

Recensement des études et expérimentations existantes sur l'utilisation des composts en région méditerranéenne ;

- synthèse des résultats et analyse -

Première édition - juin 2009

Blaise Leclerc, Orgaterre



Table des matières

page :

Liste des tableaux	3
Liste des figures	3
Liste des cartes	3
Introduction	4
Première partie : recensement des références disponibles	5
1.1 Les documents de synthèse	5
1.2 Les sites consultés	7
1.3 Conclusion sur les références bibliographiques disponibles	7
Seconde partie : synthèse des données, état des connaissances	9
2.1 Besoins des sols méditerranéens en MO	10
2.2 Entrée par types de composts	13
Composts de déchets verts	14
Composts de boues	19
Composts de biodéchets des ménages	24
Composts d'ordures ménagères	26
Autres composts	27
Conclusion sur la typologie des composts	28
2.3 Entrée par critères de valeur agronomique	29
Teneur en matière organique	29
Caractérisation de la MO (ISB et ISMO)	29
Test de maturité	31
Propriétés des sols liées à la présence de matière organique	31
Azote	33
Phosphore	34
Principaux cations (K, Ca, Mg)	35
Critères d'innocuité	36
Conclusion sur la valeur agronomique des composts	38
2.4 Entrée par systèmes de cultures	39
Grandes cultures	39
Viticulture	39
Arboriculture	40
Maraîchage	40
Reconstitution de sol	41
Forêt	42
Conclusion sur les besoins des filières de production en compost	42
Conclusion générale	43
Annexe 1 : fiches des articles les plus pertinents	44
Annexe 2 : références bibliographiques complètes	72

Liste des tableaux

page :

Tableau 1	Documents de synthèse exploités pour ce rapport	5
Tableau 2	Caractéristiques agronomiques des composts de déchets verts	15
Tableau 3	Teneurs en éléments traces métalliques des composts de déchets verts	16
Tableau 4	Caractéristiques agronomiques des composts de boues	20
Tableau 5	Teneurs en éléments traces métalliques des composts de boues	21
Tableau 6	Somme des moyennes des 7 PCB des échantillons de composts des plates-formes traitant des boues selon la taille de l'exploitation	21
Tableau 7	Caractéristiques agronomiques des composts de biodéchets des ménages	25
Tableau 8	Teneurs en éléments traces métalliques des composts de biodéchets des ménages	25
Tableau 9	Caractéristiques agronomiques des composts d'ordures ménagères	26
Tableau 10	Teneurs en éléments traces métalliques des composts d'ordures ménagères	26
Tableau 11	Teneur en matière organique, en % de la matière sèche, des 4 principales catégories de composts d'origine urbaine	29
Tableau 12	ISB des 4 principales catégories de composts d'origine urbaine	29
Tableau 13	Résultats statistiques (test de Student, $\alpha < 5\%$) des tests cresson réalisés sur les composts en fonction du type de déchets entrants (ADEME Angers, 2007)	31
Tableau 14	Teneur en azote total, rapport azote minéral / azote total, et minéralisation de l'azote organique, des 4 principales catégories de composts d'origine urbaine	34
Tableau 15	Teneur en P_2O_5 , en g/100 g de la matière sèche, des 4 principales catégories de composts d'origine urbaine	35
Tableau 16	Teneur en K_2O , en g/100 g de la matière sèche, des 4 principales catégories de composts d'origine urbaine	35
Tableau 17	Teneur en calcium, en g/100 g de la matière sèche, des 4 principales catégories de composts d'origine urbaine	35
Tableau 18	Teneur en magnésium, en g/100 g de la matière sèche, des 4 principales catégories de composts d'origine urbaine	36
Tableau 19	Teneur en ETM, en g/100 g de la matière sèche, des 4 principales catégories de composts d'origine urbaine	36
Tableau 20	Non-conformité NF U 44-051 en fonction des critères	37
Tableau 21	Non-conformité NF U 44-095 en fonction des critères	37
Tableau 22	Éléments favorables et éléments défavorables de l'utilisation des principaux types de composts	43

Liste des figures

Figure 1	Importance du tonnage des déchets verts dans les 100 plates-formes auditées en 2006 (matière brute)	14
Figure 2	Répartition des structurants sur les installations de compostage de boues au niveau national (en t 2005)	20
Figure 3	Présentation schématique des effets variables des composts sur la stabilisation des agrégats du sol en fonction de leur degré de maturité	32
Figure 4	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	33

Liste des cartes

Carte 1	Teneurs en carbone organique des sols français	10
Carte 2	Comparaison des teneurs en carbone organique entre la période [1995 -> 1999] et la période [2000 -> 2004]	11
Carte 3	Nature et quantité de déchets compostés par département de la région Provence Alpes Côte d'Azur	13
Carte 4	Tonnes de déchets traités (2005 – 52 % de plates-formes renseignées en moyenne nationale)	19
Carte 5	Niveau des teneurs en phosphore par canton	34

Introduction

Ce document a été réalisé dans le cadre de la Mission d'animation régionale de la filière compostage, mise en place en 2008 avec le soutien de la délégation régionale de l'ADEME et le Conseil Régional Provence Alpes Côtés d'Azur, et coordonnée par les bureaux d'études GERES, Ecotechnologie et Orgaterre.

L'objectif de ce document est de fournir un point scientifique et technique sur l'utilisation des composts en région méditerranéenne, notamment concernant leur valeur agronomique. Des essais ont eu lieu ces dernières décennies, avec des composts variés et dans différentes conditions de cultures, qui ne sont pas toujours valorisés.

Nous avons procédé en deux temps :

- un recensement des références disponibles (première partie),
- une synthèse de l'état des connaissances (seconde partie).

Limites du champ étudié

Au niveau géographique, nous nous sommes concentrés sur la zone méditerranéenne, et non sur l'ensemble du territoire administratif couvert par la région Provence Alpes Côte d'Azur. En effet c'est essentiellement dans la zone climatique méditerranéenne qu'il est nécessaire d'obtenir des références, car la minéralisation des matières organiques apportées au sol est intense, et les gisements de matières organiques moins importants. En zone de montagne (la partie Nord de la région), les apports organiques sont quantitativement moins nécessaires, et les sources de matières organiques plus importantes (effluents d'élevages).

S'agissant de mieux connaître la filière compostage essentiellement issue des plates-formes de capacité importante, les efforts de recueil de références ont porté en priorité sur les catégories suivantes :

- composts de déchets verts,
- composts de boues,
- composts de biodéchets des ménages,
- composts d'ordures ménagères.

Les références concernant les autres types de composts, notamment les composts d'effluents d'élevage, ont surtout été utilisées à titre de comparaison, mais n'ont pas fait l'objet d'une recherche bibliographique ni d'une synthèse poussées dans le cadre de ce travail.

Un suivi des travaux

La Mission d'animation régionale de la filière compostage a pour ambition de prendre un caractère pérenne. Dans le cadre de cette mission, il sera donc important de suivre les expérimentations ou recueils de références en cours et à venir, dans le but de mettre régulièrement à jour les données proposées dans ce document. Pour nous y aider, n'hésitez pas à nous contacter pour nous faire part de l'évolution de vos travaux.

Première partie : recensement des références disponibles

Ce recensement s'appuie sur l'exploitation d'un ensemble de documents de synthèse réalisés ces dernières années, complété par des recherches bibliographiques effectuées à partir de différents fonds documentaires.

1.1 Les documents de synthèse

Dans le tableau 1 nous avons listé les principaux documents de synthèse utilisés.

Tableau 1 : Documents de synthèse exploités pour ce rapport.

Année	Titre	Remarques
1997	bibliographie réalisée pour la formation ADEME-APCA « valeur agronomique des composts »	65 références exploitables
2000	Composts de boues de stations d'épuration municipales : qualité, performances agronomiques et utilisations	75 fiches bibliographiques sur les composts de boue
2001	Fertiliser avec des engrais de ferme	document inter instituts (Institut de l'Élevage, ITAVI, ITCF, ITP)
2001	Guide des Matières Organiques	édité par l'ITAB
2002	Inventaire national des essais agronomiques réalisés avec des matières organiques et minérales d'origines urbaines et industrielles	Document ADEME, 136 fiches dont 7 en PACA (composts de boue)
2003	Aperçu de la qualité des composts français issus d'ordures ménagères en 2003	1 échantillon par PF, 62 PF
2003	Aperçu de la qualité des composts de biodéchets français en 2003	1 échantillon par PF, 25 PF
2005	Effet sur le sol et le stockage du carbone des apports de matières organiques issues de déchets	Effet des MO sur les propriétés des sols
2007	Audit des plates-formes de compostage de déchets organiques en France	Image récente du parc des plates-formes de compostage en France (100 PF auditées)

Apport de ces documents pour notre recherche bibliographique :

- **Bibliographie réalisée en 1997 pour la formation ADEME-APCA « valeur agronomique des composts »**

En 1997 Orgaterre avait réalisé une première recherche bibliographique dans le cadre d'une formation co-organisée par l'ADEME et l'APCA sur la valeur agronomique des composts. Cette recherche bibliographique avait permis d'identifier 190 références. Il avait été constaté que les sources d'information sur la valeur agronomique des composts étaient très hétérogènes quant à leur forme (articles scientifiques, comptes rendus d'expérimentation, de journées techniques, rapports et mémoires d'études, etc.) et leur origine. A noter que beaucoup de ces références sont dépassées, notamment en raison d'études plus récentes sur les produits concernés. Ainsi sur les 190 références réunies en 1997, 65 sont utilisés dans le cadre de cette étude (nous n'avons pas traité non plus les références concernant les composts de déjections animales).

- **Composts de boues de stations d'épuration municipales : qualité, performances agronomiques et utilisations**

L'épuration des eaux usées municipales génère en France, chaque année, 850 000 tonnes de matière sèche de boues résiduaires dont 60 % sont valorisées par épandage agricole, et environ 2 % seulement sont compostées. Après avoir longtemps stagné, essentiellement pour des raisons économiques, le compostage des boues d'épuration devrait se développer avec le renforcement des contraintes réglementaires, l'évolution des sensibilités en faveur de l'environnement et l'acceptation du prix à payer pour mieux traiter les déchets. Afin d'accompagner cette évolution, le document propose un état des connaissances acquises sur les diverses utilisations agronomiques des composts de boues, ainsi que leurs impacts sur les sols et les plantes. Il rassemble une importante bibliographie présentée sous forme de fiches de lecture résumées.

- **Fertiliser avec des engrais de ferme**

C'est un document de références (Bodet *et al.*, 2001) sur la valeur agronomique des engrais de fermes, qu'il s'agisse de lisiers, de fumiers bruts ou compostés. Les chiffres de teneurs en éléments et leurs disponibilités ont été obtenus après enquêtes et/ou expérimentations dans les divers instituts spécialisés : Arvalis Institut du végétal, institut de l'Elevage, ITAVI, ITP.

- **Guide des matières organiques**

Bien que destiné en priorité aux agriculteurs biologiques et à leurs techniciens, ce guide est une référence sur l'utilisation des produits organiques en agriculture. Il se compose de deux tomes (Leclerc, 2001a, 2001b).

- **Inventaire national des essais agronomiques réalisés avec des matières organiques et minérales d'origines urbaine et industrielles**

Ce document (Ducasse *et al.*, 2002) a pour objectif de présenter un inventaire national des essais agronomiques de valorisation agricole de déchets organiques d'origine urbaine ou industrielle réalisés depuis peu, ou en cours actuellement. Il s'agit du premier recensement de ce type d'essais. Ces essais, qui sont de plus en plus nombreux, ne sont pas toujours référencés et connus. De ce fait, les responsables de leur mise en oeuvre ne peuvent bénéficier de l'expérience et de la méthodologie des études existantes. Afin de remédier à cela, ce document vise à mettre en commun les informations répertoriées sous forme synthétique. Afin d'en faciliter la consultation, il est structuré en quatre parties : (1) une synthèse des essais recensés (localisation, organismes maîtres d'oeuvre, cultures concernées, matières testées) ; (2) des fiches d'information sur chacun des essais (136 fiches). Elles ne donnent pas de résultats, mais plutôt des précisions sur l'essentiel du protocole, ainsi que les coordonnées de la personne à contacter ; (3) une série d'index permettant une recherche par mots-clés (types de produits, types de sols, analyses, objectifs, etc.) ; (4) une bibliographie relative à certains essais. Les 7 fiches de la région Provence Alpes Côte d'Azur concernent des essais avec des composts de boue.

- **Aperçu de la qualité des composts français issus d'ordures ménagères en 2003**

En 2003, 64 plates-formes compostent les ordures ménagères résiduelles après collecte sélective des emballages propres et secs. L'extraction de la fraction fermentescible s'effectue alors théoriquement sur la plate-forme au cours du procédé de compostage. Les performances de ce tri mécanique sur plate-forme sont très variables (Houot *et al.*, 2004).

- **Aperçu de la qualité des composts de biodéchets français en 2003**

Les biodéchets sont reçus sur seulement 25 plates-formes de compostage. Le développement des filières de traitement biologique pour les déchets organiques nécessite la pérennité des débouchés des composts vers l'agriculture et la recherche de nouveaux débouchés moins exigeants en terme de qualité (reconstitution de sols à des fins de végétalisation par exemple). Dans tous les cas, cela demande la mise en place de référentiels de qualité pour assurer l'innocuité des produits et leur adaptation à l'utilisation prévue (Houot *et al.*, 2003).

- **Effet sur le sol et le stockage du carbone des apports de matières organiques issues de déchets**

Cette étude se place dans un contexte de préservation des sols, voire de leur restauration. L'évolution des sols et de leurs propriétés physiques, chimiques et biologiques, notamment vis-à-vis d'une de leurs principales fonctions, la production agricole, est étroitement liée à leur statut organique, c'est à dire à la quantité et qualité des matières organiques endogènes. On constate actuellement que les teneurs en matière organique des sols ont tendance à baisser en France, ceci étant principalement dû aux changements de pratiques culturales. Cette diminution a pour conséquence la dégradation des qualités physiques (déstabilisation de la structure et risque d'érosion), chimiques (diminution de la disponibilité en azote) et biologiques (perte d'activité faunique, de diversité microbienne) des sols. L'un des principaux leviers pour modifier – entretenir ou rétablir – les quantités et les qualités (recherchées) des matières organiques présentes dans les sols est bien évidemment l'apport de matières organiques exogènes. Il s'agit là des matières organiques autres que les résidus de culture, que l'on peut de façon générique regrouper sous le terme de « déchets organiques ». De plus en plus de déchets organiques sont produits ou collectés, provenant de l'agriculture (effluents d'élevage excédentaires), des zones urbaines ou de l'industrie, suite aux efforts entrepris ces dernières décennies dans différents secteurs du traitement des eaux et des déchets en général. Le recyclage

dans les sols de beaucoup de ces déchets organiques existe depuis longtemps. Cependant les volumes épandus, comme la diversité des déchets et celle des filières de traitement ont nettement augmenté depuis quelques années. En effet, ces déchets sont de plus en plus traités avant recyclage au sol, ces traitements ayant pour but leur hygiénisation, leur stabilisation et leur réduction de volume. Les études entreprises pour mieux connaître ces déchets organiques ont porté, et portent encore, davantage sur les critères d'innocuité (ex. : teneurs en éléments traces métalliques, en pathogènes) que sur les critères d'efficacité. Les critères d'efficacité sont la plupart du temps axés, pour un usage agricole, sur les apports potentiels en éléments fertilisants, N, P et K, ou sur une action de chaulage pour certains produits (boues).

- **Audit des plates-formes de compostage de déchets organiques en France**

L'ADEME a confié à un groupement composé de sept cabinets d'études et de deux laboratoires une mission visant à recenser et étudier les installations de compostage de déchets organiques en France et notamment d'auditer 100 d'entre elles. A cette occasion, une caractérisation des fertilisants organiques fabriqués et des effluents des installations a été réalisée, ainsi qu'un bilan des aides accordées par l'agence au compostage des déchets organiques. En moins de 30 ans, le compostage des déchets organiques s'est fortement répandu en France. Historiquement l'apanage des formulateurs d'amendement organique et de support de culture, cette technologie s'est, à compter des années 70, progressivement étendue au traitement des déchets organiques, et tout d'abord des ordures ménagères. Frappé par la très médiocre qualité des composts fabriqués, un grand nombre d'usines de compostage d'ordures ménagères a dû être reconverti, bien qu'un nouvel essor soit attendu avec le développement récent de techniques d'extraction d'une fraction organique « propre » et appropriée à la fabrication d'un compost respectueux des exigences des utilisateurs et des normes. Au début des années 90, puis plus récemment (fin des années 90 / début 2000), le compostage s'est étendu aux déchets verts, récupérés auprès des services municipaux, des entreprises du paysage et des particuliers, aux biodéchets des ménages dont la collecte sélective a débuté à la fin des années 90, aux boues d'épuration, aux biodéchets industriels et aux effluents d'élevage. Le nombre des installations a ainsi sensiblement augmenté. On dénombre désormais, dans l'Hexagone, plus de 770 plates-formes traitant plus de 1 000 tonnes de déchets de tous types entrants par an, dont près d'une sur trois est exploitée par un professionnel de l'agriculture (ou une société qui en dépend), les donneurs d'ordres restant principalement les collectivités.

1.2 Les sites consultés

En complément de l'examen des documents de synthèse précédemment cités, nous avons consultés les bases de données bibliographiques accessibles en ligne sur l'internet, notamment les suivantes :

- <http://www.inist.fr/>
- http://www.inra.fr/les_recherches/ressources_scientifiques/bases_de_publications
- <http://www.prodinra.inra.fr/prodinra/pinra/index.xsp>
- <http://www.inra.fr/internet/Departements/ESR/documentation/index.php>

La consultation de ces bases n'a pas permis de repérer d'autres références supplémentaires.

Un symposium international sur la qualité des composts a eu lieu en Suisse début 2008. Les actes de ce symposium sont en ligne sur l'internet (<http://www.codis2008.ch/papers.html>) (Fuchs *et al.*, 2008). Aucune intervention lors de ce symposium ne concerne la valorisation agronomique des composts en climat méditerranéen.

1.3 Conclusion sur les références bibliographiques disponibles

Après examen des références bibliographiques disponibles sur la valeur agronomique des composts en climat méditerranéen, nous pouvons retenir les points suivants :

- Il y a un décalage entre l'avancée des techniques et des usages d'une part, les recherches et expérimentations d'autre part. Un exemple : les références, assez nombreuses, sur la valeur agronomique des composts d'ordures ménagères, ne sont plus vraiment exploitables car ce type de compost est de moins en moins utilisé, alors que les références sur les composts issus de la filière tri mécano-biologique sont quasiment inexistantes, et que ce type de compost risque d'être produit en grandes quantités dans les années à venir.
- D'une manière générale, les composts ayant fait l'objet d'études sont mal définis dans les articles scientifiques : on n'a que l'appellation générique du produit (compost de boue, compost de déchets

verts, etc.). Etant donné la très grande variabilité possible de composition de ces produits, il est difficile d'utiliser les résultats de ces études.

- Finalement peu de références ont été obtenues en conditions méditerranéennes, d'où la nécessité de voir comment valoriser les expériences obtenues hors région mais sur le même type de composts, et de réfléchir aux études et recueils de références à mettre en place régionalement. Parmi les essais de longue durée réalisés hors région mais qui méritent toute notre attention, signalons :
 - l'essai Qualiagro, mis en place à Feucherolles (78) (Bodineau *et al.*, 2007) (voir fiche page 48) ;
 - l'essai de Colmar (68) (Montenach *et al.*, 2007) (voir fiche page 70) ;
 - l'essai matière organique de la SERAIL (Demarle et Vian, 2004) (voir fiche page 54) ;
 - des essais de longue durée recensés dans le cadre de l'étude « Effet sur le sol et le stockage du carbone des apports de matières organiques issues de déchets », (Houot *et al.*, 2005).

En région méditerranéenne, les essais les plus nombreux ont eu lieu au début des années 2000, essentiellement avec des composts de boues de stations d'épuration, ce type de compost étant à la fois le plus répandu dans la région, et celui posant le plus de questions sur ses qualités agronomiques et sanitaires. Ces essais, aidés financièrement par l'ADEME et les collectivités locales, ont été mis en place par les chambres d'agriculture des régions Provence-Alpes-Côte d'Azur et Languedoc-Roussillon. Plusieurs de ces essais font l'objet de fiches de présentation dans ce rapport (voir pages 51, 52, 53, 60, 66, 71). D'autres expérimentations ont été mises en place en dehors de ce programme bi-régional, comme l'essai en cours à l'INRA d'Alénya (voir fiche page 49), ou des essais concernant la reconstitution de sol (voir fiche page 62).

- Il est nécessaire de s'appuyer sur une meilleure connaissance des composts (études de laboratoire, caractérisations chimiques et biochimiques) :

Les essais de plein champ sur la valeur agronomique des composts sont peu nombreux car coûteux à mettre en place puis à suivre sur plusieurs années. C'est en partie pour cette raison que ces dernières années des travaux de recherche ont été entrepris, et se poursuivent, pour déterminer des analyses de laboratoire qui permettent de définir la valeur agronomique des produits organiques *a priori*, avant leur incorporation dans les sols. Deux de ces méthodes analytiques ont donné lieu à une normalisation : (i) le fractionnement biochimique de la matière organique (norme XP U 44-162) qui permet d'estimer la capacité à induire du stockage de matière organique dans les sols à long terme ; (ii) l'étude des cinétiques de minéralisation du carbone et de l'azote des matières organiques exogènes (MOE) au cours d'incubations en conditions contrôlées dans un sol (norme XP U 44-163) qui caractérisent l'effet à court et moyen termes des MOE sur les sols.

Des données sur l'évolution des produits au cours du compostage sont également intéressantes à recueillir, car elles permettent de fournir des éléments pour orienter les procédés de compostage (retournements, durée, etc.) selon le type de compost recherché (maturation plus ou moins poussée en fonction des effets attendues une fois le compost épandu). Francou (2003) a ainsi montré les relations pouvant exister entre les procédés d'aération (naturelle ou forcée), leur durée, et les critères de maturité des composts. D'autres méthodes analytiques sont en cours de développement, comme l'expertise microhumus (Villemin *et al.*, 2008), basée sur l'observation en microscopie électronique d'échantillons de compost, couplée à des analyses des différentes fractions observées au microscope.

Certaines études récentes permettent également d'affiner les données statistiques de compositions des principaux composts disponibles, comme l'audit national de l'ADEME (2006) qui réunit les données analytiques de 98 composts produits en France (dont 45 composts de déchets verts, 20 composts de boues, 15 composts de biodéchets des ménages et 18 autres composts).

- Malgré le manque de références bibliographiques croisant « types de composts – types de cultures sous climat méditerranéen », il est toutefois possible de retenir d'ores et déjà quelques tendances : c'est l'objet de la deuxième partie de ce travail.

Seconde partie :

synthèse des données, état des connaissances

Cette seconde partie, qui constitue le corps du rapport, est constituée de quatre grands paragraphes :

2.1 Besoins des sols méditerranéens en MO

Ce paragraphe donne un aperçu des besoins des sols méditerranéens en matière organique. Il montre l'importance de l'entretien organique de ces sols.

2.2 Entrée par types de composts

Cette entrée permet d'accéder rapidement aux principales caractéristiques, essentiellement analytiques et concernant la valeur agronomique, d'un type de composts, selon le classement suivant :

- compost de déchets verts,
- compost de boues,
- compost de biodéchets des ménages,
- compost d'ordures ménagères,
- autres composts.

2.3 Entrée par critères de valeur agronomique

Ce paragraphe récapitule les caractéristiques des types de compost par critères agronomiques, ce qui permet d'accéder rapidement à une synthèse selon les critères suivants :

- teneur en matière organique,
- caractérisation de la MO (ISB et ISMO),
- test de maturité,
- propriétés des sols liées à la présence de matière organique,
- azote,
- phosphore,
- principaux cations,
- critères d'innocuité.

2.4 Entrée par systèmes de cultures

Elle permet de rassembler les données selon les principaux systèmes de cultures :

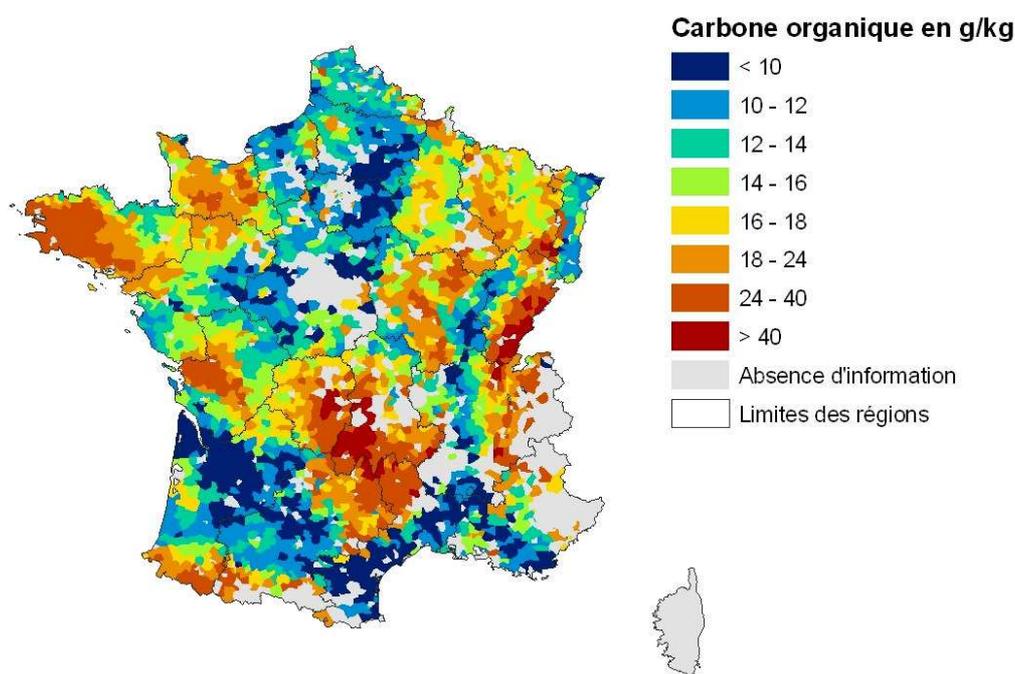
- grandes cultures,
- viticulture,
- arboriculture,
- maraîchage,
- reconstitution de sol,
- forêt.

2.1 Besoins des sols méditerranéens en MO

Même si les composts contribuent à l'apport d'éléments nutritifs pour les cultures, c'est avant tout leur teneur en matière organique qui justifie leur utilisation, pour entretenir, voir redresser, la teneur en matière organique des sols. Il est donc nécessaire de connaître la situation des sols méditerranéens pour ce critère, soit directement (teneurs en MO et évolution récente), soit indirectement (état des propriétés des sols liées aux teneurs en MO, notamment l'érosion).

La carte 1, qui représente les teneurs en carbone organique des sols français (données agrégées par canton), montre un niveau globalement faible de ces teneurs pour le pourtour méditerranéen, généralement inférieures à 12, voire 10 g/kg de terre sèche (soit en moyenne 2 % de MO). A noter que les teneurs les plus élevées en matière organique sont relevées en zones de montagne ou dans les régions d'élevage, et que les teneurs les plus faibles correspondent aux régions viticoles ou d'agriculture intensives dépourvues d'élevage.

Carte 1 : Teneurs en carbone organique des sols français.



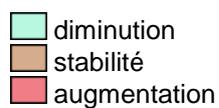
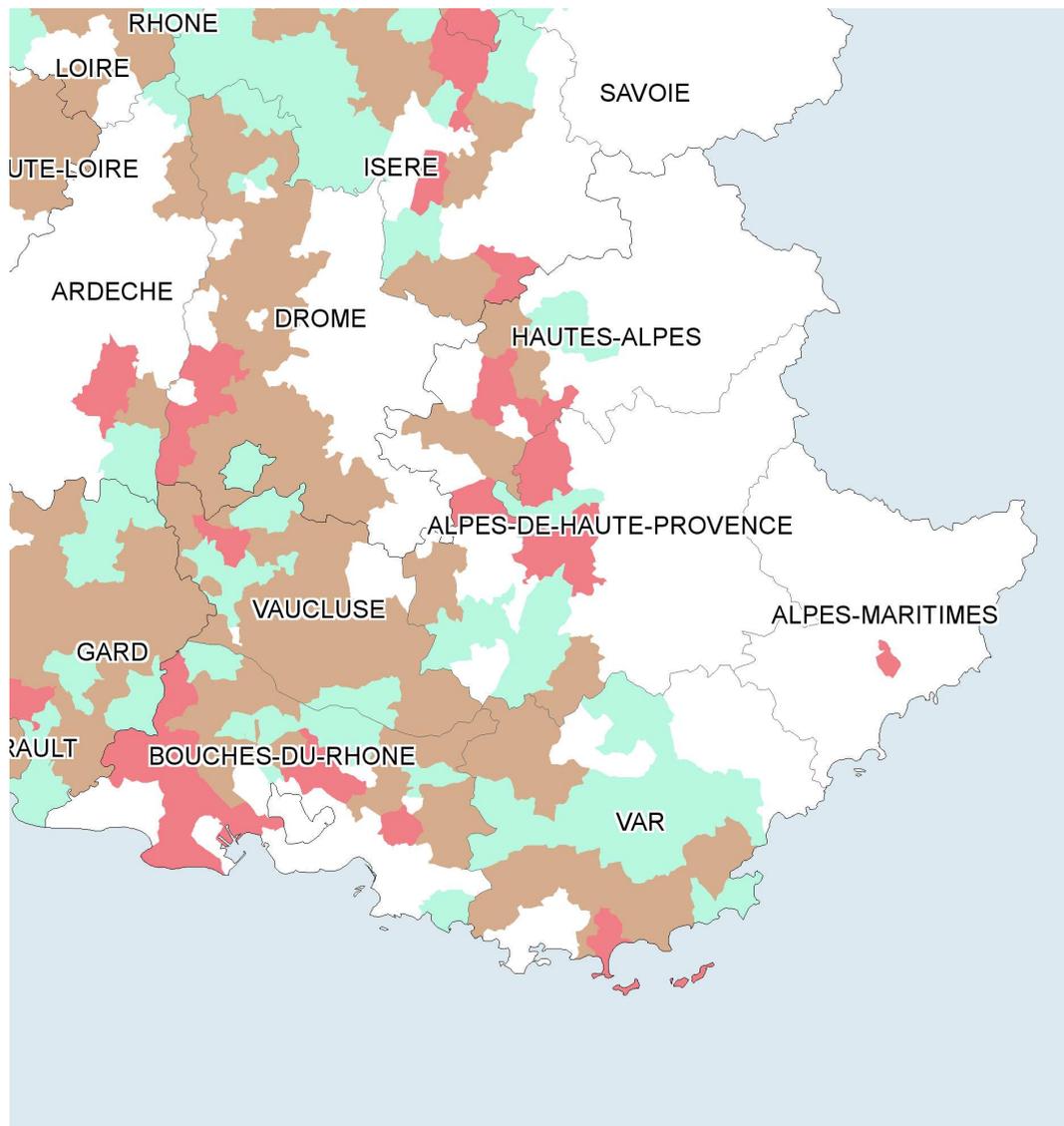
Roussel *et al.* (2001) ont mené une étude dont le principal objectif était de fournir un ordre de grandeur de l'étendue et de la localisation des surfaces que l'on peut juger déficitaires en matière organique. L'état des lieux qu'ils ont réalisé est basé sur l'utilisation des données issues d'une synthèse nationale des analyses de terre (Schvartz *et al.*, 1997 ; Walter *et al.*, 1997). Ce déficit est estimé en fonction de l'abaque de Rémy et Marin-Laflèche (1974) qui indique un taux en matière organique souhaitable en fonction de la texture du sol. Par cette méthode, les auteurs estiment les surfaces déficitaires en matière organique comprises entre 6 et 7,7 millions d'hectares de terres arables, sur 19,5 millions d'hectares nationaux. Elles se situent principalement dans le Bassin Parisien, le Centre, le Nord, la Haute-Normandie, l'Aquitaine, Midi-Pyrénées, les Haut et Bas Rhin. Le pourtour Méditerranéen et la Vallée du Rhône apparaissent relativement déficitaires mais ces résultats demandent confirmation (Base de données lacunaire sur ces zones et modèles peu adaptés à ces régions). Une estimation des quantités d'amendements organiques nécessaires à un redressement de 10 % (sur 10 ans d'apports) du taux de matière organique sur les surfaces déficitaires a requis la mise en oeuvre de modèles simples d'évolution de la matière organique dans les sols : modèles de Hénin-Dupuis (1945) et Andriulo *et al.* (1999). Les résultats indiquent que 3,7 à 5,5 millions de tonnes de matière organique humifiée seraient nécessaires à ce redressement.

Baisse des teneurs en MO des sols

Le type de sol, notamment par rapport à sa texture, et son occupation, influent grandement sur sa teneur en matière organique. Ainsi un sol sableux de vignoble présentera en général une teneur en

matière organique plus faible qu'un sol limoneux couvert de céréales. Pour apprécier un éventuel déficit d'entretien du statut organique d'un sol agricole, il est donc nécessaire de s'intéresser, en plus des valeurs absolues des teneurs en matière organique, à l'évolution dans le temps de ces dernières. Sur la carte 2, nous avons comparé les moyennes des teneurs en carbone organique de la période 1995-1999 avec celles de la période suivante 2000-2004. Dans la majorité des cantons, nous notons une stabilité ou une diminution de ces teneurs (en marron clair ou en vert), rarement une augmentation (en rouge). Cette approche statistique réalisée à partir des données du Gis-sol (<http://www.gissol.fr>) permet de repérer les secteurs dans lesquels une enquête de terrain pourrait être entreprise pour vérifier si les évolutions constatées peuvent être expliquées par des changements de pratiques (abandon ou diminution de restitutions de résidus cultures ou d'apports organiques par exemple).

Carte 2 : Comparaison des teneurs en carbone organique entre la période [1995 -> 1999] et la période [2000 -> 2004] (version 3.2.1.0 du 11/02/2009, Copyright 2009, INRA)



Au niveau national, plusieurs études locales font le constat de baisses des taux de matières organiques de sols cultivés dans les dernières décennies (Balesdent, 1996). Bien que la tendance ne soit pas généralisable, il est nécessaire de s'en préoccuper dans une optique de gestion à long terme

de la qualité des sols. Il semble que l'intensification du travail du sol, la diminution des surfaces en fourrages pérennes au profit de fourrages annuels et l'accélération de la rotation des usages des terres soient les principaux facteurs explicatifs des baisses observées.

Bornand *et al.* (1994) montrent comment la base de données pédologique régionale de Languedoc-Roussillon peut être utilisée pour planifier l'épandage des composts urbains. Ces auteurs ont retenu quatre groupes de critères : les caractéristiques des sols (correspondant à une utilisation directe du Référentiel Régional Pédologique), les pentes et le type d'occupation du sol, enfin la distance par rapport aux points de production de compost, qui fixe la longueur du trajet aux parcelles réceptrices. Ces critères ont été croisés et les résultats calés aux expérimentations déjà existantes. Ce qui a permis de réaliser un zonage des milieux les plus propices et un zonage de ceux plus difficilement utilisables pour la réception des composts, à l'intérieur d'un vaste secteur de plaine compris entre le Rhône et le fleuve Hérault. Des conclusions concrètes ont été tirées concernant les points suivants : estimation des surfaces convenant aux composts, estimation de la proportion d'agriculteurs devant utiliser des composts pour que les surfaces réellement disponibles soient suffisantes, localisation approximative de champs d'essais agronomiques représentatifs du terroir et convenant à l'étude de l'enrichissement des terres par compostage, localisation théorique optimale de l'usine de compostage.

Battance et érosion

Les baisses de teneurs en matière organique des sols ne seraient pas un problème si elles n'influaient pas sur les propriétés des sols, et donc au final leur fertilité. Parmi ces propriétés, rappelons le rôle important des matières organiques pour limiter les phénomènes de battance, principalement dans les sols limoneux, et l'érosion.

Ainsi Le Villio *et al.* (2001) rappellent que les phénomènes de dégradation physique des sols que sont la battance et l'érosion diffuse se multiplient en France. Pour les sols de texture limoneuse, la diminution du taux de matière organique à des teneurs inférieures à 2 ou 3 %, souvent observée dans les sols cultivés au cours des dernières décennies, est un des paramètres déterminants de cette dégradation. Face à ce constat, ces auteurs ont cherché à chiffrer les quantités de matière organique exogène qu'il serait nécessaire d'apporter pour relever, à un niveau donné, les taux de matière organique des sols sensibles aux phénomènes de battance et d'érosion. Cette estimation a été réalisée pour différents seuils de teneurs en carbone compris entre 1 et 1,5 % et les quantités calculées ont été comparées localement aux quantités de matière organique exogène disponibles. Parmi celles-ci les fumiers et les composts d'origine urbaine représentent les sources les plus importantes. Les premiers résultats font apparaître des déficits de l'offre locale en matière organique exogène, notamment en Picardie, Aquitaine, Ile-de-France, Nord-Pas-de-Calais et Midi-Pyrénées. Les tests réalisés montrent par ailleurs que les prédictions sont très sensibles, d'une part aux seuils visés et d'autre part à la calibration du modèle (valeurs des coefficients de minéralisation K2).

Bou Kheir *et al.* (2001) rappellent que les sols méditerranéens limoneux ou limono-sableux sont très susceptibles à l'érosion hydrique (Osborn *et al.*, 1976 ; Poesen, 1983). Les sols à texture plus grossière sont moins sensibles au détachement par la pluie, mais les horizons sableux pauvres en matière organique se tassent et le ruissellement devient aussi fort que sur les sols argileux (Roose *et al.*, 1993). De même, les conditions climatiques engendrent une teneur en matière organique relativement faible dans les sols méditerranéens qui sont donc très sensibles au processus d'érosion hydrique (Nahal, 1975 ; Ryan, 1982 ; FAO, 1983 ; Ozden et Sonmez, 1998). La matière organique réduit les risques d'érosion à court terme : maintenue en surface, elle protège le sol de l'énergie des pluies et du ruissellement (Roose, 1994 ; Barthès *et al.*, 1998), mais enfouie, elle ne réduit nettement ni le ruissellement ni l'érosion (Roose *et al.*, 1997).

2.2 Entrée par type de composts

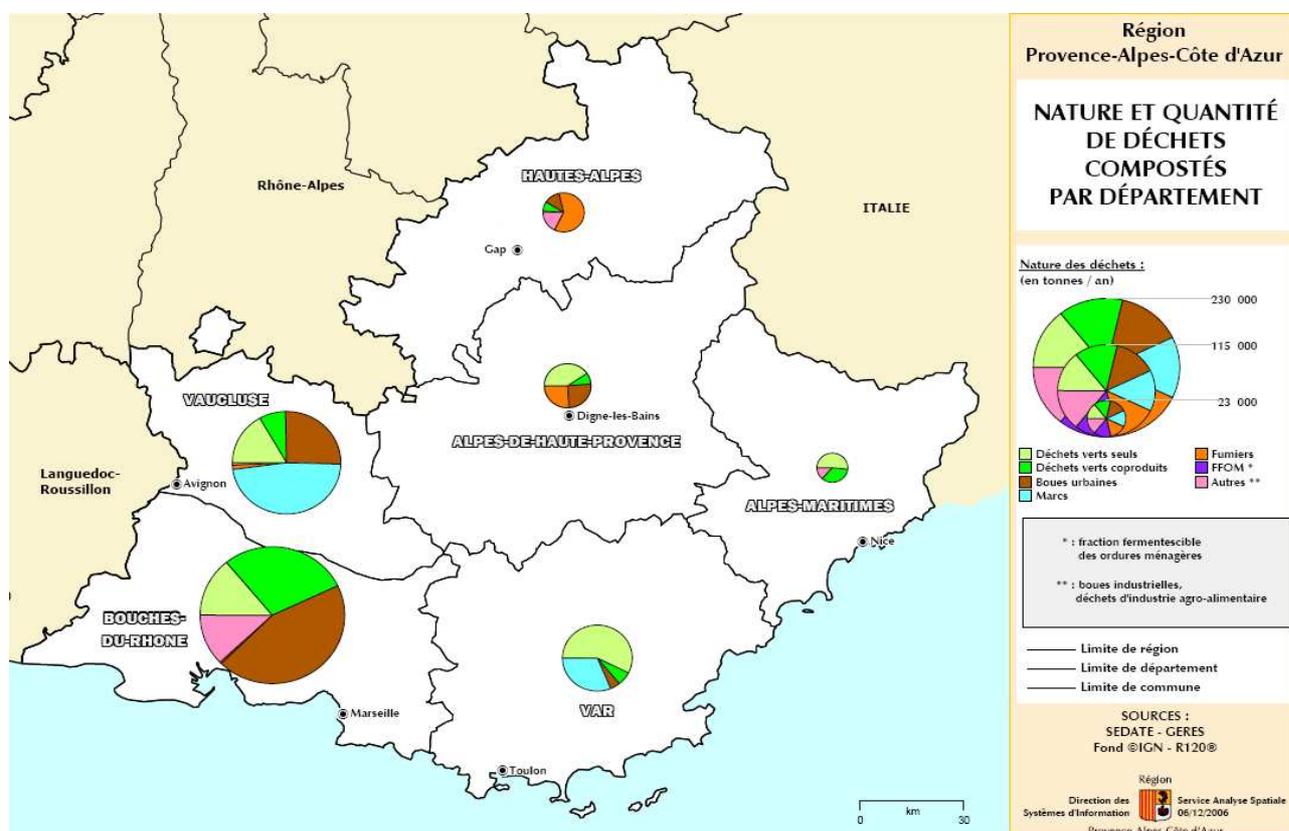
Dans ce paragraphe nous donnons les principales caractéristiques intéressantes pour la valorisation agronomique des composts d'origine urbaine, en nous basant sur les études les plus récentes.

Nous classons les composts d'origine urbaine en quatre catégories :

- les composts de déchets verts,
- les composts de boues,
- les composts de biodéchets des ménages,
- les composts d'ordures ménagères.

Parmi ces composts d'origine urbaine, ce sont les composts de boues et les composts de déchets verts qui sont les plus produits dans la région Provence Alpes Côte d'Azur (voir carte 3).

Carte 3 : Nature et quantité de déchets compostés par département de la région Provence Alpes Côte d'Azur (source : Hébraud et Coulet, 2006).



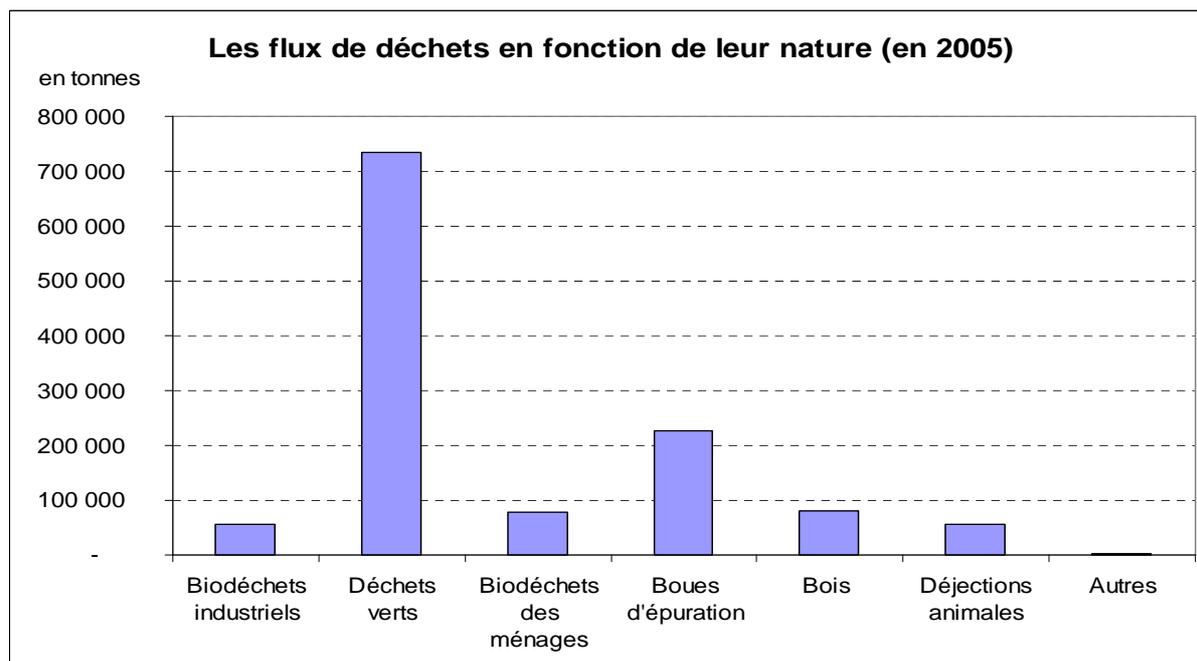
Composts de déchets verts

Sur les 100 plates-formes de compostage auditées en France métropolitaine en 2006¹, 45 traitaient des déchets verts seuls. Ces 45 plates-formes représentent l'échantillon le plus complet et le plus récent au niveau national pour ce type de données.

Les tonnages traités

En 2005, sur les 6 millions de tonnes de déchets compostés² en France sur un peu plus de 550 installations, environ les deux tiers étaient des déchets verts. Ainsi dans l'échantillon des 100 plates-formes auditées en 2006, la part des déchets verts est majoritaire (figure 1).

Figure 1 : Importance du tonnage des déchets verts dans les 100 plates-formes auditées en 2006 (matière brute).



Saisonnalité de la production

La production de déchets verts est très saisonnière : beaucoup plus importante au printemps et en été, elle est sensiblement réduite en période hivernale. Par ailleurs, les déchets générés en hiver sont plus ligneux (élagages) qu'en été (tontes).

Dans la région méditerranéenne, la production de déchets verts est régulière (de 6 à 10 % des flux annuels chaque mois). Les températures clémentes réduisent la période de repos végétatif. Une sécheresse relative entraîne une baisse de la quantité de déchets verts réceptionnés sur les plates-formes de compostage à l'automne.

Ratio de collecte

Le ratio de collecte de déchets verts, qui s'appuie sur une population de 5 millions d'habitants en 2006, s'établit à 68 kg/habitant/an. Il se décline par zones climatiques de la manière suivante :

- océanique : 161 kg/hab.,
- océanique dégradé : 109 kg/hab.,
- **méditerranéen** : **96 kg/hab.**,
- continental : 52 kg/hab.,
- montagnard : 45 kg/hab.

¹ « Audit des plates-formes de compostage de déchets organiques en France avec analyses de composts, d'eaux de ruissellement et bilan des aides ADEME au compostage des déchets verts » (Marché ADEME n° 0306C0057).

² Hors plates-formes traitant moins de 1 000 t par an et ne traitant que des ordures ménagères résiduelles.

La production des espaces verts semble fluctuer en fonction des conditions pédoclimatiques. Ainsi, la production de déchets verts est, dans l'ouest océanique, trois fois supérieure à celle des secteurs continental et montagnard. Ce constat ne paraît pas incohérent ; toutefois, les bassins de population concernés restent relativement modestes. On retiendra donc qu'il s'agit d'ordres de grandeur et de grandes tendances ; ces données demanderaient en effet à être complétées par une exploitation, par exemple, des informations des Observatoires régionaux des déchets.

Caractéristiques agronomiques des composts de déchets verts

Si l'on compare les moyennes nationales des caractéristiques agronomiques (45 plates-formes) avec celle d'un échantillon de 3 plates-formes situées en zone méditerranéenne, on note peu de différence (voir tableau 2), mais une tendance en une concentration plus faible en éléments minéraux N, P et K, peut-être en raison d'une proportion plus forte de ligneux dans les déchets verts méditerranéens (moins de tontes et plus de produits de tailles). Par exemple la teneur en azote organique est de 1,4 g/kg de MS en moyenne nationale et 1,0 seulement en climat méditerranéen. Etant donné le faible échantillon en climat méditerranéen (seulement 3 plates-formes), cette comparaison est toutefois à prendre avec précaution. *A contrario* en climat océanique la moyenne de teneur en azote organique s'élève à 1,55 g/kg de MS (échantillon de 4 plates-formes).

Tableau 2 : Caractéristiques agronomiques des composts de déchets verts.

	Au niveau national (45 plates-formes)		En climat méditerranéen (3 plates-formes)	
	Moyenne	Coeff. var.*	Moyenne	Coeff. var.*
Matières sèches (g/100g MB)	59	14 %	67	8 %
Matières organiques (g/100g MS)	46	23 %	43	36 %
Azote total (g/100g MS)	1,4	18 %	1,0	14 %
Azote ammoniacal (g/100g MS)	0,1	40 %	-	-
Phosphore (P ₂ O ₅) (g/100g MS)	0,6	27 %	0,4	28 %
Potasse (K ₂ O) (g/100g MS)	1,4	26 %	1,1	4 %
Calcium (g/100g MS)	7,8	51 %	7,4	20 %
Magnésium (g/100g MS)	0,7	37 %	0,8	33 %
pH	8,4	8 %	8,2	6 %

* Coefficient de variation, en % = (écart-type / moyenne) x 100

Minéralisation de l'azote des composts de déchets verts

La minéralisation de l'azote des composts de déchets verts, après 91 jours d'incubation, atteint en moyenne environ 2 % de l'azote organique du produit. Dans l'hypothèse d'un apport de 20 tonnes de composts de déchets verts à l'ha, pour une concentration en azote organique de 1,4 % sur sec, la minéralisation de cet azote représenterait à peine 3 kg d'azote à l'ha (20 000 x 0,59 x 0,014 x 0,02). Par comparaison, on peut citer les chiffres de 20 % à 40 % d'azote minéralisé dans l'année de l'apport pour du compost de fumier de bovins (source Institut de l'Élevage et B. Godden *et al.*, 2007).

Minéralisation du carbone : Après 91 jours d'incubation, elle est un peu plus importante que celle de l'azote, mais reste également très faible, en moyenne 9 % du carbone organique du produit pour les composts de déchets verts.

Éléments traces métalliques

En moyenne générale toutes les teneurs sont inférieures aux seuils de la norme NFU 44-051 (tableau 3). Cependant sur quelques plates-formes ces seuils sont dépassés : 1 pour l'arsenic et 1 pour le plomb. Ces teneurs restent très inférieures à celles rencontrées dans les composts de boues (voir tableau 5 page 21).

Tableau 3 : Teneurs en éléments traces métalliques des composts de déchets verts (45 échantillons), comparaison avec la norme NFU 44-051, en mg/kg MS.

Élément	Moyenne	Coeff. var.*	NFU 44-051
Arsenic (44 échantillons)	5	48 %	18
Cadmium	0,2	169 %	3
Chrome	18	25 %	120
Cuivre	49	22 %	300
Mercure (44 échantillons)	0,06	204 %	2
Plomb (44 échantillons)	60	28 %	180
Nickel	12	22 %	60
Sélénium	0	-	12
Zinc	145	29 %	600

* Coefficient de variation, en % = (écart-type / moyenne) x 100

Quelques résultats d'essais agronomiques incluant des composts de déchets verts

Très peu d'essais ont eu lieu en climat méditerranéen avec des composts de déchets verts. Nous présentons ci-dessous les principaux résultats des essais suivants :

- l'essai du Domaine du Mas Blanc, INRA d'Alénya,
- l'essai matière organique de la SERAIL.

L'essai du Domaine du Mas Blanc, INRA Alénya (Bressoud et Parès, 2007)

L'expérimentation conduite à l'INRA d'Alénya vise à mieux connaître l'évolution d'apports d'amendements organiques dans le contexte des cultures maraîchères sous abri afin d'optimiser ces pratiques dans un double objectif : améliorer les états du sol fragilisé par des systèmes à rotations intensives et prendre en compte la minéralisation azotée afin de mieux alimenter les plantes, notamment les cultures longues d'été sur lesquelles se posent des problèmes de carences azotées en fin de cycle avec les engrais organiques usuels. La dynamique d'évolution des différentes matières organiques et les modifications des propriétés biologiques et physico-chimiques du sol seront évaluées sur le long terme (fin d'expérimentation en 2009).

L'expérimentation est conduite depuis 2002, avec reconversion en agriculture biologique d'un abri maraîcher au sol sablo-limoneux peu structuré, assez pauvre en matière organique (1,3 %).

On compare à un témoin sans apport (T) les apports de 2 amendements :

DV	compost de déchets verts ³	24 t/ha/an	(dose préconisée)
VG4	compost commercial ⁴	4 t/ha/an	(dose préconisée)
VG13	compost commercial	13 t/ha/an ⁵	

Le système de culture consiste en une succession salade-tomate en 1^{ère} année, puis 2 salades et désinfection solaire⁶ la 2^{ème} année avant de reprendre un nouveau cycle.

Tous les 2 ans, les éléments fertilisants majeurs sont apportés en fonction d'une analyse chimique, sauf l'azote qui est ajusté⁷ par test bandelette nitrate pour chaque culture et chaque traitement à un niveau inférieur aux besoins. Ceci doit permettre le démarrage des cultures sans masquer d'éventuels effets liés à la minéralisation des amendements.

Différentes méthodes utilisées sont utilisées pour le diagnostic : mesures en laboratoire (incubation de sol et de produits, fractionnements de matière organique, analyses chimiques,...) et bilans à la parcelle (profils culturaux et racinaires, bilans hydrique et azoté, suivis de rendement et de qualité des cultures, expression de maladies telluriques,...).

³ Broyat de déchets verts (bois de taille, élagage, débroussaillage, tonte de pelouse) compostés 6 mois (plate-forme de Saint Cyprien)

⁴ tourteaux de café 55% fumier de bergerie 30% poussières de laine 10% et magnésie 5% (Phalippou-Frayssinet)

⁵ dose correspondant à des apports de carbone proche de ceux du compost de déchets verts

⁶ consiste à couvrir la parcelle avec un paillage transparent en cours d'été pour élever la température du sol afin de détruire les champignons pathogènes

⁷ par de la farine de plume hydrolysée (14 % N). Moins de 150 kgN/ha ont été apporté au total pour toute la durée de l'essai.

Incidence du système de culture

Dynamique des matières organiques du sol (parcelle non amendée)

Les systèmes de culture maraîchers sous abri cumulent des conditions physico-chimiques favorables à une forte activité biologique (sols humides, températures élevées (moyenne journalière de 13°C à 25°C, atteignant 45°C pendant la solarisation)) avec des passages fréquents d'outils rotatifs, très agressifs pour la matrice du sol. Ces facteurs sont favorables à une dégradation accélérée de la matière organique endogène.

Par ailleurs, avec les mises en place de plants en mottes, les systèmes maraîchers permettent un enrichissement important en tourbe. Sur l'ensemble de l'abri, ceci correspond dans notre système de culture à un apport de 3,5 t de tourbe/ha/an, soit 1,2 t C/ha/an.

Ceci pourrait expliquer les valeurs initiales trouvées dans ces sols : les fractionnements de matière organique montrent des stocks de matière organique assez faibles (30 t C/ha), avec une proportion élevée de formes grossières peu évoluées (> 50 µm, C/N proche de 20), et relativement peu de formes stables (< 0,2 µm).

Après 5 années, nos mesures montreraient dans la parcelle non amendée un gain d'environ 1 t/ha de carbone, lié aux seuls apports de terreau par les mottes de plantation.

Parallèlement à cette accumulation, il y a également eu une dégradation de matière organique endogène, la minéralisation d'azote qui en découle ayant pu être calculée à partir des bilans hydriques et azotés réalisés sur les parcelles non amendées. On peut considérer qu'elle équivaut à 0,63 kg N/ha/jour quelle que soit la saison ($R^2 = 0,96$), ce qui correspond à des valeurs relativement élevées. En effet, bien que ces sols aient une assez faible activité biologique, comme le montrent nos incubations en conditions contrôlées, et libèrent relativement peu de nitrates (0,07 mg N-NO₃/kg sol sec/jour normalisé⁸), les conditions de culture sous serre entraînent une dynamique soutenue.

Cette minéralisation de la matière organique endogène couvre ainsi à elle seule plus de la moitié des besoins azotés des cultures, qui sont importants sur ces systèmes de culture (environ 700 kg N/ha pour la rotation). Tous les 2 ans, durant la période de solarisation, les stocks de nitrates dans le sol remontent à des valeurs élevées qui permettent un bon développement des cultures suivantes. En revanche, on observe pour les salades qui viennent en 2^{ème} partie du cycle une moins bonne alimentation azotée, avec des compositions en azote en dessous du seuil critique pour ces cultures.

Malgré l'absence d'apport d'amendement et avec cette forte dynamique de minéralisation, au bout de 5 ans nous n'avons pas observé de ralentissement en ce qui concerne la fourniture d'azote par le sol.

Héritage des conduites des cultures antérieures

L'abri utilisé pour cet essai a été conduit pendant 15 années selon les règles de fertilisation intensive alors en usage en agriculture conventionnelle, correspondant à des apports excédentaires en azote. Comme les seules irrigations ne permettent pas des lixiviations importantes, ces stocks se retrouvent en partie dans les horizons profonds du sol (plus de 500 kg N/ha mesurés en début d'essai sur 0-110 cm).

Les cultures de tomate, qui sont les plus exigeantes en azote, ont un enracinement qui permet une très bonne remobilisation des réserves profondes. Ainsi, les stocks hérités ont permis d'alimenter en partie les cultures jusqu'à la 5^{ème} année après la reconversion. Cet effet tardif difficilement décelable peut poser problème pour la gestion d'une reconversion car comme dans notre essai il peut masquer durablement les effets de changements de conduite.

Incidence des différents amendements

Caractérisation des composts

La composition chimique des différents apports diffère, tant en ce qui concerne la richesse minérale qu'organique. Ils ont également montré des comportements différents en incubation, le compost commercial utilisé sous sa forme poudre libérant en moins d'un mois plus de 20 % de son azote, tandis qu'il y a une légère réorganisation initiale avec prélèvement d'azote dans le milieu pour le compost de déchet vert peu évolué, qui ensuite se minéralise très lentement.

Evolution après 5 années d'épandage

Une faible partie des amendements est minéralisée à chaque apport, le calcul des bilans azotés montrant des gains respectifs de 70 et 30 kg N/ha/an pour VG13 et DV, soit des taux de nitrification de 30 % et 13 % de l'azote organique initial. Le reste se retrouve sous forme de matière organique stabilisée dans le sol.

Après 5 années, les différentes analyses effectuées sur les sols montrent une accumulation de carbone significative pour les traitements à forte dose DV (+ 9,0 ± 1,6 t C/ha) et VG13 (+ 13,9 ± 0,9 t C/ha), et ceci

⁸ correspondant au maintien d'une humidité proche de 70 % de la capacité au champ et avec une température de 15°C

principalement dans les 10 premiers cm du sol. En revanche, le traitement VG4 ne se distingue pas significativement du témoin sans apport.

L'analyse des fractions montre que les composts se comportent différemment, avec pour tous deux un enrichissement des fractions fines ($< 0,2 \mu$) et grossières ($> 50 \mu$), mais ce dernier étant beaucoup plus important pour VG13, et avec des C/N plus élevés.

On aurait donc pour VG13 une forte part de l'accumulation de matière organique correspondant à une fraction plus récalcitrante et moins riche en azote qu'avec le déchet vert.

Incidence sur les caractéristiques du sol

Les incubations des sols de ces parcelles montrent que les différences dans la matière organique accumulée semblent effectivement se traduire à moyen terme par des modifications de l'activité biologique dans les parcelles amendées, qui seront à confirmer en fin d'expérimentation.

Gains par rapport à la parcelle non amendée :

	DV	VG13
respiration CO ₂	+ 26 % (+/- 11 %)	+ 17 % (+/- 3 %)
minéralisation NO ₃	+ 68 % (+/- 15 %)	+ 10 % (+/- 15 %)

Les mesures n'ont pas montré de différence significative en terme de densités apparentes de sol, pas plus qu'il n'en a été observé dans les profils en ce qui concerne l'horizon travaillé. Il semblerait cependant que l'on ait en profondeur une présence plus importante de galeries de lombrics anéciques dans les 2 traitements à forte dose (DV et VG13), ce qui devra être confirmé en fin d'expérimentation.

Incidence sur les cultures

L'observation des profils à la récolte des salades de fin de cycle a montré le maintien d'une meilleure prospection racinaire en profondeur pour la parcelle DV, correspondant aux horizons plus aérés grâce aux galeries de lombrics.

Les mesures sur les cultures montrent très peu de différences, que ce soit sur les exportations azotées, les rendements commercialisables ou les écarts de tri. En valeur cumulée sur les 11 cultures successives, on a un gain de 15 % de prélèvement d'azote et de 14 % du rendement commercialisable pour VG13, lié à de meilleurs calibres de salade en 2^{ème} partie de cycle malgré un taux de déchets sur salade lié aux maladies du collet un peu supérieur (5 %). Cependant ces différences sont rarement statistiquement significatives culture par culture.

Le calcul des moyennes obtenues selon la place des cultures dans la rotation illustre ces tendances. On constate pour tous nos traitements des résultats corrects en début de rotation, puis une insuffisance de rendements commerciaux en 2^{ème} année, liée à des carences azotées qui entraînent des problèmes de croissances hétérogènes et donc de calibre (salades de moins de 320 g non commercialisables). Juste après les forts apports du traitement VG13, on semble un peu limiter cette carence azotée sans pour autant améliorer significativement le rendement commercial.

Après 5 années d'apports différenciés dont on commence à voir les effets en terme d'accumulation de matière organique dans le sol, on ne constate pas d'incidence nette sur le sol ni sur les cultures. Ceci peut s'expliquer par la lenteur des changements au niveau des équilibres du sol. On retrouve également l'influence de ces systèmes de culture sous abri, avec une forte dynamique de minéralisation conférée au sol tout comme l'influence prolongée des conduites antérieures qui pourraient masquer des effets encore peu décelables.

Essai matière organique de la SERAIL (Demarle et Vian, 2004)

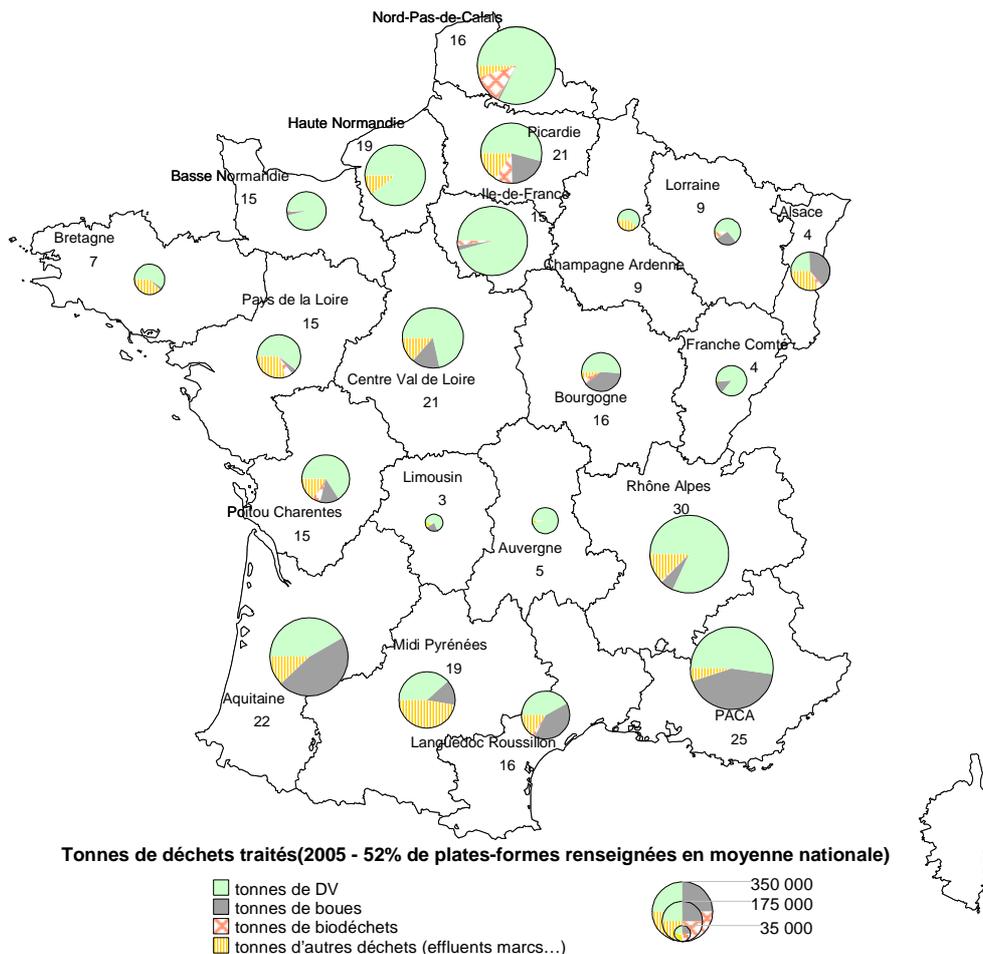
Dans le contexte pédoclimatique de l'essai on remarque que l'évolution des propriétés agronomiques est longue à se dessiner. Après 10 années, le témoin sans apport ne se différencie pas systématiquement des parcelles amendées sur le plan des résultats culturaux lorsque les conditions de travail de sol sont satisfaisantes, alors que les apports organiques influent positivement sur la récolte en conditions limitantes (travail du sol en condition humide). Des critères d'observations fins permettent cependant de discriminer les modalités étudiées quelle que soit la situation. Les résultats présentés ont été obtenus dans le contexte particulier de l'essai. Toute généralisation sur le comportement de ces produits est délicate en dehors de ce contexte. Seul le suivi d'un réseau de parcelles aux conditions pédoclimatiques différentes pourrait venir préciser à moyen terme le comportement des produits. Concernant les composts végétaux (déchets verts, bois, écorce, ...), les auteurs recommandent de les apporter annuellement, voir tous les 2 ou 3 ans. La dose d'entretien pourra être limitée par l'effet alcalinisant de certains produits, par la concentration en Eléments Traces Métalliques (respect des flux maximum autorisés) et les risques d'accumulation de matière organique inerte. Elle se situera généralement autour de 10 à 20 t/ha/an. Les risques "d'indigestion" liés à des apports massifs (supérieurs à 25 - 30 tonnes) en une fois sont difficiles à évaluer car certainement variables en fonction du type de sol. Cependant de tels produits à forte dose peuvent engendrer la réorganisation de l'azote et des effets négatifs sur l'activité biologique. Ces composts vont jouer sur les effets durables de la MO, principalement sur les propriétés physiques (stabilité structurale, résistance au tassement, rétention en eau), ainsi que sur la CEC et le pH du sol. Ils seront utilisés comme produit principal pour des sols ayant des propriétés physiques dégradées, toujours sous forme de composts mûrs, de préférence tamisés assez finement.

Composts de boues

Les boues de station d'épuration des eaux sont la plupart du temps compostées en mélange soit avec des déchets verts, soit avec des produits ligneux plus ou moins secs (palettes broyées, écorces,...). Dans la région Provence-Alpes-Côte d'Azur, mais aussi en Languedoc-Roussillon, les boues sont de plus en plus compostées. Le compost de boues est ainsi devenu le compost d'origine urbaine le plus répandu dans ces régions (voir carte 4).

Près de 70 % des boues d'épuration sont traitées par les grandes installations de compostage (supérieure à 20 000 t de déchets entrants par an), le reste est géré par les installations de taille plus modeste. Notons que ces installations accueillent également des volumes importants de matériaux structurants, parmi lesquels figurent notamment les déchets verts et le bois.

Carte 4 : Tonnes de déchets traités (2005 – 52 % de plates-formes renseignées en moyenne nationale).



Parmi les différents déchets compostés en France, les boues urbaines (avec les biodéchets des ménages) présentent les coûts de traitement les plus élevés, en raison principalement :

- de conditions d'exploitation difficiles (odeurs, lixiviats, consistance des produits...) impliquant des moyens importants : aération forcée, compostage sous bâtiment, traitement des effluents et des odeurs... ;
- des coûts élevés des filières alternatives : incinération, enfouissement.

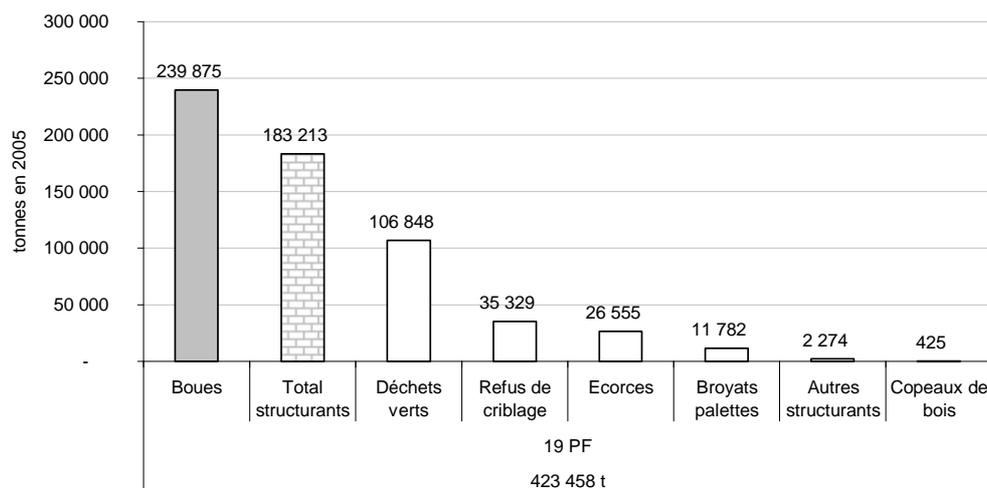
Gestion des structurants

Globalement, les gestionnaires utilisent de l'ordre de 0,8 tonne de structurant par tonne de boues entrant en compostage. Toutefois, il apparaît que de nombreuses installations de taille modeste ne disposent pas suffisamment de matériaux structurants (moins de 0,5 t par tonne de boues).

Certains gestionnaires stockent les déchets verts broyés durant quelques jours à plusieurs semaines ; les flux concernés représentent près d'un tiers des déchets verts. Cette pratique présente quelques avantages, mais aussi plusieurs inconvénients :

- le stockage des déchets verts broyés avant mélange avec les boues d'épuration entraîne une diminution de l'humidité, ce qui augmente le pouvoir absorbant du broyat ;
- le stockage de déchets verts ligneux peut conduire à la production de composés organiques volatils (et notamment de terpènes), lesquels sont inflammables à 60/70°C et peuvent causer des feux difficiles à maîtriser sur l'installation de compostage.

Figure 2 : Répartition des structurants sur les installations de compostage de boues au niveau national (en t 2005) (ADEME Angers, 2007).



Caractéristiques agronomiques des composts de boues

Si l'on compare les moyennes nationales des caractéristiques agronomiques (20 plates-formes) avec celle d'un échantillon de 6 plates-formes situées en zone méditerranéenne, on note peu de différences (voir tableau 4), contrairement à ce que l'on pouvait constater pour les composts de déchets verts (concentrations plus faibles en éléments minéraux en climat méditerranéen). Ainsi par exemple la teneur en azote total est la même au niveau national et en climat méditerranéen (2,3 g/kg de MS).

Tableau 4 : Caractéristiques agronomiques des composts de boues (ADEME Angers, 2007).

	Au niveau national (20 plates-formes)		En climat méditerranéen (6 plates-formes)	
	Moyenne	Coeff. var.*	Moyenne	Coeff. var.*
Matières sèches (g/100g MB)	65	23 %	73	23 %
Matières organiques (g/100g MS)	52	25 %	53	25 %
Azote total (g/100g MS)	2,3	26 %	2,3	17 %
Phosphore (P ₂ O ₅) (g/100g MS)	3,4	44 %	2,9	34 %
Potasse (K ₂ O) (g/100g MS)	0,9	33 %	1,0	10 %
Calcium (g/100g MS)	8,8	58 %	13,2	52 %
Magnésium (g/100g MS)	0,7	14 %	0,8	13 %
pH	7,6	5 %	7,9	3 %

* Coefficient de variation, en % = (écart-type / moyenne) x 100

Minéralisation de l'azote et azote minéral contenu dans les composts de boue

La minéralisation de l'azote des composts de boue, après 91 jours d'incubation, atteint en moyenne environ 7,9 % de l'azote organique du produit. C'est le pourcentage de minéralisation le plus élevé des 98 composts analysés pendant cet audit. Ce pourcentage reste cependant faible si on le compare aux moyennes de minéralisation de l'azote des boues brutes (de 20 à 40 %) ou d'autres produits organiques, comme les déjections animales. En effet dans l'hypothèse d'un apport de 10 tonnes

MS/ha de compost de boues (composts les plus riches en azote organique : 2 % sur sec) qui représenterait en moyenne 200 kg d'azote, la minéralisation de cet azote (7,9 % de l'azote organique du produit) rendrait disponible environ 16 kg d'azote par hectare pour les plantes, ce qui est une valeur relativement faible.

Pour avoir une idée de la disponibilité en azote issu de ces composts de boue, il faut cependant rajouter la part d'azote minéral présent dans ces composts, qui est en moyenne de 18 % de l'azote total, essentiellement sous forme ammoniacale. Dans l'exemple d'un apport de 10 tonnes MS/ha de compost, cet azote minéral est de 44 kg. Ajoutés aux 16 kg d'azote issus de la minéralisation, on atteint 60 kg d'azote par hectare, ce qui n'est pas négligeable.

Éléments traces métalliques

En moyenne générale toutes les teneurs sont inférieures aux seuils de la norme NFU 44-095 (tableau 5). Cependant sur quelques plates-formes ces seuils sont dépassés : 3 pour le cuivre et 3 pour le zinc.

Tableau 5 : Teneurs en éléments traces métalliques des composts de boues (20 échantillons), comparaison avec la norme NFU 44-095, en mg/kg MS (ADEME Angers, 2007).

Élément	Moyenne	Coeff. var.*	NFU 44-095
Arsenic	2,1	95 %	18
Cadmium	0,9	50 %	3
Chrome	29,5	42 %	120
Cuivre	197	50 %	300
Mercure	0,7	51 %	2
Plomb	87	54 %	180
Nickel	20	40 %	60
Sélénium	0,62	87 %	12
Zinc	385	49 %	600

* Coefficient de variation, en % = (écart-type / moyenne) x 100

Composés traces organiques

Parmi les composts de boues, ceux provenant des grandes installations contiennent plus de PCB (quel que soit le PCB considéré) que les composts de boues provenant des plates-formes traitant moins de 20 000 t/an (tableau 6). Les valeurs trouvées restent toutefois en dessous des seuils de la norme NFU 44-095.

Tableau 6 : Somme des moyennes des 7 PCB des échantillons de composts des plates-formes traitant des boues selon la taille de l'exploitation (ADEME Angers, 2007).

Taille des installations	Somme des moyennes des 7 PCB recherchés dans les composts
Traitant plus de 20 000 t/an	229,2 µg/kg MS
Traitant moins de 20 000 t/an	128,5 µg/kg MS

Aspects microbiologiques

En ce qui concerne les indicateurs de traitement, sur les 20 composts de boues étudiés au cours de l'audit de l'ADEME de 2006, 4 composts de boues d'épuration ne respectent pas les seuils de la norme NFU 44-095 : présence de Clostridium (3 plates-formes), d'Entérocoques (3 plates-formes). En ce qui concerne les agents pathogènes, quatre composts de boues d'épuration ne respectent pas la norme NFU 44-095 : présence de Listéria (1 plate-forme), de Salmonelles (1 plate-forme) et d'œufs d'helminthes (2 plates-formes).

Il s'avère donc que 5 composts ne respectent pas les valeurs limites concernant les microorganismes d'intérêt sanitaires de la norme NFU 44-095. D'après les exploitants, 3 de ces 5 composts sont valorisés en plan d'épandage.

Quelques résultats d'essais agronomiques incluant des composts de boues

(1) en région méditerranéenne...

La plupart des essais suivis en Provence-Alpes-Côte d'Azur et en Languedoc-Roussillon dans le cadre du programme bi-régional d'acquisition de références agronomiques en contexte pédo-climatique méditerranéen incluaient des composts de boues. Nous rapportons ci-après quelques-uns des résultats de ces essais.

Expérimentations de la Chambre d'Agriculture des Alpes de Haute-Provence (2002)

Après 3 campagnes d'expérimentation les principaux résultats obtenus sont les suivants :

- Il n'y a pas de différence entre les traitements pour les rendements des cultures. Seul le témoin 0 azote est nettement en dessous des autres rendements. Les stratégies de fertilisations appliquées permettent d'obtenir des rendements très proches.
- Pour les produits typés "organiques" (compost de boues et pailles de lavandin), un seul apport sur 3 années et un complément en engrais minéral permettent d'obtenir des résultats similaires au témoin fertilisation.
- Les apports de produits organiques doivent être réalisés avant semis avec un mélange superficiel. Ceci permet de conserver les éléments fertilisants disponibles pour les plantes. Les techniques simplifiées de travail du sol utilisés lors de l'essai ont permis de mettre en œuvre ces pratiques.
- La faible durée de l'expérimentation n'a pas permis de mettre en avant des évolutions significatives du sol et de sa teneur en matières organiques.
- Les éléments traces métalliques observés dans les sols après 3 années ou dans les graines récoltées ne montrent pas d'accumulation entre les différents traitements.

Expérimentations de la Chambre d'Agriculture des Hautes-Alpes (Garcin et Montrozier, 2004)

Cet essai de plein champ est destiné à appréhender correctement une méthode innovante de stabilisation des sols et de maîtrise des phénomènes d'érosion sur les zones marneuses de moyenne altitude après travaux. Il porte sur la reconstitution intégrale ou partielle d'un sol dégradé par des travaux d'aménagement. L'absence ou le déficit de terre végétale à l'issue des travaux est compensé par l'apport de matières organiques issues du recyclage et de la valorisation des déchets urbains. Le substrat artificiel est reconstitué avec des apports massifs de composts de boues d'épuration. Il est ensuite ensemencé avec un mélange d'espèces végétales locales destiné à stabiliser le sol d'origine très vulnérable à l'érosion, et à minimiser l'impact des travaux par une insertion paysagère convenable. Le mélange de semences est projeté en association avec des colloïdes, et des fibres cellulosiques destinés à fixer le compost épandu superficiellement et les graines qui germeront pour fournir le couvert végétal. Le couvert végétal sera le plus homogène possible sur le plan quantitatif et qualitatif avec des caractéristiques proches de celles de l'écosystème local.

Expérimentations de la Chambre d'Agriculture de l'Aude (Chambre d'Agriculture de l'Aude, 2009)

Objectifs :

- Etudier la disponibilité de l'azote fourni par les produits issus de STEP : (boues) et compost
- Evaluer le risque environnemental et sanitaire inhérent à l'utilisation de ces produits (métaux lourds)

Dispositif expérimental : blocs à trois répétitions, parcelles élémentaires de 12 m x 20 m, 9 traitements : 27 parcelles :

Apports annuels de boues, compost, fumier, et azote minéral

- T 1 : Pas d'azote (témoin)
- T 2 : Azote minéral, (dose X/2 au stade épi 1 cm)
- T 3 : Azote minéral dose X (bilan prévisionnel ITCF)
- T 4 : Boues liquides
- T 5 : Boues liquides + complément azoté minéral
- T 6 : Compost
- T 7 : Compost + complément azoté minéral
- T 8 : Fumier
- T 9 : Fumier + complément azoté minéral

Les sols : Plaine lauragaise, sols formés sur formations alluviales, très profonds (180 cm) de type argilo limoneux (argile > 30 %), bruns à bruns foncés, calcaires et inégalement hydromorphes. Représentatif de la région afin de pouvoir extrapoler les résultats obtenus.

La culture : Blé dur, monoculture de 3 ans, culture représentative de la région.

Conclusion :

Effet azote : Le compost a contribué à accroître la production du blé ; cet effet étant essentiellement imputé à l'azote fourni par le produit. Une stratégie de fertilisation azotée du blé dur en utilisant du compost est tout à

fait concevable. Les quantités prélevées suffisent à assurer la croissance du blé jusqu'au tallage. Un complément minéral doit être ajusté avec un pilotage annuel.

Phosphore : Attention, les quantités de phosphore apportées sont conséquentes.

Métaux lourds : Dans le cadre de l'expérimentation, l'utilisation de compost n'induit pas de soucis majeurs d'accumulation de métaux lourds dans le sol ou dans la plante.

Expérimentation de la Chambre d'Agriculture des Bouches-du-Rhône (Mouton *et al.*, 2004)

Dans le cadre du programme interrégional d'acquisition de références agronomiques en contexte pédoclimatique méditerranéen, la Chambre d'Agriculture des Bouches-du-Rhône a conduit un essai sur l'intérêt de l'apport de matières organiques en gestion pastorale de pare-feux en zone de garrigue (voir fiche « Mouton *et al.*, 2004 »).

Le suivi sur trois ans a consisté :

- A mesurer l'efficacité globale de la coupure de combustible par des relevés de végétation sur la zone débroussaillée-pâturée, suivi des repousses de chêne kermès, mesures de rendement et de qualité fourragère sur la zone travaillée-semée-pâturée avec ou sans compost (cages de défends sur un dispositif présentant une répétition de trois blocs). Un effet phosphore dû au compost de boues a été constaté sur les trois années de l'expérimentation.

- A suivre sur un des blocs de la répétition, le sol avec ou sans compost (éléments fertilisants, matière organique et biomasse microbienne du sol, éléments traces métalliques) et le semis fourragère avec ou sans compost (éléments traces métalliques). Pour les éléments traces métalliques, il n'y a pas d'impact significatif dû à l'apport du compost de boues sur le sol et les cultures fourragères.

- A évaluer en première année l'impact du travail du sol sur les populations de macro-invertébrés du sol (sur les trois blocs et la zone de garrigue limitrophe). L'application du compost permettrait la reconquête plus rapide d'un certain nombre de groupes présents aussi dans le milieu naturel.

La tendance est à la diminution de la fréquence de travail du sol pour favoriser l'implantation de semis d'espèces fourragères vivaces, si les repousses de chênes kermès sont contrôlées et à condition que la production fourragère demeure satisfaisante pour l'éleveur.

D'autres apports de compost sont possibles suite à un nouveau travail du sol si nécessaire ou en apport de surface sans enfouissement sur les zones où un couvert herbacé s'est bien implanté. Un suivi sur plusieurs années est à reconduire pour en tirer suffisamment d'enseignements extrapolables à d'autres pare-feu du département ; des potentiels de composts consommables annuellement pourront alors être définis, selon les itinéraires techniques en cours de formalisation.

Le sol témoin très pauvre en phosphore (P_2O_5 Joret-Hébert = 0,014 mg/kg, une teneur considérée comme normale devrait être 10 fois supérieure) a réagi très nettement à l'apport d'un compost de boues bien pourvu en phosphore (P_2O_5 total/MS = 2,4 %). L'effet fertilisant en 1^{ère} année s'est prolongé sur les 2^{èmes} et 3^{èmes} années.

Expérimentations de la Chambre d'Agriculture du Gard (Irr *et al.*, 2004)

Dans le cadre du programme interrégional Languedoc Roussillon et Provence Alpes Côte d'Azur d'acquisition de références agronomiques en contexte pédoclimatique méditerranéen, parmi les 13 expérimentations qui ont été réalisées, deux portaient sur la vigne en production pendant 3 à 4 ans, l'une dans le Gard, l'autre dans le Var (voir plus loin).

Concernant l'expérimentation menée par la Chambre d'Agriculture du Gard, les principaux résultats sont les suivants :

Le suivi des éléments traces métalliques

Compte tenu des analyses en ETM sur les produits et compte tenu des doses d'épandage, ce sont les deux composts (compost de boues et déchets verts, et compost de distillerie) qui apportent le plus d'ETM. Ceci étant, on ne peut mettre en évidence un quelconque lien entre l'apport d'ETM par les différentes matières fertilisantes apportées et l'enrichissement du sol pour certains éléments traces. Enfin, concernant le vin, les comparaisons des teneurs en ETM des différents traitements ne révèlent pas de différences significatives entre les traitements.

Les effets de la matière organique sur le sol

Après 4 années d'apports, on observe des variations au niveau de la biomasse microbienne et au niveau de la fraction granulométrique de la matière organique pour les traitements "compost de boues" et "compost de distillerie" par rapport au témoin. Ces différences restent toutefois faibles.

Le suivi de la vigne et du vin

On remarque les deux dernières années des différences statistiques au niveau des rendements. En dernière année, ces différences sont manifestement liées aux différents traitements sans qu'il soit possible de dégager de comportement spécifique entre les différents produits. En revanche, on n'observe pas de différences entre les traitements concernant les stades phénologiques, le diagnostic foliaire, et les analyses de vins.

Expérimentation de la Chambre d'Agriculture du Var (2002)

La faisabilité agronomique et environnementale de l'épandage d'un compost de boues en entretien en viticulture a été étudiée de 1999 à 2002 dans le cadre du programme expérimental inter-régional (LR et PACA) de recherche de références et d'amélioration des connaissances concernant les risques et l'intérêt agronomique des boues d'épuration en vue de leur utilisation agricole en région méditerranéenne. Le compost, issu du co-compostage de boues urbaines avec des déchets verts et des écorces de pin, a été épandu à la dose de 15 t/ha selon deux modalités, un apport massif la première année, et un apport fractionné à raison de 5 t/ha tous les ans. Ces deux modalités ont été comparées à une fertilisation minérale et à un apport de fumier de cheval. Quel que soit l'origine de la matière organique apportée, nous avons pu noter un enrichissement significatif du sol en matières organiques et azote organique, enrichissement supérieur pour les composts mais inférieur pour le fumier. Ces apports ont également enrichi le sol en éléments fertilisants en fonction de leur richesse : ainsi, le fumier a permis un enrichissement en K_2O , tandis que le compost a apporté de grosses quantités de P_2O_5 entraînant un enrichissement significatif. Cet apport massif de phosphore va être particulièrement limitant dans la gestion des épandages en raison des risques de pollution. Cependant, aucune différence significative n'apparaît entre les différents traitements concernant le développement de la vigne et les rendements. L'écart le plus significatif apparaît sur le vin, notamment concernant l'acidité. L'apport de fumier de cheval a permis l'obtention d'un vin plus acide. Par contre, les apports de composts de boues n'ont pas eu d'impact sur la qualité finale des vins par rapport à une fertilisation minérale classique.

Expérimentations de la Chambre d'Agriculture de Vaucluse (2008)

Au terme de 9 années d'expérimentation, aucun effet négatif spécifiquement lié à l'emploi d'un compost de boues d'épuration n'a été mis en évidence, que ce soit sur le plan agronomique ou sanitaire, au niveau du sol, des arbres ou des fruits. Toutefois, les flux élevés en phosphore générés par l'emploi du compost utilisés dans le cadre de l'expérimentation est un facteur limitant à son emploi selon les modalités testées. La fréquence d'emploi des composts de boues ainsi que leur choix doivent être raisonnés en tenant compte également de ce critère.

(2) et ailleurs en France

Quelques essais de longue durée ont été mis en place ailleurs en France ces dernières années, notamment l'essai INRA Qualiagro, mis en place à Feucherolles (78) (Bodineau *et al.*, 2007) et l'essai de Colmar (68) (Montenach *et al.*, 2007). Dans ces deux essais il y a un traitement « compost de boue ».

Concernant la valorisation agronomique des composts de boues, nous renvoyons également au paragraphe de ce rapport sur le phosphore, car les composts de boue étant riches en cet élément, c'est le principal facteur limitant pour l'utilisation des composts de boues (dans la mesure où les composts respectent les seuils en vigueur pour les critères d'innocuité).

Composts de biodéchets des ménages

Les composts de biodéchets des ménages sont issus de la collecte sélective, dans les foyers, de la partie fermentescible des ordures ménagères. Ils sont essentiellement constitués des restes des repas et de leur préparation, et d'autres déchets organiques ménagers tels mouchoirs en papier, essuie-tout, déchets de plantes, etc. Comme pour les boues, ils sont souvent compostés en mélange avec des structurants, principalement des déchets verts, car leur humidité et leur teneur en azote sont élevées. Les deux études les plus récentes sur la qualité de ces composts sont celle de Houot *et al.* (2003) et celle de l'ADEME Angers (2007).

Caractéristiques agronomiques des composts de biodéchets des ménages

Bien que l'échantillon soit faible, si l'on compare les moyennes nationales des caractéristiques agronomiques (15 plates-formes) avec celle d'un échantillon de 2 plates-formes situées en zone méditerranéenne, on note peu de différence (voir tableau 7), mais une tendance en une concentration plus faible en phosphore et en potassium en climat méditerranéen.

Tableau 7 : Caractéristiques agronomiques des composts de biodéchets des ménages.

	Au niveau national (15 plates-formes)		En climat méditerranéen (2 plates-formes)	
	Moyenne	Coeff. var.*	Moyenne	Coeff. var.*
Matières sèches (g/100g MB)	63	11 %	63	3 %
Matières organiques (g/100g MS)	41	27 %	39	12 %
Azote total (g/100g MS)	1,6	25 %	1,5	27 %
Phosphore (P ₂ O ₅) (g/100g MS)	1,1	45 %	0,8	38 %
Potasse (K ₂ O) (g/100g MS)	1,7	24 %	1,3	31 %
Calcium (g/100g MS)	8,6	40 %	12	17 %
Magnésium (g/100g MS)	0,8	38 %	1,4	21 %
pH	8,3	6 %	8,8	1 %

* Coefficient de variation, en % = (écart-type / moyenne) x 100

Éléments traces métalliques

Le tableau 8 nous montre l'évolution des teneurs en ETM dans les composts de biodéchets des ménages entre 2003 et 2006. Bien qu'il ne s'agisse pas exactement des mêmes plates-formes de compostage, la comparaison est relativement valable puisqu'elle concerne des plates-formes de tout l'hexagone, et même si l'échantillon de 2006 est plus faible (15 au lieu de 25 en 2003), les coefficients de variation sont pour la plupart plus faibles que ceux de 2003 (sauf pour l'arsenic et le cuivre). Les résultats montrent une tendance à la baisse des teneurs en ETM, sauf pour l'arsenic et le cuivre.

Tableau 8 : Teneurs en éléments traces métalliques des composts de biodéchets des ménages (mg/kg de MS).

Élément	Données 2003 (25 échantillons)		Données 2006 (15 échantillons)		Rappel NFU 44-051
	Moyenne	Coeff. var.*	Moyenne	Coeff. var.*	
Arsenic	6	68 %	7	110 %	18
Cadmium	0,7	46 %	0,3	115 %	3
Chrome	39	91 %	24,5	40 %	120
Cuivre	71	92 %	76	51 %	300
Mercure	0,3	139 %	0,1	126 %	2
Plomb	119	149 %	77	23 %	180
Nickel	19	75 %	16	41 %	60
Sélénium	-		0	-	12
Zinc	235	50 %	202	36 %	600

* Coefficient de variation, en % = (écart-type / moyenne) x 100

Résultats d'essais agronomiques incluant des composts de biodéchets des ménages

Il existe très peu d'essais agronomiques incluant des composts de biodéchets des ménages. Citons celui suivi par la Chambre d'Agriculture du Lot-et-Garonne, sur grandes cultures et salades (principaux résultats ci-dessous).

Essai de la Chambre d'Agriculture du Lot-et-Garonne (Duprat-Invernizzi *et al.*, 2006)

La Chambre d'Agriculture du Lot-et-Garonne, en partenariat avec HORTIS Aquitaine (ex AIREL) teste depuis 2003 le compost de déchets verts + biodéchets de la Communauté d'Agglomération d'Agen (CAA) sur grandes cultures et salades. L'objectif de ces essais était de vérifier l'innocuité du produit sur le sol (ETM, micro-polluants organiques) et les cultures (norme nitrates, ETM) et de mesurer la valeur agronomique de ce compost (augmentation de rendement, caractéristiques du sol). Ces essais ont reçu un soutien financier de l'ADAR, de la CAA, de l'ADEME et de la Communauté européenne.

Le compost testé provient de la plate-forme de compostage de Foulayronnes. La matière première à composter est constituée de tontes de pelouses, de taille d'arbres, de haies, de fruits et légumes abîmés, de biodéchets non carnés (pelures, légumes, fruits, café, filtres,...).

En conclusion de cet essai, les points forts du compost étudié sont :

- Concernant son innocuité :
 - Le non dépassement de la norme nitrates pour les salades.
 - Les teneurs en composés traces organiques du sol n'ont pas augmenté.
- Concernant sa valeur agronomique :
 - Plus on apporte de compost, plus le poids des salades augmente et plus le rendement du blé augmente avec une fumure complémentaire azotée. En prenant en compte l'efficacité économique (rapports de synthèse des années d'essai, Chambre d'Agriculture du Lot et Garonne), mieux vaut préconiser des doses autour de 10-20 t/ha de compost.

Plus on apporte de compost, plus la matière organique et la biomasse microbienne du sol augmentent.

Composts d'ordures ménagères

Dans les années 1980 plusieurs études ont porté sur la valeur agronomique ou l'innocuité des composts d'ordures ménagères. Les résultats de ces études sont peu utilisables aujourd'hui, en raison de l'évolution des composts de ce type, produits en plus faibles tonnages, et de moins de moins valorisés dans le milieu agricole. Il serait par contre urgent de recueillir des références sur les composts fabriqués dans les nouvelles installations de tri mécano-biologique (composts « TMB »).

Caractéristiques agronomiques des composts d'ordures ménagères

Concernant la composition des composts d'ordures ménagères, les données les plus récentes et les plus complètes sont celles de l'étude de Houot *et al.* (2004) (voir tableau 9)

Tableau 9 : Caractéristiques agronomiques des composts d'ordures ménagères (62 échantillons) (Houot *et al.*, 2004).

	Moyenne	Coeff. var.*
Matières sèches (g/100g MB)	58	17 %
Matières organiques (g/100g MS)	47	28 %
Azote total (g/100g MS)	1,33	26 %
Phosphore (P ₂ O ₅) (g/100g MS)	0,68	32 %
Potasse (K ₂ O) (g/100g MS)	1,0	24 %

* Coefficient de variation, en % = (écart-type / moyenne) x 100

Éléments traces métalliques (ETM)

Les teneurs en ETM des composts d'ordures ménagères sont les plus élevés des composts d'origine urbaine. Parmi les 62 plates-formes analysées dans l'étude de Houot *et al.* (2004), seulement 11 % étaient conformes à la norme NFU 44-051 pour ce critère d'innocuité (tableau 10).

Tableau 10 : Teneurs en éléments traces métalliques des composts d'ordures ménagères (62 échantillons), comparaison avec la norme NFU 44-051, en mg/kg MS.

Élément	Moyenne	Coeff. var.*	NFU 44-051
Arsenic	3	94 %	18
Cadmium	2,2	76 %	3
Chrome	153	83 %	120
Cuivre	275	240 %	300
Mercurure	1,5	327 %	2
Plomb	425	78 %	180
Nickel	37	155 %	60
Sélénium	0,1	309 %	12
Zinc	425	115 %	600

* Coefficient de variation, en % = (écart-type / moyenne) x 100

Résultats d'essais agronomiques incluant des composts d'ordures ménagères

Les essais agronomiques incluant des composts d'ordures ménagères sont anciens et leurs résultats sont difficiles à exploiter aujourd'hui. En effet la qualité des composts d'ordures ménagères a évolué, mais en dépit de cette évolution ils restent de piètre qualité au regard des critères d'innocuité, comme le montre les données sur leurs teneurs en éléments traces métalliques (tableau 10 ci-dessus), leur interdisant de pouvoir être utilisés comme amendement organique (non respect de la norme NFU 44-051). Rappelons que contrairement aux composts de boue qui peuvent être utilisés en plan

d'épandage (loi sur l'eau) lorsqu'ils ne respectent pas les critères de la norme NFU 44-095, il n'est pas possible d'épandre des composts d'ordures ménagères (ou tout autre compost qui n'incluent pas des boues), sous le régime du plan d'épandage.

Il sera intéressant dans un proche avenir de recueillir des données expérimentales sur les nouveaux composts d'ordures ménagères issus des procédés de tri mécano-biologique, qui devront respecter les critères d'innocuité de la norme NFU 44-051 pour être valorisés en agriculture.

Autres composts

Parmi les composts non issus du secteur urbain, nous pouvons distinguer :

- les composts de fumiers
- les composts de déchets d'origine agricole,
- les composts d'industries agro-alimentaires.

En comparaison de ceux d'origine urbaine, ces composts présentent une variabilité de composition, et donc de comportement agronomique, encore plus grande. Il n'est pas possible dans le cadre de ce rapport d'être exhaustif sur tous les composts de ces secteurs pouvant être utilisés en climat méditerranéen. Notons que certaines catégories sont peu présentes, comme les composts de fumiers, qui sont principalement présents en zones de montagne.

Composts de fumiers

Sur la valeur agronomique des composts de fumiers, la référence couramment utilisée est la brochure « fertiliser avec les engrais de ferme » (Bodet *et al.*, 2001). Elle ne donne pas d'indications particulières pour la zone méditerranéenne. Dans cette zone, le gisement est surtout représenté par les fumiers de mouton, lesquels sont rarement compostés (un apport d'eau est nécessaire au démarrage du compostage, car les fumiers de mouton sont relativement secs).

Composts de déchets d'origine agricole

Les composts de marcs de raisin issus de distillerie

En Languedoc Roussillon, les amendements les plus utilisés sont les marcs de raisin issus de distilleries (Ecotechnologie, 2006), mais la plupart du temps ils sont utilisés bruts et non compostés, ce qui fait que l'on manque de référence sur la valeur agronomique des quelques compost de marcs de raisin produits.

Co-compostage déchets verts + déchets de pêches, tomates, concombres (Chambre d'Agriculture des Pyrénées Orientales, 2009a)

Les fruits et légumes (issus du retrait ou hors calibres) apportent essentiellement l'humidité nécessaire aux déchets verts pour un bon démarrage du compostage. Par rapport à un compost 100 % déchets verts, les effets de ces apports de fruits ou légumes n'ont pratiquement aucun impact sur la valeur agronomique des composts produits. Ainsi, pour des apports de pêches de 25 à 50 %, de tomates de 25 %, de concombres de 33 %, il n'y a aucune différence sur la composition du compost final sur les critères suivants : matière sèche, C/N, pH, phosphore, magnésium, calcium. Par contre on constate une augmentation de l'ISB pour les composts avec pêches ou concombres, et une augmentation de la teneur en potassium pour le compost avec tomates.

Co-compostage déchets verts + déchets de salades (Chambre d'Agriculture des Pyrénées Orientales, 2009b)

Comme pour le co-compostage des déchets de pêches, tomates ou concombres, les salades apportent surtout l'humidité nécessaire aux déchets verts pour un bon démarrage du compostage. Les différences agronomiques sur le compost produit sont très faibles (aucune pour les critères suivants : matière sèche, C/N, pH, phosphore, magnésium, calcium), et quand elles existent, elles sont très variables, affectées ou non par le ratio de salades utilisés (de 12,5 à 50 %).

Co-compostage déchets verts + substrats de culture usagés (Chambre d'Agriculture des Pyrénées Orientales, 2009c)

Les substrats concernés sont la fibre de coco et la laine minérale. La fibre de coco est une véritable source carbonée, et apporte également aux déchets verts l'humidité nécessaire à leur compostage. La laine minérale a un rôle de structurant très peu carboné et des qualités de rétention en eau. Elle est toutefois à introduire modérément pour veiller au respect du taux de MO du compost final. Les effets de la fibre de coco sont très peu marqués sur les caractéristiques agronomiques des composts. Par

contre la laine minérale a plus d'effets : diminution de la teneur en MO, augmentation des teneurs en éléments minéraux.

Composts d'industries agro-alimentaires

Localement il peut être produit des composts à base de déchets d'industries agro-alimentaires (exemple : broyat de plantes aromatiques composté après distillation), mais ils représentent des tonnages très faibles, et surtout ils n'ont généralement fait l'objet d'aucune expérimentation agronomique.

Conclusion sur la typologie des composts

Les personnes qui ont étudié différents types de composts ont constaté une très grande variabilité de leur composition et de leur comportement (Fuchs *et al.*, 2008 ; Lashermes *et al.*, 2007). Mais malgré cette grande variabilité, les composts ont tendance à aller vers une composition voisine quels que soient les produits entrants lorsque la phase de maturation est très longue (Francou, 2003 ; Fuchs *et al.*, 2008). D'un point de vue opérationnel ce constat montre toute l'importance de la phase de maturation, notamment pour obtenir un compost de composition relativement constante sur une même plate-forme.

Ainsi, sous réserve de cette variabilité, qui existe non seulement entre les types de composts selon les déchets entrants, mais également pour un même type de compost, il est possible de donner des grandes tendances pour les principaux composts d'origine urbaine :

Les composts de déchets verts

Ils sont en général de meilleure qualité que les autres composts (notamment en ce qui concerne les ETM), plus aptes à enrichir les sols en carbone (ISB moyen de 0,53 (ADEME Angers, 2007)), mais la disponibilité de l'azote qu'ils contiennent est très faible. A noter que l'ajout de fruits ou de légumes de retraits à des déchets verts influence très peu le compost obtenu (expérimentations de la Chambre d'Agriculture des Pyrénées Orientales).

Les composts de boue

Ils sont moins aptes à enrichir les sols en carbone (ISB moyen de 0,41 (ADEME Angers, 2007)), mais leur azote est plus disponible, notamment en raison de leur teneur élevée en azote minéral, et surtout ils sont riches en phosphore, ce qui fait de ce dernier élément le facteur limitant leur utilisation. Par rapport aux composts de déchets verts, leur qualité est moindre (éléments traces métalliques en particulier).

Les composts de biodéchets des ménages

Ils sont aussi riches en éléments fertilisants, voir plus, que les autres catégories de compost d'origine urbaine, et présentent un ISB intermédiaire entre les composts de boues et les composts de déchets verts (ISB moyen de 0,48 (ADEME Angers, 2007)), en dépit d'une teneur plus faible en matière organique (40 % de la MS). Concernant les critères d'innocuité, ils se situent également entre les deux principales catégories de composts : teneurs moyennes plus élevées en ETM que les composts de déchets verts, mais plus faibles que les composts de boues.

Les composts d'ordures ménagères

Le principal frein à leur valorisation agronomique est leur richesse importante en ETM et la présence d'indésirables (plastiques, verres). D'autre part, la présence dans les déchets initiaux, de papiers par nature riches en cellulose, requiert une durée de compostage plus longue pour arriver à des composts stabilisés. De ce fait, les composts d'ordures ménagères, plus riches en papiers-cartons, sont encore instables au bout de trois mois, et nécessitent au moins six mois de compostage, avec retournements réguliers tout au long du compostage, pour se stabiliser. Des références agronomiques seront à recueillir sur les nouveaux composts qui seront issus des usines de tri mécano-biologique.

2.3 Entrée par critères de valeur agronomique

Rappelons que ce paragraphe récapitule les caractéristiques des types de compost par critères agronomiques, ce qui permet d'accéder rapidement à une synthèse selon les critères suivants :

- teneur en matière organique,
- caractérisation de la MO (ISB et ISMO),
- test de maturité,
- propriétés des sols liées à la présence de matière organique,
- azote,
- phosphore,
- principaux cations,
- critères d'innocuité.

Teneur en matière organique

Dans le tableau 11 nous avons porté les moyennes des teneurs en matière organique des quatre principales catégories de composts d'origine urbaine. Les moyennes de teneurs en MO varient de 41 % à 52 %. Les coefficients de variation des teneurs en MO sont assez voisines, autour de 25 %.

Tableau 11 : Teneur en matière organique, en % de la matière sèche, des 4 principales catégories de composts d'origine urbaine.

Type de composts	Teneur en MO	Coeff. var.*
Composts de déchets verts ¹	46	23 %
Composts de boues ²	52	25 %
Composts de biodéchets ³	41	27 %
Composts d'ordures ménagères ⁴	47	28 %

¹ Audit ADEME, 2006 (45 échantillons)

² Audit ADEME, 2006 (20 échantillons)

³ Audit ADEME, 2006 (15 échantillons)

⁴ Étude INRA, 2003 (62 échantillons)

* Coefficient de variation, en % = (écart-type / moyenne) x 100

Caractérisation de la MO (ISB et ISMO)

La teneur en matière organique des composts rend peu compte de l'évolution de cette matière organique une fois incorporée aux sols. C'est pourquoi ces dernières années ont été développées des analyses pour aborder la biodégradabilité des matières organiques après incorporation aux sols. Ces analyses permettent de calculer un indice de stabilité biologique de la matière organique (ISB), et plus récemment, un indice de stabilité de la matière organique (ISMO). Nous rapportons ici des données d'ISB, le nouvel indice ISMO, qui sera amené à le remplacer, n'étant pas encore utilisé en routine par les laboratoires d'analyses de terre.

Dans le tableau 12 ci-dessous, on constate que le classement des principales catégories de composts selon les ISB moyens, est différent du classement selon leurs teneurs en matière organique (tableau 11). Ainsi par exemple le compost de boue, qui présente la teneur moyenne en matière organique la plus élevée de ces 4 catégories, a l'un des ISB les plus faibles. Un autre exemple : les composts de déchets verts et les composts d'ordures ménagères, qui ont une teneur en MO analogue, ont des ISB très éloignés : le plus élevé des 4 catégories pour les compost de déchets verts (0,53), et le plus faible pour les composts d'ordures ménagères (0,36).

Tableau 12 : ISB des 4 principales catégories de composts d'origine urbaine.

Type de composts	ISB	Coeff. var.*
Composts de déchets verts ¹	0,53	23 %
Composts de boues ²	0,41	32 %
Composts de biodéchets ³	0,48	27 %
Composts d'ordures ménagères ⁴	0,36	25 %

¹ Audit ADEME, 2006 (45 échantillons)

² Audit ADEME, 2006 (20 échantillons)

³ Audit ADEME, 2006 (15 échantillons)

⁴ Étude INRA, 2003 (62 échantillons)

* Coefficient de variation, en % = (écart-type / moyenne) x 100

Pour tous ces composts, la stabilité de leur MO, mise en évidence par la mesure de l'ISB, est à mettre en relation avec leur degré de maturité, et donc la qualité du procédé de compostage. Ainsi Houot *et al.* (2002) ont montré que quand le procédé de compostage est accéléré au début, la MO d'un compost de déchets verts et d'un compost de biodéchets des ménages se stabilise rapidement en 3 mois. Les composts produits ont une valeur amendante élevée (ISB = 0,6 à 0,75) mais une faible disponibilité en azote. Quand le compostage n'est pas accéléré au début, la stabilisation du compost de déchet vert est plus lente et 6 mois sont nécessaires pour atteindre le degré maximum de maturité. Pour le compost d'ordures ménagères, il faut 6 mois pour atteindre un degré de maturité maximum selon les indicateurs « de terrain », mais le compost était particulièrement sec, problème fréquemment rencontré pour ce type de compost, ce qui a ralenti le bon déroulement du compostage (29 % d'humidité à 3 mois). Cependant la stabilité de la MO reste inférieure aux autres composts, ce qui explique une valeur amendante plus faible, mais également une disponibilité de l'azote plus importante.

Franco (2003) a étudié l'évolution des caractéristiques de la matière organique de composts au cours du compostage, en la reliant à leur origine (nature des déchets compostés et procédé de compostage), et en a déduit leur aptitude à entretenir le stock de matière organique d'un sol. Les conséquences de la biodégradabilité résiduelle des composts sur la disponibilité potentielle de l'azote ont été également étudiées. Une dizaine de composts issus de plates-formes de compostage industrielles, comprenant des composts de déchets verts, des co-composts de déchets verts et boues, des composts de biodéchets (fraction fermentescible des ordures ménagères collectée sélectivement), et des composts d'ordures ménagères, ont été échantillonnés à trois, quatre et six mois de compostage, pendant la phase dite de maturation. Afin de s'affranchir de la variable procédé de compostage, huit composts élaborés en réacteurs de laboratoire à partir d'un procédé unique de compostage et des proportions variables de déchets verts, biodéchets, et papiers-cartons, ont été suivis durant trois mois. Au cours du compostage, les composts évoluent vers des produits aux caractéristiques de plus en plus proches et indépendantes de leur origine, mais les vitesses de stabilisation dépendent de l'origine des composts. La prédominance dans les déchets initiaux, de déchets verts par nature riches en lignine, entraîne la stabilisation rapide de la matière organique des composts, que le procédé soit accéléré ou non. Les caractéristiques de la matière organique de ces composts évoluent peu entre trois et six mois de compostage. Mais à cause de la minéralisation de leur matière organique au cours du compostage, la valeur amendante de ces composts, estimée à partir de l'Indice de Stabilité Biologique (ISB) et de leur teneur en matière organique, peut présenter une légère diminution entre trois et six mois de compostage. A l'opposé, la prédominance dans les déchets initiaux, de papiers par nature riches en cellulose, requiert une durée de compostage plus longue pour arriver à des composts stabilisés. De ce fait, les composts d'ordures ménagères, plus riches en papiers-cartons, sont encore instables au bout de trois mois, et nécessitent au moins six mois de compostage, avec retournements réguliers tout au long du compostage, pour se stabiliser. Cette importante stabilisation de la matière organique des composts d'ordures ménagères au cours du compostage entraîne une augmentation de leur valeur amendante entre trois et six mois.

L'ISMO

Dans le cadre du groupe de normalisation de l'AFNOR "U44E", un nouvel **Indice de la Stabilité de la Matière Organique** (ISMO) a été proposé. Cet indice correspond au pourcentage de la matière organique du produit qui sera potentiellement incorporée à la MO du sol, après transformation et humification ou parce que récalcitrante à la minéralisation ; il est exprimé en pourcentage de la matière organique du produit.

$$ISMO = 44.5 + 0.5SOL - 0.2CEL + 0.7LIC - 2.3Cm_3$$

où *SOL*, *CEL* et *LIC* sont les fractions organiques⁹ telles que définies dans la méthode du fractionnement biochimique (XPU 44 162) exprimées en pourcentage de la MO des MOE et *Cm₃* est la proportion de C de la MOE minéralisée après 3 jours d'incubation (XPU 44 163) exprimée en pourcentage du C organique de la MOE.

Sur l'ensemble des composts des 100 plates-formes auditées (ADEME Angers, 2007), il n'apparaît pas de différence notable de la valeur de cet indice selon le type de déchets entrant. Ce groupe de travail a aussi proposé une classification des produits en fonction des résultats du fractionnement biochimique et des teneurs en azote organique. Il apparaît que la grande majorité des composts

⁹ SOL = « soluble », CEL = « cellulose », LIC = « lignine + cutine ».

correspondent à la classe 5 : « produits qui ont un potentiel de minéralisation de N organique très faible et ne dépassant pas 5 kg N par tonne de MS au cours de l'année suivant l'épandage ». De plus, l'apport de ces produits peut entraîner une immobilisation d'azote minéral dans le sol allant jusqu'à 5 kg N par tonne de MS au cours de l'année suivant l'épandage. Seuls 3 composts sur les 100 plates-formes auditées, dont 1 de déchets verts, n'appartiennent pas à cette classe.

Test de maturité

Basé sur la germination et la croissance du cresson, ce test permet d'évaluer la maturité des composts.

Tableau 13 : Résultats statistiques (test de Student, $\alpha < 5\%$) des tests cresson réalisés sur les composts en fonction du type de déchets entrants (ADEME Angers, 2007). Les résultats sont exprimés en pourcentage sur le total des plates-formes par type de déchet entrant. NS : effet non significatif par rapport au témoin ; S : diminution significative par rapport au témoin ; S+ : augmentation significative par rapport au témoin.

	Plantes émergées à 3 jours		Plantes émergées à 7 jours		Biomasse fraîche des plantules à 7 jours / 1 000 plantules			Plantes anormales à 3 jours	
	NS	S	NS	S	NS	S	S+	NS	S
Déchets verts	67	33	78	22	31	33	36	84	16
Boues	20	80	20	80	15	85	0	50	50
Biodéchets des ménages	27	73	40	60	27	60	13	73	27
Autres déchets	24	76	29	71	24	65	12	76	24

Ce test discrimine de façon positive les composts de déchets verts par rapport aux trois autres catégories de composts de l'audit : il révèle globalement leur degré de maturité plus élevé. Ainsi les essais réalisés sur les composts de déchets verts montrent qu'1/3 des échantillons entraînent une diminution significative de la biomasse aérienne, qu'1/3 entraîne une augmentation significative de cette biomasse, et que le dernier 1/3 n'a pas d'effet significatif en comparaison des témoins (tableau 13). Par contre, la grande majorité des composts issus des autres types de déchets entrants (boues, biodéchets des ménages et autres déchets) entraînent une diminution significative de la biomasse fraîche ainsi que des autres paramètres étudiés (nombre de plantules émergées à 7 jours), ce qui traduit soit un déficit de maturité soit une phytotoxicité.

Propriétés des sols liées à la présence de matière organique

Le rôle des matières organiques sur les propriétés du sol est primordial : elles augmentent l'aération, la rétention en eau, la stabilité de la structure, la capacité d'échange cationique (CEC) et diminuent la densité. Les relations existantes entre les teneurs en matière organique des sols et leurs propriétés physiques sont relativement bien connues, mais peu d'études établissent des liens nets entre un apport de compost et son effet sur l'une ou l'autre des principales propriétés des sols, et plus particulièrement en zone méditerranéenne.

Stabilité de la structure

La structure du sol est l'agencement de ces composants, les agrégats, les uns par rapports aux autres. Une bonne structure est une structure qui résiste aux diverses agressions que subit un sol (gouttes de pluie, tassement, etc.) et qui permet aussi une bonne circulation de l'eau et de l'air à l'intérieur du sol. La structure peut se dégrader plus ou moins facilement, c'est pour cette raison que l'on parle de « stabilité » de la structure. Les matières organiques jouent un rôle clé dans cette stabilité. Les travaux reliant l'apport de composts à cette stabilité sont rares, nous reportons ci-dessous les résultats de recherche sur l'utilisation de composts pour améliorer la stabilité structurale des sols limoneux (Annabi *et al.*, 2001).

Les deux composts étudiés par Annabi *et al.* (2001) étaient :

- un compost de la fraction fermentescible des ordures ménagères (BIO) collectée sélectivement et co-compostée en mélange avec des déchets verts¹⁰.
- 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).

¹⁰ 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.

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.

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 3 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 OMR) et une augmentation plus lente mais régulière en présence des composts mûrs (type BIO).

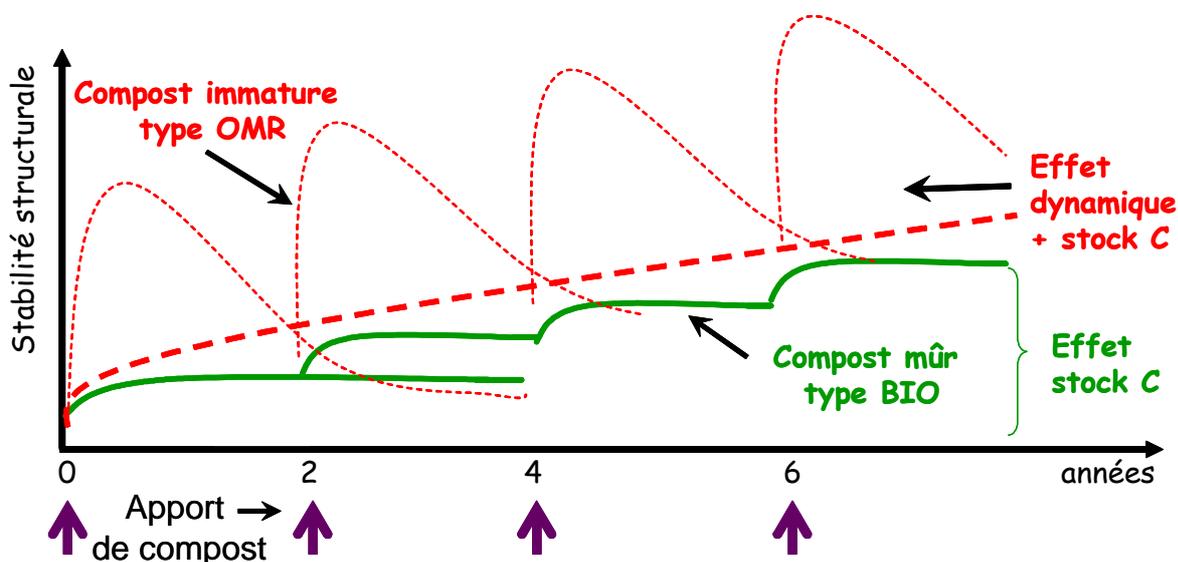


Figure 3 : Présentation schématique des effets variables des composts sur la stabilisation des agrégats du sol en fonction de leur degré de maturité.

Au laboratoire, tous les composts étudiés améliorent la stabilité de la structure. L'effet positif des **composts 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 4).

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.

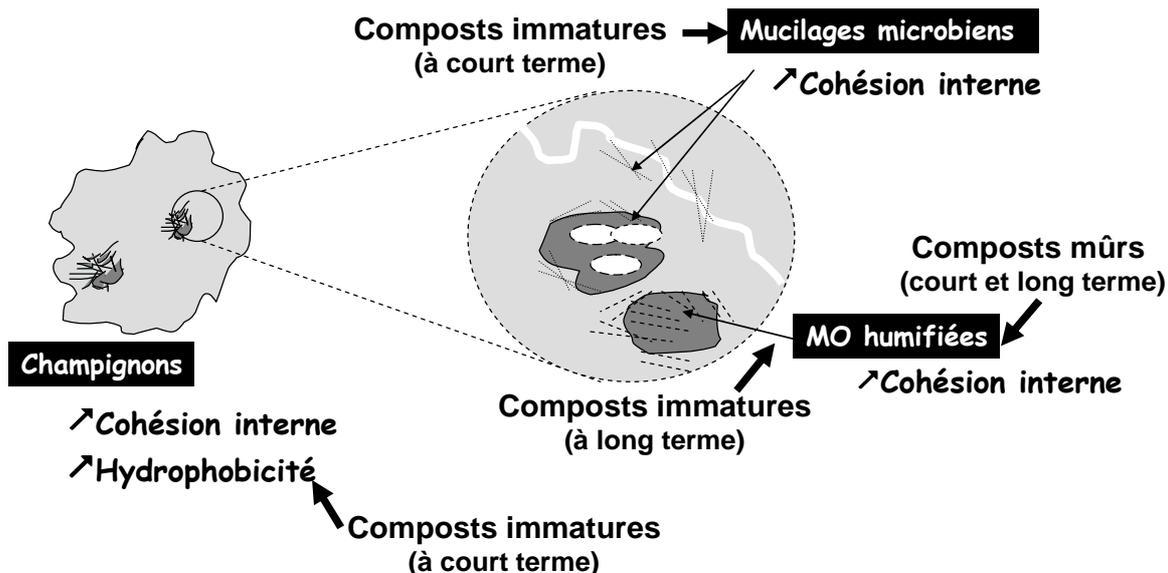


Figure 4 : Stabilisation des agrégats du sol par les agents agrégeants organiques (adapté de Robert et Chenu, 1992) : mécanismes d'action des composts en fonction de leur degré de maturité.

Capacité d'échange cationique (CEC)

La CEC mesure la capacité d'un sol à retenir les cations. Plus la CEC est élevée, plus la nutrition minérale des cultures sera assurée. La CEC est naturellement élevée dans les sols argileux, car les cations sont facilement retenus sur les surfaces chargées négativement des particules d'argile. En sols sableux en revanche, la CEC est très faible. C'est donc dans ces derniers que l'apport de matières organiques (qui ont une CEC beaucoup plus élevée que les argiles) va s'avérer le plus efficace pour remonter la CEC globale du sol. La matière organique apportée sous forme de composts dans les sols sableux sera très efficace pour augmenter la CEC, car la minéralisation du compost étant beaucoup plus faible que celle d'une matière organique non compostée (fumier brut, boue, etc.), la MO ainsi introduite dans le sol restera présente beaucoup plus longtemps, assurant une CEC correcte sur le long terme.

Capacité de rétention en eau

La MO augmente également la capacité de rétention en eau des sols. Comme pour la CEC, plus un sol est riche en argile, plus sa capacité à retenir l'eau est bonne. En revanche la capacité d'un sol sableux à retenir l'eau est très faible. Elle sera augmentée par l'apport de MO. Cette propriété des sols est primordiale dans les régions méditerranéennes, qui présentent des déficits importants en pluviométrie, notamment en période estivale.

Azote

L'azote est l'élément majeur déterminant les rendements des cultures. Tous les composts en contiennent, et peuvent ainsi contribuer à la nutrition azotée des cultures. Cependant, la contribution de cet azote est en général très faible, car cet élément est peu disponible. On calcule la faculté d'un compost à fournir de l'azote en étudiant sa minéralisation en conditions contrôlées de laboratoire. Les pourcentages de minéralisation par rapport à l'azote organique présent au départ sont très faibles, comme le montre les résultats des analyses réalisées sur les 98 composts étudiés dans l'audit national (ADEME Angers, 2007) (voir tableau 14).

Plusieurs références font également état de cette faible disponibilité en azote des composts (Elherradi *et al.*, 2003 ; Francou, 2003 ; Nicolardot *et al.*, 2007).

Pour avoir une idée de la disponibilité en azote, il faut cependant rajouter la part d'azote minéral présent dans ces composts. Pour les composts de boue par exemple, les plus riches en azote minéral (voir tableau 14), cette part est en moyenne de 18 % de l'azote total, essentiellement sous forme ammoniacale. Dans l'exemple d'un apport de 10 tonnes MS/ha de compost, cet azote minéral est de 44 kg. Ajoutés aux 16 kg d'azote issus de la minéralisation (200 kg x 8 %), on atteint 60 kg d'azote par hectare, ce qui n'est pas négligeable.

Tableau 14 : Teneur en azote total, rapport azote minéral / azote total, et minéralisation de l'azote organique, des 4 principales catégories de composts d'origine urbaine.

Type de composts	Azote total (% de la MS)	Azote minéral / azote total	Minéralisation à 91 jours*
Composts de déchets verts ¹	1,4	4,4 %	2,4
Composts de boues ²	2,3	18 %	7,9
Composts de biodéchets ³	1,6	7,3 %	immobilisation
Composts d'ordures ménagères ⁴	1,3	13 %	immobilisation

* en % de l'azote organique de départ

¹ Audit ADEME, 2006 (45 échantillons)

² Audit ADEME, 2006 (20 échantillons)

³ Audit ADEME, 2006 (15 échantillons)

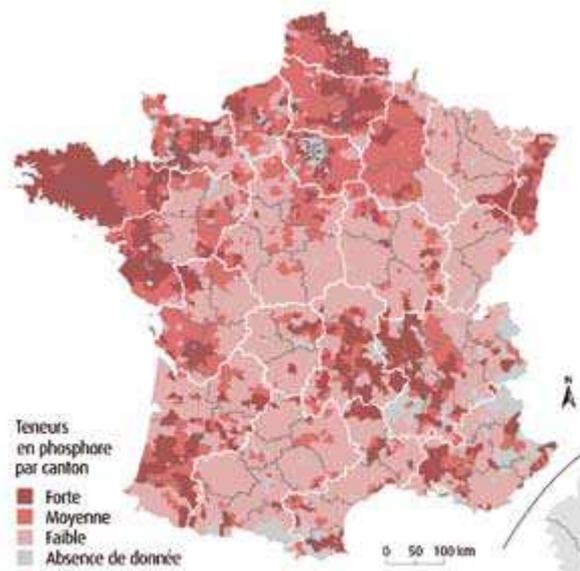
⁴ étude INRA, 2003 (62 échantillons)

Phosphore

Le phosphore du sol est indispensable au développement des plantes, mais en excès il peut participer à la dégradation des eaux de surface (Antoni, 2009). Dans les zones cultivées, les apports d'engrais minéraux, d'effluents d'élevage ou urbains contribuent aux besoins des cultures en phosphore. Les livraisons d'engrais minéraux phosphatés ont baissé de deux tiers depuis les années 70. Les teneurs en phosphore des sols agricoles augmentent néanmoins dans 43 % des cantons étudiés, notamment dans les régions Bretagne, Pays de la Loire, Champagne-Ardenne et Aquitaine.

Sur la carte 5, on peut voir que dans beaucoup de cantons des Bouches-du-Rhône et du Vaucluse, les teneurs en phosphore sont fortes. Sous réserve d'une confirmation de telles teneurs élevées à l'échelle des parcelles agricoles, ce critère sera souvent le facteur limitant de l'utilisation des composts riches en cet élément (les composts de boues).

Carte 5 : Niveau des teneurs en phosphore par canton.



Notons que contrairement à l'azote, le phosphore contenu dans les composts est facilement biodisponible pour les végétaux. Les composts de boues sont beaucoup plus riches en phosphore que les autres composts, de 3 à 5 fois plus en moyenne (voir tableau 15). Dans certaines situations, le phosphore est ainsi le principal facteur limitant pour l'utilisation des composts de boues. Ceci a été montré en viticulture dans le Gard (Chambre d'Agriculture du Gard, 2002), en arboriculture dans le Vaucluse (Chambre d'Agriculture de Vaucluse, 2008). Par contre dans des cas extrêmes de parcelles très pauvres en phosphore, l'apport de compost de boues peut accroître fortement les rendements (Mouton *et al.*, 2004) : le sol témoin très pauvre en phosphore (P_2O_5 Joret-Hébert = 0,014 mg/kg, une teneur considérée comme normale devrait être 10 fois supérieure) a réagi très nettement à l'apport d'un compost de boues bien pourvu en phosphore (P_2O_5 total/MS = 2,4 %). L'effet fertilisant en 1^{ère} année s'est prolongé sur les 2^{èmes} et 3^{èmes} années.

Tableau 15 : Teneur en P₂O₅, en g/100 g de la matière sèche, des 4 principales catégories de composts d'origine urbaine.

Type de composts	Moyenne	Coeff. var.*
Composts de déchets verts ¹	0,6	27 %
Composts de boues ²	3,4	44 %
Composts de biodéchets ³	1,1	45 %
Composts d'ordures ménagères ⁴	0,68	32 %

* Coefficient de variation, en % = (écart-type / moyenne) x 100

¹ Audit ADEME, 2006 (45 échantillons)

² Audit ADEME, 2006 (20 échantillons)

³ Audit ADEME, 2006 (15 échantillons)

⁴ étude INRA, 2003 (62 échantillons)

Principaux cations (K, Ca, Mg)

Potassium

Comme pour le phosphore, le potassium présent dans les composts est relativement disponible pour les cultures. Par contre les teneurs présentes (un peu plus élevées dans les composts de déchets verts et les composts de biodéchets, voir tableau 16) n'entraînent en général pas de problèmes de limitation d'usage de ces composts aux doses agronomiques utilisées. Il convient malgré tout de connaître les teneurs des sols qui vont recevoir ces composts car en cas d'apports massifs des déséquilibres existants peuvent perdurer. Ainsi dans le cadre du réseau régional de sites d'expérimentations mis en place dans la région Languedoc Roussillon, la Chambre d'Agriculture de l'Hérault (2009), qui coordonne ce réseau, a montré, par des analyses pétiolaires sur vigne dans un essai dans l'Aude, qu'un apport de compost pour 4-5 ans apportait trop de potassium dans un sol présentant déjà un fort déséquilibre entre K et Mg, avec saturation en K et carence en Mg. Dans cette situation, l'apport de compost ne provoque pas de rééquilibrage de l'alimentation de la vigne, qui reste toujours carencée en Mg. Dans deux autres essais dans le Gard et l'Hérault, les teneurs pétiolaires en potassium restent perceptibles deux ans après l'apport de compost.

Tableau 16 : Teneur en K₂O, en g/100 g de la matière sèche, des 4 principales catégories de composts d'origine urbaine.

Type de composts	Moyenne	Coeff. var.*
Composts de déchets verts ¹	1,4	26 %
Composts de boues ²	0,9	33 %
Composts de biodéchets ³	1,7	24 %
Composts d'ordures ménagères ⁴	1,0	24 %

* Coefficient de variation, en % = (écart-type / moyenne) x 100

¹ Audit ADEME, 2006 (45 échantillons)

² Audit ADEME, 2006 (20 échantillons)

³ Audit ADEME, 2006 (15 échantillons)

⁴ étude INRA, 2003 (62 échantillons)

Calcium

Les teneurs en calcium sont élevées dans toutes les catégories de compost, avec de forts coefficients de variation (voir tableau 17).

Tableau 17 : Teneur en calcium, en g/100 g de la matière sèche, des 4 principales catégories de composts d'origine urbaine.

Type de composts	Moyenne	Coeff. var.*
Composts de déchets verts ¹	7,8	51 %
Composts de boues ²	8,8	58 %
Composts de biodéchets ³	8,6	40 %
Composts d'ordures ménagères ⁴		

* Coefficient de variation, en % = (écart-type / moyenne) x 100

¹ Audit ADEME, 2006 (45 échantillons)

² Audit ADEME, 2006 (20 échantillons)

³ Audit ADEME, 2006 (15 échantillons)

⁴ étude INRA, 2003 (62 échantillons)

Magnésium

Les teneurs en magnésium sont assez voisines quel que soit le type de compost (tableau 18).

Tableau 18 : Teneur en magnésium, en g/100 g de la matière sèche, des 4 principales catégories de composts d'origine urbaine.

Type de composts	Moyenne	Coeff. var.*
Composts de déchets verts ¹	0,7	37 %
Composts de boues ²	0,7	14 %
Composts de biodéchets ³	0,8	38 %
Composts d'ordures ménagères	-	-

* Coefficient de variation, en % = (écart-type / moyenne) x 100

¹ Audit ADEME, 2006 (45 échantillons)

² Audit ADEME, 2006 (20 échantillons)

³ Audit ADEME, 2006 (15 échantillons)

Critères d'innocuité

Cette synthèse est avant tout centrée sur la valeur agronomique des composts, c'est-à-dire ce qui en fait leur richesse à divers points de vues agronomiques : nutrition des plantes par l'apport d'éléments nutritifs : N, P, K, etc., entretien des propriétés des sols par les effets bénéfiques des matières organiques sur ces propriétés, etc. Mais pour bénéficier au mieux de ces avantages agronomiques, il est nécessaire que les « critères d'innocuité » soient également satisfaits. Nous n'entrons pas dans le cadre de ce travail dans une analyse critique des seuils mis en place par la réglementation. Nous considérons que le respect de ces seuils, notamment par le biais des normes d'application obligatoire AFNOR NF U 44-051 et NF U 44-095, garantit l'innocuité des composts considérés. Nous rappelons dans ce paragraphe comment se situent les différentes catégories de composts vis-à-vis des principaux critères d'innocuité, en mentionnant les dépassements de normes constatés récemment, notamment dans le cadre de l'audit national des plates-formes de compostage en 2006 (ADEME Angers, 2007).

Eléments traces métalliques (ETM)

Dans le tableau 19 nous portons les moyennes des ETM des 4 principales catégories de composts d'origine urbaine, et le rappel des seuils des normes NF U 44-051 et 44-095. En moyenne les teneurs sont inférieures aux seuils des normes, sauf pour les composts d'ordures ménagères.

Tableau 19 : Teneur en ETM, en g/100 g de la matière sèche, des 4 principales catégories de composts d'origine urbaine.

Type de composts	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Pb	Ni	Se	Zn
Composts de déchets verts ¹	5	0,2	18	49	0,06	60	12	0	145
Composts de boues ²	2,1	0,9	29,5	197	0,7	87	20	0,62	385
Composts de biodéchets ³	7	0,3	24,5	76	0,1	77	16	0	202
Composts d'ordures ménagères ⁴	3	2,2	153	275	1,5	425	37	0,1	425
Seuils normes NF U 44-051 et 44-095	18	3	120	300	2	180	60	12	600

¹ Audit ADEME, 2006 (45 échantillons), sauf As, Hg et Pb (44 échantillons)

² Audit ADEME, 2006 (20 échantillons)

³ Audit ADEME, 2006 (15 échantillons)

⁴ étude INRA, 2003 (62 échantillons)

Autres critères

En se basant sur l'audit national des 98 plates-formes de compostage réalisé en 2006 (ADEME Angers, 2007), on peut constater les points suivants :

- En ce qui concerne les composés traces organiques, aucune pollution notable n'a été relevée, excepté pour une installation.
- En ce qui concerne les critères microbiologiques, trois plates-formes de compostage de déchets verts (1) et de biodéchets (2) dépassent le seuil de la norme NFU 44-051 pour la Salmonelle. En revanche, six composts de boues d'épuration ne respectent pas les seuils de la norme NFU 44-095.

- En ce qui concerne les agents pathogènes (œufs d'helminthes), deux composts de boues d'épuration ne respectent pas la norme NFU 44-095.

- En ce qui concerne les indicateurs de traitement, 14 plates-formes ne respectent pas la norme (les seuils sont cependant indicatifs).

- En ce qui concerne enfin les impuretés visuelles (indésirables), les composts respectent la norme NFU 44-051. On peut toutefois constater une teneur élevée en matières minérales grossières (cailloux/terre) dans les composts de déchets verts et de biodéchets, ce qui peut dans certains cas « diluer » sensiblement la matière organique et occasionner des difficultés vis-à-vis des normes (qui exigent une concentration minimale, variable selon le type de compost fabriqué).

A partir des échantillons analysés en provenance des 98 plateformes auditées en 2006 (ADEME Angers, 2007), une comparaison avec les normes en vigueur (NF U 44-051 et NF U 44-095) montre que près d'1 installation sur 6 ne respecte pas ces normes :

- 1 cas sur 8 pour les composts de déchets verts,
- 1 cas sur 3 à 4 pour les composts de biodéchets des ménages et autres déchets,
- 1 cas sur 2 pour les composts de boues d'épuration.

Les tableaux 20 et 21 suivants donnent les critères concernés. On constate que le non respect de la norme NF U 44-051 concerne surtout la matière organique (qui doit atteindre 20 % de la MS), les teneurs en N, P, K, la matière sèche et le rapport C/N. Les critères d'innocuité proprement dit qui posent problème sont les salmonelles dans 3 installations, l'arsenic dans 2 installations, et le plomb dans une installation (tableau 20).

Par contre dans le cadre de la norme NF U 44-095, les critères non respectés concernent d'avantage l'innocuité des composts : cuivre, zinc, Clostridium, Entérocoques, Œufs d'helminthe, composés traces organiques, Listéria, Salmonelles (tableau 21).

Tableau 20 : Non-conformité NF U 44-051 en fonction des critères (en gras pour les critères d'innocuité, en italique pour les critères agronomiques).

Critères	Nombre de plateformes
<i>Matière organique</i>	9
Salmonelles	3
<i>Teneurs en N, P, K</i>	2
Arsenic	2
<i>Matières sèche</i>	1
<i>Rapport C/N</i>	1
Plomb	1

Tableau 21 : Non-conformité NF U 44-095 en fonction des critères (en gras pour les critères d'innocuité, en italique pour les critères agronomiques).

Critères	Nombre de plateformes
<i>Teneurs en N, P, K</i>	4
<i>Matière organique</i>	3
<i>Matière sèche</i>	3
Cuivre	3
Zinc	3
Clostridium	3
Entérocoques	3
Œufs d'helminthe	2
Composés traces organiques	1
Listéria	1
Salmonelles	1

Conclusion sur la valeur agronomique des composts

La valeur agronomique des composts porte avant tout, quel que soit le type de composts, sur leur capacité à entretenir, voire augmenter, la teneur en carbone organique des sols. L'entretien organique des sols n'est pas une finalité en lui-même, mais il assure le maintien de plusieurs propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols. La plupart de ces propriétés sont essentielles sous climat méditerranéen, comme la rétention en eau, la limitation de l'érosion hydrique, la capacité d'échange cationique (particulièrement des sols sableux). Cette faculté d'un compost à apporter du carbone qui restera longtemps dans le sol peut être estimée *a priori* par la mesure de l'ISMO (indice de stabilité de la matière organique) (ou ISB, indice de stabilité biologique). Nous avons vu que certains types de compost présentent un indice supérieur aux autres composts (ISB compost de déchets verts > ISB compost de boues). Dans cette optique, le respect des normes sur le critère « matière organique » est important. Rappelons que c'est le critère le plus souvent non respecté lors de l'audit des plates-formes de compostage de 2006 (voir tableaux 20 et 21).

Qui dit valeur agronomique dit également fourniture en éléments minéraux pour les cultures. Sur ce point, et en considérant les trois éléments majeurs N, P, K, on peut retenir les points suivants :

- Les composts de boue se différencient de tous les autres avec des apports de phosphore toujours importants. C'est sur ce critère que les doses d'apport doivent être déterminées. Ce type de compost doit être évité sur certaines parcelles déjà très riches en phosphore, notamment dans les Bouches-du-Rhône et le Vaucluse (voir carte 5 page 34).
- La variabilité de la disponibilité en azote est très grande, quel que soit le type de compost. Une meilleure maîtrise des pratiques de compostage permettrait sans doute de diminuer cette variabilité, car elle est directement liée aux proportions initiales des matières premières mises à composter, et à la maturité du compost commercialisé. Une meilleure prédiction de la minéralisation de l'azote ne sera atteinte qu'avec un affinement de la typologie des composts produits. On constate néanmoins qu'en moyenne ce sont les composts de boues qui fournissent le plus d'azote au sol.
- Concernant la maturité des composts, l'audit des plates-formes de compostage réalisé en 2006 a clairement montré une meilleure maturité des composts de déchets verts par rapports aux autres catégories de composts (test cresson). Les composts de déchets verts sont donc tout indiqués pour améliorer la capacité d'échange cationique et la capacité de rétention en eau des sols sableux, d'autant plus que les doses utilisables peuvent être plus importantes que pour les autres composts, étant donné qu'ils sont moins riches en phosphore et que leur azote est moins disponible, surtout en comparaison des composts de boues.

Enfin il ne faut pas oublier que ces critères « positifs » du point de vue agronomique ne peuvent être sereinement exploités qu'après avoir vérifié le non dépassement des seuils des critères d'innocuité.

2.4 Entrée par systèmes de cultures

Dans ce paragraphe nous avons rassemblé les données selon les principaux systèmes de cultures :

- grandes cultures,
- viticulture,
- arboriculture,
- maraîchage,
- reconstitution de sol,
- forêt.

Grandes cultures

D'une manière générale les composts sont moins utilisés en grandes cultures que dans les autres systèmes de production. En effet d'une part les restitutions végétales permettent un apport conséquent de matières organiques au sol (racines, parties aériennes – paille – enfouies), d'autre part les apports de matières organiques non traitées par compostage sont plus largement pratiqués que les apports de composts : fumiers, boues brutes. Certains types de composts ont cependant un potentiel fertilisant important. C'est le cas des composts de boues qui sans apport complémentaire d'engrais minéraux peuvent contribuer à la nutrition phosphatée des cultures, et dans une moindre mesure à leur nutrition azotée. Les composts de boues sont également mieux acceptés en grandes cultures que dans d'autres systèmes de production (maraîchage par exemple), et mieux acceptés que les boues brutes non compostées.

En zone méditerranéenne des expérimentations ont eu lieu avec des composts de boues, à la Chambre d'Agriculture des Alpes de Haute Provence (voir fiche page 52), dans l'Aude sur blé dur (fiche 50). Dans ce dernier cas le compost a contribué à augmenter la fourniture azotée pour la culture. D'une manière générale les références sur l'utilisation des composts de boues en grandes cultures sont peu nombreuses (Jeuch *et al.*, 2000).

D'après les estimations du GERES (2007), les grandes cultures seraient le secteur agricole qui potentiellement pourrait recevoir le plus de composts en région Provence Alpes Côte d'Azur, de l'ordre de 120 000 t/an, en raison principalement des surfaces importantes qu'elles représentent (106 000 ha).

Viticulture

La viticulture est une activité agricole importante en zone méditerranéenne, où les sols et le climat ont permis un développement important de cette production.

Les besoins des sols viticoles en MO sont importants car les restitutions de la vigne (feuilles, bois de taille) sont parfois insuffisantes, et les sols viticoles sont en général sensibles à l'érosion hydrique (pentes, pluies orageuses violentes).

Avec le recul de l'élevage dans les régions viticoles méditerranéennes, les viticulteurs se tournent vers d'autres sources de MO que les traditionnels fumiers. Les composts sont des sources intéressantes de MO pour la viticulture, mais en plus du carbone organique qu'ils contiennent et qui vient améliorer les propriétés des sols, ils apportent des éléments nutritifs qui peuvent, pour des dosages importants, nuire à la nutrition minérale de vigne.

C'est le cas notamment pour l'azote, qui en excès peut diminuer la qualité du vin. Dans le Var, Korboulesky *et al.* (2001) ont par exemple montré un effet azote avec un compost de boue apporté à 3 doses (10, 30 et 90 t MB/ha). Avec la dose la plus forte, il y avait dépréciation de la qualité du vin.

Un excès de potassium apporté par du compost peut également aggraver des problèmes de déséquilibre cationique du sol (K-Mg) dans certaines situations (Chambre d'Agriculture de l'Hérault, 2009).

L'utilisation de composts de boue en viticulture enrichit également le sol en phosphore, ce qui peut être source de pollution (Chambre d'Agriculture du Var, 2002).

Avec environ 100 000 ha, le secteur viticole constitue, selon l'estimation du GERES (2007), la deuxième filière d'écoulement agricole de composts en région Provence Alpes Côte d'Azur, avec environ 80 000 t de compost par an.

Arboriculture

Rappelons ici les essais menés par la Chambre d'Agriculture de Vaucluse (2008), qui montrent qu'au terme de 9 années d'expérimentation, aucun effet négatif spécifiquement lié à l'emploi d'un compost de boues d'épuration n'a été mis en évidence, que ce soit sur le plan agronomique ou sanitaire, au niveau du sol, des arbres ou des fruits. Toutefois, les flux élevés en phosphore générés par l'emploi du compost utilisés dans le cadre de l'expérimentation est un facteur limitant à son emploi selon les modalités testés. La fréquence d'emploi des composts de boues ainsi que leur choix doivent être raisonnés en tenant compte également de ce critère.

Des essais ont lieu dans les Pyrénées Orientales (Chambre d'Agriculture des Pyrénées Orientales, 2009) avec des co-composts déchets verts – déchets agricoles, sur pêchers et abricotiers. Les premiers résultats montrent un enrichissement des parcelles en matières organiques. La disponibilité de l'azote des composts est différente selon le déchet agricole entrant en co-compostage : légère minéralisation avec les déchets verts compostés avec 25 % de tomates, immobilisation avec ceux compostés avec 40 % de pêches.

Avec environ 34 000 ha (sans les oliveraies), le secteur de l'arboriculture fruitière constitue un débouché important en région Provence Alpes Côte d'Azur (GERES, 2007). Les arboriculteurs sont sensibles à l'entretien organique de leurs sols. Ils sont par contre plutôt récalcitrant à l'utilisation des composts de boue.

Maraîchage

Le maraîchage est le système de culture qui « consomme » le plus de matières organiques. C'est en effet un système intensif dans lequel des cultures se succèdent souvent toute l'année, avec de nombreuses interventions mécaniques qui perturbent le sol et sa surface : préparation des lits de semences et plantations, apports d'engrais, désherbages, entretien des inter-rangs, binages, buttages, irrigation, récoltes, etc. Le sol est sans cesse sollicité et doit donc posséder une bonne structure pour résister à toutes ces agressions. L'entretien organique des sols maraîchers est donc primordial pour conserver une bonne structure. De plus la minéralisation est forte dans ces sols, et notamment dans le cas des cultures sous serre. La MO apportée doit donc de préférence être la plus stable possible. Les composts, notamment de déchets verts, sont donc particulièrement indiqués pour le maraîchage. Les autres types de composts aussi, sous réserve du respect des critères d'innocuité (légumes consommés crus). Les apports concomitants en éléments minéraux, notamment en phosphore, peuvent être importants. Les composts de boue sont donc à utiliser avec la plus grande prudence. Ils sont d'ailleurs la plupart du temps écartés des référentiels de qualité.

Une illustration de l'effet bénéfique des apports organiques en maraîchage est fournie avec le suivi de longue durée mis en place à la station expérimentale de la SERAIL. En conditions limitantes (travail du sol en condition humide), les apports organiques influent positivement sur la récolte, alors qu'après 10 années, le témoin sans apport ne se différencie pas systématiquement des parcelles amendées sur le plan des résultats culturaux lorsque les conditions de travail de sol sont satisfaisantes. Les auteurs (Demarle et Vian, 2004) rappellent que les résultats présentés ont été obtenus dans le contexte particulier de l'essai. Toute généralisation sur le comportement de ces produits est délicate en dehors de ce contexte. Seul le suivi d'un réseau de parcelles aux conditions pédoclimatiques différentes pourrait venir préciser à moyen terme le comportement des produits. Concernant les composts végétaux (déchets verts, bois, écorce, ...), les auteurs recommandent de les apporter annuellement, voir tous les 2 ou 3 ans. La dose d'entretien pourra être limitée par l'effet alcalinisant de certains produits, par la concentration en Eléments Traces Métalliques (respect des flux maximum autorisés) et les risques d'accumulation de matière organique inerte. Elle se situera généralement autour de 10 à 20 t/ha/an.

L'expérimentation en cours à l'INRA d'Alénya (Bressoud et Parès, 2007) va dans le même sens que le suivi de la SERAIL. Elle montre qu'après 5 années d'apports différenciés, on commence seulement à voir les effets en terme d'accumulation de matière organique dans le sol, et on ne constate pas d'incidence nette sur le sol ni sur les cultures. Ceci peut s'expliquer par la lenteur des changements au niveau des équilibres du sol.

Dans le Lot-et-Garonne, des essais ont été conduits sur salades avec un compost de déchets verts + biodéchets de la Communauté d'Agglomération d'Agen (tontes de pelouses, de taille d'arbres, de haies, de fruits et légumes abîmés, de biodéchets non carnés (pelures, légumes, fruits, café, filtres,...)). Plus on apporte de compost plus le poids des salades augmente. En prenant en compte

l'efficacité économique, les auteurs préconisent des doses autour de 10-20 t/ha de compost. (Duprat-Invernizzi *et al.*, 2006).

Les légumes représentent en région Provence Alpes Côte d'Azur environ 12 000 ha (légumes frais de plein champ ou sous serre) (GERES, 2007), mais étant donné les besoins importants d'apports organiques en maraîchage, c'est un secteur agricole important pour le retour au sol des composts d'origine urbaine, notamment les composts de déchets verts, étant donné leur qualité supérieure selon les critères d'innocuité (ETM, aspects sanitaires).

Reconstitution de sol

Un débouché important des composts en dehors du milieu agricole est représenté par la reconstitution de sol. Ce terme recouvre toutes les pratiques de réhabilitation de zones dégradées dans lesquelles le sol a disparu suite à des exploitations intensives du milieu. En général la roche est à nue et l'on cherche à reconstituer un sol pour que des végétaux puissent s'implanter et occuper le terrain. Il s'agit d'anciennes carrières, d'anciennes décharges, de zones industrielles abandonnées, de zones naturelles dégradées (après incendie ou érosion intense par exemple). Les végétaux utilisés pour coloniser ces milieux ont besoin d'un support physique et nutritif suffisant pour pouvoir s'implanter correctement. Les composts sont tout indiqués pour former de nouveaux sols, car ils permettent des apports massifs de matières organiques relativement stables, et à moindre coût. Les techniques les plus couramment utilisées sont les apports de terres végétales enrichies en compost.

Les doses utilisées sont en général beaucoup plus importantes qu'en agriculture, de l'ordre de plusieurs dizaines de tonne par hectare. Il s'agit d'apports massifs mais qui ne sont plus renouvelés par la suite, la végétation une fois installée devant se satisfaire d'un minimum d'entretien. A l'heure actuelle il existe un vide réglementaire sur l'utilisation des composts en reconstitution de sol, la réglementation ne concernant que le secteur agricole.

Une récente étude (Bacholle *et al.*, 2006) a fait le point sur l'impact des pratiques de reconstitution de sol. L'analyse bibliographique montre que, pour l'ensemble des opérations de reconstitution de sols, les deux points de vigilance majeurs concernent : (1) La lixiviation de l'azote (sous forme de nitrates) dans les premiers mois jusqu'à la colonisation du substrat par les racines. Cet impact, somme toute assez relatif dans la mesure où il ne concerne que la ou les premières années de mise en place (contrairement à un système agricole dans lequel l'impact des apports azotés est plus faible annuellement mais récurrent années après années) peut être maîtrisé par une bonne gestion du calendrier des travaux (un ensemencement optimal pour une croissance rapide et donc une consommation la plus complète possible de l'azote disponible), des doses raisonnables, et l'utilisation de produits compostés suffisamment mûrs. (2) Le risque de lixiviation des ETM à court et long terme, et, plus globalement la dynamique des ETM à long terme dans les sols reconstitués avec des produits organiques. La mise en évidence de cet impact provient essentiellement de références bibliographiques concernant des utilisations de boues urbaines brutes dont les compositions en ETM ne sont pas toujours connues. Peut-on émettre l'hypothèse d'une meilleure immobilisation des ETM sur les produits compostés ? Cela paraîtrait logique, mais les résultats des expérimentations sont parfois contradictoires.

Dans les Hautes-Alpes (Garcin et Montrozier, 2004), a été conduit un essai de plein champ destiné à appréhender correctement une méthode innovante de stabilisation des sols et de maîtrise des phénomènes d'érosion sur les zones marneuses de moyenne altitude après travaux. Il porte sur la reconstitution intégrale ou partielle d'un sol dégradé par des travaux d'aménagement. L'absence ou le déficit de terre végétale à l'issue des travaux est compensé par l'apport de matières organiques issues du recyclage et de la valorisation des déchets urbains. Le substrat artificiel est reconstitué avec des apports massifs de composts de boues d'épuration. Il est ensuite semencé avec un mélange d'espèces végétales locales destiné à stabiliser le sol d'origine très vulnérable à l'érosion, et à minimiser l'impact des travaux par une insertion paysagère convenable.

Plus récemment, des essais ont été réalisés en région Provence Alpes Côte d'Azur avec des composts de boues industrielles (Gros *et al.*, 2009). Pour un mélange fabriqué avec 30 % de compost, l'ensemble des paramètres microbiologiques et hydrologiques sont significativement augmentés par rapport au sol de référence. Ce mélange semble se stabiliser à moyen terme (absence de quotient métabolique, et des activités phénol oxydases et minéralisatrices de l'azote). Pour un mélange fabriqué avec 50 % de compost, aucune activité microbienne ne bénéficie proportionnellement de cet apport supplémentaire. Une attention particulière doit être portée concernant le comportement des formes minérales de l'azote dans les mélanges et une éventuelle modification de la structure des

communautés microbiennes à moyen terme. Ces résultats ne considèrent que l'éco-compatibilité des composts à moyen terme. L'étude des effets à long terme est indispensable pour conforter ces résultats et garantir l'éco-compatibilité des composts de boues industrielles.

Forêt

Peu de données existent sur l'utilisation des composts en forêt. Signalons l'existence du réseau ERESFOR, coordonné par l'INRA de Bordeaux (<https://www.bordeaux.inra.fr/eresfor/>), qui regroupe au niveau national des expérimentations sur l'utilisation de boues en parcelles boisées. Parmi les différentes modalités, certaines incluent des boues compostées. En Provence Alpes Côte d'Azur, 2 expérimentations sont suivies par l'Université d'Aix-Marseille.

Conclusion sur les besoins des filières de production en compost

Les différents systèmes de production agricole n'ont pas les mêmes besoins en compost, aussi bien d'un point de vue quantitatif que d'un point de vue qualitatif. Certaines filières sont très exigeantes, des deux points de vue précédents. C'est le cas par exemple des cultures légumières, qui nécessitent à la fois des quantités importantes de composts, pour entretenir correctement les sols maraîchers, lesquels sont très sollicités tout au long de l'année, et à la fois des composts de qualité, pour éviter tous risques sanitaires.

Quel que soit le système de culture, l'objectif premier des apports de composts restent l'entretien des sols, mais en fonction des types de composts, les apports d'éléments minéraux sont non négligeables. Ce sera toujours le cas pour les composts de boues de stations d'épuration, dont les teneurs en phosphore sont importantes. Il est donc nécessaire de prendre systématiquement en compte les teneurs en éléments minéraux des composts, et de réaliser des analyses de terre sur les parcelles qui recevront ces composts. Ces précautions permettront d'éviter d'entretenir ou d'accentuer des déséquilibres parfois existants. Nous avons vu que le phosphore n'est pas seul en cause, des apports de potassium pouvant dans certaines situations s'avérer importants.

Conclusion générale

Les expérimentations sur la valeur agronomique des composts en région méditerranéenne sont très insuffisantes. Dans ce rapport nous nous sommes largement basé sur les connaissances analytiques des composts, à partir d'études réalisées au niveau national, lesquelles donnent une image correcte de ces composts, par typologie.

Des références régionales seraient très intéressantes à recueillir, des variations importantes pouvant exister dans la composition des déchets entrants sur les plates-formes en fonction des zones climatiques (notamment les déchets verts). Les connaissances analytiques actuelles montrent la variabilité des teneurs pouvant exister pour un critère donné et une catégorie de compost. Cette variabilité est à prendre systématiquement en compte pour toute opération de vulgarisation des données (conseils techniques, communication). Un recueil des données analytiques des composts produits régionalement permettrait une analyse plus fine de la qualité moyenne de ces composts, et en même temps permettrait de repérer l'origine de certains problèmes de qualité (influence des déchets entrants, des procédés de compostage, etc.).

Etant donné le peu de données propres à la région méditerranéenne, l'expérimentation doit être encouragée, mais toute recherche demandant beaucoup d'investissements humain et financier, les réflexions en amont avant toute mise en place de nouveaux essais doivent être poussées, et faire participer le plus d'acteurs concernés possible.

En effet les travaux à entreprendre doivent pouvoir être valorisés pour des composts produits à des tonnages importants régionalement, et correspondant à des surfaces importantes d'épandages. Ces travaux doivent être suivis sur le long terme, car nous avons vu que les résultats significatifs ne sont obtenus qu'au terme de plusieurs années, souvent pas avant 5 ans. Un type de compost mis en expérimentation aujourd'hui sera-t-il, ou pourra-t-il, être largement utilisé dans 5 ou 10 ans ?

En l'absence de plus de données spécifiques régionales, nous pouvons néanmoins dresser une liste des éléments favorables et des éléments défavorables de l'utilisation des principaux types de composts. C'est ce que nous proposons dans le tableau 22. Ce type d'appréciation peut être affiné lorsque l'on connaît plus particulièrement un compost donné, et une utilisation envisagée localement (type de parcelle réceptrice, type de culture, contraintes environnementales, etc.).

Tableau 22 : Eléments favorables et éléments défavorables de l'utilisation des principaux types de composts.

Type de composts	Éléments favorables	Éléments défavorables
Composts de déchets verts	Les plus stables en général, adaptés pour des apports massifs. Meilleure qualité que les autres types de compost pour la majorité des critères d'innocuité.	Contribuent à la marge à la nutrition azotée des cultures.
Composts de boues	Apports importants de phosphore et dans une moindre mesure d'azote (le plus apte à fournir de l'azote parmi les 4 grands types de composts d'origine urbaine). Potentiel d'utilisation important en grandes cultures.	Trop de phosphore apporté dans certains sols ou pour certaines cultures (vigne). Qualité à surveiller (davantage de non respects de la norme que les composts de déchets verts). Possibilité de partir en plan d'épandage, ce qui ne tire pas forcément la qualité vers le haut.
Composts de biodéchets des ménages	Moins d'ETM que dans les composts de boues. Riches en éléments nutritifs.	Possibilité de faim d'azote.
Composts d'ordures ménagères	Ressource en croissance forte pour les nouveaux composts issus du tri mécano-biologique.	Mauvaise qualité pour les composts d'OM « classiques ». Pas de références analytiques pour les nouveaux composts issus du tri mécano-biologique. Possibilité de faim d'azote.

Annexe1 : fiches des principales références retenues

Les fiches qui suivent présentent quelques-unes des références les plus pertinentes dans le cadre de ce rapport, classées par premier auteur.

Premier auteur (année)	Titre de la référence
ADEME ANGERS (2007)	Audit des plates-formes de compostage de déchets organiques en France avec analyses de composts, d'eaux de ruissellement et bilan des aides ADEME au compostage des déchets verts
BACHOLLE <i>ET AL.</i> (2006)	Utilisation des produits organiques en reconstitution de sol : Inventaire des pratiques en France - Etat de l'art des connaissances liées à ces pratiques
BODET <i>ET AL.</i> (2001)	Fertiliser avec les engrais de ferme
BODINEAU <i>ET AL.</i> (2007)	Essai Qualiagro (Feucherolles, 78) : présentation du protocole
BRESSOUD ET PARES (2007)	Amendements organiques et maraîchage biologique sous abri : résultats en 5ème année d'expérimentation
CHAMBRE D'AGRICULTURE DE L'AUDE (2009)	Valorisation du compost en grandes cultures
CHAMBRE D'AGRICULTURE DE VAUCLUSE (2008)	Utilisation de composts de boues urbaines en fertilisation d'entretien sur verger de pommiers : effets agronomiques et sanitaires - résultats 2004-2007, conclusions 1999-2007
CHAMBRE D'AGRICULTURE DES ALPES DE HAUTE-PROVENCE (2002)	Comparaison d'apport de divers composts, boues et fientes de poules sur des grandes cultures dans les Alpes de Haute-Provence
CHAMBRE D'AGRICULTURE DU VAR (2002)	Comparaison d'un compost de boues d'épuration et d'un fumier en apport d'entretien en viticulture
DEMARLE ET VIAN (2004)	Effets de différentes sources organiques sur les propriétés d'un sol sableux argileux : 10 ans d'essai en culture légumière à la SERAIL (Brindas (Rhône))
DUCASSE <i>ET AL.</i> (2002)	Inventaire national des essais agronomiques réalisés avec des matières organiques et minérales d'origines urbaine et industrielle
DUPRAT-INVERNIZZI <i>ET AL.</i> (2006)	Valeur agronomique d'un compost de déchets verts + biodéchets
ECOTECHNOLOGIE (2007)	Evaluation des gisements et des débouchés des composts en Languedoc-Roussillon - Bilan 2006 - Prospective 2010
ELHERRADI <i>ET AL.</i> (2003)	Evaluation de la minéralisation de l'azote de deux sols amendés avec un compost d'ordures ménagères
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
GARCIN ET MONTROZIER (2004)	Reconstitution d'un substrat sur marnes noires pour végétalisation en zone sèche de montagne
GERES (2007)	Le marché des composts en Provence-Alpes-Côte d'Azur - Bilan des installations de compostage et étude du marché des matières organiques
GROS <i>ET AL.</i> (2009)	Evaluation à court et moyen terme de l'écocompatibilité d'un compost de boues industrielles - Résultats de la seconde année d'expérimentation. Document final
HEBRAUD ET COULLET (2006)	Bilan technique et économique des installations de compostage de la région PACA
HOUOT <i>ET AL.</i> (2003)	Aperçu de la qualité des composts de biodéchets français en 2003
HOUOT <i>ET AL.</i> (2004)	Aperçu de la qualité des composts français issus d'ordures ménagères en 2003
IRR <i>ET AL.</i> (2004)	Effets d'apports de matières organiques en entretien sur la vigne en contexte méditerranéen
JEUCH <i>ET AL.</i> (2000)	Composts de boues de stations d'épuration municipales : qualité, performances agronomiques et utilisations
LASHERMES <i>ET AL.</i> (2007)	Apport de matières organiques exogènes en agriculture : indicateur de potentialité de stockage de carbone dans les sols et définition de classes de disponibilité d'azote
LECLERC (2001)	Guide des matières organiques
MONTENACH <i>ET AL.</i> (2007)	Essai au champ de longue durée de Colmar (68) : présentation du protocole
MOUTON <i>ET AL.</i> (2004)	Intérêt de l'apport de matières organiques en gestion pastorale de pare-feux en zone de garrigue

ADEME ANGERS (2007)

Références du document

Titre : Audit des plates-formes de compostage de déchets organiques en France avec analyses de composts, d'eaux de ruissellement et bilan des aides ADEME au compostage des déchets verts.

Auteurs : ADEME Angers - département gestion biologique et sols

Organisme : ADEME

Source : Rapport de synthèse du Marché ADEME n° 0306C0057 - document provisoire, 9 octobre 2007.

Type de document : rapport

Pays d'origine des données : France (numéro d'enregistrement dans le tableur : 220)

Résumé

L'ADEME a confié à un groupement composé de sept cabinets d'études et de deux laboratoires une mission visant à recenser et étudier les installations de compostage de déchets organiques en France et notamment d'auditer 100 d'entre elles. A cette occasion, une caractérisation des fertilisants organiques fabriqués et des effluents des installations a été réalisée, ainsi qu'un bilan des aides accordées par l'agence au compostage des déchets organiques. Le présent article présente les principales conclusions de cette étude. En moins de 30 ans, le compostage des déchets organiques s'est fortement répandu en France. Historiquement l'apanage des formulateurs d'amendement organique et de support de culture, cette technologie s'est, à compter des années 70, progressivement étendue au traitement des déchets organiques, et tout d'abord des ordures ménagères. Frappé par la très médiocre qualité des composts fabriqués, un grand nombre d'usines de compostage d'ordures ménagères a dû être reconverti, bien qu'un nouvel essor soit attendu avec le développement récent de techniques d'extraction d'une fraction organique « propre » et appropriée à la fabrication d'un compost respectueux des exigences des utilisateurs et des normes. Au début des années 90, puis plus récemment (fin des années 90 / début 2000), le compostage s'est étendu aux déchets verts, récupérés auprès des services municipaux, des entreprises du paysage et des particuliers, aux biodéchets des ménages dont la collecte sélective a débuté à la fin des années 90, aux boues d'épuration, aux biodéchets industriels et aux effluents d'élevage. Le nombre des installations a ainsi sensiblement augmenté, notamment depuis l'assouplissement de la réglementation, qui autorise le compostage à la ferme (circulaire du 17 janvier 2002) y compris de matières végétales brutes extérieures à l'exploitation agricole (déchets verts, sciures, écorces mais pas les biodéchets des ménages ni les boues d'épuration), et soumet à simple déclaration préfectorale au titre de la rubrique 2170 des installations classées pour la protection de l'environnement toute plate-forme dont la production de compost n'excède pas 10 t/jour (arrêté du 7 janvier 2002). On dénombre désormais, dans l'Hexagone, plus de 770 plates-formes traitant plus de 1 000 tonnes de déchets de tous types entrants par an, dont près d'une sur trois est exploitée par un professionnel de l'agriculture (ou une société qui en dépend), les donneurs d'ordres restant principalement les collectivités.

Commentaires

Au regard des résultats analytiques, près d'1 installation sur 6 ne respecte pas la norme en vigueur : 1 cas sur 8 pour les déchets verts, 1 cas sur 3 à 4 pour les biodéchets des ménages et les autres déchets, 1 cas sur 2 pour les boues d'épuration. - L'absence de conformité est parfois liée à la nature des déchets traités ou à une teneur en matière organique insuffisante des composts. Dans ce cas, il convient d'examiner l'opportunité d'adapter la norme si celle-ci ne s'avère plus convenir à l'évolution des conditions de production. Pour de nom-breuses installations, elle est cependant liée à une hygiénisation défailante du produit final, notamment pour celles transformant des boues d'épuration ; cette caractéristique demande à être mise en relation avec l'insuffisance de matériaux structurants sur ces plates-formes et avec la faiblesse du rapport C/N au début du processus biologique.

Limites de la référence (dans le cadre de ce rapport) : Pas de données au champ.

Références du document

Titre : Utilisation des produits organiques en reconstitution de sol : Inventaire des pratiques en France - Etat de l'art des connaissances liées à ces pratiques.

Auteurs : Bacholle C., Leclerc B., Coppin Y.

Organisme : Orgaterre

Source : Echo-MO n°59 : 3-6.

Type de document : article

Pays d'origine des données : France (numéro d'enregistrement dans le tableur : 212)

Commentaires

En terme d'impact de ces pratiques, l'analyse bibliographique montre que, pour l'ensemble des opérations de reconstitution de sols, les deux points de vigilance majeurs concernent : (1) La lixiviation de l'azote (sous forme de nitrates) dans les premiers mois jusqu'à la colonisation du substrat par les racines. Cet impact, somme toute assez relatif dans la mesure où il ne concerne que la ou les premières années de mise en place (contrairement à un système agricole dans lequel l'impact des apports azotés est plus faible annuellement mais récurrent années après années) peut être maîtrisé par une bonne gestion du calendrier des travaux (un ensemencement optimal pour une croissance rapide et donc une consommation la plus complète possible de l'azote disponible), des doses raisonnables, et l'utilisation de produits compostés suffisamment mûrs. (2) Le risque de lixiviation des ETM à cours et long terme, et, plus globalement la dynamique des ETM à long terme dans les sols reconstitués avec des produits organiques. La mise en évidence de cet impact provient essentiellement de références bibliographiques concernant des utilisations de boues urbaines brutes dont les compositions en ETM ne sont pas toujours connues. Peut-on émettre l'hypothèse d'une meilleure immobilisation des ETM sur les produits compostés ? Cela paraîtrait logique, mais les résultats des expérimentations sont parfois contradictoires.

D'une manière générale on manque de données sur le long terme pour tous les transferts cités, la bibliographie ne concernant la plupart du temps que les premiers mois de la reconstitution d'un sol, ou tout au plus les deux ou trois premières années. On manque aussi de données à plus court terme sur les produits les plus utilisés (notamment les composts de boues) et sur la relation entre la maturité des composts et leur capacité à fixer les ETM, ou au contraire à les mobiliser dans le sol lorsqu'ils sont liés sur des matières organiques solubles de ces produits. Enfin et surtout on manque de références établies avec les doses couramment employées.

Limites de la référence (dans le cadre de ce rapport) : Peu de données en climat méditerranéen.

Références du document

Titre : Fertiliser avec les engrais de ferme.

Auteurs : Bodet J.-M., Hacala S., Aubert C., Texier C.

Organisme : Instituts techniques

Source : ISBN 2 86492 441 2, 2001, 104 pages.

Type de document : brochure

Pays d'origine des données : France (numéro d'enregistrement dans le tableur : 229)

Résumé

La diversité et surtout la variabilité des engrais de ferme rendent leur utilisation et le raisonnement de la fertilisation plus complexes et plus aléatoires que pour les engrais minéraux. Parmi les facteurs de variation, on trouve non seulement l'alimentation, le type de logement (avec plus ou moins de litière) mais aussi le mode de gestion puis de reprise par l'éleveur. Pour appréhender cette diversité, l'élaboration d'une typologie avec des références moyennes constitue une approche suffisante pour les fumiers. Par contre, pour les produits à fraction ammoniacale élevée (lisiers, fientes et fumiers de volailles), plusieurs analyses sont utiles au cours d'une campagne pour caractériser les valeurs et la dilution sous réserve que les échantillons soient réalisés avec le plus grand soin.

Limites de la référence (dans le cadre de ce rapport) : Données plus récentes non reprises dans ce document (mise à jour envisagée prochainement).

BODINEAU ET AL. (2007)

Références du document

Titre : Essai Qualiagro (Feucherolles, 78) : présentation du protocole.

Auteurs : Bodineau G., Rampon J.N., Benoît P., Le Villio-Poitrenaud M., Houot S.

Organisme : INRA

Source : Journée technique "Retour au sol des produits résiduaux organiques" - Colmar, 27/11/2007, 13-19.

Type de document : article

Pays d'origine des données : France (numéro d'enregistrement dans le tableur : 225)

Commentaires

L'essai de Feucherolles est l'un des essais de longue durée mis en place récemment et faisant l'objet de suivis analytiques complets, autant sur les produits organiques apportés que sur les propriétés du sol, comme l'essai mis en place à Colmar. Bien que non situé en zone méditerranéenne, les données recueillies sur cet essai peuvent être en partie extrapolées, notamment en raison du caractère comparatif des produits les uns avec les autres.

Limites de la référence (dans le cadre de ce rapport) : Essai en cours, à suivre sur le long terme. Adaptation nécessaire pour une validation des résultats en climat méditerranéen.

BRESSOUD ET PARES (2007)

Références du document

Titre : Amendements organiques et maraîchage biologique sous abri : résultats en 5ème année d'expérimentation.

Auteurs : Bressoud F., Parès L.

Organisme : INRA

Source : Echo-MO n°65 : 3-6.

Type de document :

Pays d'origine des données : France (numéro d'enregistrement dans le tableur : 210)

Résumé

L'expérimentation conduite à l'INRA d'Alénia vise à mieux connaître l'évolution d'apports d'amendements organiques dans le contexte des cultures maraîchères sous abri afin d'optimiser ces pratiques dans un double objectif : améliorer les états du sol fragilisé par des systèmes à rotations intensives et prendre en compte la minéralisation azotée afin de mieux alimenter les plantes, notamment les cultures longues d'été sur lesquelles se posent des problèmes de carences azotées en fin de cycle avec les engrais organiques usuels. L'expérimentation est conduite depuis 2002, avec reconversion en agriculture biologique d'un abri maraîcher au sol sablo-limoneux peu structuré, assez pauvre en matière organique (1,3 %). On compare à un témoin sans apport (T) les apports de 2 amendements : DV compost de déchets verts 24 t/ha/an (dose préconisée), VG4 compost commercial 4 t/ha/an (dose préconisée), VG13 compost commercial 13 t/ha/an (dose correspondant à des apports de carbone proche de ceux du compost de déchets verts). Le système de culture consiste en une succession salade-tomate en 1ère année, puis 2 salades et désinfection solaire la 2ème année avant de reprendre un nouveau cycle.

Commentaires

Après 5 années d'apports différenciés dont on commence à voir les effets en terme d'accumulation de matière organique dans le sol, on ne constate pas d'incidence nette sur le sol ni sur les cultures. Ceci peut s'expliquer par la lenteur des changements au niveau des équilibres du sol. On retrouve également l'influence de ces systèmes de culture sous abri, avec une forte dynamique de minéralisation conférée au sol tout comme l'influence prolongée des conduites antérieures qui pourraient masquer des effets encore peu décelables.

Limites de la référence (dans le cadre de ce rapport) : Expérimentation en cours, fin prévue en 2009.

CHAMBRE D'AGRICULTURE DE L'AUDE (2009)

Références du document

Titre : Valorisation du compost en grandes cultures.

Auteurs : Chambre d'Agriculture de l'Aude

Organisme : Chambre d'Agriculture de l'Aude

Source : Journée régionale "les composts et leurs usages", 12 mai 2009.

Type de document : power point

Pays d'origine des données : France (numéro d'enregistrement dans le tableur : 236)

Commentaires

Effet azote : Le compost a contribué à accroître la production du blé ; cet effet étant essentiellement imputé à l'azote fourni par le produit. Une stratégie de fertilisation azotée du blé dur en utilisant du compost est tout à fait concevable. Les quantités prélevées suffisent à assurer la croissance du blé jusqu'au tallage. Un complément minéral doit être ajusté avec un pilotage annuel.

Phosphore : Attention, les quantités de phosphore apportées sont conséquentes.

Métaux lourds : Dans le cadre de l'expérimentation, l'utilisation de compost n'induit pas de soucis majeurs d'accumulation de métaux lourds dans le sol ou dans la plante.

Limites de la référence (dans le cadre de ce rapport) : pas d'article correspondant

CHAMBRE D'AGRICULTURE DE VAUCLUSE (2008)

Références du document

Titre : Utilisation de composts de boues urbaines en fertilisation d'entretien sur verger de pommiers : effets agronomiques et sanitaires - résultats 2004-2007, conclusions 1999-2007.

Auteurs : Chambre d'agriculture de Vaucluse

Organisme : Chambre d'agriculture de Vaucluse

Source : Rapport de la Chambre d'agriculture de Vaucluse, Département Territoire et Environnement, Département appui aux entreprises et innovation, 75 pages, mars 2008.

Type de document : rapport

Pays d'origine des données : France (numéro d'enregistrement dans le tableur : 222)

Commentaires

Au terme de 9 années d'expérimentation, aucun effet négatif spécifiquement lié à l'emploi d'un compost de boues d'épuration n'a été mis en évidence, que ce soit sur le plan agronomique ou sanitaire, au niveau du sol, des arbres ou des fruits. Toutefois, les flux élevés en phosphore générés par l'emploi du compost utilisés dans le cadre de l'expérimentation est un facteur limitant à son emploi selon les modalités testés. La fréquence d'emploi des composts de boues ainsi que leur choix doivent être raisonnés en tenant compte également de ce critère.

Limites de la référence (dans le cadre de ce rapport) : Sol riche au départ, ne permettant pas d'obtenir des différences très marqués entre les traitements.

CHAMBRE D'AGRICULTURE DES ALPES DE HAUTE-PROVENCE (2002)

Références du document

Titre : Comparaison d'apport de divers composts, boues et fientes de poules sur des grandes cultures dans les Alpes de Haute-Provence.

Auteurs : Chambre d'agriculture des Alpes de Haute-Provence

Organisme : Chambre d'Agriculture des Alpes de Haute-Provence

Source : Programme bi-régional LR-PACA d'acquisition de références agronomiques en contexte pédo-climatique méditerranéen.

Type de document : rapport

Pays d'origine des données : France (numéro d'enregistrement dans le tableur : 204)

Résumé

Deux des produits organiques testés au cours de l'expérimentation sont des produits typés "organiques". Il s'agit du compost de boues et des pailles de lavandin. Ces produits contiennent en général moins de 10 kg d'azote par tonne de produit brut. Les deux autres produits sont quant à eux typés "fertilisants". Ces produits contiennent plus de 10 kg d'azote par tonne de produit brut. Ce classement sommaire essentiellement basé sur la teneur en éléments fertilisants (N, P et K), nous a conduit à mettre en place deux stratégies d'apport des produits sur l'essai. Pour les "organiques" la stratégie a été d'apporter les produits en une seule fois en début d'essai. Pour les "fertilisants" les apports ont été réalisés chaque année. Les doses d'apport sont des doses agronomiques (20 t/ha pour le compost de boues et les pailles de lavandin, 10 t/ha pour les boues séchées et 5 t/ha pour les fientes).

Commentaires

Après 3 campagnes d'expérimentation les principaux résultats obtenus sont les suivants :

- Il n'y a pas de différence entre les traitements pour les rendements des cultures. Seul le témoin 0 azote est nettement en-dessous des autres rendements. Les stratégies de fertilisations appliquées permettent d'obtenir des rendements très proches.
- Pour les produits typés "organiques", un seul apport sur 3 années et un complément en engrais minéral permettent d'obtenir des résultats similaires au témoin fertilisation.
- Pour les produits typés "fertilisants", les produits organiques sans apports complémentaire d'engrais minéraux permettent d'avoir des rendements très proches voir équivalents au témoin fertilisation. Pour ces produits, une stratégie d'apport doit être appliquée. Avant culture d'automne ou d'hiver, il est nécessaire de scinder les apports en 2. Un premier apport avant semis (moitié de dose) et le reste à la sortie de l'hiver. Ceci doit permettre une fourniture suffisante d'azote pour l'ensemble de la campagne. Pour les cultures de printemps, un seul apport avant le semis permet d'assurer une fertilisation suffisante. Les fientes de poules sont particulièrement bien équilibrées en éléments fertilisants et ne nécessitent aucun apport complémentaire. Pour les boues de station d'épuration, le déficit en potassium laisse craindre des carences en cet élément. Un complément pourra être apporté pour corriger le déficit.
- Les apports de produits organiques doivent être réalisés avant semis avec un mélange superficiel. Ceci permet de conserver les éléments fertilisants disponibles pour les plantes. Les techniques simplifiées de travail du sol utilisés lors de l'essai ont permis de mettre en œuvre ces pratiques.
- La faible durée de l'expérimentation n'a pas permis de mettre en avant des évolutions significatives du sol et de sa teneur en matières organiques.
- Les éléments traces métalliques observés dans les sols après 3 années ou dans les graines récoltées ne montrent pas d'accumulation entre les différents traitements.

CHAMBRE D'AGRICULTURE DU VAR (2002)

Références du document

Titre : Comparaison d'un compost de boues d'épuration et d'un fumier en apport d'entretien en viticulture.

Auteurs : Chambre d'agriculture du Var

Organisme : Chambre d'Agriculture du Var

Source : Programme bi-régional LR-PACA d'acquisition de références agronomiques en contexte pédo-climatique méditerranéen.

Type de document : rapport

Pays d'origine des données : France (numéro d'enregistrement dans le tableur : 203)

Résumé

La faisabilité agronomique et environnemental de l'épandage d'un compost de boues en entretien en viticulture a été étudiée de 1999 à 2002 dans le cadre du programme expérimental inter-régional (LR et PACA) de recherche de références et d'amélioration des connaissances concernant les risques et l'intérêt agronomique des boues d'épuration en vue de leur utilisation agricole en région méditerranéenne. Le compost, issu du co-compostage de boues urbaines avec des déchets verts et des écorces de pin, a été épandu à la dose de 15 t/ha selon deux modalités, un apport massif la première année, et un apport fractionné à raison de 5 t/ha tous les ans. Ces deux modalités ont été comparées à une fertilisation minérale et à un apport de fumier de cheval. Quel que soit l'origine de la matière organique apportée, nous avons pu noter un enrichissement significatif du sol en matières organiques et azote organique, enrichissement supérieur pour les composts mais inférieur pour le fumier. Ces apports ont également enrichi le sol en éléments fertilisants en fonction de leur richesse : ainsi, le fumier a permis un enrichissement en K₂O, tandis que le compost a apporté de grosses quantités de P₂O₅ entraînant un enrichissement significatif. Cet apport massif de phosphore va être particulièrement limitant dans la gestion des épandages en raison des risques de pollution. Cependant, aucune différence significative n'apparaît entre les différents traitements concernant le développement de la vigne et les rendements. L'écart le plus significatif apparaît sur le vin, notamment concernant l'acidité. L'apport de fumier de cheval a permis l'obtention d'un vin plus acide. Par contre, les apports de composts de boues n'ont pas eu d'impact sur la qualité finale des vins par rapport à une fertilisation minérale classique.

Commentaires

Pas d'effet sur les rendements mais effets sur la qualité du vin.

Au bout des trois ans d'essais, on note une augmentation significative de la teneur en matière organique pour les trois traitements amendés : 2,54 g/kg pour le fumier de cheval, 4,23 g/kg pour le compost de boue apporté chaque année, et 4,04 g/kg pour le compost de boue apporté en une seule fois au début.

Limites de la référence (dans le cadre de ce rapport) : Effet bloc important.

DEMARLE ET VIAN (2004)

Références du document

Titre : Effets de différentes sources organiques sur les propriétés d'un sol sableux argileux : 10 ans d'essai en culture légumière à la SERAIL (Brindas (Rhône)).

Auteurs : Demarle O., Vian J.-F.

Organisme : ISARA Lyon, SERAIL

Source : Mémoire de Fin d'Etudes, 32e promotion (1999-2004), 109 pages + annexes.

Type de document : rapport

Pays d'origine des données : France (numéro d'enregistrement dans le tableur : 224)

Résumé

Cette étude a été mise en place par la SERAIL en 1995 suite à la demande des maraîchers de la région Rhône-Alpes. L'objectif est de différencier les effets de diverses sources de matières organiques, apportées à différentes doses, sur les composantes de la qualité du sol. Une démarche d'analyse globale a été menée en 2004 pour apprécier, au bout de 10 ans d'apports réguliers, les caractéristiques de chaque amendement ainsi que leurs dynamiques d'évolutions et leurs influences sur les propriétés chimiques, physiques et biologiques du sol. L'Indice de Stabilité Biologique (ISB) des produits est un bon indicateur de leur comportement au champ. Le fractionnement de la matière organique du sol permet de mettre en évidence des différences de statut organique entre les parcelles étudiées qui sont induites par la nature des amendements. Ces différences font que les propriétés chimiques, physiques et biologiques du sol varient selon l'amendement considéré. On distingue des composts de déchets verts et d'écorce, qui sont des produits stables, les fumiers frais et déshydraté qui sont des produits plus dégradables. Le compost de tourteaux de café a un comportement atypique qui est intermédiaire par rapport aux composts et fumiers étudiés.

Commentaires

Dans le contexte pédoclimatique de l'essai on remarque que l'évolution des propriétés agronomiques est longue à se dessiner. Après 10 années, le témoin sans apport ne se différencie pas systématiquement des parcelles amendées sur le plan des résultats culturaux lorsque les conditions de travail de sol sont satisfaisantes, alors que les apports organiques influent positivement sur la récolte en conditions limitantes (travail du sol en condition humide). Des critères d'observations fins permettent cependant de discriminer les modalités étudiées quelle que soit la situation. Les résultats présentés ont été obtenus dans le contexte particulier de l'essai. Toute généralisation sur le comportement de ces produits est délicate en dehors de ce contexte. Seul le suivi d'un réseau de parcelles aux conditions pédoclimatiques différentes pourrait venir préciser à moyen terme le comportement des produits. Il nous paraît cependant nécessaire d'élargir la réflexion sur l'utilisation de ces amendements organiques avec les indications qui suivent : Les fumiers de bovins, qu'ils soient utilisés frais ou déshydratés, devraient être apportés annuellement, à une dose d'entretien que l'on pourrait situer entre 20 et 40 t/ha/an de fumier frais ou entre 5 et 10 t de fumier déshydraté selon la situation. Ils ont pour objectif d'améliorer la réactivité du sol par effet fertilisant direct et indirect par stimulation de la biomasse microbienne. Ils sont utilisables dans tous types de sol pour l'entretien régulier de la fertilité globale. Les composts végétaux (déchets verts, bois, écorce, ...) pourront être apportés annuellement, voir tous les 2 ou 3 ans. La dose d'entretien pourra être limitée par l'effet alcalinisant de certains produits, par la concentration en Eléments Traces Métalliques (respect des flux maximum autorisés) et les risques d'accumulation de matière organique inerte. Elle se situera généralement autour de 10 à 20 t/ha/an. Les risques "d'indigestion" liés à des apports massifs (supérieurs à 25 - 30 tonnes) en une fois sont difficiles à évaluer car certainement variables en fonction du type de sol. Cependant de tels produits à forte dose peuvent engendrer la réorganisation de l'azote et des effets négatifs sur l'activité biologique. Ces composts vont jouer sur les effets durables de la MO, principalement sur les propriétés physiques (stabilité structurale, résistance au tassement, rétention en eau), ainsi que sur la CEC et le pH du sol. Ils seront utilisés comme produit principal pour des sols ayant des propriétés physiques dégradées, toujours sous forme de composts mûrs, de préférence tamisés assez finement.

Limites de la référence (dans le cadre de ce rapport) : Données obtenues en climat non méditerranéen, un seul compost d'origine urbaine dans les traitements étudiés (compost de déchets verts).

Références du document

Titre : Inventaire national des essais agronomiques réalisés avec des matières organiques et minérales d'origines urbaine et industrielle.

Auteurs : Ducasse A.-M., Leclerc B., Muller-David F.

Organisme : ADEME

Source : Collection Données et Références de l'ADEME n°423 9, avril 2002, ISBN 2-86817-653-4.

Type de document : rapport

Pays d'origine des données : France (numéro d'enregistrement dans le tableur : 221)

Résumé

Ce document a pour objectif de présenter un inventaire national des essais agronomiques de valorisation agricole de déchets organiques d'origine urbaine ou industrielle réalisés depuis peu, ou en cours actuellement. Il s'agit du premier recensement de ce type d'essais. Ces essais, qui sont de plus en plus nombreux, ne sont pas toujours référencés et connus. De ce fait, les responsables de leur mise en oeuvre ne peuvent bénéficier de l'expérience et de la méthodologie des études existantes. Afin de remédier à cela, ce document vise à mettre en commun les informations répertoriées sous forme synthétique. Afin d'en faciliter la consultation, il est structuré en quatre parties : (1) une synthèse des essais recensés (localisation, organismes maîtres d'oeuvre, cultures concernées, matières testées) ; (2) des fiches d'information sur chacun des essais (136 fiches). Elles ne donnent pas de résultats, mais plutôt des précisions sur l'essentiel du protocole, ainsi que les coordonnées de la personne à contacter ; (3) une série d'index permettant une recherche par mots-clés (types de produits, types de sols, analyses, objectifs, etc.) ; (4) une bibliographie relative à certains essais.

Commentaires

Les 7 fiches de la région Provence Alpes Côte d'Azur concernent des essais avec des composts de boue.

Limites de la référence (dans le cadre de ce rapport) : Ne donne pas les résultats des essais.

Références du document

Titre : Valeur agronomique d'un compost de déchets verts + biodéchets.

Auteurs : Duprat-Invernizzi C., Maupat E., Piasentin J.C., Constantin S., Clerc H., Sousa P.

Organisme : Orgaterre

Source : Echo-MO n°58 : 3-6.

Type de document : article

Pays d'origine des données : France (numéro d'enregistrement dans le tableur : 213)

Résumé

La Chambre d'Agriculture du Lot-et-Garonne, en partenariat avec HORTIS Aquitaine (ex AIREL) teste depuis 3 ans le compost de déchets verts + biodéchets de la Communauté d'Agglomération d'Agen (CAA) sur grandes cultures et salades. L'objectif de ces essais était de vérifier l'innocuité du produit sur le sol (ETM, micro-polluants organiques) et les cultures (norme nitrates, ETM) et de mesurer la valeur agronomique de ce compost (augmentation de rendement, caractéristiques du sol). Ces essais ont reçu un soutien financier de l'ADAR, de la CAA, de l'ADEME et de la Communauté européenne.

Ces 3 années d'essai ont permis de constater :

- Le non dépassement de la norme nitrates pour les salades.
 - Les teneurs en composés traces organiques du sol n'ont pas augmenté.
 - Plus on apporte de compost, plus le poids des salades augmente et plus le rendement du blé augmente avec une fumure complémentaire azotée. En prenant en compte l'efficacité économique, mieux vaut préconiser des doses autour de 10-20 t/ha de compost.
 - Plus on apporte de compost, plus la matière organique et la biomasse microbienne du sol augmentent.
-

Commentaires

Bien qu'il soit difficile d'établir des tendances de concentration dues au compost, certains ETM ont légèrement augmenté dans les cultures, comme le zinc, le cuivre et le chrome, ou dans le sol comme le nickel, le zinc, le chrome et le plomb. Il serait intéressant de suivre ces teneurs dans les années à venir.

Il est proposé de suivre les ETM dans le sol (nickel, zinc, chrome et plomb) et les caractéristiques biologiques et physiques du sol avec un protocole simplifié. Proposition de protocole simplifié : 1 seule dose de compost sur toute la surface de la parcelle expérimentale (20 t/ha) annuellement sur une durée minimale de 3 ans ; une analyse de sol complète (ETM, caractéristiques physiques et biologiques) à la fin des 3 ans d'apport.

Références du document

Titre : Evaluation des gisements et des débouchés des composts en Languedoc-Roussillon - Bilan 2006 - Prospective 2010.

Auteurs : Ecotechnologie

Type de document : rapport

Pays d'origine des données : France (numéro d'enregistrement dans le tableur : 219)

Résumé

En 2006, 110 000 tonnes de compost ont été produites dont plus de la moitié sous forme de composts de boues. La viticulture et les grandes cultures, activités qui occupent une grande part de la surface agricole utile en Languedoc-Roussillon sont les plus sollicitées pour valoriser ces amendements de masse. Les activités non agricoles (espaces verts, travaux paysagers, horticulture, ...) sont aussi concernées et malgré leur moindre importance, elles restent incontournables pour écouler la totalité de la production régionale de composts. Du point de vue des utilisateurs, les exigences sont différentes selon le type de compost et, notamment, les problèmes d'images qui leur sont inhérents de sorte que : (1) d'une manière générale, le prix d'un compost de boues est nul ou symbolique. C'est encore plus vrai lorsque le compost est valorisé dans le cadre d'un plan d'épandage où, dans la plupart des cas, la gratuité va jusqu'au rendu racine ; (2) les composts de déchets verts et de biodéchets, qui ne subissent pas ce déficit d'image, sont vendus à des prix pouvant atteindre plus de 20 €/t départ plate-forme. Au-delà de ces réalités, on peut évaluer une valeur marchande théorique des composts au regard de leur contenu en engrais et en matière organique. La comparaison entre ces valeurs et les prix pratiqués par les plates-formes de compostage montre que les composts de boues sont actuellement mal valorisés économiquement, notamment compte tenu de leur valeur engrais. C'est également le cas pour les composts d'ordures ménagères du point de vue de leur potentiel organique. En parallèle et d'un point de vue technique, il apparaît que la valeur organique et, le cas échéant, fertilisante des composts est mal prise en compte ce qui conduit parfois à adopter des pratiques non conformes aux besoins agronomiques des végétaux lorsque ce n'est pas une simple motivation d'évacuation de surplus encombrant les plates-formes qui prévaut. En premier constat, on relève donc que la demande en matière organique est mal cernée tant au plan

qualitatif que quantitatif, et que la connaissance insuffisante des besoins réels des utilisateurs et des facteurs de blocages (d'ordre technique, économique, logistique ou d'image) constituent des freins importants au développement de la valorisation des composts sur certains marchés. En 2010, suite à l'ouverture de plusieurs unités de traitement de déchets ménagers et de boues de station d'épuration des eaux, ce sont près de 200 000 tonnes qui seront mises sur le marché chaque année avec une prédominance des composts de boues et des composts d'ordures ménagères, c'est-à-dire les 2 types de composts dont l'écoulement est le plus délicat à ce jour. Les difficultés actuelles déjà relevées pourraient donc s'avérer rédhitoires en l'absence d'évolutions des pratiques de l'ensemble des acteurs de filières. En effet, en adoptant des doses d'apports raisonnées, on constate que la valorisation de telles quantités

concernera une part importante de la surface agricole et que pour certains départements, comme l'Hérault et les Pyrénées Orientales, les contraintes seront très fortes. Cependant, les marchés potentiels pour les composts de déchets existent, mais ils nécessitent de fournir aux utilisateurs toutes garanties tant sur le plan agronomique, environnemental, réglementaire qu'en terme d'image et de prendre en compte les contraintes auxquelles doivent faire face ces utilisateurs (conditionnement du produit, prix, fluctuations saisonnières de la demande, modalités de mise en oeuvre des produits). Cette valorisation devra continuer à s'appuyer sur les secteurs de la viticulture et des grandes cultures sans négliger de développer de nouveaux débouchés agricoles ou non, incluant le marché des particuliers et celui du paysage par exemple. Répondre à de tels défis suppose une évolution des pratiques tant sur un plan technique que celui de la

commercialisation et de l'information. Plusieurs propositions ont été formulées dans ce sens, avec par exemple :

- développer les partenariats avec les circuits habituels de distribution pour informer les utilisateurs potentiels des composts,
- faciliter la mise en oeuvre des composts en offrant des conditionnements et des services logistiques adaptés,
- développer la communication et l'information de façon à souligner l'intérêt agronomique des composts et leur innocuité sur le plan environnemental,
- améliorer la qualité de l'exploitation des plates-formes pour offrir une gamme de produits de haute qualité et une information pertinente sur leurs modes d'utilisation,
- favoriser une meilleure utilisation des marcs, dont une part significative reste encore mal valorisée.

Références du document

Titre : Evaluation de la minéralisation de l'azote de deux sols amendés avec un compost d'ordures ménagères.

Auteurs : Elherradi E., Souidi B., Elkacemi K.

Organisme : Université Mohamed V, faculté des Sciences, Département de chimie, Rabat, Maroc

Source : Etude et Gestion des Sols, Volume 10, 3, 2003, pages 139-154.

Type de document : article

Pays d'origine des données : Maroc (numéro d'enregistrement dans le tableur : 198)

Résumé

Afin d'évaluer l'effet d'amendement organique des sols avec du compost d'ordures ménagères sur l'évolution de l'azote minéral, deux sols contrastés par leurs propriétés physico-chimiques et texturales : un sol sablonneux de la région côtière de Rabat (SRR) et un sol limono-argileux du Gharb (SDG) ont été étudiés. Des essais d'incubation aérobie pendant 35 jours (5 semaines) ont été conduits au laboratoire sous des conditions contrôlées à une température de 30°C, optimale pour l'ammonitrification. Les échantillons de sol ont été ajustés à différents niveaux d'humidité 50 %, 80 % et 100 % Hcc en présence de doses croissantes de composts, équivalentes à 0, 10, 20 et 30 tonnes.ha-1. L'apport du compost a induit une augmentation de la quantité d'azote minéralisé des deux sols. La production d'azote minéral en fonction du temps croît avec la dose du compost apporté. L'allure générale de cette production est comparable pour les différents traitements. Cependant, les quantités d'azote minéralisé diffèrent dans les deux sols utilisés et dépendent de l'humidité. Cette allure est caractérisée pour toutes les doses apportées par une augmentation brutale durant la première semaine d'incubation appelée "effect flush". Les quantités résultantes de cette surminéralisation varient de 29 à 60 Kg N.ha-1 et de 58 à 87 kg N.ha-1 respectivement pour SRR et SDG à 80 % Hcc. La minéralisation est plus intense en SDG que dans le SRR pour les différentes doses du compost. Après 35 jours d'incubation, la quantité d'azote minéralisé est de 139 kg.ha-1 en SDG et de 99 kg.ha-1 en SRR amendés avec 30 tonnes.ha-1 et à 100 % Hcc. Le taux apparent moyen de minéralisation de l'azote organique du compost est de 8 et 10 % pour SRR et SDG durant la période d'incubation à 100 % Hcc.

Limites de la référence (dans le cadre de ce rapport) : Expérimentation réalisée au Maroc, composition du compost différente de celle des composts français.

Références du document

Titre : 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.

Auteurs : Francou C.

Organisme : INRA

Source : Thèse pour l'obtention du grade de Docteur de l'Institut National Agronomique Paris-Grignon, 288 pages.

Type de document : thèse

Pays d'origine des données : France (numéro d'enregistrement dans le tableur : 216)

Résumé

(résumé partiel de la thèse) : Notre projet se proposait d'étudier l'évolution des caractéristiques de la matière organique de composts au cours du compostage, en la reliant à leur origine (nature des déchets compostés et procédé de compostage), et d'en déduire leur aptitude à entretenir le stock de matière organique d'un sol. Les conséquences de la biodégradabilité résiduelle des composts sur la disponibilité potentielle de l'azote ont été également étudiées. Une dizaine de composts issus de plates-formes de compostage industrielles, comprenant des composts de déchets verts, des co-composts de déchets verts et boues, des composts de biodéchets (fraction fermentescible des ordures ménagères collectée sélectivement), et des composts d'ordures ménagères, ont été échantillonnés à trois, quatre et six mois de compostage, pendant la phase dite de maturation. Afin de s'affranchir de la variable procédé de compostage, huit composts élaborés en réacteurs de laboratoire à partir d'un procédé unique de compostage et des proportions variables de déchets verts, biodéchets, et papiers-cartons, ont été suivis durant trois mois. Une gamme de cinq classes de stabilité de la matière organique des composts étudiés a été définie sur la base de la minéralisation résiduelle du carbone des composts au cours d'incubations dans un sol de référence. La caractérisation de la matière organique des composts a été réalisée à partir de fractionnements chimique (extraction des acides humiques et fulviques) et biochimique (composition en lignine, cellulose, hémicellulose, substances solubles), et par analyse en spectrométrie infrarouge (IRTF), et a permis d'interpréter les différences de vitesses de stabilisation. Le degré de maturité étant défini par le niveau de stabilisation de la matière organique des composts, le classement de stabilité défini précédemment a servi de référence pour la validation de différents indicateurs de maturité. Au cours du compostage, les composts évoluent vers des produits aux caractéristiques de plus en plus proches et indépendantes de leur origine, mais les vitesses de stabilisation dépendent de l'origine des composts. La prédominance dans les déchets initiaux, de déchets verts par nature riches en lignine, entraîne la stabilisation rapide de la matière organique des composts, que le procédé soit accéléré ou non. Les caractéristiques de la matière organique de ces composts évoluent peu entre trois et six mois de compostage. Mais à cause de la minéralisation de leur matière organique au cours du compostage, la valeur amendante de ces composts, estimée à partir de l'Indice de Stabilité Biologique (ISB) et de leur teneur en matière organique, peut présenter une légère diminution entre trois et six mois de compostage. A l'opposé, la prédominance dans les déchets initiaux, de papiers par nature riches en cellulose, requiert une durée de compostage plus longue pour arriver à des composts stabilisés. De ce fait, les composts d'ordures ménagères, plus riches en papiers-cartons, sont encore instables au bout de trois mois, et nécessitent au moins six mois de compostage, avec retournements réguliers tout au long du compostage, pour se stabiliser. Cette importante stabilisation de la matière organique des composts d'ordures ménagères au cours du compostage entraîne une augmentation de leur valeur amendante entre trois et six mois. L'influence des biodéchets sur la vitesse de stabilisation des composts n'a pas pu être mise en évidence, car ils ne représentent qu'une faible proportion de la masse sèche des mélanges initiaux. La biodisponibilité potentielle de l'azote des composts, évaluée à partir d'incubations de mélanges sol-compost, apparaît faible. L'azote des composts stabilisés se minéralise lentement. L'incorporation au sol des composts instables provoque une forte immobilisation de l'azote du sol, suivi d'une phase de minéralisation à des vitesses supérieures à celles observées avec les composts stables. Parmi les indicateurs de maturité étudiés, le rapport d'humification ($RH = CAH/CAF$) est le seul indicateur chimique fiable, un RH inférieur à 1 désignant un degré de maturité faible, et un RH supérieur à 1,3 désignant un degré de maturité élevé. Le test d'auto-échauffement est le test de terrain le plus pertinent. Ces deux indicateurs permettent d'évaluer de façon fiable le degré de stabilisation des composts, et d'en déduire des conseils sur leur période d'apport, en tenant compte des risques d'immobilisation de l'azote dans les sols liés à leur utilisation.

Limites de la référence (dans le cadre de ce rapport) : Pas de données au champ.

GARCIN ET MONTROZIER (2004)

Références du document

Titre : Reconstitution d'un substrat sur marnes noires pour végétalisation en zone sèche de montagne.

Auteurs : Garcin Michel, Montrozier Catherine

Organisme : Recytec Environnement et Chambre d'agriculture des Hautes-Alpes

Source : Retour au sol des matières organiques - Acquisition de références agronomiques et environnementales: bilan et perspectives - 27 et 28 avril 2004 - Paris, pp. 163-172.

Type de document : article

Pays d'origine des données : France (numéro d'enregistrement dans le tableur : 48)

Résumé

Cet essai de plein champ est destiné à appréhender correctement une méthode innovante de stabilisation des sols et de maîtrise des phénomènes d'érosion sur les zones marneuses de moyenne altitude après travaux. Il porte sur la reconstitution intégrale ou partielle d'un sol dégradé par des travaux d'aménagement. L'absence ou le déficit de terre végétale à l'issue des travaux est compensé par l'apport de matières organiques issues du recyclage et de la valorisation des déchets urbains. Le substrat artificiel est reconstitué avec des apports massifs de composts de boues d'épuration. Il est ensuite ensemencé avec un mélange d'espèces végétales locales destiné à stabiliser le sol d'origine très vulnérable à l'érosion, et à minimiser l'impact des travaux par une insertion paysagère convenable. Le mélange de semences est projeté en association avec des colloïdes, et des fibres celluloses destinés à fixer le compost épandu superficiellement et les graines qui germeront pour fournir le couvert végétal. Le couvert végétal sera le plus homogène possible sur le plan quantitatif et qualitatif avec des caractéristiques proches de celles de l'écosystème local.

Commentaires

Les éléments traces métalliques sont analysés sur le végétal un an et trois ans après le semis. Les pathogènes sont estimés la troisième année. Des végétaux indésirables se sont installés sur le site, ce qui nécessite un nettoyage manuel (à 6, 12, 24 mois).

Pas encore de données sur les exportations d'ETM dans les végétaux dans cette référence.

Limites de la référence (dans le cadre de ce rapport) : Pas encore de données sur les exportations d'ETM dans les végétaux dans cette référence.

GERES (2007)

Références du document

Titre : Le marché des composts en Provence-Alpes-Côte d'Azur - Bilan des installations de compostage et étude du marché des matières organiques.

Auteurs : GERES

Organisme : GERES

Source : ISBN 2-907590-42-1.

Type de document : brochure

Pays d'origine des données : France (numéro d'enregistrement dans le tableur : 234)

Résumé

L'ADEME et le Conseil Régional ont lancé une étude afin de mieux connaître l'état de la filière compostage, ainsi que le marché des composts et son potentiel de développement. Le champ de ce travail est volontairement large, afin d'avoir une vision globale de la filière sur l'ensemble de la région. L'étude a donc porté à la fois sur les composts issus de déchets municipaux (déchets verts, part biodégradable des ordures ménagères, boues de stations d'épuration urbaine), les composts issus de résidus agricoles ou agro-alimentaires, et les autres produits organiques, élaborés ou non, qui existent sur le marché des amendements et engrais organiques. De plus, tous les procédés de compostage et méthanisation ont été investigués, y compris de tri-compostage ou tri-méthanisation sur ordures ménagères résiduelles. Enfin, le terme "marché" peut désigner la vente ou la mise à disposition à titre gratuit auprès des utilisateurs. Les résultats de cette étude sont présentés en deux parties : (1) des informations concernant les installations existantes, les débouchés actuels pour les composts, et les projets de compostage et de méthanisation ainsi que leur impact sur les quantités mises sur le marché, (2) une analyse des pratiques courantes de fertilisation et une synthèse des attentes des différents consommateurs potentiels de compost, afin de mieux comprendre le marché et son évolution.

Commentaires

Pour chaque type de compost, quelques pistes peuvent être avancées au niveau régional :

- Les composts de boues subissent fortement la suspicion des référentiels "Qualité" et il est très difficile de les vendre, à moins de les compléter avec des engrais pour une utilisation en grandes cultures. Ces composts peuvent aussi être utilisés en reconstitution de sols de carrières ou autres sites dégradés.
- Les composts de la part biodégradable des ordures ménagères ne sont absolument pas connus, mais ils ont a priori une meilleure image que les composts de boues et risquent à terme de les remplacer en grandes cultures. Il serait possible de les utiliser sur les cultures pérennes - arboriculture et viticulture - ainsi qu'en réhabilitation, voire en travaux paysagers publics.
- Les composts de déchets verts seraient les seuls à être acceptés en maraîchage, horticulture, agriculture biologique. Ils conviennent parfaitement aux usages paysagers pour les collectivités et les particuliers.

Quelques recommandations à l'attention des collectivités :

- Tenir compte des résultats d'une étude de marché locale, réalisée avec l'étude de faisabilité, comme critères de décision pour les projets de compostage et méthanisation.
- Montrer l'exemple en utilisant les composts produits avec les déchets de la collectivité, pour l'entretien des parcs et jardins et pour les aménagements de nouveaux espaces verts.
- Etre très vigilant sur la qualité des collectes sélectives en amont des installations de compostage sur OMR : les utilisateurs de compost sont très sensibles aux impuretés visuelles et à l'innocuité des composts municipaux.

Références du document

Titre : Evaluation à court et moyen terme de l'écocompatibilité d'un compost de boues industrielles - Résultats de la seconde année d'expérimentation. Document final.

Auteurs : Gros R., Dentant C., Fleury S.

Organisme : ECOMED, IMEP, ORTEC

Source : Rapport ORTEC, 15 janvier 2009.

Type de document :

Pays d'origine des données : France (numéro d'enregistrement dans le tableur : 223)

Commentaires

Pour un mélange fabriqué avec 30 % de compost, l'ensemble des paramètres microbiologiques et hydrologiques sont significativement augmentés par rapport au sol de référence. Ce mélange semble se stabiliser à moyen terme (absence de quotient métabolique, et des activités phénol oxydases et minéralisatrices de l'azote). Pour un mélange fabriqué avec 50 % de compost, aucune activité microbienne ne bénéficie proportionnellement de cet apport supplémentaire. Une attention particulière doit être portée concernant le comportement des formes minérales de l'azote dans les mélanges et une éventuelle modification de la structure des communautés microbiennes à moyen terme. Ces résultats ne considèrent que l'éco-compatibilité des composts à moyen terme. L'étude des effets à long terme est indispensable pour conforter ces résultats et garantir l'éco-compatibilité des composts de boues industrielles.

Limites de la référence (dans le cadre de ce rapport) : Nécessité d'acquérir des données sur le long terme.

HEBRAUD ET COULLET (2006)

Références du document

Titre : Bilan technique et économique des installations de compostage de la région PACA.

Auteurs : Hébraud A., Couillet L.

Organisme : GERES

Source : RAPPORT A : méthodologie et résultats des enquêtes, Convention ADEME 04.40.0424, 57 pages.

Type de document : rapport

Pays d'origine des données : France (numéro d'enregistrement dans le tableur : 233)

Commentaires

La réalisation de ce bilan a mis à jour une activité importante de la filière compostage sur la région PACA qui produit chaque année près de 200 000 tonnes de compost et qui semble en plein essor au regard du nombre de projets recensés. Cette activité est encore très concentrée sur les départements des Bouches du Rhône et du Vaucluse, et certaines zones manquent de solution de valorisation des déchets organiques ce qui semble être favorable au développement de cette filière. On peut noter la diversité des installations de compostage autant par leur taille, les déchets ou sous-produits traités, les procédés mis en œuvre, la multitude des exploitants. Les collectivités sont par contre très peu représentées, et préfèrent souvent faire appel à des sociétés privées pour gérer la totalité d'un service. Dans l'ensemble, les installations sont bien gérées et les exploitants soucieux de la qualité de leurs produits. Les marchés sont très locaux car les composts ne présentent pas de valeur suffisante pour être transportés au-delà de 50 km. Les exploitants assurent toutes les étapes de la commercialisation : la recherche de débouchés, la logistique de livraison, d'épandage, parfois le suivi agronomique dans le cadre de plans d'épandage. Dans les départements où le compostage est bien développé, une certaine concurrence se fait ressentir, ce qui ajoute encore une difficulté à un marché délicat. Les exploitants sont par ailleurs de plus en plus contraints par les exigences de qualité et de traçabilité issues des normes de commercialisation. Dans ce contexte, toutes les démarches semblent utiles et bienvenues, comme l'atteste l'intérêt de la plupart des personnes interrogées pour la création d'une entité permettant de favoriser la reconnaissance de composts de qualité. Ces difficultés ne concernent pas seulement les composts issus de déchets mais bien l'ensemble des produits en lien avec la crise de la viticulture, premier utilisateur de compost de la région du secteur agricole.

Références du document

Titre : Aperçu de la qualité des composts de biodéchets français en 2003.

Auteurs : Houot S., Thauvin Ph., Bernet N., Bodineau G.

Organisme : APCA et ADEME

Source : journée APCA, 4 décembre 2003.

Type de document : article

Pays d'origine des données : France (numéro d'enregistrement dans le tableur : 88)

Résumé

(introduction des auteurs) : En 2003, 7 à 8 % des 47 millions de tonnes de déchets produits par les collectivités sont traités par compostage. Pour ce qui concerne les ordures ménagères, sur les 670 000 tonnes de composts produites, seules 41 000 tonnes proviennent de collectes sélectives de la fraction fermentescible triée à la source par les particuliers (biodéchets) et des déchets verts collectés sur les déchèteries du même territoire. Le reste des composts produits provient du compostage d'ordures ménagères brutes ou de la fraction résiduelle des ordures ménagères après collecte sélective des emballages propres et secs (OM grises). Les biodéchets sont reçus sur seulement 25 plates-formes de compostage alors que 64 plates-formes compostent des ordures ménagères résiduelles après collecte sélective des emballages propres et secs. L'extraction de la fraction fermentescible s'effectue alors théoriquement sur la plate-forme au cours du procédé de compostage. Les performances de ce tri mécanique sur plate-forme sont très variables. Le développement des filières de traitement biologique pour les déchets organiques nécessite la pérennité des débouchés des composts vers l'agriculture et la recherche de nouveaux débouchés moins exigeants en terme de qualité (reconstitution de sols à des fins de végétalisation par exemple). Dans tous les cas, cela demande la mise en place de référentiels de qualité pour assurer l'innocuité des produits et leur adaptation à l'utilisation prévue.

En 1998, l'ADEME avait fait un premier état des lieux de la qualité des composts produits en France sur la base de résultats analytiques (analyses réalisées entre 1993 et 1998) fournis volontairement par les plates-formes de compostage. Cela a permis la publication de premières références sur la qualité des composts d'ordures ménagères, de biodéchets, de déchets verts et de boues (ADEME, 2001). En 2001-2003, l'ADEME commande le cabinet Gaudriot pour une campagne d'échantillonnage de tous les composts d'ordures ménagères produits en France. Les échantillons sont prélevés sur les composts prêts à être livrés quel que soit leur degré de maturité. L'INRA a la responsabilité de centraliser et analyser les résultats analytiques permettant d'apprécier leur qualité. Les composts sont répartis en 2 groupes selon que les déchets compostés soient des biodéchets issus d'une collecte sélective ou des ordures ménagères résiduelles (OMR). Au total, 87 plates-formes sont échantillonnées :

- 60 compostent des ordures ménagères résiduelles uniquement. Une d'entre elles est située au Canada. Le compost qui y est produit est considéré comme une référence de qualité pour le compostage d'ordures ménagères résiduelles.
- 23 ne reçoivent que des biodéchets issus de collectes sélectives
- sur 2 plates-formes, les ordures ménagères résiduelles sont mélangées à d'autres substrats (déchets verts, algues...)
- sur 2 plates-formes on trouve à la fois des composts d'ordures ménagères résiduelles et des composts de biodéchets.

Ces résultats présentent un aperçu de la qualité des composts produits, valide uniquement au niveau national. Cette appréciation ne repose que sur une seule campagne d'échantillonnage (un seul échantillon prélevé par site). D'autres campagnes permettraient de valider ces résultats et d'appréhender la variabilité intra et inter site de la qualité des composts.

Commentaires

Teneurs en ETM des 62 plates-formes de compostage d'ordures ménagères résiduelles en France. Ces valeurs (moyennes, médianes, quartiles, maximum) peuvent être utilisées comme référence de la qualité des composts d'ordures ménagères résiduelles en France. Voir aussi l'étude récente "Audit des plates-formes de compostage de déchets organiques en France avec analyses de composts, d'eaux de ruissellement et bilan des aides ADEME au compostage des déchets verts".

Limites de la référence (dans le cadre de ce rapport) : Ce type de compost est de moins en moins produit.

Références du document

Titre : Aperçu de la qualité des composts français issus d'ordures ménagères en 2003.

Auteurs : Houot S., Thauvin Ph., Bernet N., Bodineau G.

Organisme : APCA et ADEME

Source :

Type de document : article

Pays d'origine des données : France (numéro d'enregistrement dans le tableur : 87)

Résumé

(introduction des auteurs) : En 2003, moins de 10 % des 47 millions de tonnes de déchets produits par les collectivités sont traités par compostage. Pour ce qui concerne les ordures ménagères, sur les 670 000 tonnes de composts produites, seules 41 000 tonnes proviennent de collectes sélectives de la fraction fermentescible triée à la source par les particuliers (biodéchets) et des déchets verts collectés sur les déchèteries du même territoire. En 2003, seulement 25 plates-formes de compostage de biodéchets collectés sélectivement existent en France et 64 plates-formes compostent les ordures ménagères résiduelles après collecte sélective des emballages propres et secs. L'extraction de la fraction fermentescible s'effectue alors théoriquement sur la plate-forme au cours du procédé de compostage. Les performances de ce tri mécanique sur plate-forme sont très variables.

Le développement des filières de traitement biologique pour les déchets organiques nécessite la pérennité des débouchés des composts vers l'agriculture et la recherche de nouveaux débouchés moins exigeants en terme de qualité (reconstitution de sols à des fins de végétalisation par exemple). Dans tous les cas, cela demande la mise en place de référentiels de qualité pour assurer l'innocuité des produits et leur adaptation à l'utilisation prévue. En 1998, l'ADEME avait fait un premier état des lieux de la qualité des composts produits en France sur la base de résultats analytiques (analyses réalisées entre 1993 et 1998) fournis volontairement par les plates-formes de compostage. Cela a permis la publication de premières références sur la qualité des composts d'ordures ménagères, de biodéchets, de déchets verts et de boues (ADEME, 2001). En 2002-2003, l'ADEME commandite le cabinet Gaudriot pour une campagne d'échantillonnage de tous les composts d'ordures ménagères produits en France. Les échantillons sont prélevés sur les composts prêts à être livrés quelque soit leur degré de maturité. L'INRA a la responsabilité de centraliser et analyser les résultats analytiques permettant d'apprécier leur qualité. Les plates-formes de compostage sont réparties en 2 groupes selon qu'il y ait ou non collecte sélective de la fraction fermentescible en amont. Seuls les résultats concernant les composts de biodéchets (avec collecte sélective) sont présentés ici. Les composts d'ordures ménagères résiduelles feront l'objet d'une publication prochaine. Ces résultats présentent un aperçu de la qualité des composts produits. Cette appréciation ne repose que sur une seule campagne d'échantillonnage (un seul échantillon de « compost prêt à être livré » prélevé par site). D'autres campagnes permettraient de valider ces résultats et d'appréhender la variabilité intra et inter site de la qualité des composts.

Commentaires

Teneurs en ETM des 25 plates-formes de compostage de biodéchets collectés sélectivement en France.

Ces valeurs (moyennes, médianes, quartiles, maximum) peuvent être utilisées comme référence de la qualité des composts de biodéchets en France.

Limites de la référence (dans le cadre de ce rapport) : Ils existent des données plus récentes (voir l'audit ADEME 2006).

Références du document

Titre : Effets d'apports de matières organiques en entretien sur la vigne en contexte méditerranéen.

Auteurs : Irr C., Charvin N., Bouanani F.

Organisme : Chambres d'Agriculture

Source : Retour au sol des matières organiques, 27 et 28 avril 2004, Paris, pages 135-147.

Type de document : article

Pays d'origine des données : France (numéro d'enregistrement dans le tableur : 237)

Résumé

Dans le cadre d'un programme interrégional Languedoc Roussillon et Provence Alpes Côte d'Azur d'acquisition de références agronomiques en contexte pédoclimatique méditerranéen, 13 expérimentations ont été réalisées dont deux essais conduits sur vigne en production pendant 3 à 4 ans.

Différents apports de matières organiques dont des composts de boues ont été apportés sur vigne en fertilisation d'entretien. Un suivi de l'impact de ces matières organiques sur le sol, la vigne et le vin a été réalisé. Après 3 et 4 années d'expérimentation, dans les conditions de chacun des essais, aucune différence de comportement n'a été observée sur la vigne. Concernant l'impact de ces apports sur le sol, dans un des deux essais, un enrichissement du sol a été mis en évidence. Enfin, concernant la qualité du vin, sur un seul type de matière organique a pu être mis en évidence une qualité légèrement différente des autres traitements.

Commentaires

Le suivi des éléments traces métalliques

Compte tenu des analyses en ETM sur les produits et compte tenu des doses d'épandage, ce sont les deux composts (compost de boues et déchets verts, et compost de distillerie) qui apportent le plus d'ETM. Ceci étant, on ne peut mettre en évidence un quelconque lien entre l'apport d'ETM par les différentes matières fertilisantes apportées et l'enrichissement du sol pour certains éléments traces. Enfin, concernant le vin, les comparaisons des teneurs en ETM des différents traitements ne révèlent pas de différences significatives entre les traitements.

Les effets de la matière organique sur le sol

Après 4 années d'apports, on observe des variations au niveau de la biomasse microbienne et au niveau de la fraction granulométrique de la matière organique pour les traitements "compost de boues" et "compost de distillerie" par rapport au témoin. Ces différences restent toutefois faibles.

Le suivi de la vigne et du vin

On remarque les deux dernières années des différences statistiques au niveau des rendements. En dernière année, ces différences sont manifestement liées aux différents traitements sans qu'il soit possible de dégager de comportement spécifique entre les différents produits. En revanche, on n'observe pas de différences entre les traitements concernant les stades phénologiques, le diagnostic foliaire, et les analyses de vins.

JEUCH ET AL. (2000)

Références du document

Titre : Composts de boues de stations d'épuration municipales : qualité, performances agronomiques et utilisations.

Auteurs : Jeuch C., Joly Y., Sage S., Wiart J.

Organisme : ADEME

Source : Collection Données et Références de l'ADEME n° 327 6 septembre 2000, ISBN 2-86817-380-2, 423 pages.

Type de document : rapport

Pays d'origine des données : France (numéro d'enregistrement dans le tableur : 230)

Résumé

L'épuration des eaux usées municipales génère en France, chaque année, 850 000 tonnes de matière sèche de boues résiduelles dont 60 % sont valorisées par épandage agricole, et environ 2 % seulement sont compostées. Après avoir longtemps stagné, essentiellement pour des raisons économiques, le compostage des boues d'épuration devrait se développer avec le renforcement des contraintes réglementaires, l'évolution des sensibilités en faveur de l'environnement et l'acceptation du prix à payer pour mieux traiter les déchets. Afin d'accompagner cette évolution, le document propose un état des connaissances acquises sur les diverses utilisations agronomiques des composts de boues, ainsi que leurs impacts sur les sols et les plantes. Il rassemble une importante bibliographie présentée sous forme de fiches de lecture résumées.

Limites de la référence (dans le cadre de ce rapport) : Données relativement anciennes (avant 2000) et généralement obtenues or climat méditerranéen.

Références du document

Titre : Apport de matières organiques exogènes en agriculture : indicateur de potentialité de stockage de carbone dans les sols et définition de classes de disponibilité d'azote.

Auteurs : Lashermes G., Houot S., Nicolardot B., Parnaudeau V., Mary B., Morvan B., Chaussod R., Linères M., Metzger L., Thuriès L., Villette C., Tricaud A., Guillotin M.L.

Organisme : INRA

Source : Echo-MO n°64 : 3-8.

Type de document : article

Pays d'origine des données : France (numéro d'enregistrement dans le tableur : 211)

Commentaires

Deux nouveaux outils sont donc disponibles pour caractériser et prévoir le comportement des MOE au champ : (i) l'indicateur ISMO permet de prévoir la valeur amendante à long terme des MOE ; (ii) les classes de valeur fertilisante azotée des MOE. Ces indicateurs devraient être intégrés dans la normalisation des amendements organiques (en cours à l'AFNOR, comité U44A). Trois points devraient être mis en œuvre dans la poursuite du travail : (1) Compléter la base de données : il faut poursuivre la construction de la base de données. Certaines familles de MOE sont sous-représentées, d'autres MOE sont mal connues. Un fichier type de description des MOE pourrait être défini qui devrait être complété au moment de la demande d'analyse. (2) Mettre en œuvre l'utilisation de « modèles agronomiques » pour caractériser le potentiel de stockage de C des MOE. Deux modèles, STICS-résidus (Nicolardot et al., 2001) et ROTH-C (Coleman et Jenkinson, 1999) pourraient être utilisés. Une telle démarche a été entreprise en collaboration avec l'unité Infosol (INRA Orléans) pour ROTH-C. Un travail est en cours entre EGC et l'unité d'Agronomie de Laon-Reims-Mons et SAS de Rennes pour tester l'utilisation d'un modèle plus mécaniste CANTIS (Garnier et al., 2003), décrivant le devenir du C et N après apport de MOE. L'utilisation de CANTIS nous permettra de tester différentes hypothèses de flux de transformation de C et N dans le sol après apport de MOE. La transcription des transformations les plus vraisemblables dans le module STICS-résidus devrait permettre son paramétrage pour l'ensemble des MOE. (3) Rechercher des données expérimentales ou des sites expérimentaux pour valider l'indicateur ISMO.

Limites de la référence (dans le cadre de ce rapport) : Données de terrain encore insuffisamment nombreuses pour valider les classes proposées.

LECLERC (2001A)

Références du document

Titre : Guide des matières organiques, Tome 1.

Auteurs : Leclerc B.

Organisme : ITAB

Source : Tome 1, ISBN 2-9 515 855-1-9, 238 pages.

Type de document : livre

Pays d'origine des données : France (numéro d'enregistrement dans le tableur : 227)

Résumé

Les dix chapitres de ce tome 1 traitent des matières organiques dans les sols agricoles (origine, évolution, rôles), de leur analyse, de leur composition (engrais verts, résidus de récolte, déjections animales, engrais et amendements organiques), de leur compostage, de leur gestion par système de culture, de leur relation avec la qualité des récoltes et de l'environnement, de la réglementation. Le guide matières organiques d'inscrit dans la liste des outils d'aide à la conversion à l'agriculture biologique, même s'il s'adresse à tous les agriculteurs et tous les techniciens, qu'ils pratiquent ou non l'agriculture biologique. C'est aussi un ouvrage pédagogique à destination des étudiants.

Limites de la référence (dans le cadre de ce rapport) : Données générales sur les matières organiques.

LECLERC (2001B)

Références du document

Titre : Guide des matières organiques, Tome 2.

Auteurs : Leclerc B.

Organisme : ITAB

Source : Tome 2, ISBN 2-9 515 855-2-7, 91 pages.

Type de document : livre

Pays d'origine des données : France (numéro d'enregistrement dans le tableur : 228)

Résumé

Ce deuxième tome du guide des matières organiques donne des informations sur les produits suivants : acides humiques, algues, bois raméaux fragmentés, boues, compost de biodéchets des ménages, compost de broussailles, compost de champignonnière, compost de déchets verts, compost de fumier de bovins, compost de fumier d'ovins, compost de fumier de porcins, compost de fumier de volailles, compost d'ordures ménagères, cornes et onglons, cuirs et peaux, déchets de laine, écorces et sciure, farine d'os, farine de plumes, farine de poisson, farine de sang, farine de viande, fientes de volailles, fumier de bovins, fumier de champignonnière, fumier d'équins, fumier d'ovins et de caprins, fumier de porcins, fumier de volailles, guano, lisier de bovins, lisier de porcins, lombricompost, paille, terreau, tourbe, tourteau de ricin, vinasse concentrée.

Limites de la référence (dans le cadre de ce rapport) : Données générales sur les matières organiques.

MONTENACH *ET AL.* (2007)

Références du document

Titre : Essai au champ de longue durée de Colmar (68) : présentation du protocole.

Auteurs : Montenach D., Imhoff M., Schaub A., Houot S.

Organisme : INRA

Source : Journée technique "Retour au sol des produits résiduaux organiques" - Colmar, 27/11/2007, 9-12.

Type de document : article

Pays d'origine des données : France (numéro d'enregistrement dans le tableur : 226)

Commentaires

L'essai de Colmar est l'un des essais de longue durée mis en place récemment et faisant l'objet de suivis analytiques complets, autant sur les produits organiques apportés que sur les propriétés du sol, comme l'essai mis en place à Feucherolles. Bien que non situé en zone méditerranéenne, les données recueillies sur cet essai peuvent être en partie extrapolées, notamment en raison du caractère comparatif des produits les uns avec les autres.

Limites de la référence (dans le cadre de ce rapport) : Essai en cours, à suivre sur le long terme. Adaptation nécessaire pour une validation des résultats en climat méditerranéen.

Références du document

Titre : Intérêt de l'apport de matières organiques en gestion pastorale de pare-feux en zone de garrigue.

Auteurs : Mouton R., Dureau R., Ruiz N.

Organisme : Chambre d'Agriculture des Bouches-du-Rhône

Source : retour au sol des matières organiques, 27 et 28 avril 2004, Paris, pages 173-191.

Type de document : article

Pays d'origine des données : France (numéro d'enregistrement dans le tableur : 238)

Résumé

La protection des massifs forestiers contre l'incendie est une préoccupation majeure des pouvoirs publics. L'agriculture et l'élevage sont aujourd'hui associés communément à la création et la gestion de coupures de combustible qui cloisonnent les massifs, facilitent et sécurisent l'intervention des services de lutte pour limiter l'extension des sinistres.

La garrigue à chêne kermès est peu modifiée par les débroussailllements d'entretien mécanique combinés à l'impact d'un pâturage saisonnier ; ce type d'intervention, qui maintient à un stade bas les repousses de chêne kermès, pérennise en fait sur ces coupures débroussaillées-pâturées un état métastable à évolution très lente, qui présente un potentiel de production pastoral relativement faible.

Un travail du sol était nécessaire pour maîtriser le développement du chêne kermès et pour créer des zones enherbées permettant de compléter au printemps la couverture des besoins fourragers du troupeau de moutons qui pâture la coupure de combustible de Vautade. Une fertilisation était nécessaire pour obtenir un potentiel fourrager suffisant ; la disponibilité locale de compost de boues urbaines (transporté et épandu gratuitement) permettait cette fertilisation combinée à un apport de matières organiques. Dans ces conditions, un essai de référence a pu être mis en place ; il s'est intégré dans le programme interrégional d'acquisition de références agronomiques en contexte pédoclimatique méditerranéen.

Le suivi sur trois ans a consisté :

- A mesurer l'efficacité globale de la coupure de combustible par des relevés de végétation sur la zone débroussaillée-pâturée, suivi des repousses de chêne kermès, mesures de rendement et de qualité fourragère sur la zone travaillée-semée-pâturée avec ou sans compost (cages de défends sur un dispositif présentant une répétition de trois blocs). Un effet phosphore dû au compost de boues a été constaté sur les trois années de l'expérimentation.
- A suivre sur un des blocs de la répétition, le sol avec ou sans compost (éléments fertilisants, matière organique et biomasse microbienne du sol, éléments traces métalliques) et le semis fourrager avec ou sans compost (éléments traces métalliques). Pour les éléments traces métalliques, il n'y a pas d'impact significatif dû à l'apport du compost de boues sur le sol et les cultures fourragères.
- A évaluer en première année l'impact du travail du sol sur les populations de macro-invertébrés du sol (sur les trois blocs et la zone de garrigue limitrophe). L'application du compost permettrait la reconquête plus rapide d'un certain nombre de groupes présents aussi dans le milieu naturel.

La tendance est à la diminution de la fréquence de travail du sol pour favoriser l'implantation de semis d'espèces fourragères vivaces, si les repousses de chênes kermès sont contrôlées et à condition que la production fourragère demeure satisfaisante pour l'éleveur.

D'autres apports de compost sont possibles suite à un nouveau travail du sol si nécessaire ou en apport de surface sans enfouissement sur les zones où un couvert herbacé s'est bien implanté. Un suivi sur plusieurs années est à reconduire pour en tirer suffisamment d'enseignements extrapolables à d'autres pare-feu du département ; des potentiels de composts consommables annuellement pourront alors être définis, selon les itinéraires techniques en cours de formalisation.

Commentaires

Le sol témoin très pauvre en phosphore (P_2O_5 Joret-Hébert = 0,014 mg/kg, une teneur considérée comme normale devrait être 10 fois supérieure) a réagi très nettement à l'apport d'un compost de boues bien pourvu en phosphore (P_2O_5 total/MS = 2,4 %). L'effet fertilisant en 1^{ère} année s'est prolongé sur les 2^{èmes} et 3^{èmes} années.

L'équilibre de ces sols (cultures à l'abandon depuis plusieurs dizaines d'années ou zones n'ayant jamais été cultivées) a été modifié sous l'effet du travail du sol et de l'apport de compost. Ils sont passés d'un état de stabilité peu actif à celui d'un système cultivé biologiquement et chimiquement plus actif, avec néanmoins une nette perturbation de la vie du sol suite aux travaux culturels réalisés.

Annexe 2 : références bibliographiques complètes

- ADEME Angers - département gestion biologique et sols**, 2007. Audit des plates-formes de compostage de déchets organiques en France avec analyses de composts, d'eaux de ruissellement et bilan des aides ADEME au compostage des déchets verts. Rapport de synthèse du Marché ADEME n° 0306C0057 - document provisoire, 9 octobre 2007.
- Annabi M.**, Le Bissonnais Y., Francou C., Le Villio-Poitrenaud M., Houot S., 2005. Utilisation de composts pour améliorer la stabilité structurale des sols limoneux. *Echo-MO* n°56 : 3-6.
- Antoni V.**, 2009. Le phosphore dans les sols : nécessité agronomique, préoccupation environnementale. *Le point sur*, n° 14, juin 2009, 4 pages.
- Bacholle C.**, Leclerc B., Coppin Y., 2006. Utilisation des produits organiques en reconstitution de sol : Inventaire des pratiques en France - Etat de l'art des connaissances liées à ces pratiques. *Echo-MO* n°59 : 3-6.
- Balesdent J.**, 1996. Un point sur l'évolution des réserves organiques des sols en France. Forum "Le sol, un patrimoine menacé ?". Paris, 24 octobre 1996, Numéro spécial d'Etude et Gestion des Sols, 3, 4, 1996 : 245-260.
- Bodet J.-M.**, Hacala S., Aubert C., Texier C., 2001. Fertiliser avec les engrais de ferme. ISBN 2 86492 441 2, 2001, 104 pages.
- Bodineau G.**, Rampon J.N., Benoît P., Le Villio-Poitrenaud M., Houot S., 2007. Essai Qualiagro (Feucherolles, 78) : présentation du protocole. Journée technique "Retour au sol des produits résiduels organiques" - Colmar, 27/11/2007, 13-19.
- Bornand M.**, Legros J.-P., Rouzet C., 1994. Les banques régionales de données-sols - Exemple du Languedoc-Roussillon.
- Bou Kheir R.**, Girard M.-Cl., Khawlie M. et Abadallah C., 2001. Erosion hydrique des sols dans les milieux méditerranéens : une revue bibliographique. *Etudes et Gestion des Sols*, Volume 8, 4, 2001, pages 231-245.
- Bressoud F.**, Parès L., 2007. Amendements organiques et maraîchage biologique sous abri : résultats en 5^{ème} année d'expérimentation.
- Chambre d'Agriculture de l'Aude**, 2009. Valorisation du compost en grandes cultures. Journée régionale "les composts et leurs usages", 12 mai 2009.
- Chambre d'Agriculture de l'Hérault**, 2009. Maintien de la structure des sols par apports de matières organiques - Vigne en place et vigne à planter. Journée régionale "les composts et leurs usages", 12 mai 2009.
- Chambre d'agriculture de Vaucluse**, 2008. Utilisation de composts de boues urbaines en fertilisation d'entretien sur verger de pommiers : effets agronomiques et sanitaires - résultats 2004-2007, conclusions 1999-2007. Rapport de la Chambre d'agriculture de Vaucluse, Département Territoire et Environnement, Département appui aux entreprises et innovation, 75 pages, mars 2008.
- Chambre d'agriculture des Alpes de Haute-Provence**, 2002. Comparaison d'apport de divers composts, boues et fientes de poules sur des grandes cultures dans les Alpes de Haute-Provence. Programme bi-régional LR-PACA d'acquisition de références agronomiques en contexte pédo-climatique méditerranéen.
- Chambre d'Agriculture des Pyrénées Orientales**, 2009a. Co-compostage des déchets de pêches, tomates, concombres et déchets verts. Journée régionale "les composts et leurs usages", 12 mai 2009.
- Chambre d'Agriculture des Pyrénées Orientales**, 2009b. Co-compostage des déchets de salades et de déchets verts. Journée régionale "les composts et leurs usages", 12 mai 2009.
- Chambre d'Agriculture des Pyrénées Orientales**, 2009c. Co-compostage du substrats usagés et de déchets verts. Journée régionale "les composts et leurs usages", 12 mai 2009.
- Chambre d'Agriculture des Pyrénées Orientales**, 2009. Programme d'expérimentations sur le co-compostage déchets verts / déchets agricoles 2000 - 2011 Journée régionale "les composts et leurs usages", 12 mai 2009.
- Chambre d'agriculture du Var**, 2002. Comparaison d'un compost de boues d'épuration et d'un fumier en apport d'entretien en viticulture. Programme bi-régional LR-PACA d'acquisition de références agronomiques en contexte pédo-climatique méditerranéen.
- Demarle O.**, Vian J.-F., 2004. Effets de différentes sources organiques sur les propriétés d'un sol sableux argileux : 10 ans d'essai en culture légumière à la SERAIL (Brindas (Rhône)). Mémoire de Fin d'Etudes, 32e promotion (1999-2004), 109 pages + annexes.
- Ducasse A.-M.**, Leclerc B., Muller-David F., 2002. Inventaire national des essais agronomiques réalisés avec des matières organiques et minérales d'origines urbaine et industrielle. Collection Données et Références de l'ADEME n° 4239, avril 2002, ISBN 2-86817-653-4.
- Duprat-Invernizzi C.**, Maupat E., Piasentin J.C., Constantin S., Clerc H., Sousa P., 2006. Valeur agronomique d'un compost de déchets verts + biodéchets. *Echo-MO* n°58 : 3-6.
- Ecotechnologie**, 2007. Evaluation des gisements et des débouchés des composts en Languedoc-Roussillon - Bilan 2006 - Prospective 2010.
- Elherradi E.**, Soudi B., Elkacemi K., 2003. Evaluation de la minéralisation de l'azote de deux sols amendés avec un compost d'ordures ménagères. *Etude et Gestion des Sols*, Volume 10, 3, 2003, pages 139-154.
- 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 pour l'obtention du grade de Docteur de l'Institut National Agronomique Paris-Grignon, 288 pages.
- Fuchs J.**, Berner A., Mayer J., Smidt E., Schleiss K., 2008. Influence of compost and digestates on plant growth and health: potentials and limits. Proceedings of the international congress CODIS 2008, February 27-29, 2008, Solothurn, Switzerland:101-110.
- Fuchs J.**, Kupper T., Tamm L., Schenk K., 2008. Compost and digestate: sustainability, benefits, impacts for the environment and for plant production. Proceedings of the international congress CODIS 2008, February 27-29, 2008, Solothurn, Switzerland, 325 pages.
- Garcin Michel**, Montrozier Catherine, 2004. Reconstitution d'un substrat sur marnes noires pour végétalisation en zone sèche de montagne. Retour au sol des matières organiques - Acquisition de références agronomiques et environnementales: bilan et perspectives - 27 et 28 avril 2004 - Paris, pp. 163-172.
- GERES**, 2007. Le marché des composts en Provence-Alpes-Côte d'Azur - Bilan des installations de compostage et étude du marché des matières organiques. ISBN 2-907590-42-1.
- Gros R.**, Dentant C., Fleury S., 2009. Evaluation à court et moyen terme de l'écocompatibilité d'un compost de boues industrielles - Résultats de la seconde année d'expérimentation. Document final. Rapport ORTEC, 15 janvier 2009.
- Hébraud A.**, Couillet L., 2006. Bilan technique et économique des installations de compostage de la région PACA. RAPPORT A : méthodologie et résultats des enquêtes, Convention ADEME 04.40.0424, 57 pages.
- Houot S.**, Francou C., Linères M., Le Villio M., 2002. Gestion de la maturité des composts : conséquences sur leur valeur amendante et la disponibilité de leur azote - seconde partie. Echo-MO n°35 : 3-4.
- Houot S.**, Francou C., Linères M., Le Villio M., 2002. Gestion de la maturité des composts : conséquences sur leur valeur amendante et la disponibilité de leur azote - seconde partie. Echo-MO n°35 : 3-4.
- Houot S.**, Thauvin Ph., Bernet N., Bodineau G., 2003. Aperçu de la qualité des composts de biodéchets français en 2003. Journée APCA, 4 décembre 2003.
- Houot S.**, Thauvin Ph., Bernet N., Bodineau G., 2004. Aperçu de la qualité des composts français issus d'ordures ménagères en 2003
- Houot S.**, Muller H., Chenu C., Linères M., Nicolardot B., Parnaudeau V., Arrouays D., Balesdent J., Leclerc B., Mellet J., Kallassy M., Poitronaud M., Pierre N., Bispo A., 2005. Effet sur le sol et le stockage du carbone des apports de matières organiques issues de déchets. Rapport final du Marché ADEME n° 0375C0062, 2005.
- Houot S.**, Bodineau G., Rampon J.-N., Le Villio-Poitronaud M., Montenach D., Schaub A., Imhoff N., 2007. Effet de l'apport de produits résiduels organiques sur la matière organique des sols. journée technique "Retour au sol des produits organiques" - Colmar, 27/11/2007, 54-68.
- Irr C.**, Charvin N., Bouanani F., 2004. Effets d'apports de matières organiques en entretien sur la vigne en contexte méditerranéen. Retour au sol des matières organiques, 27 et 28 avril 2004, Paris, pages 135-147.
- Jeuch C.**, Joly Y., Sage S., Wiart J., 2000. Composts de boues de stations d'épuration municipales : qualité, performances agronomiques et utilisations. Collection Données et Références de l'ADEME n° 3276 septembre 2000, ISBN 2-86817-380-2, 423 pages.
- Korboulewsky N.**, Masson G., Bonin G., Massiani C. et Prone A., 2001. Effets d'un apport de compost de boues de station d'épuration dans un sol d'un vignoble du Sud de la France.
- Lashermes G.**, Houot S., Nicolardot B., Parnaudeau V., Mary B., Morvan B., Chaussod R., Linères M., Metzger L., Thuriès L., Villette C., Tricaud A., Guillotin M.L., 2007. Apport de matières organiques exogènes en agriculture : indicateur de potentialité de stockage de carbone dans les sols et définition de classes de disponibilité d'azote. Echo-MO n°64 : 3-8.
- Le Villio M.**, Arrouays D., Deslais W., Daroussin J., Le Bissonnais Y. et Clergeot D., 2001. Estimation des quantités de matière organique exogène nécessaires pour restaurer et entretenir les sols limoneux français à un niveau organique donné. Etude et Gestion des Sols, 8, 1, 2001, pages 47-63.
- Leclerc B.**, 2001a. Guide des matières organiques. Tome 1, ISBN 2-9 515 855-1-9, 238 pages.
- Leclerc B.**, 2001b. Guide des matières organiques. Tome 2, ISBN 2-9 515 855-2-7, 91 pages.
- Montenach D.**, Imhoff M., Schaub A., Houot S., 2007. Essai au champ de longue durée de Colmar (68) : présentation du protocole. Journée technique "Retour au sol des produits résiduels organiques" - Colmar, 27/11/2007, 9-12.
- Mouton R.**, Dureau R., Ruiz N., 2004. Intérêt de l'apport de matières organiques en gestion pastorale de pare-feux en zone de garrigue. retour au sol des matières organiques, 27 et 28 avril 2004, Paris, pages 173-191.
- Nicolardot B.**, Bodineau G., Montenach D., Leclerc D., Schaub-Tremel A., Parnaudeau V., Le Villio-Poitronaud M. & Houot S., 2007. Devenir de l'azote de produits résiduels organiques après épandage. Journée technique "Retour au sol des produits organiques" - Colmar, 27/11/2007, 43-53.
- Roussel O.**, Bourmeau E., Walter Ch., 2001. Evaluation du déficit en matière organique des sols français et des besoins potentiels en amendements organiques. Etude et Gestion des Sols, Volume 8, 1, 2001, pages 65-81.
- Villemin G.**, Watteau F., Le Burel S. et Thomas Y., 2008. L'expertise Microhumus : une autre technologie pour évaluer la qualité des composts. Echo-MO n° 73 : 3-6.