

Le compostage du lisier de porc sur différents supports carbonés et selon deux modes d'aération

J. MAZÉ (1), D. MELEC (1), O. THÉOBALD (2)

(1) Centre d'Aide par le Travail «4 Vaulx Jardin» - Coëffinet - 22130 Corseul

(2) Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie, Direction de l'Agriculture et des Bioénergies - 2, square La Fayette, 49004 Angers Cedex 01

Le compostage du lisier de porc sur différents supports carbonés et selon deux modes d'aération

Le compostage de lisier de porc sur différents supports carbonés est testé selon deux modes d'aération des andains, le retournement et la ventilation. Dans un premier temps, les matériaux testés et utilisés pour le compostage sont la paille de céréales, la sciure et l'écorce de bois. Les différents mélanges sont compostés dans des loges séparées dont deux sont équipées de drains ventilés. La ventilation dynamique des andains est assurée par des ventilateurs dont le fonctionnement est assujéti à la température, ou déclenché séquentiellement. Les tas soumis à ce mode d'aération sont comparés à des tas aérés par retournement. La paille est un excellent support, absorbant 4 tonnes de lisier par tonne de matière brute, permettant une dégradation rapide du lisier de porc, mais se déstructurant lorsqu'elle subit de fréquents retournements. La ventilation par aération assujéti à la température, associée à des retournements limités, convient pour ce support. La sciure, à 50 % de matière sèche absorbe 2 tonnes de lisier de porc par tonne, et les andains à base de ce matériau montent lentement en température, avec une grande inertie thermique. Dans un deuxième temps, les mélanges de supports carbonés sont complétés avec de l'écorce de bois, afin de permettre une meilleure structuration des andains. Des essais de recharges successives en lisier, montrent que l'on peut ajouter jusqu'à 8 tonnes de lisier par tonne de M.S. d'un mélange à base de sciure et d'écorce, soumis à une ventilation. Ce rapport n'est plus que de 5,6 tonnes de lisier par tonne de M.S. pour ce même mélange retourné régulièrement. Les essais menés sur un mélange de paille et d'écorce ne permettent pas de conclure définitivement. On peut ajouter jusqu'à 8 tonnes de lisier par tonne de M.S. de ce mélange, mais sans obtenir un produit final satisfaisant. Enfin, pour économiser la matière carbonée ajoutée, le recyclage des écorces grossières semble prometteur.

Aeration Experiments for Swine Slurry Composting : Study of Different Composting Materials and Two Ventilation Systems

Swine slurry composting on different carbon matter is monitored with two aeration treatments, turning and ventilation. Raw composting materials consisted of swine slurry, straw and sawdust. Mixtures are composted in separated boxes. Two boxes are built with perforated pipes. The strategy consists in testing a temperature feedback control system and forced aeration. Those ventilation types are compared with a static monthly turning pile. Hydrocarbons mixtures are also complemented with barks, to avoid intensive straw degradation or to structure the sawdust pile. The temperature in the sawdust pile get slowly higher and higher during the first month. Controlled ventilation is not required for this material. Straw is an excellent material for swine slurry degradation, but it needs to pay a great attention in the composting process and the association between controlled aeration and return. It is possible to add 8,2 tons slurry/ton of dry matter to a mixture composed by straw and barks, and managed by a temperature feedback control system, but with a saturated final product. In another hand, sawdust and barks mixture accept 5,6 tons slurry/ton of dry matter, if the pile is monthly returned. Optimising the recycling of composted barks will be the next research.

INTRODUCTION

Directive européenne sur les nitrates, modification des prescriptions techniques pour les élevages soumis au régime des installations classées au titre de la protection de l'environnement, application du système de redevance pollution des Agences de l'eau, programme de maîtrise des pollutions d'origine agricole, sont quelques unes des nouvelles et récentes dispositions en matière d'environnement et d'élevage en France.

Face à une réglementation de plus en plus contraignante, nombre d'exploitations d'élevage sont aujourd'hui dans l'obligation de traiter leurs effluents, ou d'en modifier la gestion, afin, par exemple, d'en limiter les odeurs lors des épandages, d'adapter la fertilisation aux besoins réels des cultures, de libérer des surfaces jusqu'alors fertilisées avec des éléments minéraux, de diminuer les volumes d'effluents épandus, voire de participer à l'amélioration de la qualité des eaux.

On estime à 280 millions de tonnes, la production annuelle française de déjections animales, dont 190 millions de tonnes sous forme de fumier et 90 millions de tonnes sous forme de lisier (LEROY, 1994). La plupart de ces déjections sont épandues en l'état sur des terres agricoles proches de l'exploitation, mais elles peuvent faire l'objet de traitements, avec une exportation possible des éléments fertilisants excédentaires.

Le compostage est un processus d'oxydation biologique aérobie et contrôlé de matières organiques, produisant du CO₂, de la chaleur et un résidu stabilisé : le compost. C'est une version accélérée du processus naturel de dégradation de produits organiques, dans des conditions favorables au développement de micro-organismes (LAU, 1992). L'apport d'oxygène nécessaire à ces conditions est effectué le plus couramment par retournement ou par ventilation forcée des tas (FERNANDES, 1994).

Le compostage est utilisé pour traiter certains effluents d'élevage à forte teneur en matière sèche, comme les fumiers de bovins ou de volailles, et modifie la matière organique qu'ils contiennent. Cette technique est a priori moins intéressante pour les déjections liquides, comme les lisiers, car elle nécessite un apport important de matières carbonées nécessaires à leur dégradation. L'ajout de ces matières carbonées permet cependant d'obtenir un produit final solide et moins volumineux.

Cette publication fournit les résultats obtenus lors du compostage de lisier de porc, en mélange avec différents types de supports carbonés, et dans différentes conditions d'aération, en recherchant un ajout minimal de matière carbonée, tout en obtenant un produit final composté et désodorisé.

1. MATÉRIEL ET MÉTHODES

1.1. Installations et matériels de mélange et de compostage

L'expérimentation est située sur la plate-forme de compostage

du Centre d'Aide par le Travail «4 Vaulx Jardin» (Corseul, Côtes d'Armor), créée en 1985. Cette unité, spécialisée dans le traitement de déchets organiques par compostage, commercialise 3000 tonnes par an d'un compost à base d'algues, de rémanents forestiers et d'effluents d'élevage (fientes de poules pondeuses, lisier de porcs), dit compost «algo-forestier».

Le mélange initial du lisier de porc avec son support carboné a lieu dans une fosse «bateau» bétonnée non couverte, d'un volume de 125 m³. Le support carboné, dans des proportions connues, y est ajouté au lisier, qui est directement déversé dans la fosse à l'aide d'une tonne à lisier. L'imprégnation des produits dure 8 jours.

Le mélange lisier-support carboné est repris de la fosse de mélange à l'aide d'un chargeur de type Travaux Publics (VOLVO, JCB), qui alimente soit une mélangeuse-peseuse (MIRO-HEYWANG) de 10 m³, fonctionnant sur la prise de force tracteur et équipée de 4 vis et d'un système de pesée, soit l'un des deux épandeurs à fumier équipés pour l'un d'un tambour (AMELINEAU, 12 m³) et pour l'autre de hérissons (SODIMAC, 4 m³); ces derniers sont utilisés pour la constitution et pour le retournement des andains. Une pompe peut aussi être utilisée pour remplir la mélangeuse, et pour les opérations de recharge des tas par aspersion.

Les essais de compostage sont réalisés sous abri, constitué d'une serre (21,5 x 36 m) recouverte d'un film de protection plastique, et dont le sol est bétonné afin de permettre la circulation des engins et éviter les infiltrations. Sept loges (3,75 x 6,4 m), délimitées par des murets en béton équipés d'une rehausse en bois d'une hauteur totale de 1,6 m, facilitent le traitement séparé de chaque andain, d'un volume unitaire maximal de 40 m³. Un caniveau récupère l'ensemble des jus d'écoulement produits par le ressuyage des andains. Ces jus étaient initialement collectés dans une fosse de stockage de lisier d'une capacité de 100 m³; chaque case est maintenant équipée d'une fosse individuelle de collecte de 0,25 m³.

Le mélange est ensuite disposé en andains dans les loges de compostage grâce à l'épandeur à fumier, et il y subit une première phase de compostage de 3 à 6 mois, suivie d'une phase de maturation équivalente. Durant ces deux périodes, la température est relevée manuellement en 3 points distincts de l'andain, et à 3 profondeurs différentes (0,5, 0,75 et 1,0 m), de manière à effectuer une cartographie thermique de l'andain.

1.2. Matériels et techniques d'aération

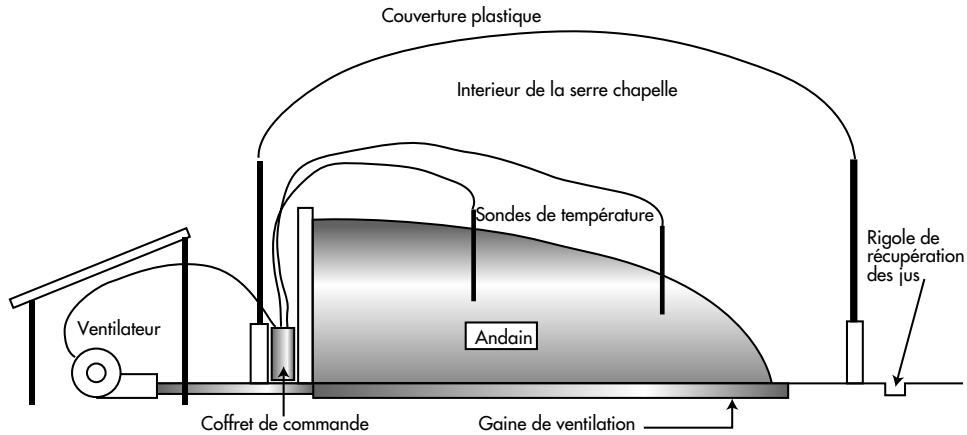
L'aération des tas de compostage est effectuée par retournements réguliers à l'aide des deux épandeurs à fumier. Ce mode d'aération intervient classiquement dans le processus de production du compost algo-forestier, et sera l'un des deux modes d'aération testés dans l'étude.

L'autre mode d'aération fait appel à des loges équipées d'un système de ventilation en surpression, par l'intermé-

diaire de deux drains enterrés, d'un diamètre de 10 cm. Les 2 ventilateurs centrifuges (CENTRIPAL HK, SOLYVENT-VENTEC) ont un débit de 1 700 m³/h, pour une pression de 80 mm de colonne d'eau. Ils sont situés à l'extérieur de la serre, et

protégés de la pluie. Les ventilateurs sont commandés à partir d'un système de programmation, relié à 4 sondes thermométriques électroniques plongées dans 2 andains de compostage (figure 1).

Figure 1 - Schéma de la plate-forme expérimentale du CAT «4 Vaulx Jardin».



L'aération des andains par ventilation peut être assujettie à la température : la ventilation se déclenche lorsque la température moyenne des sondes atteint 60°C, et s'arrête automatiquement lorsque celle-ci redescend en dessous de 55°C. Dans le cadre de cette étude, nous l'appellerons ventilation «assujettie». La température de 55 °C correspond au seuil théorique d'hygiénisation du produit, et elle doit être maintenue durant 15 à 30 jours lors du compostage de boues résiduelles de stations d'épuration d'eaux usées urbaines (ADEME, 1994).

La ventilation peut aussi intervenir indépendamment de la température : elle est asservie à une horloge imposant des cycles réguliers de ventilation. On parlera alors de ventilation «séquentielle».

1.3. Prélèvements et analyses

Les matières brutes (lisier de porc, support carboné) sont ana-

lysées au début de chaque essai. Par ailleurs, un échantillonnage est effectué soit tous les mois, soit toutes les 6 semaines, pour chaque andain de compost. Pour les andains soumis à un retournement par épandeur, les prélèvements s'effectuent après chaque foisonnement. Pour les andains soumis à une ventilation assujettie ou séquentielle, les prélèvements sont effectués par carottage. Le volume nécessaire à la constitution d'un échantillon de 2 kg, est obtenu par divisions successives d'un volume initial à l'aide d'un matériel spécifique (diviseur ANRED). Les analyses chimiques (tableau 1) et les pesées des tas, permettent d'effectuer un bilan matière du système.

1.4. Description des essais

Les essais ont été menés entre le mois de Janvier 1993 et le mois d'Octobre 1995, en 4 essais distincts (tableau 2). Le premier compare successivement deux types de supports carbonés (paille de céréales et sciure de bois), en déterminant le ratio optimal d'imprégnation du mélange entre le

Tableau 1 - Composition de différents matériaux utilisés lors de l'expérimentation

	Lisier de porc	Paille	Sciure	Écorce
Matière sèche (%)	2,9 - 8,5	87,7 - 88,9	52,9 - 53,1	43,2
Matière organique (% MS)	63,3 - 75,7	94,5 - 94,6	98,3 - 98,8	92,0
Matières minérales (% MS)	24,3 - 36,7	5,4 - 5,5	1,2 - 1,7	8,0
N Kjeldahl (% MS)	8,95 - 14,6	0,7 - 0,8	0,1 - 0,26	0,6
P₂O₅ (% MS)	3,1 - 5,9	0,2	0,08 - 0,1	0,2
CaO (% MS)	3,2 - 6,2	0,3 - 0,6	0,2 - 0,3	2,1
C/N	2,2 - 4,2	55,7 - 70,5	187,2 - 446,7	71,9

lisier et le support carboné. Ce mélange est soumis aux 2 modes d'aération : retournement et ventilation (essai 1).

Les deux supports carbonés sont ensuite complétés en éléments structurants sous forme d'écorce de bois de peuplier (*Populus sp.*), en adaptant les principes d'aération tes-

tés précédemment (essai 2). Les résultats de cet essai conditionnent les deux derniers essais expérimentaux, destinés à déterminer les volumes maximaux de lisier admissibles par les différents supports, soumis à recharges volumiques successives d'une part (essai 3), et à affiner les conditions de recharge des andains d'autre part (essai 4).

Tableau 2 - Description des 4 essais

	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Essai 4
Support carboné	paille sciure	paille-écorce sciure-écorce	paille-écorce sciure-écorce	paille-écorce sciure-écorce
Recharges lisier	non	non	oui	oui
Durée compostage (mois)	3	3	6	5
Durée maturation (mois)	3	3	3	4
Mode d'aération	Ventilation assujettie Ventilation séquentielle Retournement 8 j Retournement 30 j	Ventilation assujettie Ventilation séquentielle Retournement 15 j. Retournement 30 j.	Ventilation assujettie Ventilation séquentielle Retournement 21 j.	Ventilation assujettie Ventilation séquentielle Retournement 21 j.

2. RÉSULTATS ET DISCUSSION SUR LES ESSAIS PRÉLIMINAIRES ET L'ESSAI 1.

Les premiers essais portent sur le compostage du lisier de porc en optimisant le mélange avec de la paille de céréales, de la sciure et de l'écorce de bois, en comparant les systèmes d'aération définis dans le tableau 2.

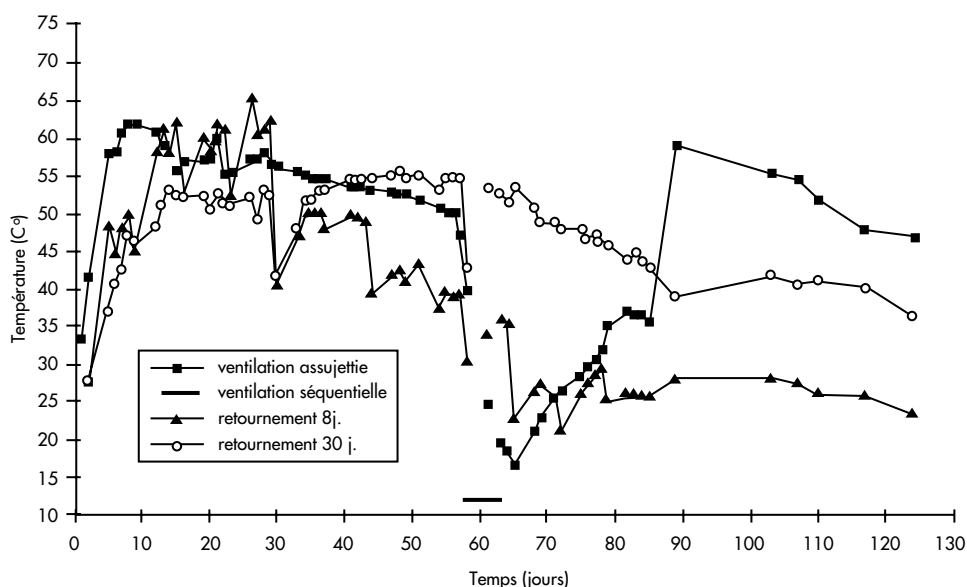
2.1. Andain paille-lisier

La paille se révèle être un matériau très absorbant : 1 t de paille à 80 % de M.S., additionnée de 4 t de lisier de porc entre 6,5 et 8,5 % de M.S., donne un mélange ayant une

teneur en matière sèche de 23,5 %, proche de celle obtenue par JAKOBSEN (1992). Le mélange présente une dynamique thermique importante, mais se déstructure rapidement lors des opérations de mélange et de retournement. Un retournement hebdomadaire favorise la montée en température des andains dans le premier mois de compostage. Au-delà, la déstructuration de la paille entraîne une chute rapide de la température (figure 2a).

La ventilation assujettie fonctionne pendant le premier mois, mais, par la suite, la température du tas n'atteint jamais le seuil de déclenchement des ventilateurs. Un essai en ventilation séquentielle (20 min/h) provoque une chute brutale de la température.

Figure 2a - Température moyenne du mélange paille-lisier soumis à différents modes d'aération (ventilation assujettie, ventilation séquentielle, retournement tous les 8 jours et retournement tous les 30 jours)

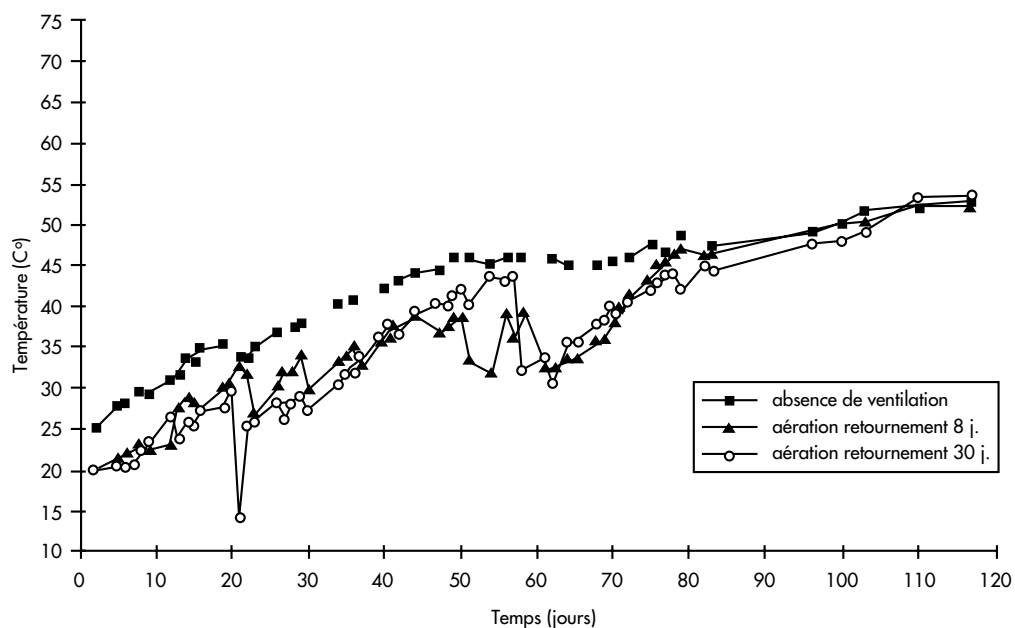


2.2. Andain sciure-lisier

La sciure a un taux d'imprégnation inférieur à celui de la paille, soit 1 tonne de sciure à 50 % de M.S. et d'une densité de 225 kg/m^3 , pour 2 tonnes de lisier. Les premiers essais ayant été réalisés avec de la sciure de bois exotique, la dynamique thermique des andains est très lente et aucun des andains n'atteint la température d'hygiénisation (55°C). Le retournement hebdomadaire n'a pas d'effet dépressif mais n'améliore pas le comportement thermique de l'andain.

La ventilation assujettie n'a jamais fonctionné dans cet essai, la température maximale de consigne (60°C) n'ayant jamais été atteinte (figure 2b). Des essais complémentaires menés avec de la sciure de peuplier (*Populus sp.*) confirment la difficulté d'utiliser la ventilation assujettie comme seul moyen d'aération pour ce support. D'autre part, des essais de ventilation séquentielle, avec 20 minutes d'aération par heure, entraînent une chute rapide de la température de l'andain. Les séquences d'aération devront donc être diminuées dans les essais suivants.

Figure 2b - Température moyenne du mélange sciure-lisier soumis à différents modes d'aération (absence de ventilation, retournement tous les 8 jours, et retournement tous les 30 jours).



2.3 Andain écorce-lisier

L'écorce de bois est un matériau peu intéressant pour l'absorption d'un liquide comme le lisier de porc, et sa capacité d'imprégnation n'est que de 1,6 tonne de lisier par tonne d'écorces à 50 % de M.S. Les différents modes de ventilation n'ont pas été testés systématiquement avec ce support carboné seul. C'est un matériau qui sera utilisé dans les essais suivants, comme agent structurant des autres supports carbonés.

2.4. Conclusions de l'essai 1

La paille est un matériau très absorbant, mais qui se déstructure lors des opérations de retournement. Pour ce support, l'aération par ventilation assujettie n'a fonctionné qu'un mois. Une remontée des températures par la suite souligne l'intérêt de tester une combinaison entre le retournement du tas et la ventilation assujettie. Par ailleurs, un essai de ventilation séquentielle (20 min/h), en fin de cycle, provoque une chute brutale de la température de l'andain.

La sciure a un taux d'imprégnation de moitié plus faible à celui de la paille, et possédant une lente dynamique thermique, qui n'est pas modifiée par une haute fréquence de

retournement. Aucun des andains testés dans cet essai n'atteint 55°C . Dans les conditions de l'expérimentation, la sciure utilisée seule ne semble pas le support adéquat pour l'optimisation du compostage de lisier de porc.

L'écorce n'est a priori pas le meilleur support de compostage de ces essais, et elle possède le moins bon pouvoir d'absorption des 3 supports utilisés. Cependant, elle sera testée comme agent structurant, dans les essais suivants, en mélange avec la paille et la sciure.

3. ESSAI 2 : COMPLÉMENTATION DES SUPPORTS DE COMPOSTAGE - RÉSULTATS ET DISCUSSION

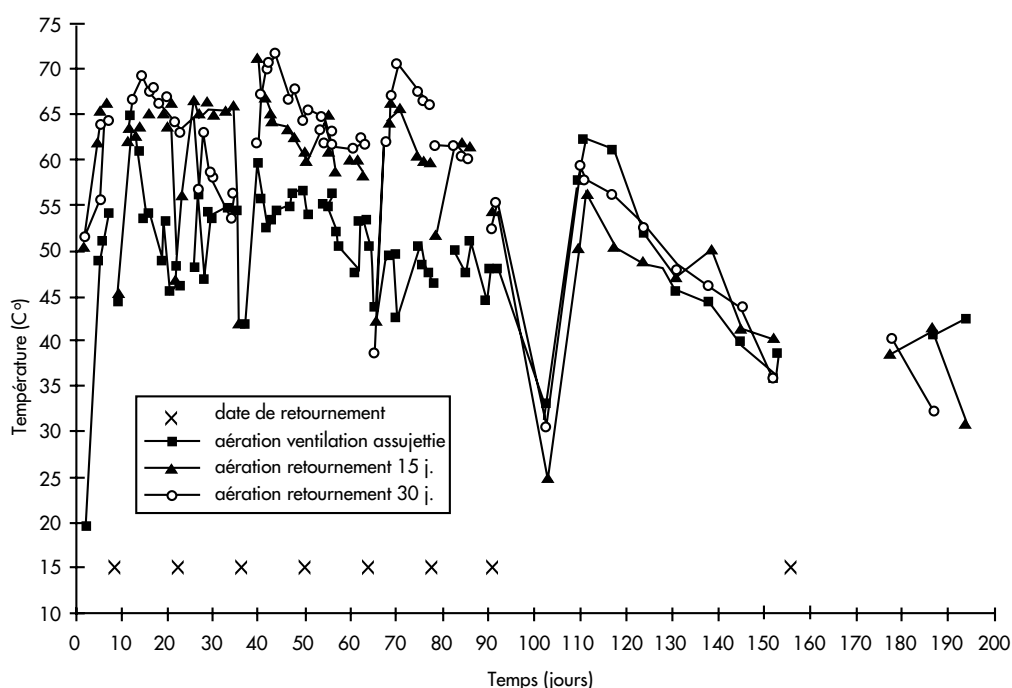
Les supports carbonés utilisés pour les premiers essais sont complétés avec des écorces de bois, afin de structurer le mélange à composter, le rendre moins fragile et plus dynamique thermiquement. Après une phase d'essais, les mélanges de supports carbonés retenus pour l'expérimentation sont constitués en volume par 66 % de paille et 47,4 % de sciure de peuplier, pour respectivement 34 % et 52,6 % d'écorces, et en poids par 20 % de paille et 50 % de sciure de peuplier, pour respectivement 80 % et 50 % d'écorces.

3.1. Andains paille-écorces-lisier

Le rapport d'imprégnation du mélange est de 1 tonne de M.S. du mélange paille-écorces pour 4,23 tonnes de lisier. La masse initiale de l'andain est de 12 t pour un volume de 35 m³. Quel que soit le mode d'aération utilisé, une température supérieure à 50 °C est rapidement atteinte. Sur 3 mois de compostage, la température moyenne est de 51,0 ± 6,5 °C pour la ventilation assujettie associée à un retournement mensuel, de 61,2 ± 6,5 °C pour le retourne-

ment bimensuel, et de 62,5 ± 6,2 °C pour le retournement mensuel (figure 3a). Ces températures élevées permettent l'évaporation de l'eau contenue dans les andains, et les mesures effectuées montrent qu'il faut environ 45 jours pour évaporer 50 % de la masse d'eau initiale de l'andain. La ventilation assujettie est le mode d'aération qui permet la meilleure évaporation sur les 3 premiers mois, soit 77 % de la masse d'eau de départ, contre 74 % et 71 % pour les retournements bimensuels ou mensuels.

Figure 3a - Température moyenne des andains paille-écorces-lisier soumis à une aération par ventilation assujettie avec retournement mensuel, ou par retournement à 15 jours et à 30 jours.



Le volume des andains se réduit fortement et passe de 35 m³ à 12,8 m³ (ventilation assujettie) ou 10 m³ (retournement) en 90 jours. Les deux modes de retournement ne semblent pas différents. Ainsi, une combinaison entre un retournement tous les 21 jours et une aération par ventilation assujettie sera testée dans l'essai 3.

3.2. Andains sciure-écorces-lisier

Le rapport d'imprégnation est de 1 tonne de M.S. du mélange sciure-écorces pour 3,86 tonnes de lisier. La masse initiale de l'andain est de 26 t pour un volume de 35 m³. Les andains sont soumis à une aération par ventilation séquentielle ou par retournement tous les 15 et 30 jours. Différents cycles de ventilation séquentielle sont testés, de 4 à 20 minutes d'aération par heure. La ventilation séquentielle n'a pas fonctionné durant le premier mois de la phase de compostage.

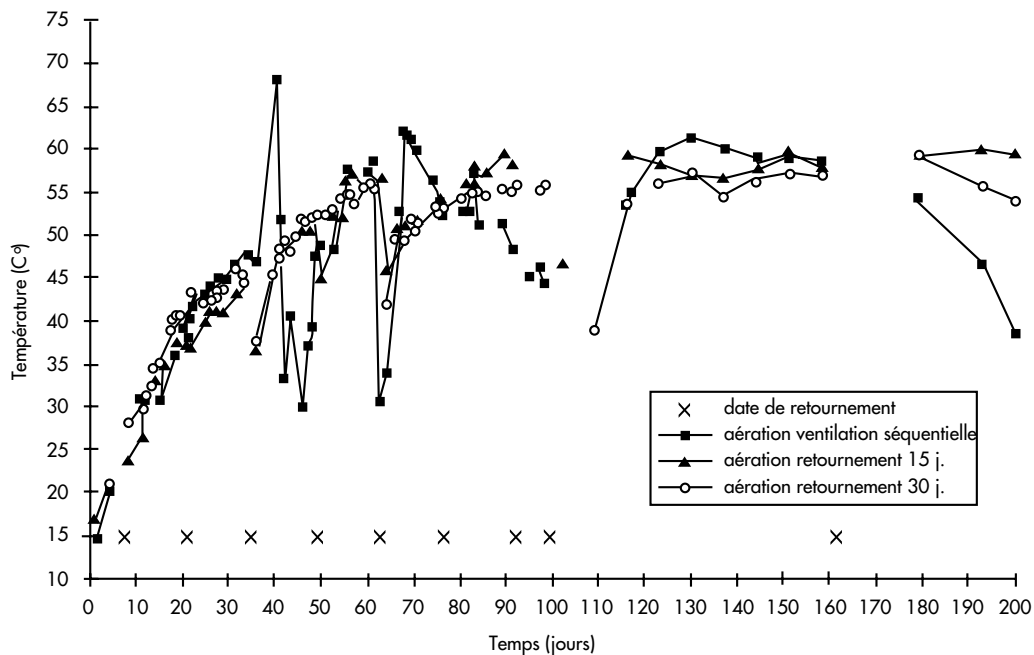
La température des andains du mélange s'élève lentement, pour atteindre 45 °C en 1 mois environ, pour les 3 modes d'aération. Sur les 3 mois de la phase de compostage, la

température moyenne est de 45,7 ± 11,1 °C pour le tas soumis à une ventilation séquentielle, de 45,7 ± 10,2 °C pour le tas retourné tous les 15 jours et de 46,2 ± 8,2 °C pour le tas retourné mensuellement (figure 3b). Par la suite, la température ne dépasse 60 °C qu'avec le mode ventilation séquentielle (4 min/h), mais les amplitudes de variation de la température sont beaucoup plus marquées pour ce tas. Pour ce mélange de supports carbonés, 75 jours sont nécessaires pour évaporer 50 % de la masse d'eau initiale.

3.3. Conclusions de l'essai 2

Différentes conditions de fonctionnement de la ventilation ont été testées au cours de cet essai. Le compostage de lisier de porc avec des mélanges de supports carbonés à base de paille et d'écorces est possible grâce à une ventilation assujettie à la température du tas. La ventilation permet une meilleure déshydratation des tas, représentant 50 % de perte en eau, en 50 jours. La technique de retournement du tas tous les 15 jours ou tous les 30 jours ne montre pas de différences significatives. L'ajout d'écorces évite aux andains à base de paille de se dégrader trop rapidement. Par

Figure 3b - Température moyenne d'un andain sciure-écorces-lisier soumis à aération par ventilation séquentielle ou retournement à 15 j. et à 30 j.



contre, le pouvoir d'imprégnation du mélange écorce-paille est diminué de moitié environ par rapport à la paille seule. L'aération du mélange paille-écorces peut être effectuée par une combinaison entre une ventilation assujettie à la température et un retournement mensuel.

À l'issue cet essai, la sciure se confirme être un médiocre support pour le compostage de lisier de porc. L'ajout d'écorce améliore cependant le comportement thermique de l'andain à base de sciure, mais les températures moyennes restent en dessous de 50 °C. Le rapport d'imprégnation du mélange de support carboné est diminué de moitié par rapport à la sciure seule. Enfin, c'est l'aération séquentielle des andains qui donne les meilleurs résultats, permettant d'évaporer 50 % de la masse d'eau initiale en 75 jours.

Les retournements trop fréquents des andains provoquent leur déstructuration, sans pour autant améliorer la déshydratation, qui se révèle meilleure avec les systèmes ventilés. Les pertes en eau relevées dans cet essai, permettent d'envisager, dans l'essai suivant, de rajouter des volumes supplémentaires de lisier, en optimisant le rapport entre le volume de lisier ajouté et la quantité de mélange carboné utilisé.

4. ESSAI 3 : COMPOSTAGE DE LISIER DE PORC AVEC DIFFÉRENTS MÉLANGES CARBONÉS SOUMIS À DES RECHARGES SUCCESSIVES EN LISIER - RÉSULTATS ET DISCUSSION.

Durant la période d'essai, l'andain subit des recharges successives en lisier. Ces recharges ont lieu régulièrement, durant les 5 jours précédant le retournement de l'andain, qui intervient tous les 21 jours. Après le retournement, destiné à homogénéiser l'andain, la phase de compostage se prolonge sur 15 jours (tableau 3).

Les recharges sont effectuées par l'intermédiaire d'une tonne à lisier équipée d'une pompe d'aspersion. Le lisier est prélevé dans la fosse de 100 m³, après homogénéisation, puis aspergé sur l'andain (phase d'imprégnation). Les recharges successives sont destinées à augmenter le volume de lisier ajouté par tonne de matière carbonée utilisée, tout en évitant au maximum le ressuyage.

4.1. Andain paille-écorces-lisier

La température de l'andain à base de paille et d'écorces et

Tableau 3 - Protocole de l'essai 3

Support carboné	Paille + écorces	Sciure + écorces
Durée compostage	6 mois	6 mois
Durée maturation	3 + 3 mois	3 + 3 mois
Nombre de recharges	8	8
Processus compostage	ventilation assujettie retournement 21 jours recharge 3 ^{ème} semaine	ventilation séquentielle (4 min/h) retournement 21 jours recharge 3 ^{ème} semaine

soumis à un simple retournement tous les 21 jours, est, pendant les 2 premiers mois de compostage, de $61,3 \pm 7,1$ °C, dont 52 jours consécutifs à une température supérieure à 55 °C. La 3ème recharge provoque une baisse sensible de la température de l'andain (figure 4). Le même mélange soumis à ventilation assujettie, de ce fait, une température moyenne plus faible sur les 60 premiers jours ($52,4 \pm 4,4$ °C), mais se maintenant jusqu'à la 4ème recharge. Les pertes de volume sont très importantes (73 %) et proches de celles obtenues dans l'essai 2, le volume passant de 45 m³ à 12 m³ en 90 jours. Les pertes en matière sèche sont voisines et comprises entre 35,7 % (retournement) et 37 % (aération assujettie).

Par rapport à l'essai 2, la recharge des andains en cours de compostage, permet de multiplier le ratio d'imprégnation du lisier par tonne de M.S. de support carboné, par 1,9 pour le tas ventilé et par 1,7 pour le tas retourné (tableau 4).

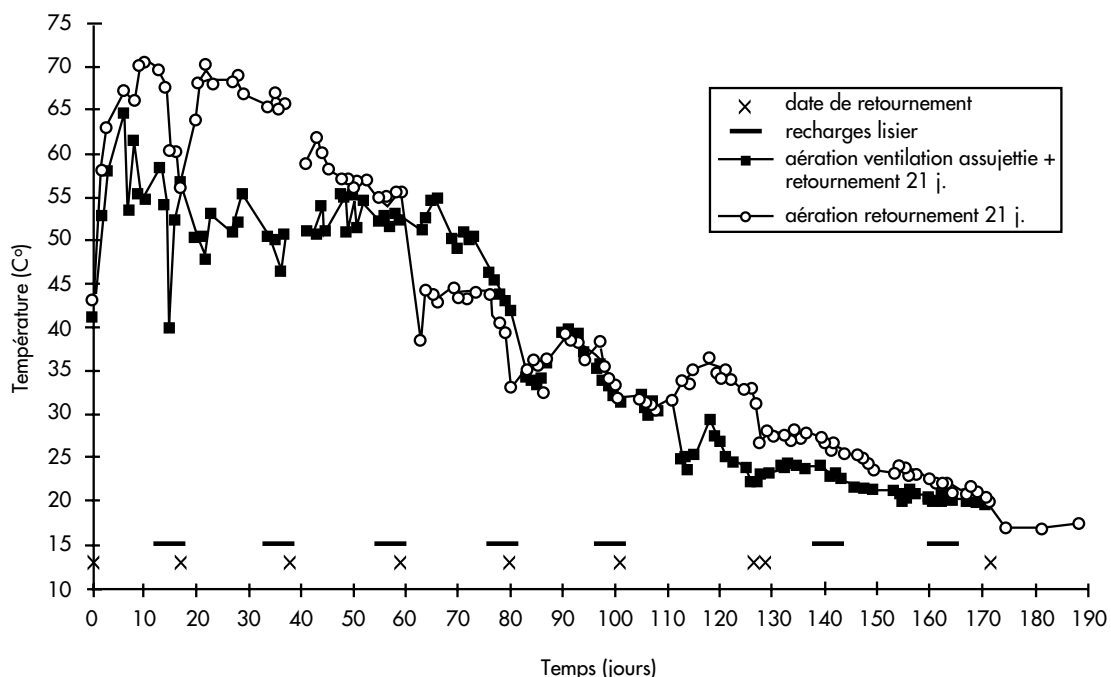
4.2. Andain sciure-écorces-lisier

Le support carboné à base d'écorces mélangées à de la sciure, est soumis à une aération séquentielle, ventilé 4 minutes par heure, séquence déterminée comme optimale

lors des deux essais précédents. Le démarrage thermique de cet andain montre de nettes différences par rapport à l'essai 2, et se rapproche plutôt de celui de la paille. Comparé à l'andain ne subissant que le retournement, sa température moyenne jusqu'à la 5ème recharge, est supérieure de 8,6 °C ($59,5 \pm 9,4$ °C contre $50,9 \pm 6,2$ °C). Une température supérieure à 60 °C est relevée pendant 62 jours, symbole d'une dynamique thermique particulièrement importante pour ce mode de ventilation (figure 5). Des ressuyages sont visibles dès la 3ème recharge pour l'andain retourné, et dès la 4ème pour l'andain ventilé. Le volume des andains passe de 45 m³ à la constitution du tas, à 25 m³ 90 jours plus tard, s'accompagnant d'une perte de matière sèche de 37,3 % pour le tas ventilé et 39,1 % pour le tas retourné (ces différences sont explicables par le niveau différent des recharges effectuées). A cette date, les teneurs en M.S. des 2 tas sont voisines, et respectivement de 26,6 et 24,1 %.

Par rapport à l'essai 2, la recharge en lisier en cours de compostage permet de multiplier le ratio d'imprégnation sur support carboné, par 1,9 pour le tas ventilé et par 1,7 pour le tas retourné (tableau 4).

Figure 4 - Température moyenne des andains paille-écorces-lisier soumis à ventilation assujettie ou à retournement à 21 j., avec recharges volumiques successives en lisier



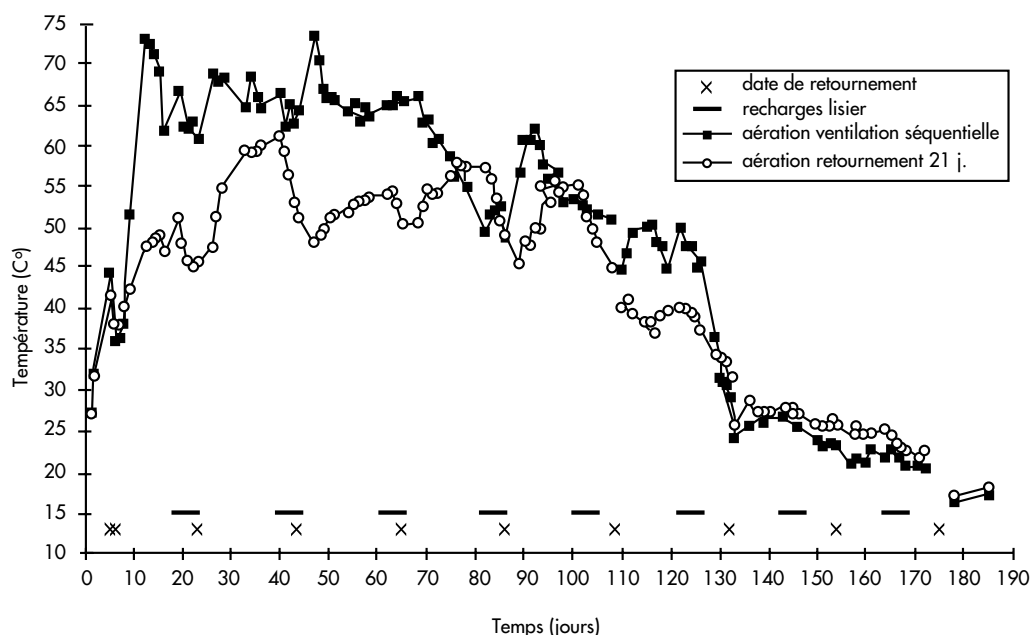
4.3. Conclusions de l'essai 3

Si les recharges en cours de compostage permettent d'augmenter significativement les quantités de lisier intégré, elles provoquent, durant cet essai, un dysfonctionnement des andains, dès la 3ème recharge pour les mélanges paille-écorces, et à partir de la 5ème pour le mélange sciure-

écorces. Ceci entraîne des températures basses, inférieures à 30 °C, en fin de compostage, et l'impossibilité d'atteindre un taux de matière sèche permettant le criblage du produit obtenu.

Les recharges en lisier permettent de multiplier le ratio d'im-

Figure 5 - Température moyenne des andains sciure-écorces-lisier soumis à une ventilation séquentielle ou à retournement à 21 j., avec recharges volumiques successives en lisier



prégnation par tonne de M.S. de mélange carboné, par 1,9 pour les tas ventilés, et par 1,7 pour les tas retournés, pour les 2 mélanges utilisés.

Il apparaît donc que les premières recharges doivent être optimisées afin de conserver le potentiel de compostage (déshydratation et hygiénisation) des andains. Il faut envisager

d'effectuer les recharges vers le début de la phase de compostage, lorsque les matières carbonées ne sont pas consommées.

Les produits finaux obtenus dans l'essai 3, et dont la composition est donnée dans le tableau 5, font actuellement l'objet de tests agronomiques.

Tableau 4 - comparaison entre le volume de lisier ajouté par tonne de M.S. de support carboné, avec et sans recharges des andains (résultats des essais 2 et 3)

Support carboné	Mode d'aération	m ³ lisier ajouté / t de M.S. de support carboné (essai 2)	m ³ lisier ajouté / t de M.S. de support carboné (essai 3)
Paille-écorces	Ventilation assujettie	4,23	8,21
	Retournement	4,23	7,09
Sciure-écorces	Ventilation séquentielle	3,86	7,43
	Retournement	3,86	5,57

Tableau 5 - Composition chimique des composts obtenus dans l'essai 3

Mode d'aération	Paille-écorces-lisier		Sciure-écorces-lisier	
	Ventilation assujettie	Retournement 21 j.	Ventilation séquentielle	Retournement 21 j.
M.S. (%)	42,1	43,2	33,65	34,45
M.O. (% M.S.)	56,9	55,6	57,8	60,9
N _{kjeldahl} (% M.S.)	2,37	1,94	2,29	2,12
P ₂ O ₅ (% M.S.)	3,38	3,63	2,74	2,64
CaO (% M.S.)	7,55	7,47	7,43	6,65
Rapport M.O./2N	12	14,5	10,3	14,4

5. ESSAI 4 : OPTIMISATION DES RECHARGES VOLUMIQUES EN LISIER - RÉSULTATS ET DISCUSSION.

La nécessité et l'intérêt d'optimiser la recharge des tas de compostage avec du lisier de porc ont été démontrés dans l'essai précédent. Dans l'essai 4, seules les recharges sur un mélange de sciure et d'écorces sont testées. Elles sont concentrées dans les premières semaines de la phase de compostage, et permettent d'atteindre, en 15 semaines au lieu de 24, le même niveau de recharge que dans l'essai 3, soit 8 m³ lisier/t de M.S. contre 7,4 m³. La nécessité et l'intérêt d'optimiser la recharge des tas de compostage avec du lisier de porc ont été démontrés dans l'essai précédent. Dans l'essai 4, seules les recharges sur un mélange de sciure et d'écorces sont testées. Elles sont concentrées dans les premières semaines de la phase de compostage, et permettent d'atteindre, en 15 semaines au lieu de 24, le même niveau de recharge que dans l'essai 3, soit 8 m³ lisier/t de M.S. contre 7,4 m³ lisier/t de M.S. pour le tas soumis à 4 min/h de ventilation séquentielle, et 5,4 m³/t de M.S. contre 5,6 m³/t de M.S. pour le tas retourné. Ce dernier tas a une température moyenne inférieure à 50 °C, et des jus d'écoulement sont observés dès la première recharge (0,6 m³ pour un volume de recharge de 3,4 m³).

L'optimisation de l'apport de lisier sur un mélange de supports carbonés doit être menée avec prudence, afin d'éviter au maximum les jus d'écoulement, et d'obtenir un produit final composté. Restreindre les recharges aux 3 premiers mois de la phase de compostage, permet d'éviter une chute brutale de la température des tas, consécutive à un apport en période défavorable.

CONCLUSION

La plupart des techniques de ventilation utilisées dans ces essais, permettent aux mélanges de compostage testés d'atteindre des températures proches de 55 °C, ou supérieures à cette température, seuil théorique d'hygiénisation des produits. Les andains sont généralement maintenus à des températures favorables à une bonne activité microbiologique (LAU, 1992).

Une des techniques d'aération utilisées lors du compostage

de lisier de porc sur des mélanges de supports carbonés est le retournement régulier à l'aide de matériels agricoles classiques comme les épandeurs à fumiers. Une fréquence de retournement comprise entre 20 et 30 jours, peut être considérée comme optimale, avec 3 à 4 retournements durant la phase de compostage. L'utilisation de la ventilation dynamique en loges équipées de drains est possible, en l'assujettissant à la température des tas, ou en la programmant séquentiellement. Il est également possible de combiner les deux modes d'aération, pour les adapter au mélange de supports carbonés. L'ultime phase de maturation permet l'obtention d'un compost.

La paille est un support carboné favorable au compostage de lisier de porc, et 1 tonne de paille à 90 % de M.S. suffit à composter 4 tonnes de lisier. Des essais complémentaires sont en cours pour affiner les quantités de lisier à composter sur un mélange paille-écorces, à l'aide de recharges successives.

La sciure est un moins bon support d'imprégnation (1 tonne M.S. de sciure pour 4 tonnes de lisier) et de compostage, mais son mélange avec de l'écorce de bois améliore son comportement thermique. Pour ce support, les recharges successives effectuées dans l'essai 4 permettent d'atteindre un ratio de 8 tonnes de lisier composté par tonne de matière sèche, avec une aération assujettie.

Ces premiers résultats ne font pas état des essais de valorisation agronomique, en cours de réalisation, des composts obtenus après maturation. Par ailleurs, les premières tentatives de criblage du produit final indiquent qu'il semble intéressant, pour les économiser, de recycler en tête de process les matières carbonées grossières.

REMERCIEMENTS

L'étude n'aurait pas eu lieu sans le soutien technique et financier du Conseil Général des Côtes d'Armor, du Conseil Régional de Bretagne, et de l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (Ademe). Les remerciements s'adressent également au Service d'Assistance Technique aux stations de Traitement des Ordures Ménagères (SATTOM) des Côtes d'Armor, et à la Délégation Régionale Bretagne de l'Ademe, pour leur participation au comité de pilotage de l'étude.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ADEME, 1994. Les germes pathogènes dans les boues résiduelles des stations d'épuration urbaines, Collection «Valorisation agricole des boues d'épuration», Guides et cahiers techniques «Connaître pour Agir», 90 p.
- FERNANDES L., ZHAN W., PATNI N.K. & JUI P.Y., 1994. *Bioresource Technology*, 48, 257-263.
- JAKOBSEN S.T., 1992. *Resources, Conservation and Recycling*, 6, 259-266.
- LAU A.K., LO K.V., LIAO P.H., & YU J.C., 1992. *Bioresource Technology*, 41, 145-152.
- LEROY M.-G., 1994. Analyse prospective du marché français des composts issus de déchets organiques, rapport d'étude Ademe.