de ces tests que pour une humidité du sol relativement élevée (20 %), le compost de DV et le fumier frais permettent d'améliorer la résistance du sol au compactage un mois après leur épandage. Cela est valable pour les contraintes de pression couramment appliquées en maraîchage. Cet effet serait lié à la granulométrie élevée de ces produits qui conférerait une certaine élasticité au sol. En revanche, le compost de tourteaux de café qui est sous forme de poudre n'aurait pas d'effet bénéfique dans les domaines de pressions rencontrés en maraîchage (remarque : le compost d'écorces et le fumier déshydraté n'ont pas été testés pour cet indicateur).

Capacité de rétention en eau – Pour un potentiel de l'eau proche de celui de la capacité au champ ($pF = 2,5$), tous les amendements permettent d'augmenter significativement la réserve utile du sol. Les teneurs en eau les plus élevées sont obtenues avec le compost de DV, le compost d'écorces, le fumier et le fumier déshydraté. Le compost de tourteaux se situe en position intermédiaire entre le témoin et les autres amendements. On relève également un effet de la dose d'apport, en faveur de la dose « forte » EqC.

Conclusion

Les résultats de cet essai permettent d'apporter des éléments de choix aux maraîchers quant au type et à la dose d'amendement à utiliser. On distingue globalement trois groupes de produits parmi les amendements testés : les produits « stables » (compost de DV et d'écorces), les produits plus rapidement dégradables (fumiers frais et déshydraté), et le compost de tourteaux de café qui a un comportement intermédiaire. Les préconisations d'utilisation doivent être réalisées au regard du type de sol, du système de culture et de la problématique rencontrée. De manière générale, on peut néanmoins conseiller d'associer l'utilisation de produits stables comme le compost de DV et de produits plus fermentescibles comme le fumier afin de bénéficier de leurs effets complémentaires. Dans la mesure du possible, les amendements rapidement dégradables seront apportés chaque année (effet intense mais peu durable dans le temps). Les produits plus stables pourront être apportés tous les deux à quatre ans. Selon la problématique rencontrée, on privilégiera un amendement plutôt qu'un autre, par exemple, un produit fermentescible pour améliorer rapidement un problème de stabilité structurale, un compost végétal pour augmenter la CEC, etc. La dose d'apport devra être raisonnée en fonction du type de sol (notamment sa granulométrie), de sa teneur initiale en MO et des pertes de MO potentielles. On ne visera par exemple pas le même objectif de teneur en MO selon que l'on se trouve en sol argileux ou en sol sableux. Les apports appliqués dans cet essai peuvent néanmoins donner un ordre de grandeur de référence pour un sol à texture moyenne. Le tableau ci-dessous présente de manière simplifiée les principaux résultats de l'étude et peut servir de base de raisonnement dans le choix des amendements.

	Fumier de bovin	Fumier déshydraté	Compost de DV	Compost d'écorces enrichi	Compost de tourteaux de café enrichi	"Effet dose d'apport" (EqC vs EqH)
Taux d'humus du sol	+	+	++	++	+	non
Biomasse microbienne	++	++	+	+	++	oui
Minéralisation C	++	++	+	+	+	oui
Minéralisation N	+	+	+	+	+	non
pH	0	0	+	+	+	non
CEC	+	+	++	++	+	non
Etat structural	+	+	+	+	+	non
Stabilité structurale	(++)	(++)	(+)	(+)	(+)	non
Résistance au compactage	+	Non testé	+	Non testé	0	Non testé
Réserve utile	++	++	++	++	+	oui
Effet fertilisant (N)	+	+	0	++	++	

0 : pas d'effet par rapport au témoin

+: effet positif par rapport au témoin

++ : effet très positif par rapport au témoin

() : effet non statistiquement significatif (tendance)

Pour en savoir plus

DRAGON S., 2009. Effet d'apports de différents fumiers et composts sur les propriétés d'un sol sablo-argileux. Bilan de 15 années d'essai en culture légumière. Mémoire de fin d'études Agrocampus Rennes. 58 pages.

DEMARLE O. et VIAN J.F. : Effets de différentes sources organiques sur les propriétés d'un sol sableux argileux – 10 ans d'essai en culture légumière à la SERAIL, mémoire de fin d'étude ISARA-Lyon 2004.

BERRY D., THICOÏPE JP. 2001. Les amendements organiques : Premier bilan des effets fertilisants. Infos-ctifl. n° 171. p 34 à 37.

BERRY D., THICOÏPE JP., NOUAIM R., CHAUSSOD R. 2003. Les amendements organiques en culture légumière : Influence sur l'activité biologique des sols. Infos-ctifl. n° 190. p 50 à 53.

JOUBE B. 1999. Evaluation des effets d'amendements organiques sur certaines propriétés physiques de sols maraîchers : suivi de l'expérimentation de la SERAIL. Mémoire de fin d'étude ISARA-Lyon. 85 p.

JOUBE B., BERRY D., GAUTRONNEAU Y., ROGER-ESTRADE J., ROBIN P., RICHARD G., THICOÏPE JP. 2000. Fertilité d'un sol maraîcher : une étude de la SERAIL. Infos-ctifl. n°162. p 36 à 41.

LE BISSONNAIS Y., LE SOUDER C., 1995. Mesurer la stabilité structurale des sols pour évaluer leur sensibilité à la battance et à l'érosion. Etude et Gestion des sols, 2,1, 43-56.