

## Avantages et inconvénients du compostage des boues en comparaison d'une valorisation agronomique directe des boues brutes

L'orientation d'une filière de valorisation des boues vers un compostage avant valorisation agronomique repose essentiellement sur sa pertinence au regard du contexte territorial, tant au niveau agricole que sociétal. Cette fiche propose une synthèse des principaux avantages et inconvénients du compostage des boues, en comparaison à une valorisation agronomique directe de ces dernières.



Plateforme de compostage des boues



Épandage agricole des boues

### Le compostage en bref

Le compostage des boues permet de traiter simultanément boues et déchets verts de nos communes. Externaliser le procédé sur une plateforme dédiée permet de diminuer les volumes de produit à stocker sur sites : stations d'épuration et déchetterie. Au final, les quantités à valoriser sont moindres et plus faciles à gérer, et le produit obtenu bénéficie d'une meilleure image que les boues brutes auprès du public et des agriculteurs (aspect, caractéristiques physiques et propriétés agronomiques). Mais, le site de compostage, lui, peut être source de nuisances olfactives, voire de poussières et/ou de prolifération de mouches, et donc être mal accepté (plaintes de la part des riverains).

Si le compostage est deux à trois fois plus cher que l'épandage direct des boues (par exemple dans le Haut-Rhin, les coûts sont de l'ordre de 70€ la tonne de matière brute pour du compostage contre 25 à 35€ la tonne pour une valorisation par épandage direct), cela reste moins coûteux que l'incinération (plus d'une centaine d'euros par tonne de matière brute). Dans les secteurs où les épandages de boues brutes ne sont pas possibles (types de sol, rotations culturales, exposition et sensibilité des populations aux nuisances...), le compostage permet d'augmenter les possibilités de valorisation agricole, de limiter le recours à l'incinération et, donc, le nombre d'usines ou de sites à prévoir.

### Côté producteurs de boues (collectivités et industriels)

Le compost de boues est un produit stabilisé : il n'est pas source de nuisances olfactives à la différence des boues brutes, du stockage jusqu'à l'épandage, et ses conditions d'emploi sont plus souples (niveau d'aptitude du sol à l'épandage, proximité des habitations, etc.). Plus sec et homogène que les boues brutes dont il est issu, il est plus facile à manipuler et à stocker (tenue en tas).

En contrepartie, le procédé est coûteux. En effet, le site de production doit être performant, correctement encadré (cf. arrêtés du 22 avril 2008 pour les plateformes de compostage soumises à autorisation et du 20 avril 2012 pour celles soumises à enregistrement). Il nécessite une surface conséquente et étanchéifiée, une main d'œuvre qualifiée, des équipements et du matériel adaptés, dont une lagune de récupération des jus et un pont bascule. Il sera, de préférence, clôturé et couvert, avec utilisation de masquant et/ou traitement des odeurs. À ceci s'ajoute le coût du transport (de la station d'épuration au site de compostage, puis du site de compostage aux parcelles d'épandage), la consommation énergétique lors du traitement (manipulation, aération forcée...), ainsi que les mesures à prendre en matière d'hygiène et de sécurité (dégagement d'ammoniac lors des retournements, parfois risques sanitaires ou liés à la circulation d'engins).

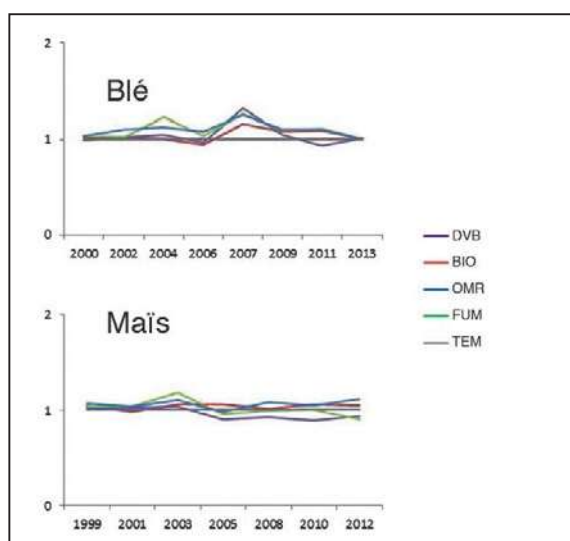
Par ailleurs, si les flux de matières sont tracés sur les sites de compostage (registres des entrées et des sorties), ceci implique un double suivi analytique, des boues à l'entrée de la plateforme et du compost à la sortie.

### Côté agriculteurs et grand public

Le compost est un produit très intéressant d'un point de vue agronomique. C'est un produit plus complet que les boues, à la fois fertilisant (apport d'éléments nutritifs aux plantes) et amendant (améliore les propriétés physiques des sols). Plus riche en potasse et en phosphore, il permet de faire l'impasse sur la fumure de fond. L'azote apporté est, lui, moins disponible immédiatement pour les cultures, mais libéré à plus long terme via la minéralisation de la matière organique des sols augmentée par des apports réguliers (figure 1) [PELTRE *et al.*, 2012], ce qui limite les risques de fuites de nitrates dans l'environnement [CHALHOUB *et al.*, 2013; NOIROT-COSSON *et al.*, 2016] et permet une utilisation plus large que les boues brutes (types de sols, périodes d'autorisation d'épandage au regard de la Directive Nitrates<sup>1</sup>, etc.). Riche en matière organique, il a aussi des effets bénéfiques sur la biologie du sol (populations de vers de terre par exemple, [CAPOWIEZ *et al.*, 2009]), sa structure et sa stabilité [ANNABI *et al.*, 2011], comme le montrent les résultats de l'essai de longue durée QualiAgro mené par l'Institut national de la recherche agronomique (INRA) de Grignon et Veolia dans les Yvelines. Cela garantit une meilleure porosité du sol et, donc, une meilleure infiltration de l'eau de pluie, un meilleur enracinement des cultures et une plus grande disponibilité des éléments nutritifs pour les plantes. Il contribue ainsi à limiter l'érosion et les « coulées de boues ». Enfin, il favorise la rétention d'eau et permet de limiter les besoins en irrigation [EDEN *et al.*, 2017].

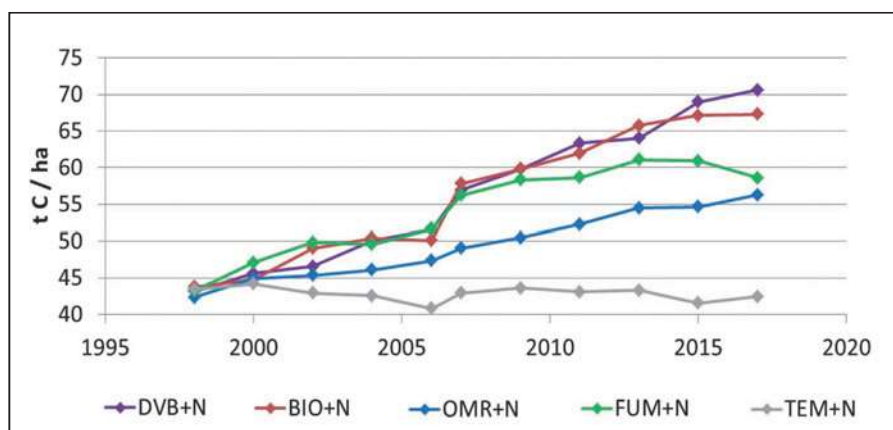
En matière d'innocuité, il faut noter que seules des boues qui pourraient être épandues directement en agriculture, avant leur entrée sur le site de compostage, sont acceptées

pour la fabrication de compost à vocation agricole et que le compost doit respecter *a minima* les mêmes critères réglementaires que les boues initiales. La montée en température au cours du procédé de fabrication garantit, elle, une hygiénisation et favorise l'élimination des germes pathogènes et d'adventices<sup>2</sup>. Le compost peut également être normalisé (cf. fiche n°5 : environnement réglementaire et normatif) : le panel d'éléments à mesurer est alors plus large que dans les boues (inertes, autres métaux et agents pathogènes, Indice de stabilité de la matière organique (ISMO) et les teneurs à respecter sont plus contraignantes. Les mesures doivent aussi attester de la régularité dans le temps du produit. Il peut alors être mis sur le marché, y compris à destination du grand public ou des collectivités.



DVB : compost de boues ; BIO : compost de biodéchets ; OMR : compost d'ordures ménagères résiduelles ; FUM : fumier de bovins ; TEM : témoin sans apport organique.

Figure 2. Évolution des teneurs relatives en zinc dans les grains de blé et de maïs de l'essai QualiAgro (rapport entre les teneurs dans les grains récoltés dans un traitement organique et ces teneurs dans les grains du traitement témoin ne recevant aucun apport)



+N : apport d'azote ; DVB : compost de boues ; BIO : compost de biodéchets ; OMR : compost d'ordures ménagères résiduelles ; FUM : fumier de bovins ; TEM : témoin sans apport organique.

Figure 1. Évolution des stocks de carbone dans l'horizon de labour du site QualiAgro

<sup>1</sup> La Directive 91/676/CEE du Conseil concernant la protection des eaux contre la pollution par les nitrates à partir de sources agricoles

<sup>2</sup> Se dit d'une plante qui pousse spontanément dans une culture, synonyme de mauvaise herbe. [Définition Larousse]

Toutefois, des teneurs parfois plus élevées ou des dépassements en hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP fluoranthène) et en éléments traces métalliques (ETM) - zinc, cuivre, arsenic, plomb peuvent être notés. Ces derniers peuvent être liés à la qualité des intrants (boues mais aussi déchets verts d'origine urbaine), la qualité du matériel (usure des mélangeuses, des cribles), la présence d'indésirables (plastiques) qui peuvent être dus à des mauvais gestes de tri, ou à des taux élevés de refus de criblage. Ces points sont particulièrement surveillés et les lots concernés écartés (cf. fiche n°7 : départ en filière alternative).

Des suivis de qualité des récoltes dans des essais de longue durée montrent des augmentations de rendements avec les composts de boues, mais aucune dégradation de la qualité des grains n'est observée (cf. exemple des teneurs en zinc dans la figure 2).

### Points à retenir

- Le compost a des caractéristiques et intérêts agronomiques spécifiques, différents de ceux des boues : en fonction des besoins de ses cultures et de ses parcelles, l'agriculteur peut choisir d'utiliser plutôt l'un que l'autre.
- Le compost, produit solide, stabilisé et hygiénisé, issu d'un processus biologique naturel, bénéficie d'une image plus positive auprès du public et présente moins de risque en termes de nuisances olfactives que l'épandage.
- Le compost permet aux producteurs de boues de les valoriser plus aisément (facilité de stockage, manutention) et sereinement (limitation des volumes, débouchés plus larges, agricoles ou non, moins de retours négatifs ou de plaintes de la population).
- Le compost est un levier essentiel de la valorisation agronomique de la matière organique. Il participe au recyclage des déchets et, donc, au développement de l'économie circulaire.

## Bibliographie

ANNABI M., LE BISSONNAIS Y., LE VILLIO-POITRENAUD M., HOUOT S. (2011): « Improvement of soil aggregate stability by repeated applications of organic amendments to a cultivated silty loam soil. » *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 144, 1 : 382-389.

CAPOWIEZ Y., RAULT M., MAZZIA C., LHOUTELLIER C., HOUOT S. (2009) : « Étude des effets des apports de produits résiduels organiques sur la macrofaune lombricienne en conditions de grandes cultures ». *Étude et Gestion des Sols*; 3, 4: 175-185.

CHALHOUB M., GARNIER P., COQUET Y., MARY B., LAFOLIE F., HOUOT S. (2013): « Increased nitrogen availability in soil after repeated compost applications: Use of the PASTIS model to separate short and long-term effects. » *Soil Biology and Biochemistry*; 65: 144-157. <http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.soilbio.2013.05.023>

EDEN M., GERKE H.H., HOUOT S. (2017): « Organic waste recycling in agriculture and related effects on soil water retention and plant available water: a review ». *Agronomy for Sustainable Development*; 37, 2, article n° 11, 21 p. <http://dx.doi.org/doi:10.1007/s13593-017-0419-9>

NOIROT-COSSON P.E., VAUDOUR E., GILLIOT J.M., GABRIELLE B., HOUOT S. (2016): « Modelling the long-term effect of urban waste compost applications on carbon and nitrogen dynamics in temperate cropland ». *Soil Biology and Biochemistry*; 94: 138-153. <http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.soilbio.2015.11.014>

PELTRE C., CHRISTENSEN B.T., DRAGON S., ICARD C., KÄTTERER T., HOUOT S. (2012): « RothC simulation of carbon accumulation in soil after repeated application of widely different organic amendments. » *Soil Biology and Biochemistry*; 52: 49-60. <http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.soilbio.2012.03.023>

## Le structurant : un co-substrat indispensable au compostage des boues

Cette fiche a pour objectif de donner des éléments de connaissance sur le rôle du structurant au cours du procédé de compostage et d'apporter des informations sur l'origine, l'intérêt et l'effet sur la qualité des composts de boues des principaux structurants utilisés.

### Rôles du structurant dans le compostage de boues

Les boues constituent un des sous-produits du traitement des eaux usées. Elles contiennent des matières organiques et minérales en suspension ou dissoutes et sont généralement concentrées en sortie de station de traitement des eaux usées. Leurs caractéristiques peuvent être extrêmement variables d'une station à l'autre, avec cependant les caractéristiques moyennes suivantes : 15 à 30 % de matière

sèche, environ 60 % de matière organique dans la matière sèche et un rapport C/N compris entre 5 et 15 [SERANI et CANCELL, 2009]. Ainsi, les boues représentent un substrat organique riche en azote ce qui entraîne un rapport carbone sur azote (C/N) assez faible. Elles constituent un massif très humide et non poreux, donc non aérable. Le compostage des boues est donc conditionné à la structuration de la masse de boues par mélange à un co-substrat. L'adhésion

Nature du co-substrat structurant	Description	Cas/Fréquence d'utilisation	Contribution aux conditions de compostage		
			Porosité	Apport nutritif	Absorption d'eau
Déchets verts « frais »	Branchages, feuilles, tontes apportées en déchetterie	Généralement utilisé en complément d'un refus de criblage	Bon agent de création de porosité potentiellement	Apport significatif de C biodégradable permettant d'augmenter le C/N des matières biodégradables en présence de branchages et feuilles Apport supplémentaire de N biodégradable si forte proportion de tontes	Capacité d'absorption d'eau bonne à moyenne selon humidité du substrat
Refus de criblage de compost (déchets verts grossiers non complètement dégradé ou structurant récupéré en fin de cycle de compostage)	Partie grossière du compost de déchets verts, supérieure à la maille de criblage du compost (> 10-20 mm), composée principalement de reste de branchages	Très fréquemment mis en œuvre	Très bon agent de création de porosité	Apport de C biodégradable faible : faible augmentation du rapport C/N biodégradable	Capacité d'absorption d'eau bonne à moyenne selon humidité du substrat
Palettes de bois déchiquetées	Palettes de transport réformées et broyées	Dépend de la disponibilité locale Coût potentiel et concurrence possible avec d'autres voies de valorisation	Bon agent de création de porosité	Apport de C biodégradable faible à modéré avec augmentation modérée du rapport C/N biodégradable	Capacité d'absorption d'eau bonne à moyenne selon humidité du substrat
Écorces de pin	Morceaux grossiers issus de l'écorçage des grumes en scierie	Utilisation liée à une disponibilité locale Coût potentiel et concurrence possible avec d'autres voies de valorisation	Création de porosité bonne à moyenne selon la friabilité de l'écorce	Apport significatif de C biodégradable : augmentation importante du rapport C/N biodégradable	Bonne capacité d'absorption d'eau
Copeaux, sciures de bois	Résidus fins de transformation du bois en scierie	Utilisation plutôt observée pour des procédés de compostage semi-continu avec brassage régulier du massif composté (procédés couloir)	Création de porosité moyenne à médiocre	Apport très significatif de C biodégradable et augmentation importante du rapport C/N biodégradable	Forte capacité d'absorption d'eau

Tableau I. Co-substrats structurants usuels en compostage de boues

de la boue sur le co-substrat et l'enchevêtrement des éléments particuliers rendent le mélange poreux. Au-delà du rôle de **structuration physique**, le co-substrat structurant peut remplir des rôles complémentaires qui modifient et améliorent les conditions de biodégradation [ROGEAU et DE GUARDIA, 2001] : **équilibre de l'humidité du milieu** (capacité de rétention d'eau) ; **apport de substrats carbonés biodégradables et de fibres** permettant (i) d'augmenter le rapport carbone/azote afin d'améliorer la biodégradabilité et donc la montée en température hygiénisante (ii) de contribuer à la production de matières humifiées dans les composts finaux. Enfin, le co-substrat structurant peut aussi avoir un effet sur la **limitation d'émissions gazeuses azotées et d'émissions odorantes** [BOTSFORD *et al.*, 1997].

### Principales sources de matériaux structurants utilisés pour composter les boues

Les matériaux que l'on peut retrouver usuellement comme structurant sur les sites de compostage de boues sont présentés dans le *tableau I* (liste non exhaustive).

D'autres matériaux structurants ont été testés par les opérateurs ou étudiés dans la littérature. On peut notamment citer des essais de compostage avec un structurant synthétique élaboré à base de paille et de méthylène diisocyanate. Selon CHUANG *et al.* [2015], ce structurant est recyclé à plus de 90% à l'issue du cycle de compostage. Ces structurants synthétiques ne sont pas utilisés en routine et peu de données sont accessibles sur leurs impacts.

### Quels effets du structurant sur la qualité finale du compost de boues ?

Outre son effet sur l'aération du massif de boues en compostage qui améliore la biodégradation et donc la stabilisation de la matière organique, mais aussi l'hygiénisation et le séchage dus à la montée en température, l'apport de structurant peut impacter la qualité du compost final.

#### Humification

Au-delà de l'apport potentiel de matière biodégradable complémentaire, et ainsi de l'augmentation du rapport C/N biodégradable du mélange, l'intérêt de l'utilisation d'un matériau structurant qui soit aussi un co-substrat réside dans l'apport de substances fibreuses qui contribuent significativement à l'humification des composts et donc à leur valeur agronomique.

#### Impact du structurant sur les teneurs en contaminants

La qualification de co-substrat implique qu'une part du matériau structurant va être dégradée au cours du compostage et/ou transformée et conservée dans le compost final. Même si ce n'est pas l'objectif recherché, cette contribution du matériau structurant à la production du compost peut conduire mathématiquement à une diminution des teneurs des éléments indésirables initialement présents dans la boue et non dégradés au cours du procédé de compostage comme les éléments trace métalliques et certains polluants organiques (*Tableau I, fiche n°2 – chiffres clés*).

### Fonctionnement du simulateur

Le simulateur est une simple feuille Excel composée de trois principaux « pavés » interactifs :

- 1/ quantités et qualités des trois constituants du mélange initial : boues, structurant frais, structurant recyclé permettant de caractériser **le mélange initial (quantité, qualité)** ;
- 2/ hypothèses de pertes process en eau et en matière organique durant le compostage permettant de caractériser **le mélange final = compost brut (quantité, qualité)** ;
- 3/ hypothèses de criblage du compost brut (taux de passant et taux de refus respectifs en matière brute et en matière sèche) permettant de caractériser **le refus = structurant recyclé (quantité, qualité) et le compost final (quantité, qualité)**.

Pour chaque nouvelle hypothèse de travail considérée (qualité boue et déchets verts à saisir), la quantité de déchets verts apportée est modifiée manuellement de sorte à approcher pour le mélange initial un teneur en matière sèche voisine de 40%, puis les qualités/quantités respectives du refus obtenu (3<sup>e</sup> pavé) et du refus recyclé en tête de process (1<sup>er</sup> pavé) sont ajustées par itérations successives de sorte à obtenir un nouveau jeu de données homogènes et de simuler la qualité et la quantité de compost final produit à partir de l'hypothèse de travail considérée.

### Qu'en est-il réellement ?

Nous proposons d'illustrer cette fiche par un exemple pratique de co-compostage de boues mené avec des déchets verts en considérant différents teneurs en matière sèche des boues (15 à 30%) et en prenant en compte le retour en tête de compostage des refus de criblage. Notre objectif est de préciser pour chaque cas envisagé à la fois la consommation « nette » de déchets verts (quantité de déchets verts consommée par tonne de boue traitée), la production effective de compost (tonne par tonne de boue traitée) et sa qualité : teneurs en matière sèche (MS), matière volatile (MV), en cuivre (Cu) et en cadmium (Cd).

Les principales hypothèses de travail retenues pour les matières entrantes et pour le process de compostage sont les suivantes :

- boues urbaines à 75% de MV et contenant 337 mg/kg de MS de Cu et 1,4 mg/kg de MS de Cd ;
- déchets verts frais = déchets verts broyés à 50% de MS et 60% de MV et contenant au maximum 25 mg/kg MS de Cu et 0,3 mg/Kg MS de Cd ;
- mélange initial à 40% de MS et Process de compostage entraînant environ 40% de perte totale de masse du mélange initial dont 80% d'eau et 20% de MS ;
- criblage final relativement grossier produisant environ 65% de compost et 35% de refus recyclés en tête de process en totalité ;
- refus de criblage = fraction grossière des déchets verts récupérée lors du criblage et recyclée en tête de process :

elle est mélangée avec les déchets verts frais et les boues à traiter de sorte à diminuer la consommation de déchets verts et à augmenter la porosité du mélange initial.

Les fourchettes de résultats obtenus pour des boues titrant 15 à 30% de MS sont données dans le *tableau II* et ont été établies avec l'aide d'un simulateur prenant en compte les hypothèses énoncées précédemment (*voir encadré*).

Selon le taux de matière sèche des boues considéré, les besoins bruts et nets en structurant de type déchets verts varient du simple au double et respectivement de 100 à 200% et de 60 à 140% de la masse de boue traitée et en moyenne la quantité de déchets verts à mobiliser pour le compostage des boues est d'une tonne pour une tonne de boue. Pour des boues titrant de 15 à 30% de MS, la consommation de structurant sec diminue de 66 à 54% du total apporté dans le mélange initial et les teneurs en Cu et en Cd du compost produit augmentent respectivement de 27 à 54% et de 43 à 64% des teneurs initiales de la boue traitée.

Par ailleurs, si on fait varier le taux de MS des déchets verts

frais, et si on l'abaisse à 45% au lieu de 50%, les besoins bruts et nets en structurant de type déchets verts augmentent et se situent respectivement, pour des boues variant de 15 à 30% de MS, dans les fourchettes 130-300% et 80-210% de la masse de boue traitée.

Ces simulations grossières minorent les teneurs réelles en ETM du compost produit par rapport à la réalité car le simulateur utilisé considère que les matières volatiles donc les matières minérales (MM) sont partagées de la même façon entre le compost produit et les refus, alors qu'en réalité la fraction grossière est généralement plus riche en MV et moins riche en MM que la fraction fine formant le compost.

Quoiqu'il en soit, elles montrent la grande variabilité des consommations de déchets verts pouvant être utilisés sur les plateformes de compostage de boues et nécessités par le process selon la qualité des boues et selon la saison et qu'il s'avère délicat d'encadrer de façon rigoureuse les ratios d'utilisation des déchets verts par tonne de boue traitée.

Teneur en MS des boues	Unité	15%	20%	25%	30%
Ratio massique de mélange déchets verts frais avec les boues	%	140	110	70	60
Ratio massique global de mélange structurant avec les boues	%	203	165	114	102
Taux de consommation sur brut du structurant utilisé	%	69	67	61	59
Taux de consommation sur sec du structurant utilisé	%	66	63	58	54
Quantité de compost produite en tonne par tonne de boue	t	1,22	1,07	0,86	0,81
Teneur en matière sèche du compost produit	%	51	51	50	54
Teneur en matière organique du compost produit	%	25	26	27	30
Teneur en cuivre du compost produit	mg/kg MS	91	118	162	183
Teneur en cadmium du compost produit	mg/kg MS	0,6	0,6	0,8	0,9

Pour rappel : Boues à 75% de matières volatiles, 337 mg/Kg MS de cuivre et 1,4 mg/Kg MS de cadmium.

Déchets Verts frais à 50% de matière sèche, 60% de Matières volatiles, 25 mg/Kg MS de cuivre et 0,3 mg/Kg MS de cadmium.

**Tableau II. Chiffres clés du compostage de boues et de déchets verts selon la teneur en matière sèche des boues**

## Points à retenir

- Le compostage de boues sans co-substrat structurant n'est physiquement pas réalisable.
- Le rôle de structuration physique (porosité/absorption d'eau) influence la biodégradation via l'amélioration de l'apport d'oxygène permettant ainsi une montée en température assurant l'hygiénisation.
- Le co-substrat (apport nutritif) permet d'apporter du carbone biodégradable aux boues et d'améliorer la biodégradation, mais aussi des fibres pour améliorer l'humification.
- L'impact du structurant sur la qualité du compost final dépendra de sa qualité intrinsèque (teneur en matière sèche, profil granulométrique, biodégradabilité et teneur en éléments polluants), de la teneur en matière sèche initiale des boues traitées et de la maille de criblage utilisée en fin de compostage.

## Bibliographie

BOTSFORD C. W., HUANG E., MAGEE R. (1997): *Control of odor from composting sources*. Proceedings of the Air & Waste Management Association's Annual Meeting & Exhibition: 14.  
 CHUANG M., JI-HONG Z., HONG-ZHONG Z., MING-BAO W., CHANG-MING Y. (2015): « Effect of a New Bulking Agent on Sewage Sludge Composting. » *Nature Environment & Pollution Technology*; Vol. 14 Issue 1 : p133-136.

ROGEAU D., DE GUARDIA A. (2001) : Analyse de la contribution des co-substrats "structurants" au traitement des boues par compostage, Cemagref - Ademe - SITA - Université de Provence : 88 p.  
 SERANI A., CANSELL F. (2009) : Caractérisation des déchets. MOLETTA R. Les traitements des déchets, Paris, Tec&Doc Lavoisier : 3-24.