



LE TRAITEMENT DES DECHETS DE COUVOIR

Chef de projet : Claude AUBERT

Etude financée par l'OFIVAL (2005)

Juin 2006

1 - CONTEXTE GENERAL

1.1. Le contexte

Le règlement 1774 d'octobre 2002 concerne la gestion des sous-produits d'origine animale non destinés à la consommation humaine. Il fixe des règles sanitaires applicables à la collecte, au transport, à l'entreposage, à la manipulation, à la transformation et à l'élimination de ces sous-produits. Les déchets de couvoirs sont concernés par cette réglementation.

L'activité d'accoupage est estimée de la façon suivante (enquête ITAVI, 2001) :

- 142 couvoirs d'une capacité de plus de 100 000 OAC (SCEES)
- 128 millions de capacité d'incubation en OAC
- 900 000 OAC de capacité par couvoir
- 23 millions de poussins par semaine (SCEES)
- 21 ans d'âge moyen des couvoirs (12 ans d'écart type)
- 400 000 m² de couvoirs
- 2 800 m² de surface moyenne par couvoir
- 2 700 salariés permanents dans les couvoirs
- 19 salariés spécialisés par couvoir

La Bretagne est la première région française dans l'activité d'accoupage. En effet cette région présente des capacités d'incubation suivante : 34 % en *Gallus chair*, 55 % en *Gallus ponte*, 57 % en dinde et une part non négligeable en canards et pintades.

Cette activité produit des déchets. En effet, une partie des produits issus de l'œuf ou du poussin va être retirée au cours du processus de production. Il s'agit :

- des œufs non incubés, éliminés en élevage de reproduction ou avant leur mise en incubation,
- des déchets liés à la transformation du produit :
 - les œufs clairs éliminés après 18 jours d'incubation (sous forme d'œufs entiers dits 'œufs coquilles' ou sous forme de coule, correspondant à la fraction liquide de l'œuf)
 - les coquilles, œufs embryonnés non éclos éliminés après éclosion
 - les poussins non valorisés éliminés après l'éclosion

La quantité totale annuelle de déchets produits par les couvoirs est estimée à près de 47 000 tonnes (tableau 1), dont environ 50 % produits en Bretagne.

Le règlement européen classe les sous-produits au sein de différentes catégories, dont deux concernent les déchets de couvoirs :

- les cadavres et animaux de tri, appartenant à la catégorie 2,
- les autres déchets de couvoir (œufs déclassés et clairs, coquilles, duvet, œufs embryonnés non éclos), appartenant à la catégorie 3.

Ces déchets peuvent être recyclés après un traitement approprié dans une unité de transformation agréée (tableau 2).

Tableau 1 – Répartition des déchets de couvoirs

Déchets	Estimation total de déchets (x 1000 unités)	Estimation de la quantité annuelle (en tonnes)
Œufs clairs	188 320	12 726
Œufs embryonnés non éclos	91 770	6 190
Coquilles	-	17 897
Poussins	219 760	9 954
Total déchets		46 767

(Enquête ITAVI – 2001)

Tableau 2 – Modalités de traitement des déchets de couvoir

Déchet	Récolte	Cat.	Gestion	
Œufs clairs	Mirage	3	Valoreuf Traitement thermique individuel	Compostage Méthanisation Incinération Co-incinération
Coquilles	Ecllosion	3	Traitement thermique individuel ou collectif (Biocalci)	
Coule	Ecllosion	3	Traitement thermique individuel	
Duvet	Ecllosion	3	Traitement thermique individuel	
Œufs embryonnés non éclos	Ecllosion	3	Traitement thermique individuel ou collectif (Biocalci)	
Cadavres	Ecllosion	2	Equarrissage (SPE)	

Dans cette étude, nous avons privilégié les modalités techniques de traitement applicables à l'échelle d'un couvoir :

- **le compostage sous 2 formes :**
 - compostage par aération forcée en silo,
 - compostage avec inoculum bactérien,
- **le traitement thermique individuel par chaulage.**

1.2. Intérêt du compostage

Le compostage constitue un de ces traitements, comportant différents avantages non négligeables :

- hygiénisation du produit par destruction des germes pathogènes (il suffit d'une heure à 67 °C pour détruire les salmonelles)
- stabilité des matières organiques
- structure homogène
- destruction partielle ou totale des résidus de produits phytosanitaires
- réduction des odeurs (or, les produits issus de couvoirs sont très fermentescibles et donc facilement sujets à des dégagements d'odeurs)

Le compostage serait donc une bonne solution de gestion des déchets de couvoirs, applicable par tous (même couvoirs petits et/ou isolés). Il est possible de le pratiquer en annexe du couvoir dans la mesure où l'installation est classée selon les rubriques 2731 (dépôt des déchets) et 2730 (traitement des déchets) et qu'elle répond aux exigences du règlement 1774/02. Les IC 2170 bénéficiant d'une antériorité pourraient éventuellement pratiquer le compostage des sous-produits de couvoir. Les exigences du règlement européen sont les suivantes à savoir :

- atteindre une température minimum de 70°C pendant au moins une heure,
- contrôler la température en temps réel,
- hygiéniser le compost sur le plan bactériologique (0 salmonelle dans 25 g et moins de 300 entérobactéries dans 1 g sur 5 échantillons de compost).

L'intérêt du compostage est donc une somme d'avantages dont certains peuvent paraître décisifs pour passer ou non à la mise en œuvre de cette technique. Dans le cas du compostage de déchets de couvoirs, il semble important de réduire les odeurs lors du stockage de produits qui ont naturellement tendance à fermenter en conditions d'anaérobioses et de supprimer les impacts négatifs au moment de l'épandage : odeurs à nouveau, mais aussi risques sanitaires. Le compostage peut contribuer à améliorer largement la situation.

Parmi tous ces avantages, l'assainissement mérite d'être mis en avant. Sous l'action de la température, les composts s'auto-nettoient. A titre d'exemple, on sait que, quel que soit le type de Salmonelle concerné, l'efficacité est maximale si la température est maintenue au dessus de 50 °C pendant 3 ou 4 semaines, mais il suffit d'une heure à 67 °C pour détruire les Salmonelles. Par ailleurs, le compostage est à l'origine de la disparition de la population d'*Escherichia coli*, de la destruction des populations d'Entérocoques, de la destruction partielle des anaérobies sulfito-réducteurs.

Cependant, il est clair que le compostage ne pourra jamais garantir l'hygiénisation parfaite du produit d'origine, mais il diminue le risque sanitaire. Comme les produits compostés, seront *in fine* épandus sur des terres agricoles, ce paramètre prend toute son importance. Par ailleurs, l'activité de dégradation microbiologique au cours du compostage détruit la plupart des molécules de produits phytosanitaires et cela apparaît également comme un avantage.

Enfin, en terme d'épandage, l'homogénéité du produit apparaît très nettement comme une amélioration, dans la mesure où les éléments fertilisants mieux répartis à la surface du sol sont moins susceptibles d'être apportés en excès, sans compter que sur le plan purement matériel

l'épandage d'un produit homogène est grandement facilité. Lors du compostage, les retournements effectués pour apporter de l'oxygène, ou encore l'aération forcée, opèrent un mélange des matières ; de plus, l'action des microorganismes aboutit à la fragmentation des composés de départ.

C'est pour cet ensemble de raisons que la technique du compostage des déchets de couvoirs est apparue comme une technique méritant d'être testée, en s'appuyant sur les acquis de l'ITAVI en matière de compostage de fumiers de volailles. Toutefois compte-tenu, d'une part de la nature du produit, et d'autre part de la présence d'un autre déchet abondant (les fumiers de volailles) il a semblé plus judicieux de tester le co-compostage de déchets de couvoir en mélange avec un fumier de volailles.

1.2.1. Compostage par aération forcée en silo

En 2004, pour réaliser une première série d'essais de co-compostage, le mode opératoire VAL'ID[®] a été choisi. Il s'agit d'un compostage en système clos. L'installation de compostage est constituée d'un silo fermé VAL'ID[®] composé d'éléments de béton armé formant un silo étanche. Chaque élément VAL'ID[®] a une dimension de 5 mètres de large sur 2,40 mètres de profondeur, et un volume de 20 m³ (soit environ 5 tonnes). Le fond de ces modules est équipé d'un système de drains perforés permettant une aération forcée. La totalité du système est pilotée par quatre sondes à température permettant d'enregistrer et de réguler la ventilation. L'aération forcée ainsi que le contrôle des paramètres permettent aux microorganismes de dégrader la matière organique en quelques semaines.

Trois essais ont pu être conduits en 2004, en utilisant ce procédé. Un certain nombre d'enseignements ont pu en être tirés :

- le co-compostage de déchets de couvoirs en mélange avec des déjections avicoles est techniquement faisable, et le système VAL'ID[®] est adapté pour ce traitement. En effet, il permet d'atteindre très rapidement une température à cœur de 70 °C et de maintenir cette température pendant un minimum de 10 jours. Des mesures à 20 centimètres en dessous de la surface ont montré que le niveau de 70 °C était maintenu pendant plusieurs jours. Cependant, il est apparu que cette température moyenne n'était pas atteinte en tout point (effet de surface, zone de contact avec les parois, manque d'humidité...).
- du fait du niveau de température atteint et de son maintien pendant une longue durée, il y a hygiénisation des produits, et ce, dès la mise en silo.

Cependant, au cours de cette étude, les bilans matières ne se sont pas avérés concluants, remettant ainsi en cause la composition des produits finaux, dont on connaît l'importance au regard des normes actuellement en vigueur.

C'est pourquoi, il a été décidé de procéder à un nouveau test avec le système VAL'ID[®]. Ce nouvel essai s'est déroulé au printemps 2005, avec la collaboration du couvoir SICAMEN et de la société VALID.

1.2.2. Compostage avec inoculum bactérien

Depuis quelques années des techniques de compostage sans retournement et sans aération forcée, mais avec utilisation d'un inoculum bactérien, tendent à se développer. Ces souches sauvages sont sélectionnées en fonction de leurs critères métaboliques et de leur aptitude à se développer sur des milieux peu dégradés.

Il a donc été décidé de conduire un essai avec inoculum bactérien avec pour objectif d'obtenir des premières références. L'essai s'est déroulé entre juillet et octobre 2005, avec la collaboration du couvoir ECLOSION et de la société GBP Environnement.

1.3. Le traitement thermique individuel par chaulage

Le traitement à la chaux pourrait constituer une autre solution de traitement des déchets de couvoir. Le procédé a été mis au point pour transformer des fientes de poules pondeuses en engrais organo-minéral, par adjonction d'oxyde de calcium. La réaction chimique due à ce mélange est très exothermique et conduit à une destruction des agents pathogènes éventuellement présents dans la masse de déchets ainsi que les mouches et leurs larves. Le produit obtenu est stabilisé sans odeur, apte à être valoriser sur le marché des matières fertilisantes.

Dans cette étude, il s'agissait de procéder à quelques essais sommaires pour tester la faisabilité et avoir une première approche en termes de résultats, notamment en ce qui concerne la température atteinte et son éventuel maintien à 70 °C pendant une heure.

L'essai s'est déroulé au printemps 2006 avec la collaboration du couvoir BOYE.

2 - COMPOSTAGE EN SILO VALID®

2.1. Dispositif mis en oeuvre

Le dispositif mis en oeuvre est un compostage en silo fermé VAL'ID®. Pour cet essai, 8 éléments ont utilisé, permettant ainsi un chargement d'environ 50 tonnes de produit. L'essai sera réalisé à partir d'un mélange de déchets de couvoirs (déchets non triés aspirés sous vide : œufs clairs, embryons morts, coquilles et membranes) en provenance du couvoir SICAMEN à VOLNAY (72) et de fumier de poussinières (sciure bouchonnée), mélange réalisé au moment du remplissage du silo, à l'aide d'une mélangeuse verticale.

L'objectif visé est d'avoir une proportion de déchets de couvoirs de 20 % en masse, et de chercher à obtenir un mélange à 50 % de MS.

Il est prévu une aération forcée du silo de compostage pendant 42 jours (J0 à J42), puis, après vidange du silo et mise en andain, une phase de maturation de 42 jours (J43 à J84).

2.2. Protocole expérimental

2.2.1. Caractérisation des produits utilisés

Chacun des produits entrant dans la composition du mélange, et le mélange lui-même, a été caractérisé sur le plan

- **des caractéristiques physiques** : origine et nature des produits (paille, copeaux, tri éventuel des déchets de couvoir) et densité, notamment densité du mélange à J0
- **de la composition chimique** : MS, MM, MO, Ntotal, N-NH₄, Norg, P₂O₅, K₂O, C, C/N, Ca, Cu, Zn
- **de la microbiologie** : salmonelles, *Escherechia coli*, *Clostridium perfringens*, œufs d'helminthes

2.2.2. Modalités de suivi

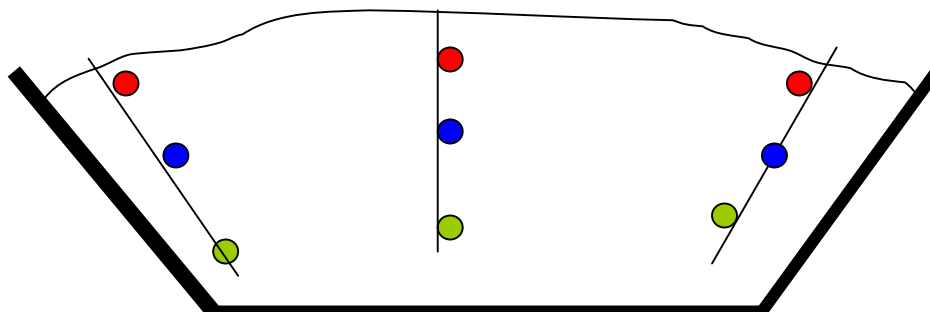
2.2.2.1. Suivi des températures

En phase de compostage (J0 à J42)

Le silo a été équipé de 4 sondes thermocouples de 85 cm avec enregistrement de la température moyenne entre 4 h et 12 h puis 12h et 20 h et enfin 20 h et 4 h.

Le silo a été également équipé de 4 sondes placées en sub-surface (20 cm de profondeur environ) avec enregistrement en continu.

Par ailleurs, à J21 et à J42, des mesures ponctuelles seront faites à différentes profondeurs et à différents endroits du silo.



- Profondeur de 20 cm / 5 séries sur la longueur du silo = 15 mesures
- Profondeur de 60 cm / 5 séries sur la longueur du silo = 15 mesures
- Profondeur de 120 cm / 5 séries sur la longueur du silo = 15 mesures

En phase de maturation (J43 à J84)

L'andain a été équipé de 2 sondes thermocouples avec enregistrement de la température moyenne entre 4 h et 12 h puis 12h et 20 h et enfin 20 h et 4 h.

L'andain a été également équipé de 2 sondes placées en sub-surface (20 cm de profondeur environ) avec enregistrement en continu.

Par ailleurs, à J63 et à J84, des mesures ponctuelles seront faites à différentes profondeurs et à différents endroits de l'andain (id. suivi du silo)

2.2.2.2. Pesées

Le poids de chacun des constituants a été établi à J0. A J42, la totalité du compost obtenu a fait l'objet d'une pesée. Les pesées ont été faites à l'aide de pesons PIA Système (précision : ± 10 kg). Initialement, il était prévu une pesée à J84, mais compte-tenu de l'état du terrain (particulièrement sableux) elle n'a pas été faite : en effet, le résultat aurait été sujet à caution car, inévitablement, du substrat aurait été collecté en même temps que le compost. La masse à J84 a été estimée sur la base du maintien de la masse de matière minérale au cours du process. L'ensemble des données recueillies ont été utilisées pour calculer le bilan matière.

2.2.2.3. Odeurs

A chaque intervention sur le site, une appréciation des odeurs a été faite (niveau d'odeurs et descriptif).

2.2.2.4. Analyses

Les analyses ont été faites selon le plan de contrôle prévu (cf tableau). A chaque fois, 6 échantillons ont été constitués (3 pour les analyses chimiques et 3 pour les analyses microbiologiques). Parmi-ceux-ci, 4 ont été envoyés au laboratoire (LDA 22) pour analyses et 2 ont été stockés au congélateur en cas de besoin.

Les échantillons ont été constitués à partir de prélèvements du produit à différents endroits de l'andain et à différentes profondeurs. L'ensemble de ces prélèvements ont été regroupés et mélangés. Des divisions successives (voir dessin) ont permis de déterminer les échantillons envoyés au laboratoire d'analyses.

Plan de contrôle

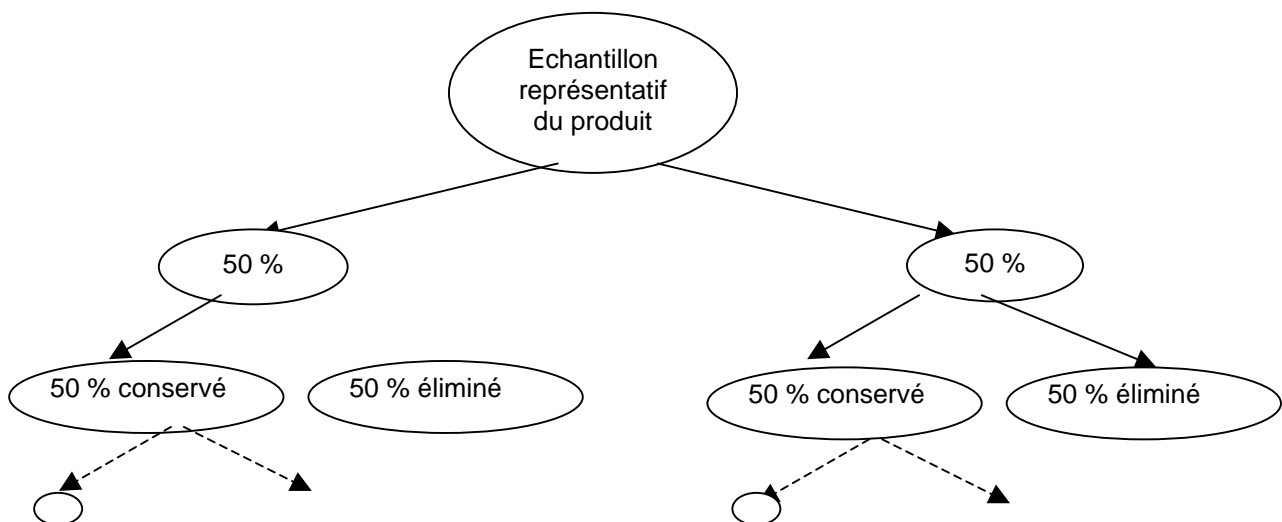
		J-n	J0	J21	J42	J63	J84
Pesées	Fumier		X				
	DC		X				
	Mélange ou compost		X		X		X
Analyses chimiques (*)	Fumier	X	X				
	DC		X				
	Mélange ou compost		X		X		X
Analyses microbiologiques (**)	Fumier	X	X				
	DC		X				
	Mélange ou compost		X	X	X	X	X
Contrôles de la température (***)	Compost		X	X	X	X	X

(*) Les analyses chimiques porteront sur les éléments suivants : MS, MO, MM, Ntot, N-NH₄, Norg, P₂O₅, K₂O, C, C/N, Ca, Cu, Zn.

(**) Les analyses microbiologiques porteront sur : les salmonelles, *Escherechia coli*, *Clostridium perfringens*, les œufs d'helminthes

(***) Il s'agit d'un contrôle ponctuel des températures en différents points de l'andain et à différentes profondeurs. Un suivi permanent des températures est assuré, avec enregistrement de la température moyenne entre 4 h et 12 h puis 12h et 20 h et enfin 20 h et 4 h.

Plan d'échantillonnage



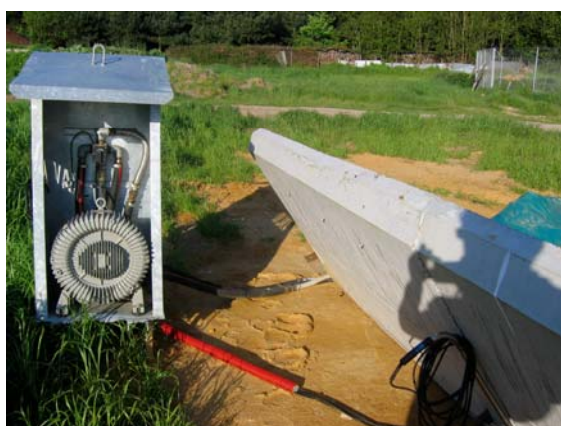
Les différentes opérations réalisées à J0



Vu du silo avant son remplissage



Chargement de la mélangeuse



Centrale de ventilation



Chargement du silo



Au premier plan, le fumier - Au second plan les déchets de couvoir



Silo plein

Les différentes opérations réalisées à J42 et vues à J68



Aspect du silo en fonctionnement



Mise en andain



Vidange du silo



Allure de l'andain à J68



Absence du jus au fond du silo



Température à cœur à J68

2.3. Résultats

2.3.1. Composition du mélange de départ

Cet essai a été réalisé à partir de 52 760 kg de matières, résultat d'un mélange de 14 400 kg de déchets de couvoirs (27 %), 37 030 kg de fumier de poussinières de dindes (70%), et 1 330 kg de paille (3%). Les caractéristiques de chacun des produits et du mélange qui en a résulté figurent dans le tableau 3. Le fumier de dindes est un fumier sec et très riche en éléments fertilisants, mais avec un rapport C/N relativement élevé (10,7) pour ce type de produit.. Par contre le C/N des déchets de couvoirs est faible. Le mélange s'avère un peu sec pour composter normalement, relativement riche en éléments fertilisants et avec 25,8 % de l'azote sous forme ammoniacale.

Tableau 3 – Caractérisation des produits destinés à composter (essai SILO VALID®)

Essai SILO VALID®	Produit BRUT			Produit SEC		
	Fumier	DC	Mélange	Fumier	DC	Mélange
MS (%)	71,6	67,4	69,9	71,6	67,4	69,9
MM (%)	13,5	58,1	25,9	18,9	86,2	37,1
MO (%)	58,1	9,3	44,0	81,1	13,8	62,9
N total (%)	2,61	1,86	2,36	3,65	2,76	3,38
N-NH ₄ (%)	0,70	0,39	0,61	0,98	0,58	0,87
N org (%)	1,91	1,47	1,75	2,67	2,18	2,50
P ₂ O ₅ (%)	3,20	0,35	2,39	4,47	0,52	3,42
K ₂ O (%)	2,10	0,09	1,50	2,9	0,1	2,15
CaO (%)	4,00	34,0	12,1	5,6	50,4	17,3
Cu (mg/kg)	37	1,1	21	52	2	30
Zn (mg/kg)	220	14	130	307	21	186
C (%)	27,8	6,3	23,9	39	9	34,2
C/N	10,7	3,4	10,1			

2.3.2. Evolution de la composition des produits

L'évolution de la composition des produits figure dans le tableau 4. Après compostage et maturation, le produit gagne 4 points de MS, mais reste au même niveau sur produit brut en ce qui concerne l'azote (25 % de l'azote est toujours sous forme ammoniacale) et la potasse : par contre, le phosphore se concentre, de même que le cuivre et le zinc. Le rapport C/N reste stable.

2.3.3. Pertes de masse

Au cours de cet essai, la perte de masse globale est de 11 % (dont 57 % pendant la phase d'aération forcée). Les pertes en eau sont importantes (23,2 %), tandis que les pertes en azote total sont plutôt faibles (8,8 %). Ces 2 résultats sont en-deçà de résultats antérieurs, très probablement du fait d'un taux de matières sèches trop élevé au départ. Les éléments non volatils (MM, P₂O₅, K₂O) restent stables.

Tableau 4 – Evolution de la composition des produits (essai SILO VALID®)

Essai SILO VALID®	Produit BRUT			Produit SEC		
	J0	J42	J84	J0	J42	J84
MS (%)	69,9	72,6	74,0	69,9	72,6	74,0
MM (%)	25,9	27,9	29,4	37,1	38,5	39,7
MO (%)	44,0	44,7	44,6	62,9	61,5	60,3
N total (%)	2,36	2,44	2,42	3,38	3,36	3,27
N-NH ₄ (%)	0,61	0,64	0,61	0,87	0,88	0,82
N org (%)	1,75	1,80	1,81	2,50	2,48	2,45
N-NH ₄ /Ntot (%)	25,8	26,1	25,2	25,8	26,1	25,2
N org/Ntot (%)	74,2	73,9	74,8	74,2	73,9	74,8
P ₂ O ₅ (%)	2,39	2,60	2,80	3,42	3,58	3,78
K ₂ O (%)	1,50	1,65	1,7	2,15	2,3	2,3
CaO (%)	12,1	14,1	13,1	17,3	19,4	17,7
Cu (mg/kg)	21	26,5	26	30	37	35
Zn (mg/kg)	130	155	190	186	214	257
C (%)	23,9	25,2	24,3	34,2	35	33
C/N	10,1	10,5	10,0			

Tableau 5 - Pertes apparentes de masse (%)

Essai SILO VALID®	Phase de compostage	Phase de maturation	Global
Masse Totale	-6,3%	-5,1%	-11,0%
MS	-2,7%	-3,2%	-5,8%
Eau	-14,5%	-10,1%	-23,2%
MM	1,0%	0,0%	1,0%
MO	-4,9%	-5,2%	-9,8%
N total	-3,3%	-5,7%	-8,8%
P ₂ O ₅	2,0%	2,2%	4,2%
K ₂ O	3,1%	-2,2%	0,8%
CaO	9,2%	-11,8%	-3,7%
Cu	18,3%	-6,9%	10,1%
Zn	11,8%	16,3%	30,0%

2.3.4. Evolution de la température

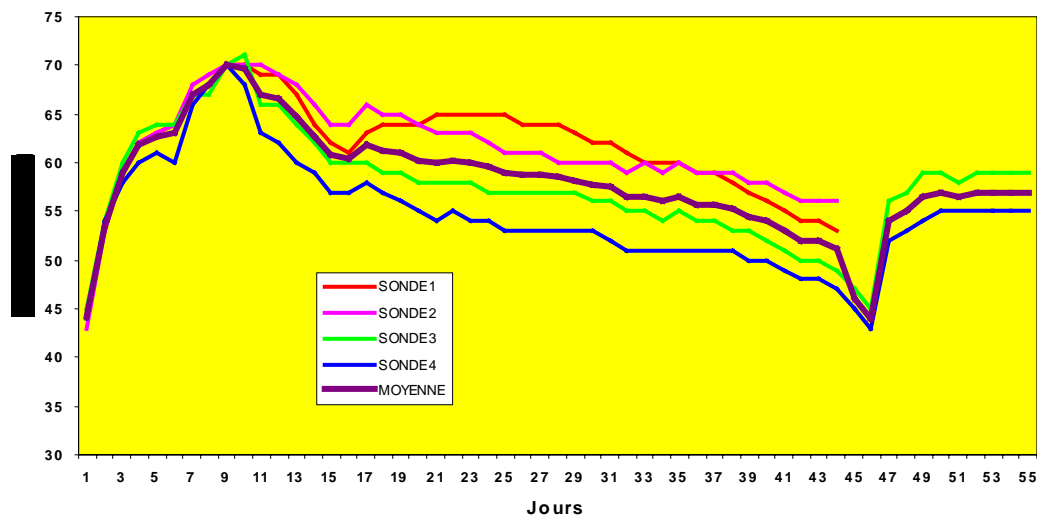
2.3.4.1. Température à cœur

La température à cœur est relevée à l'aide de sondes qui enregistrent la température à 3 moments de la journée : 4 h, 12 h et 20 h . A partir des données enregistrées, une température moyenne journalière est calculée.

Au cours de la phase d'aération forcée, l'élévation de température se fait relativement vite. La température à cœur (85 cm de profondeur) a atteint 70 °C le 9^{ème} jour du compostage, avec une moyenne sur 42 jours à 59 °C ; on notera que la température s'est maintenue pendant 6 jours (14 % du temps) à une température > 65 °C et également pendant 6 jours à une température inférieure à 55 °C. pendant 72 % du temps (31 jours), la température s'est maintenue entre 55 et 65 °C. Le niveau maximum atteint ne s'est maintenu que quelques heures ; ensuite la décroissance a été constante et régulière, pour se situer en moyenne à 52 °C à J42, c'est-à-dire à la fin de la période d'aération forcée.

Après la vidange du silo et la mise en andain, la remontée en température a été progressive et atteignait 57 °C à J55. Au-delà, aucune mesure n'est disponible, du fait d'une défaillance des sondes.

**Figure 1 – Evolution de la température à cœur (85 cm de profondeur)
(Essai SILO VALID®)**



2.3.4.2. Température de sub-surface

La température de subsurface (20 cm de profondeur) a fait l'objet d'enregistrements en continu : pour les sondes placées au milieu du silo, la température moyenne est de 53 °C ; pour les sondes placées latéralement, la température moyenne est de 42 °C. L'évolution de la température dans le temps est similaire pour les 4 sondes d'enregistrement.

Tableau 6 – Nombre de jours à température élevée au cours de la phase d'aération forcée (essai SILO VALID®)

°C	Nombre de jours	Nombre d'heures	%
< 50	1	24	2,3
50-55	5	120	11,6
55-60	16	384	37,2
60-65	15	360	34,9
65-70	4	96	9,3
> 70	2	48	4,7
TOTAL	43	1032	100,0

Figure 2 - Répartition du temps par classe de température (essai SILO VALID®)

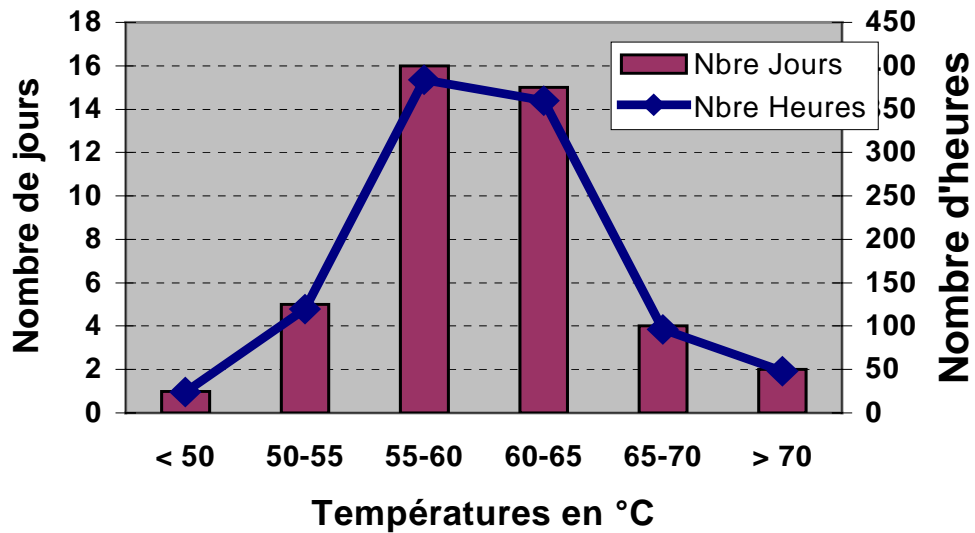


Figure 3 - Diagramme temps/température (essai SILO VALID®)

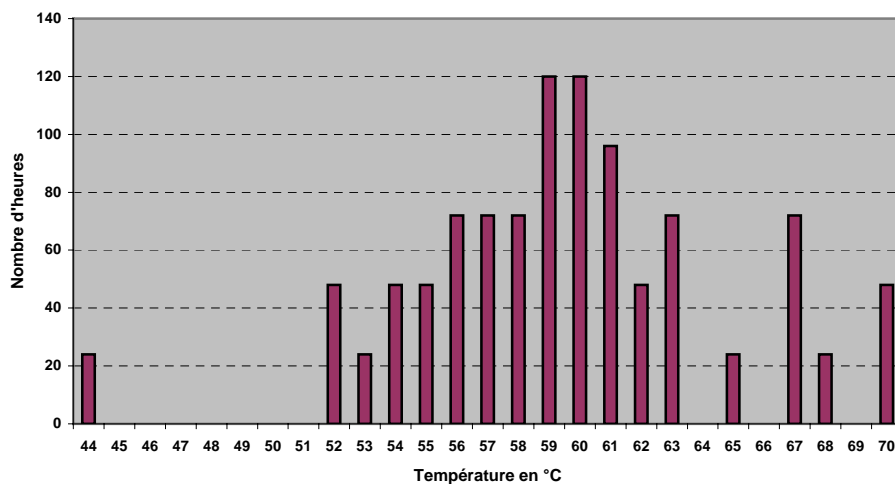
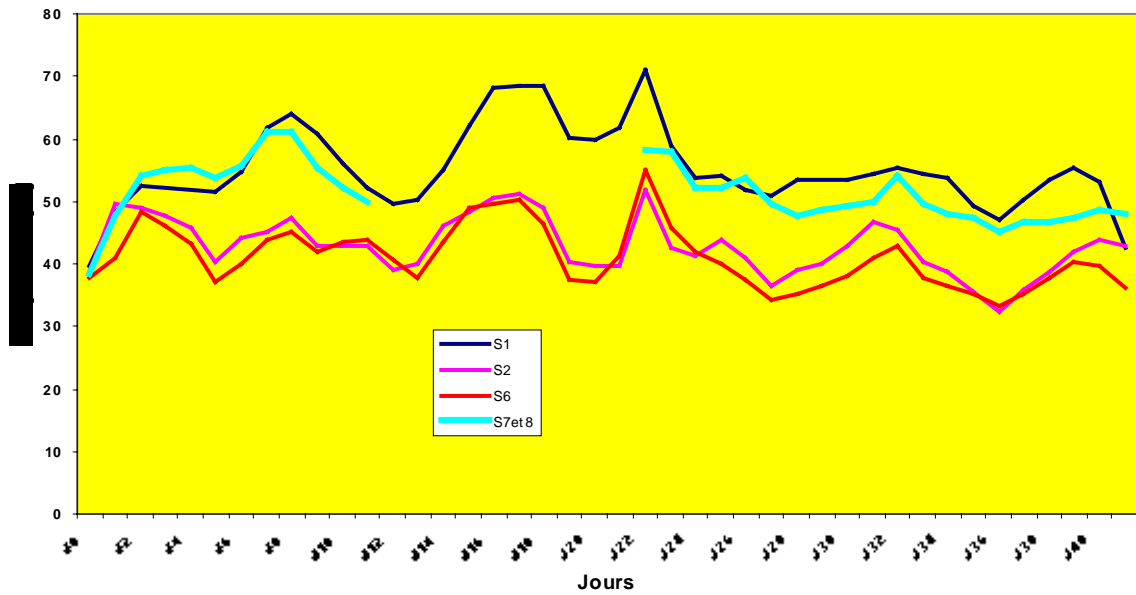
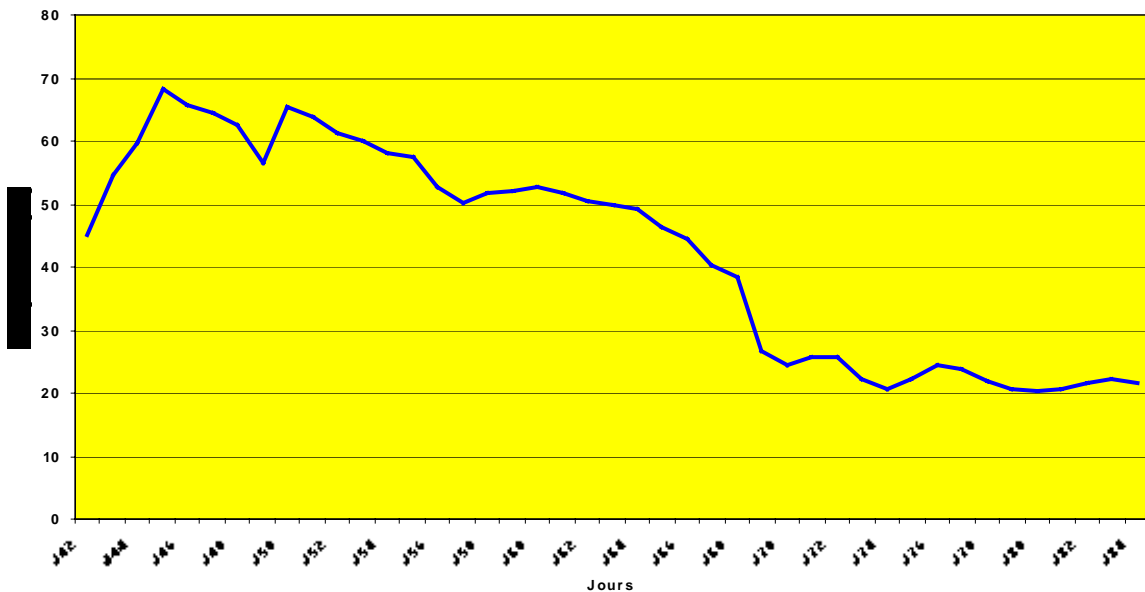


Figure 4 – Evolution de la température de sub-surface(20 cm de profondeur) pendant la phase d’aération forcée (essai SILO VALID®)



Pendant la phase de maturation, les sondes de sub-surface ont enregistré une remontée en température : 68 °C atteint à J45, mais par la suite, une décroissance régulière jusqu’à J67 (40,5 °C). Au delà de J68, les données ne sont plus fiables : en effet, les sondes ont été repérées par des corneilles et sorties de l’andain ; les températures enregistrées sont les températures extérieures au tas ou de la surface de celui-ci.

Figure 5 – Evolution moyenne de la température de sub-surface(20 cm de profondeur) pendant la phase de maturation (essai SILO VALID®)



2.3.4.3. Gradient thermique

La prise de température a été faite en 72 points du silo (3 en profondeurs, 3 en largeur et 8 en longueur), aussi bien en silo qu'an andain.

Les gradients thermiques du silo établis à J21 et J42 mettent en évidence que les côtés et les extrémités du silo sont plus froides que le milieu, et que, d'une manière générale, le fond du silo est plus froid que le milieu

Les gradients thermiques relevés à J68 et J84 sur l'andain montrent globalement une température plus élevée qu'en silo, du fait d'une meilleure fermentation due probablement aux épisodes pluvieux survenus au début de la période en andain.

Tableau 7 – Répartition des points de mesure selon la classe de température (en %)

°C	Phase de compostage (N = 144)	Phase de maturation (N = 128)	TOTAL (N = 272)
< 45	43,8	39,1	41,5
45-50	21,5	22,7	22,1
50-55	23,6	26,6	25,0
55-60	8,3	10,9	9,6
60-65	1,4	0,8	1,1
65-70	1,4	0,0	0,7

Figure 6 – Répartition des points de mesure selon la classe de température (en %)

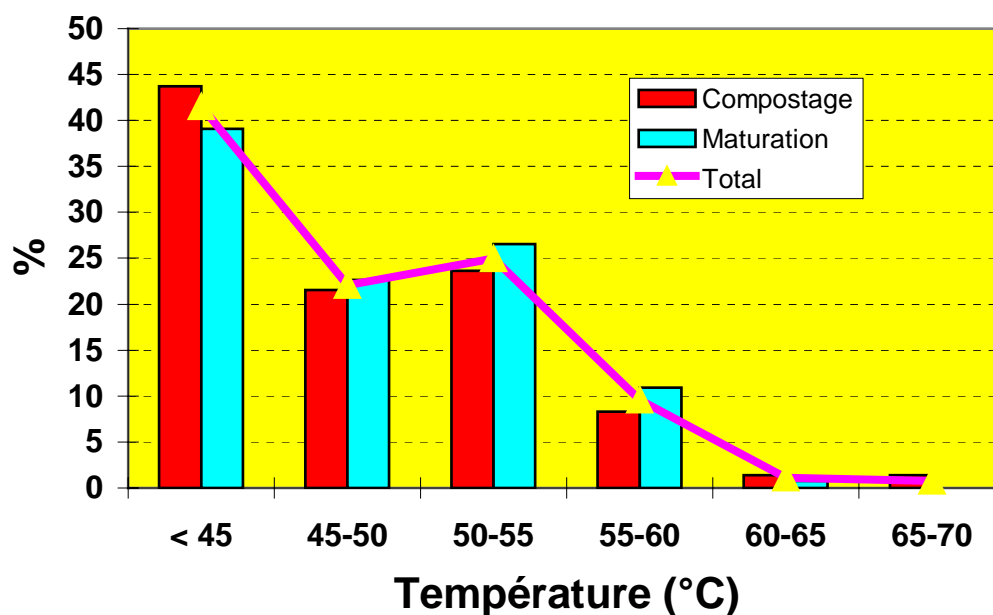
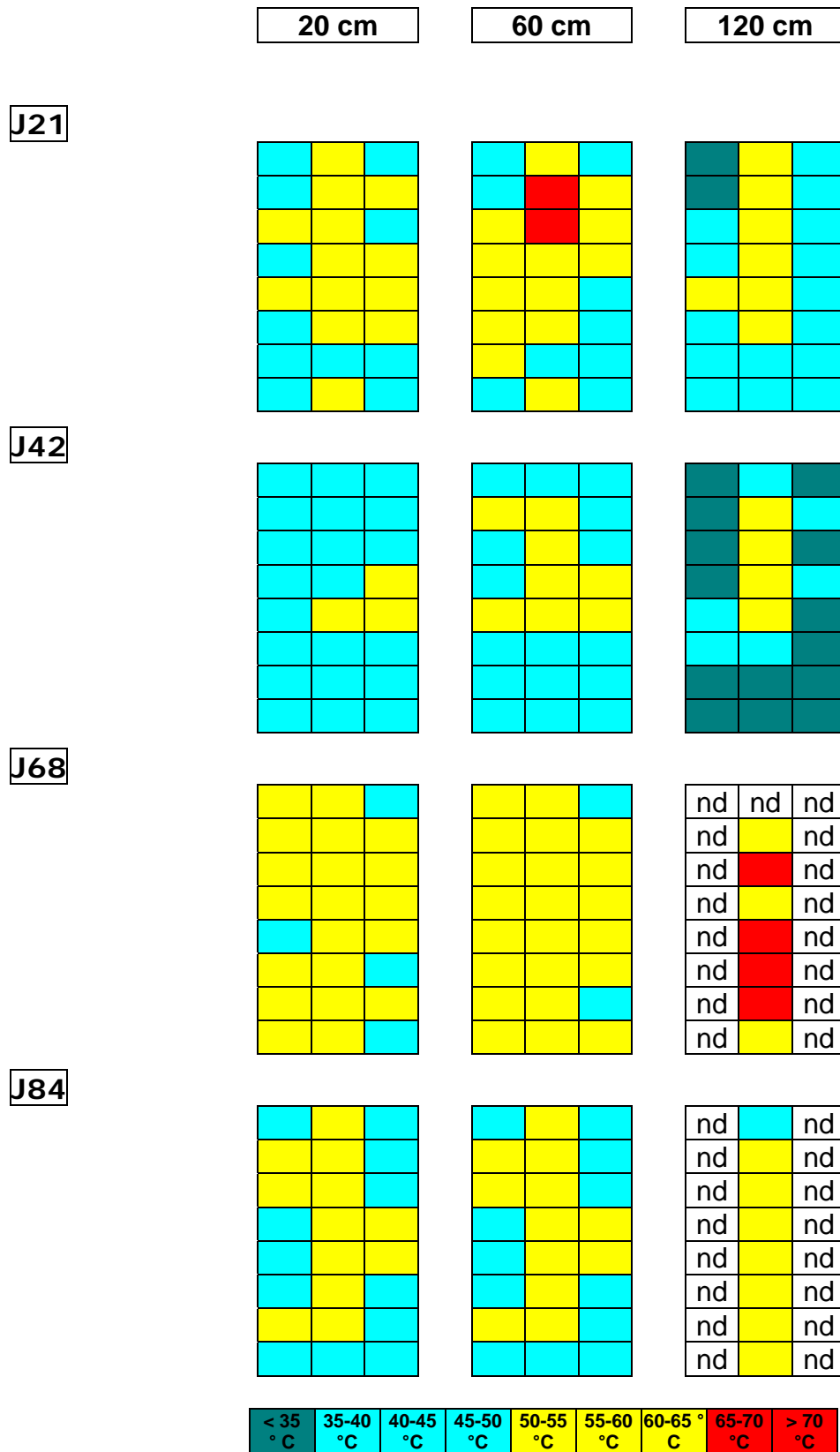


Figure 7 - Evolution de la température en fonction de la profondeur
(essai SILO VALID®)



2.3.5 Caractéristiques microbiologiques

L'évolution microbiologique des produits figure dans les tableaux 8 et 9. Le simple fait de mélanger des déchets de couvoir fortement contaminés avec du fumier moins contaminé permet de faire chuter dans de très grandes proportions le nombre de germes par gramme de matière (effet probable de l'élévation de la température). L'essentiel de l'hygiénisation est donc fait lors du mélange, et dans notre cas, en moins de 6 heures. L'hygiénisation se poursuit ensuite pendant 3 semaines, après que le mélange ait été placé dans le silo. Ensuite, il n'y a plus d'évolution. Le fait de déplacer le compost pour le mettre en andain à J84 n'a pas donné lieu à une recontamination.

Tableau 8 – Statut microbiologique à J0 (germes/g)

Essai SILO VALID®	Fumier	DC	Mélange
<i>E. coli</i>	< 10	360 000	2 000
<i>C. perfringens</i> sporulés	20	14 000	180
<i>C. perfringens</i> végétatifs	10	43 000	1 500
<i>Salmonelles</i>	absence/25 g	absence/25 g	absence/25 g
Œufs d' <i>Helminthes</i>	absence	absence	absence

Tableau 9– Evolution du statut microbiologique au cours des phases d'aération forcée et de maturation (germes/g)

Essai SILO VALID®	J0	J21	J42 A et (J42 B)	J63	J84
<i>E. coli</i>	2 000	< 10	< 10 (< 10)	< 10	< 10
<i>C. perfringens</i> sporulés	180	< 10	< 10 (60)	< 10	< 10
<i>C. perfringens</i> végétatifs	1 500	< 10	< 10 (300)	< 10	< 10
<i>Salmonelles</i>	abs/25 g	abs/25 g	abs/25 g	abs/25 g	abs/25 g
Œufs d' <i>Helminthes</i>	absence	absence	absence	absence	absence

2.3.6. Situation par rapport à des normes

Les résultats obtenus ont été comparés aux normes actuellement en vigueur

Norme NFU -44 051 (amendements organiques)

Le produit obtenu au final est conforme à tous les critères pris en compte dans cette norme, sauf pour le critère $N_{total}/MS \leq 3 \%$ qui s'établit à 3,27 %. Le produit final serait trop riche en azote. Ceci peut s'expliquer par le taux élevé de MS qui n'a pas favorisée les « pertes » par émissions gazeuses.

Norme NFU - 42 001 (engrais organiques)

Avec la norme actuelle (notamment, $N + P_2O_5 + K_2O \geq 3 \%$), le produit obtenu correspond à la norme « Engrais organiques », mais dans ce cas, il conviendrait de vérifier qu'il a également un comportement d'engrais dans le sol.

Norme NFU - 44 095 (composts contenant des matières agronomiques issues du traitement des eaux)

Bien que cette norme ne concerne pas les engrais organiques, on utilise souvent ses valeurs en éléments traces métalliques car il est probable que ces mêmes valeurs seront retenues dans la nouvelle norme « engrais organiques ». Dans tous les cas, les teneurs du compost obtenu, en cuivre et en zinc, sont inférieures aux seuils limites établis dans le cadre de cette norme (300 mg/kg de MS pour le cuivre et 600 mg/kg pour le zinc).

Préconisations ECOLABEL européen

L'ECOLABEL européen est défini par une décision de la commission du 28 août 2001 établissant les critères écologiques pour l'attribution du label écologique communautaire aux amendements pour sols et aux milieux de culture (JOCE du 12/09/2001). Pour le cuivre, le résultat est conforme à la préconisation (< 100 mg/kg de MS); il en est de même pour le zinc (< 300 mg/kg de MS).

Tableau 10 - Situation par rapport à la norme amendement organique (essai SILO VALID®)

Norme NF U 44 051	Compost de déchets de couvoir	Conformité
$N + P_2O_5 + K_2O < 7 \%$	6,92	Conforme
$N < 3 \%$ sur brut	2,42	Conforme
$P_2O_5 < 3 \%$ sur brut	2,80	Conforme
$K_2O < 3 \%$ sur brut	1,70	Conforme
$MO > 20 \%$ sur brut	44,6	Conforme
$MO > 30 \%$ sur sec	60,3	Conforme
$MO/Norg \leq 55$	24,6	Conforme
$Ntotal/MS \leq 3 \%$	3,27	Non conforme

Tableau 11 - Situation par rapport à la norme engrais organique (essai SILO VALID®)

Norme NF U 42 001	Compost de déchets de couvoir	Conformité
$N + P_2O_5 + K_2O \geq 3 \%$	6,92	Conforme
Norganique $\geq 1 \%$ sur brut	1,81	Conforme

Tableau 12 – Situation par rapport à d'autres normes (essai SILO VALID®)

	Compost de déchets de couvoir	Norme NF U 44 095		Préconisations ECOLABEL	
		Norme	Conformité	Norme	Conformité
Cuivre (mg/kg de MS)	26	300	Conforme	100	Conforme
Zinc (mg/kg de MS)	190	600	Conforme	300	Conforme

2.4. Conclusions

Cet essai de co-compostage d'un mélange déchets de couvoirs et de fumier de volailles en silo VALID® a permis de mettre en évidence un certain nombre de points :

- les enregistrements en continu montrent que la température de 70 °C est atteinte aussi bien à cœur (60 cm de profondeur) qu'en sub-surface (20 cm) ; par rapport à des essais antérieurs, le maintien à une température élevée n'a pas été aussi important du fait d'un taux de MS trop élevé à J0 ;
- la température s'est maintenue au-dessus de 60 °C pendant environ 21 jours soit 49 % du temps de la phase d'aération ;
- la composition physico-chimique du compost est conforme à la norme amendement organique actuelle (NFU 44 051) sauf pour le critère Ntotal/MS qui reste un peu au-dessus de la valeur attendue ; par ailleurs, les teneurs en cuivre et en zinc sont en dessous des préconisations de la norme NFU 44 095 (boues de station d'épuration) et des préconisations ECOLABEL ;
- le procédé aboutit à une perte de masse de l'ordre de 11 % ; pour l'azote, cette perte est de 9 % ;
- à la fin de la période d'essai (soit après 84 jours), les concentrations en germes contaminants sont soit nulles soit en dessous des seuils de détection ; ces résultats obtenus montrent que le compostage permet d'obtenir une bonne hygiénisation du produit

Dans ces conditions le co-compostage fumier/déchets de couvoir en silo de type VALID® apparaît comme une solution appropriée au traitement des déchets de couvoir.

3 - COMPOSTAGE AVEC UTILISATION D'UN INOCULUM BACTERIEN

L'objectif de cet essai réalisé en conditions de terrain est de vérifier l'efficacité du traitement par apport d'un inoculum bactérien spécifique dans le cas d'un co-compostage de déchets de couvoirs en mélange avec du fumier de volailles. Cet essai doit permettre de déterminer paramètres physicochimiques, les températures atteintes et les caractéristiques du produit final.

3.1. Dispositif mis en oeuvre

L'essai a été réalisé à partir d'un mélange de déchets de couvoirs (déchets non triés – œufs clairs, embryons morts, coquilles et membranes - en provenance du couvoir GRIMAUD à ROUSSAY (49) et de fumier de canes reproductrices (paille broyée rebouchonnée).

La production de déchets de couvoir est en moyenne de 2,5 tonnes/jour sur ce site, quantité qu'il convient de traiter au fur et à mesure de sa production.

Pour répondre à cette exigence d'utilisation des déchets de couvoir, le tas mis en compostage doit être suffisamment important et permet ainsi l'installation d'un véritable foyer fermentaire, le mélange a été constitué de la manière suivante :

- 70 tonnes de fumier de canes avec une matière sèche d'environ 40 %,
- 15 tonnes environ de déchets de couvoir avec une matière sèche d'environ 15 %,
- 3 ballots de paille de 500 kg destinés à prévenir d'éventuels écoulements latéraux.

Toutes les manipulations ont été réalisées sur une dalle bétonnée.

Pour réunir les 15 tonnes de déchets de couvoir, il a fallu 6 jours de production. Il a été procédé de la manière suivante:

- constitution d'un lit de fumier d'environ 50 tonnes en forme de légère cuvette,
- chaque jour, déversement de la production de déchets de couvoir (après pesée) sur ce lit de fumier,
- chaque jour pulvérisation sur les déchets de couvoir de la quantité utile de bactéries,
- recouvrement ensuite des déchets de couvoir par une petite couche de fumier de canes prélevé sur la fraction restante des 70 tonnes.

Dans ces conditions, la proportion de déchets de couvoirs a été de 17 % pour 81 % de fumier ; la paille rajoutée pour éviter les écoulements latéraux représente moins de 2 %.

A J0 les masses de chacun des produits mis en œuvre ont été déterminées par pesées de chacun des intrants.

A J0, le millefeuille fumier de canes-déchets de couvoir a été repris, pulvérisé à nouveau avec le cocktail bactérien, et passé avec la paille dans un épandeur à fumier fonctionnant à poste fixe. Le volume total de liquide apporté par la pulvérisation de l'inoculum bactérien est négligeable (de l'ordre de 50 litres), ce qui ne peut pas influencer sur le taux de matière sèche du mélange).

L'andain a été constitué sur une plate-forme bétonnée, sa hauteur maximale étant de 2 mètres.

L'andain est resté en place, sans aucun retournement pendant 6 semaines (de J0 à J42) à l'issue desquelles une pesée de tout le compost a été effectuée, avant remise en andain par simple bennage pour une phase de maturation de 6 semaines (de J43 à J84).

Parallèlement, il a été constitué un petit andain témoin d'une dizaine de tonnes environ, sans traitement bactérien et sans paille.

L'essai s'est déroulé du 26 Juillet (J0) au 6 Septembre 2005 (J42) pour la phase thermophile et du 7 Septembre au 18 Octobre 2005 (J84) pour la phase de maturation.

3.2. Mise en place en suivi de l'essai

3.2.1. Caractérisation de l'inoculum bactérien

Complexe bactérien constitué de 8 souches issues de 2 grandes familles de bactéries lactiques et de *Bacillus subtilis*. Ces souches sauvages, non OGM, sont sélectionnées en fonction de leurs critères métaboliques et de leur aptitude à se développer sur des milieux peu dégradés. Elles appartiennent toutes à la classification AFNOR IA, sans danger ni pour l'homme ni pour les animaux ni pour l'environnement. Ces souches sont déposées à la CNCM (Collection Nationale des Cultures de Microorganismes) sous l'égide du traité de Budapest. Elles sont la propriété exclusive de la société GBP-Environnement et commercialisées sous le nom de marque BACTIVOR®.

3.2.2. Caractérisation des produits utilisés

Le mélange mis à composter a été caractérisé, pour chacun de ses constituants et pour le mélange final, sur le plan :

- **de la composition chimique** : MS, MM, MO, Ntotal, N-NH₄, Norg, P₂O₅, K₂O, C, C/N,
- **du statut microbiologique** : flore aérobie mésophile, coliformes thermotolérants, streptocoques fécaux, anaérobies sulfite-réducteurs, entérobactéries, salmonelles, listéria, *Escherechia coli*, et œufs d'helminthes.

3.2.3 Modalités de suivi

3.2.3.1. Suivi des températures

L'andain a été équipé de 2 sondes thermocouples avec enregistrement en continu. Par ailleurs, à J13, J22, J42, J49 et J84 des mesures ponctuelles ont été faites à différentes profondeurs et à différents endroits de l'andain.

3.2.3.2. Analyses

A J0, J42 et J84 des prélèvements ont été faits à des fins d'analyses chimiques et microbiologiques.

A chaque fois, 6 échantillons ont été constitués (3 pour les analyses chimiques et 3 pour les analyses microbiologiques). Parmi ceux-ci 4 (2 en chimie et 2 en bactériologie) ont été envoyés au laboratoire pour analyses et 2 (1 en chimie et 1 en bactériologie) ont été stockés au congélateur en cas de besoin.

Les échantillons ont été constitués à partir de prélèvements du produit à différents endroits de l'andain et à différentes profondeurs. L'ensemble de ces prélèvements ont été regroupés et mélangés. Des divisions successives ont permis de déterminer les échantillons qui ont été adressés au laboratoire d'analyses.

Les différentes opérations réalisées à J0



Vue des produits avant mise en andain



Constitution de l'andain à l'aide d'un épandeur à fumier fonctionnant à poste fixe



Au moment de la reprise du tas constitué avant J0, on note un dégagement de vapeur indiquant que les fermentations ont déjà commencé



Andain constitué



Chargement pour pesée du mélange avant mise en andain

Les différentes opérations réalisées à J42



Vue de l'andain à J42



Vue de l'andain reconstitué à J42 après pesée par simple bennage (pas de passage à l'épandeur)



Aspect de l'andain en cours de curage



Aspect du produit témoin à J42 (sans utilisation de bactéries et sans mélange)



Mise en benne pour pesée ultérieure



Vues d'une sonde de contrôle et d'enregistrement de la température

Les différentes opérations réalisées à J84



Aspect de l'andain à J84



Aspect du compost à J84

3.3. Résultats

3.3.1. Composition du mélange de départ

Cet essai a été réalisé à partir de 86 140 kg de matières, résultat d'un mélange de :

- 14 640 kg de déchets de couvoirs (17 %),
- 70 000 kg de fumier de canes de reproduction (81,3%),
- 1 500 kg de paille (1,7 %).

Les caractéristiques du mélange qui en a résulté figurent dans le tableau 3. Le fumier de canes reproductrices est un fumier sec et très riche en éléments fertilisants. La fraction ammoniacale de l'azote représente 41,7 % de l'azote total. Le mélange s'avère suffisamment humide pour composter correctement.

3.3.2. Evolution de la composition des produits

L'évolution de la composition des produits figure dans le tableau 3. Après compostage et maturation, le produit gagne plus de 6 points de MS, et voit sa teneur en azote augmenter légèrement, passant de 1,11 à 1,20 % sur produit brut. La part d'azote sous forme ammoniacale est descendue à 30 % en 84 jours. On note par ailleurs une concentration en éléments non volatils, notamment en phosphore et en potasse. Globalement, l'essentiel de l'évolution du produit est réalisée au cours de la première phase correspondant à la phase de compostage proprement dite, phase thermophile.

3.3.3. Pertes de masse

Au cours de cet essai, la perte de masse globale a été de 18,8 %. Au cours de la phase de compostage, la perte totale de masse a été de 27,7 % ; par contre, au cours de la phase de maturation, on note une reprise de masse de 12,3 % due à un apport d'eau par le biais de la pluie. Malgré tout les pertes en eau sont importantes (28,3 %, ce qui correspond à environ 13 tonnes d'eau).

La pertes de masse de MS sont de 9,2 %, ce qui correspond à 3 679 kg sur les 39 883 présents au début de l'essai.

Tableau 13 – Evolution de la composition des produits (essai INOCULUM)

Essai INOCULUM	Produit BRUT			Produit SEC		
	J0	J42	J84	J0	J42	J84
MS (%)	46,3	58,15	52,6	46,3	58,2	52,6
MM (%)	20,7	25,5	22,7	44,6	43,9	43,2
MO (%)	25,7	28,2	29,9	55,4	48,5	56,8
N total (%)	1,11	1,21	1,20	2,41	2,09	2,29
N-NH ₄ (%)	0,47	0,33	0,37	1,00	0,56	0,69
N org (%)	0,82	0,89	0,84	1,76	1,53	1,60
N-NH ₄ /Ntot (%)	41,7	26,7	30,3	41,7	26,7	30,3
N org/Ntot (%)	73,1	73,3	69,7	73,1	73,3	69,7
P ₂ O ₅ (%)	1,05	1,40	1,60	2,27	2,41	3,04
K ₂ O (%)	0,97	1,50	1,60	2,08	2,58	3,04
Cu (mg/kg)			21			40
Zn (mg/kg)			110			209
C (%)			16,8			32,0
C/N			14			

Tableau 14 - Pertes apparentes de masse (%)

Essai INOCULUM	Phase de compostage	Phase de maturation	Global
Masse Totale	- 27,7	12,3	-18,8
MS	- 9,2	1,6	-7,8
Eau	-43,7	27,2	-28,3
MM	-10,7	0	-10,7
MO	-20,5	19,1	-5,4
N total	-21,2	11,4	-12,3
P ₂ O ₅	-3,6	28,4	23,7
K ₂ O	12,3	19,8	34,6

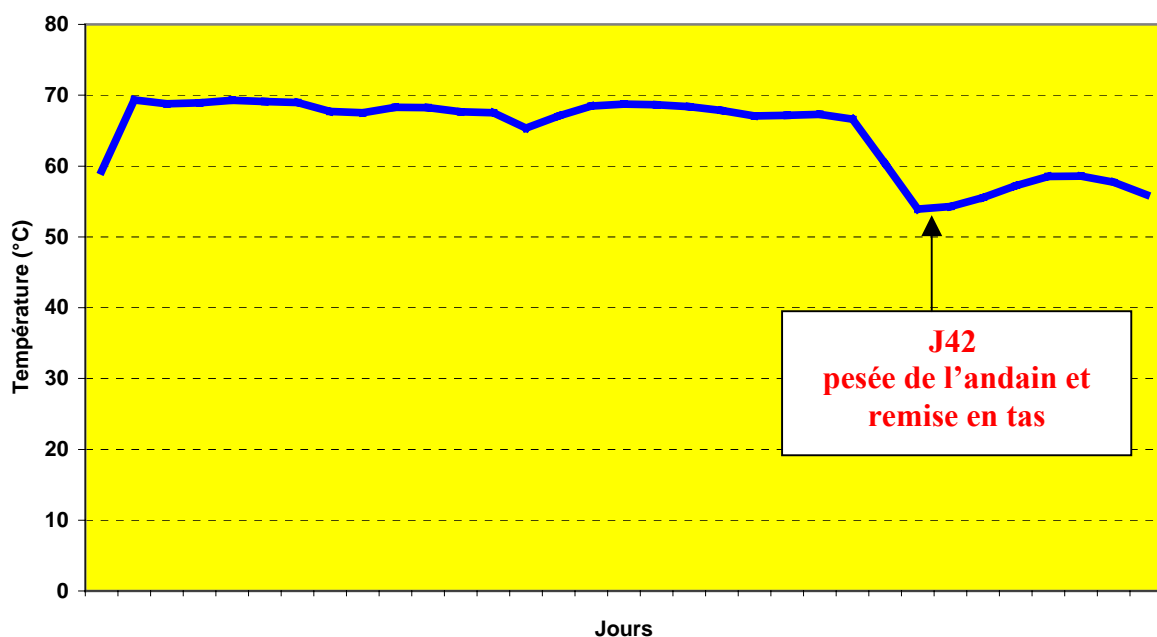
3.3.4. Evolution de la température

3.3.4.1. Température à cœur

La température à cœur (à 60 cm de profondeur) a fait l'objet d'un suivi en continu entre J13 et J44, soit sur 33 jours (les enregistrements n'ont pas pu être faits avant J13 et se sont interrompus à J44 suite à une panne technique).

Le température est très stable sur la période considérée. A J42, la baisse enregistrée correspond à la sortie de la sonde de l'andain pour faciliter les manipulations. La température moyenne a été de 65 °C, avec des extrêmes dans l'andain à 54 °C et 70 °C.

Figure 8 - Evolution de la température à cœur (60 cm de profondeur) entre J13 et J44 (essai INOCULUM)



Pendant 24 jours (soit 72,8 % du temps considéré), la température a été comprise entre 65 et 70 °C ; la température a été supérieure à 70 °C pendant 7 heures seulement au début de la phase d'enregistrement.

Tableau 15 – Nombre de jours à température élevée au cours de la phase thermophile entre J13 et J44 au cœur de l'andain à 60 cm de profondeur (essai INOCULUM)

°C	Nombre de jours	Nombre d'heures	%
< 50	0,5	11	1,4
50-55	2,0	49	6,2
55-60	6,0	144	18,1
60-65	0,2	5	0,6
65-70	24,1	578	72,8
> 70	0,3	7	0,9
TOTAL	33,1	794	100,0

Figure 9 - Répartition du temps par classe de température entre J13 et J44 à 60 cm de profondeur (essai INOCULUM)

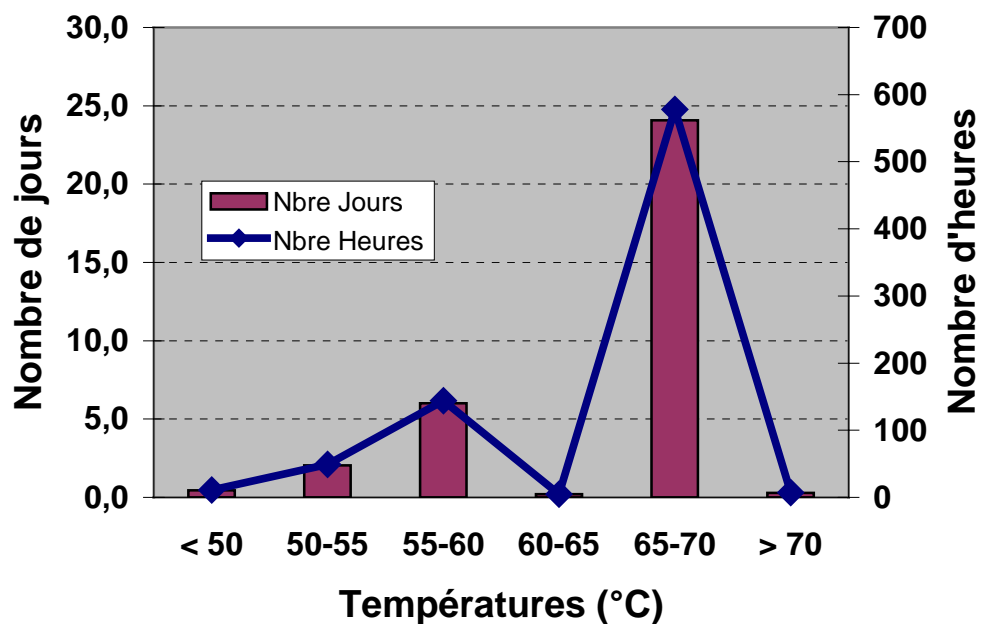
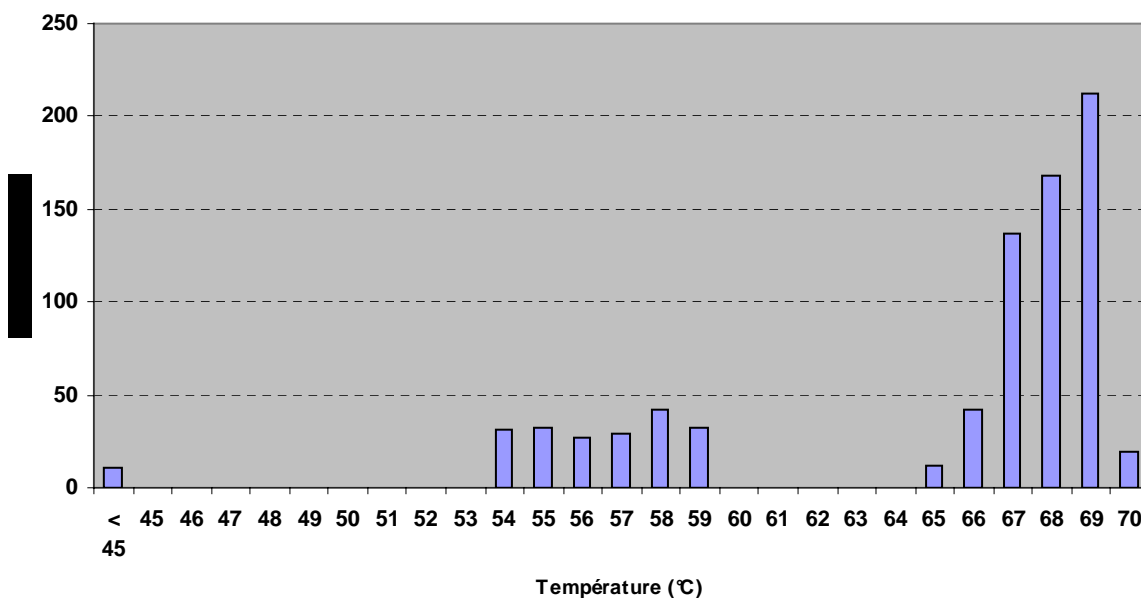


Figure 10 – Diagramme temps/température (60 cm de profondeur) entre J13 et J44 (essai INOCULUM)

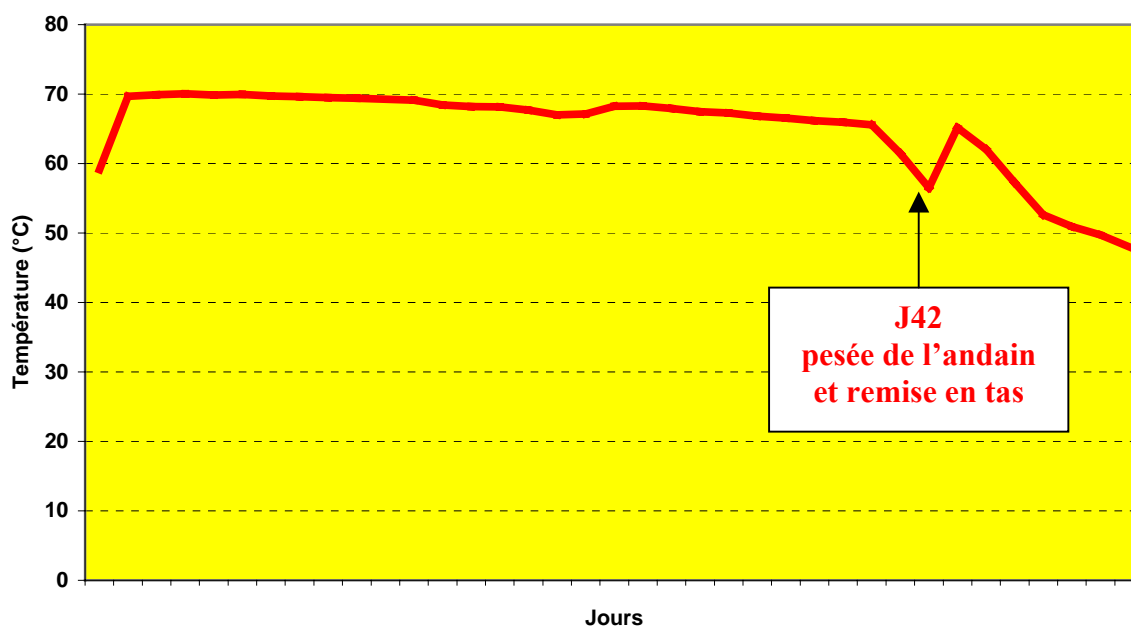


3.3.4.2. Température de sub-surface

La température de sub-surface (à 20 cm de profondeur) a fait l'objet d'un suivi en continu entre J13 et J50, soit sur 37 jours (les enregistrements n'ont pas pu être faits avant J13 et se sont interrompus à J50 suite à une panne technique).

Le température est très stable sur la période considérée. A J42, la baisse enregistrée correspond à la sortie de la sonde de l'andain pour faciliter les manipulations. La température moyenne a été de 64,7 °C, avec des extrêmes dans l'andain à 44 °C et 70 °C. Il n'existe pas de grande différence entre le profil de température en sub-surface et celui obtenu en profondeur.

Figure 11 - Evolution de la température de sub-surface (20 cm de profondeur) entre J13 et J50 (essai INOCULUM)



Pendant près de 28 jours (soit les $\frac{3}{4}$ du temps considéré), la température a été comprise entre 65 et 70 °C ; la température a été supérieure à 70 °C pendant 27 heures au début de la phase d'enregistrement.

Tableau 16 – Nombre de jours à température élevée au cours de la phase thermophile entre J13 et J50 et en sub-surface à 20 cm de profondeur (essai INOCULUM)

°C	Nombre de jours	Nombre d'heures	%
< 50	2,6	63	7,1
50-55	2,5	60	6,7
55-60	1,1	26	2,9
60-65	2,0	48	5,4
65-70	27,9	669	74,9
> 70	1,1	27	3,0
TOTAL	37,2	893	100,0

Figure 12 - Répartition du temps par classe de température entre J13 et J50 à 20 cm de profondeur (essai INOCULUM)

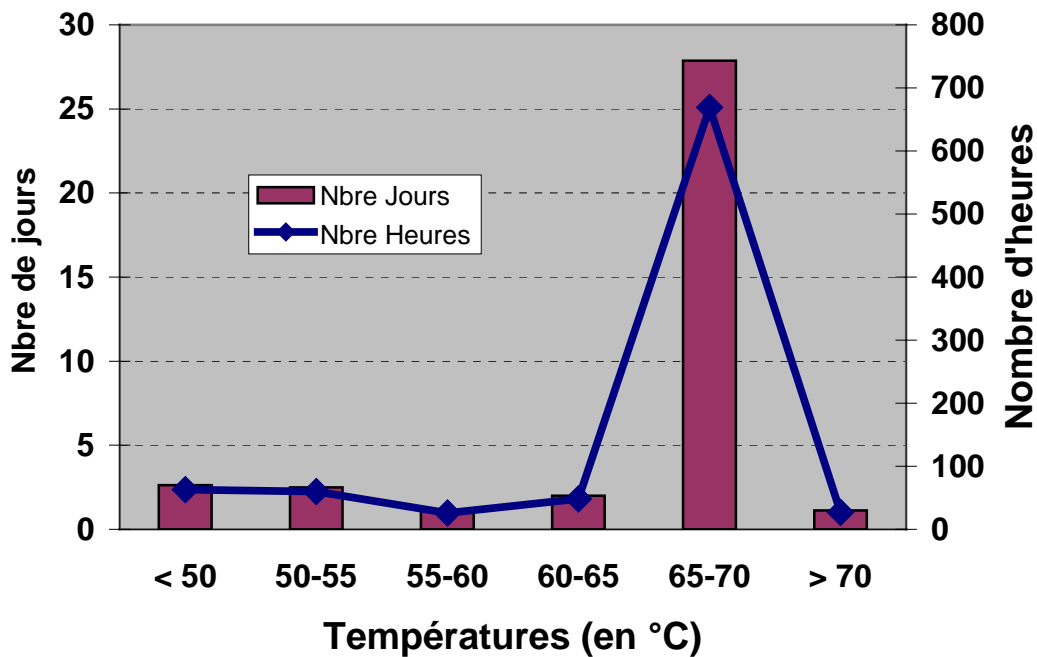
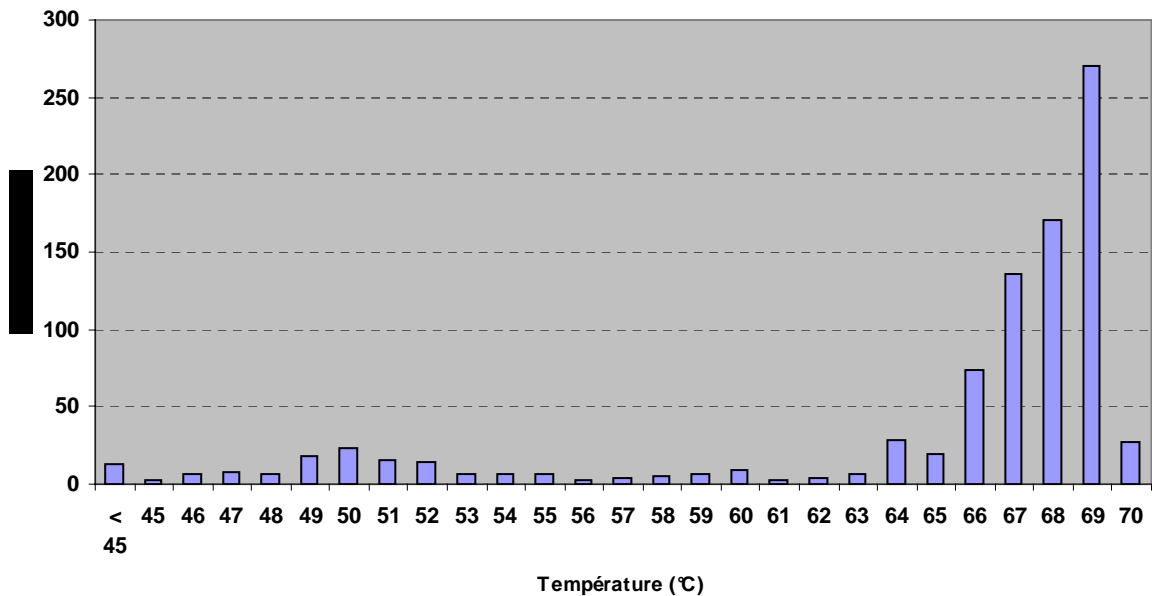


Figure 13 – Diagramme temps/température (20 cm de profondeur) entre J13 et J50 (essai INOCULUM)



3.3.4.3. Gradient thermique

La prise de température a été faite à diverses reprises en plusieurs points de l'andain et à différentes profondeurs.

Globalement, l'andain s'est maintenu à une température au moins égale à 50 °C, sauf en des points particuliers (fond ou extrémité d'andain, ou encore à 20 cm de profondeur) où la

température était entre 45 et 50 °C. Sur les 113 points de mesure, 65 (57,6 %) dépassaient 60 °C : 43 sur 80 en phase de compostage (soit 53,7 %) et 22 sur 33 en phase de maturation (soit 66,7 %).

La température moyenne enregistrée au cours de la phase de compostage est de 60 °C ; elle baisse à 51,3 °C au cours de la phase de maturation.

Tableau 17 – Répartition des points de mesure selon la classe de température (en %)

°C	Phase de compostage (N = 80)	Phase de maturation (N = 33)	TOTAL (N = 113)
45-50	6,2	0	4,4
50-55	10	12,1	10,6
55-60	30	21,2	27,4
60-65	31,2	33,3	31,9
65-70	22,5	33,3	25,7

Figure 14 – Répartition des points de mesure selon la classe de température (en %)

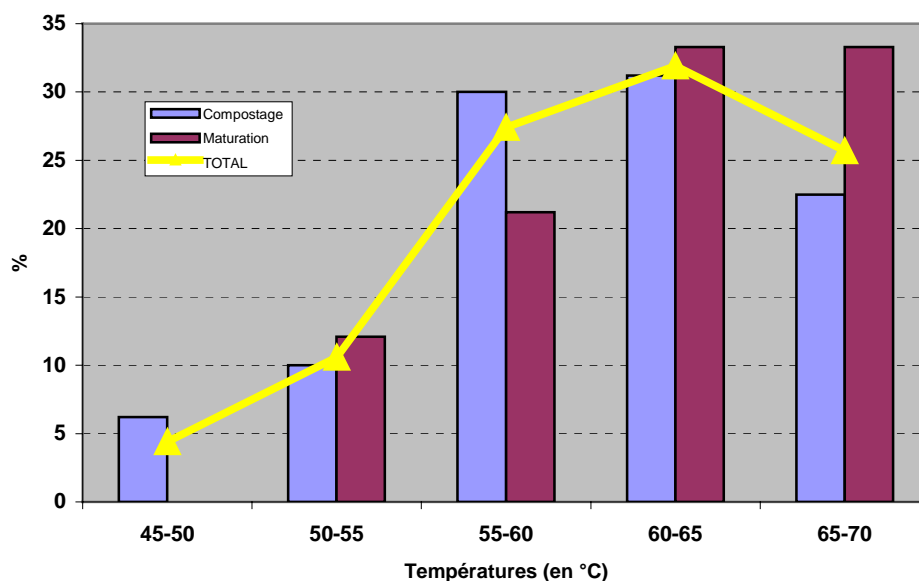
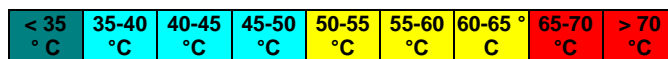
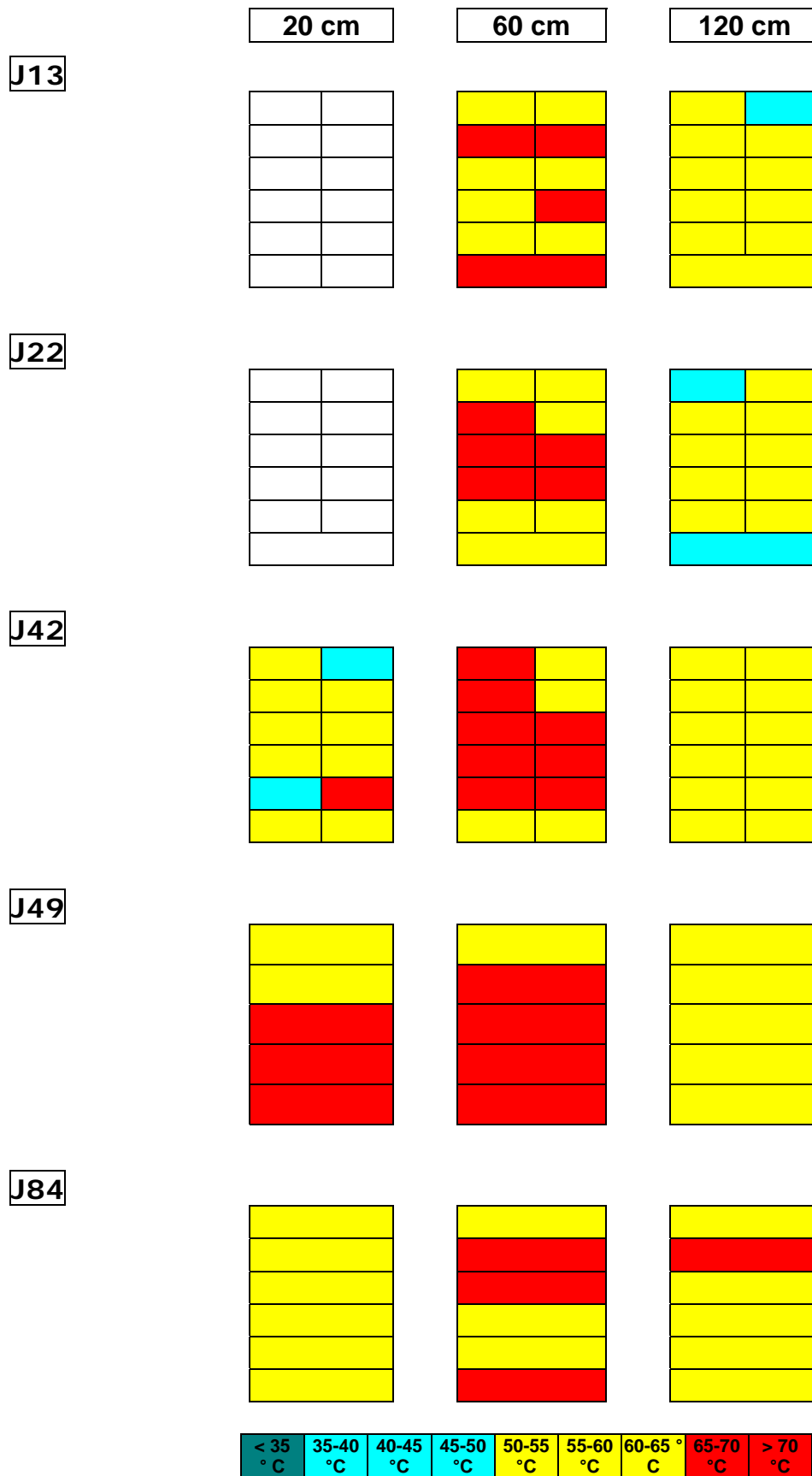


Figure 15 - Evolution de la température en fonction de la profondeur



3.3.5. Situation du témoin

La proportion de déchets de couvoirs dans le lot témoin est identique à celle de l'essai soit 17 %. Le lot témoin ne bénéficie pas d'apport de l'inoculum bactérien, ni du brassage à J0.

A J42, la température de ce lot témoin était de 45 ° C vs 65°C dans l'essai.

A ce stade le produit issu de l'essai présente une couleur brune, homogène, sans qu'il soit possible de déterminer les constituants de départ, avec une odeur d'humus, alors que dans le produit témoin, les différentes couches de constituants sont encore bien visibles (les déchets de couvoir ne sont pas décomposés) et l'odeur dégagée est pestilentielle.

3.3.6. Situation par rapport à des normes

Les résultats obtenus ont été comparés aux normes actuellement en vigueur

Norme NFU -44 051 (amendements organiques)

Le produit obtenu au final est conforme à tous les critères pris en compte dans cette norme.

Tableau 18 - Situation par rapport à la norme amendement organique (essai INOCULUM)

Norme NF U 44 051	Compost de déchets de couvoir	Conformité
N + P₂O₅ + K₂O < 7 %	4,40	Conforme
N < 3 % sur brut	1,20	Conforme
P₂O₅ < 3 % sur brut	1,60	Conforme
K₂O < 3 % sur brut	1,60	Conforme
MO > 20 % sur brut	29,9	Conforme
MO > 30 % sur sec	56,8	Conforme
MO/Norg ≤ 55	35,6	Conforme
Ntotal/MS ≤ 3 %	2,29	Conforme

Norme NFU - 42 001 (engrais organiques)

Avec la norme actuelle (notamment, N + P₂O₅ + K₂O ≥ 3 %), le produit obtenu ne correspond pas à la norme « Engrais organiques », du fait de sa trop faible teneur en azote organique (0,84 % au lieu de 1 % attendu).

Norme NFU - 44 095 (composts contenant des matières agronomiques issues du traitement des eaux)

Bien que cette norme ne concerne pas les engrais organiques, on utilise souvent ses valeurs en éléments traces métalliques car il est probable que ces mêmes valeurs seront retenues dans la nouvelle norme « engrais organiques ». Dans tous les cas, les teneurs du compost obtenu, en cuivre et en zinc, sont inférieures aux seuils limites établis dans le cadre de cette norme (300 mg/kg de MS pour le cuivre et 600 mg/kg pour le zinc).

Préconisations ECOLABEL européen

L'ECOLABEL européen est défini par une décision de la commission du 28 août 2001 établissant les critères écologiques pour l'attribution du label écologique communautaire aux amendements pour sols et aux milieux de culture (JOCE du 12/09/2001). Pour le cuivre, le résultats est conforme à la préconisation (< 100 mg/kg de MS); il en est de même pour le zinc (< 300 mg/kg de MS).

Tableau 19 - Situation par rapport à la norme engrais organique (essai INOCULUM)

Norme NF U 42 001	Compost de déchets de couvoir	Conformité
N + P₂O₅ + K₂O ≥ 3 %	4,40	Conforme
Norganique ≥ 1 % sur brut	0,84	Non conforme

Tableau 20 – Situation par rapport à d'autres normes (essai INOCULUM)

	Compost de déchets de couvoir	Norme NF U 44 095		Préconisations ECOLABEL	
		Norme	Conformité	Norme	Conformité
Cuivre (mg/kg de MS)	21	300	Conforme	100	Conforme
Zinc (mg/kg de MS)	110	600	Conforme	300	Conforme

3.3.7. Caractéristiques microbiologiques

L'évolution microbiologique du produit est présentée dans le tableau 21. A J0, la flore aérobie mésophile est à un niveau normal, compte tenu de la qualité des constituants du mélange. Les contaminants sont relativement importants, mais en relation avec l'origine des constituants. On notera l'absence de salmonelles et d'œufs d'helminthes.

Par la suite, l'action combinée de l'inoculum bactérien et de la montée en température au cours de la phase de compostage entraîne une modification importante du nombre de germes présents à l'origine. La flore aérobie mésophile se maintient à un niveau élevé du fait de la modification biochimique du milieu sous l'action de l'inoculum bactérien ; il apparaît une adaptation de cette flore aux nouvelles conditions créées. Les contaminants, et en particulier les coliformes et les anaérobies, passent sous la barre des 10 germes/g (limite de détection) mais il apparaît encore des streptocoques et des entérobactéries, provenant sans doute d'une recontamination lors de la prise d'échantillons. A J84, on note également une réapparition des coliformes et un léger accroissement des entérobactéries, en relation probable avec la recontamination. Les concentrations atteintes par ces germes sont soit en dessous des seuils de détection soit trop faibles pour exercer un pouvoir pathogène.

Remarque

Ces résultats s'expliquent probablement par le fait que les différents prélèvements sont regroupés dans un même récipient puis déversés à même la dalle bétonnée en vue de leur mélange pour une bonne homogénéisation (il est impossible de faire autrement, dans la mesure où les divers prélèvements représentent une masse supérieure à 100 kg). Dans ces conditions, la dalle peut contaminer les échantillons. Par ailleurs, l'environnement lui-même de la plate-forme d'essai au moment des manipulations est une source potentielle de recontamination.

Les résultats obtenus montrent que le compostage permet d'obtenir une bonne hygiénisation du produit sans pour autant que le niveau « zéro germe » soit atteint, ce qui apparaît impossible dans nos conditions expérimentales.

Tableau 21 – Evolution du statut microbiologique (germes/g)

	JO	J42			J84		
	Mélange	Echantillon A	Echantillon B	Moyenne	Echantillon A	Echantillon B	Moyenne
<i>Flore aérobic mésophile</i>	7 400 000	5 100 000	5 700 000	5 400 000	7 200 000	5 300 000	6 250 000
<i>Coliformes thermotolérants</i>	5 000	< 10	< 10	< 10	30	20	25
<i>Streptocoques fécaux</i>	16 000	310	330	320	320	90	205
<i>Anaérobies sulfito-réducteurs</i>	3 200	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
<i>Entérobactéries</i>	12 000	10	20	25	60	20	40
<i>Salmonelles</i>	abs/25 g	abs/25 g	abs/25 g	abs/25 g	abs/25 g	abs/25 g	abs/25 g
<i>Listeria</i>	Présence/25 g	abs/25 g	abs/25 g	abs/25 g	abs/25 g	abs/25 g	abs/25 g
<i>E. coli</i>	80	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
<i>Oufs d'Helminthes</i>	absence	absence	absence	absence	absence	absence	absence

3.3.8. Odeurs

Le mélange déchets de couvoirs/fumier/inoculum bactérien perd très rapidement son caractère malodorant. L'action métabolique de l'inoculum limite la production de composés soufrés et ammoniacaux ; les bactéries utilisent préférentiellement les acides gras volatils comme nutriments énergétiques par rapport à des molécules plus lourdes. De ce fait, les émissions malodorantes liées habituellement à ces molécules sont considérablement diminuées.

Lors des phases thermophile et de maturation, en l'absence de manipulation, on ne décèle pas d'odeur autour du tas. Lors des manipulations à J42, on note une très légère libération d'ammoniac et l'absence d'odeur nauséabonde. Le produit refroidi a une odeur d'humus. A *contrario*, le produit témoin du même âge présente une odeur pestilentielle.

3.4. Conclusions

Cet essai de co-compostage d'un mélange déchets de couvoirs/fumier/inoculum bactérien a permis de mettre en évidence un certain nombre de points :

- les enregistrements en continu montrent que la température de 70 °C est atteinte aussi bien à cœur (60 cm de profondeur) qu'en sub-surface (20 cm) ;
- la température s'est maintenue au-dessus de 60 °C pendant environ 25 jours soit 75 % du temps d'enregistrement ;
- la composition physico-chimique du compost est conforme à la norme amendement organique actuelle (NFU 44 051) : par ailleurs, les teneurs en cuivre et en zinc sont en dessous des préconisations de la norme NFU 44 095 (boues de station d'épuration) et des préconisations ECOLABEL ;
- le procédé aboutit à une perte de masse de l'ordre de 20 % ; pour l'azote, cette perte est de 12 % ;
- à la fin de la période d'essai (soit après 84 jours), les concentrations en germes contaminants sont soit en dessous des seuils de détection soit trop faibles pour exercer un pouvoir pathogène ; les résultats obtenus montrent que le compostage permet d'obtenir une bonne hygiénisation du produit sans pour autant que le niveau « zéro germe » soit atteint, ce qui apparaît impossible dans nos conditions expérimentales ;
- le test au cresson permettant de garantir la non phytotoxicité du compost s'est révélé positif.

Dans ces conditions le co-compostage fumier/déchets de couvoir, avec utilisation d'un inoculum bactérien, apparaît comme une solution appropriée au traitement des déchets de couvoir.

4 – TRAITEMENT THERMIQUE INDIVIDUEL PAR CHAULAGE

L'objectif de cet essai réalisé en conditions de terrain était de vérifier l'efficacité du traitement par la chaux vive de déchets de couvoirs. Cet essai devait permettre de déterminer les paramètres physicochimiques, les températures atteintes et les caractéristiques du produit final.

4.1. Dispositif mis en oeuvre

L'essai a été réalisé à partir des déchets de couvoirs non triés en provenance du couvoir BOYE, situé à LA BOISSIERE EN GATINE (79).

Les déchets de couvoirs, collectés préalablement pendant une semaine de façon à obtenir une masse suffisante, ont été mélangés avec de la chaux vive dans la proportion d'environ 7 %. Le mélange a été réalisé au godet sur une plate-forme bétonnée.

Le tas traité à la chaux est resté en place, sans aucun retournement ni manipulation, pendant 3 semaines.

L'essai s'est déroulé entre le 26 avril 2006 (J0) et le 16 mai 2006 (J21).

4.2. Mise en place du suivi de l'essai

4.2.1. Caractérisation des produits utilisés

Les déchets de couvoir ont été caractérisés sur le plan de :

- **de la composition chimique** : MS, MM, MO, Ntotal, N-NH₄, Norg, P₂O₅, K₂O, C, C/N,
- **du statut microbiologique** : salmonelles, listeria, *Escherechia coli*, *Clostridium perfringens* et œufs d'helminthes.

4.2.2. Modalités de suivi

4.2.1. Suivi des températures

Dans les minutes qui ont suivi la constitution du mélange, le température a été relevée de manière ponctuelle, plusieurs fois au cours de la première heure.

Ensuite, 3 sondes à enregistrement continu ont été installées sur une profondeur allant de 15 à 30 cm (le matériel disponible ne permettait pas d'installer une sonde au cœur du tas, car il y avait un risque quasi certain de détérioration du câble de connexion entre la sonde et l'enregistreur). L'une des sondes enregistre une mesure par minute, les 2 autres une mesure par heure. Le dispositif est resté en place pendant les 3 semaines de l'essai.

4.2.2. Pesées

Le poids de chacun des constituants du mélange a été établi à J0. A J21, la totalité du produit obtenu a fait l'objet d'une nouvelle pesée. Les pesées ont été faites à l'aide de pesons mobiles de la marque PIA SYSTEM (précision : ± 10 kg). Les données chiffrées ont été utilisées pour calculer le bilan matière.

4.2.3. Analyses

Les analyses ont été faites sur les paramètres physico-chimiques et microbiologiques :

- à J0 avant mélange,
- à J0 après mélange,
- à J21.

A chaque fois, 4 échantillons ont été constitués (2 pour les analyses chimiques et 2 pour les analyses microbiologiques). Parmi ceux-ci 2 (1 en chimie et 1 en bactériologie) ont été envoyés au laboratoire pour analyses et 2 (1 en chimie et 1 en bactériologie) stockés au congélateur en cas de besoin.

Les échantillons ont été constitués à partir de plusieurs prélèvements du produit à différents endroits et à différentes profondeurs. L'ensemble de ces prélèvements ont été regroupés et mélangés. Des divisions successives ont permis de déterminer les échantillons envoyés au laboratoire d'analyses.

Les différentes opérations réalisées à J0



Vue des produits avant traitement



Nature des déchets de couvoir

Les différentes opérations réalisées à J0 (suite)



Pesée des déchets de couvoir avant traitement



Mélange au godet de la chaux et des déchets de couvoir



Ajout d'un sac de 500 kg de chaux vive



Contrôle de la température dans les minutes qui suivent le mélange



Disposition de la chaux à proximité immédiate du tas de déchets



Equipement pour le suivi de la température en continu

4.3. Résultats

4.3.1. Composition du mélange de départ

Cet essai a été réalisé à partir de 7 870 kg de matières, résultat d'un mélange de :

- 7 370kg de déchets de couvoirs (93,6 %),
- 500 kg de chaux vive (6,4 %).

Les caractéristiques du mélange qui en a résulté figurent dans le tableau 3. Les déchets de couvoir se caractérisent par un taux de matière sèche assez élevé. Il en est de même pour la teneur en azote et en calcium. Le rapport C/N est très bas.

Tableau 22 – Evolution de la composition des produits (essai CHAULAGE)

Essai CHAULAGE	Produit BRUT			Produit SEC		
	J0		J21	J0		J21
	Avant chaulage	Après chaulage		Avant chaulage	Après chaulage	
MS (%)	71,4	70,3	75,3	71,4	70,3	75,3
MM (%)	61,5	60,5	65,1	86,1	86,1	86,5
MO (%)	9,9	9,8	10,2	13,9	13,9	13,5
N total (%)	2,48	1,54	1,28	3,47	2,19	1,70
N-NH ₄ (%)	0,32	0,12	0,09	0,45	0,17	0,12
N org (%)	2,16	1,42	1,18	3,03	2,02	1,57
N-NH ₄ /Ntot (%)	12,9	7,8	7,3	12,9	7,8	7,3
N org/Ntot (%)	87,1	92,2	92,2	87,1	92,2	92,2
P ₂ O ₅ (%)	0,33	0,34	0,43	0,46	0,48	0,57
K ₂ O (%)	0,14	0,19	0,16	0,20	0,27	0,21
CaO (%)	35,3	34,4	38,0	49,4	48,9	50,5
Cu (mg/kg)	2,4	1,7	2,3	3	2	3
Zn (mg/kg)	10	8,4	17	14	12	23
C (%)	5,9	6,2	6,7	8,3	8,8	8,9
C/N	2,4	3,2	4,0			

4.3.2. Evolution de la composition des produits

4.3.2.1. Au cours du mélange déchets/chaux

L'évolution de la composition des produits figure dans le tableau 3. La principale évolution concerne l'azote. En effet, en quelques minutes, on passe d'un taux de 2,58 % à un taux de 1,54 %, soit un recul de 40 %. La fraction d'azote ammoniacale passe dans le même temps de 12,9 à 7,8 %, soit également une diminution de 40 %. Cette perte d'azote correspond aux dégagements gazeux importants observés au cours du mélange.

4.3.2.2. Au cours des 3 semaines de l'essai

Au cours de cette période, le produit gagne 4 points de matière sèche et atteint 75,3 %. Le taux d'azote total continue de baisser et s'établit à 1,28 %, soit une nouvelle diminution de près de 17 %. Le taux d'azote ammoniacal a lui aussi continuer à baisser, mais dans une moindre proportion (6,4 %). On peut donc estimer que, globalement, les pertes d'azote par volatilisation sont beaucoup moins importantes pendant la phase de stockage que pendant la phase de mélange : 22 % contre 78 %. Pour les éléments non volatils, on note une augmentation de la teneur.

4.3.3. Pertes de masse

Au cours de cet essai, la perte de masse globale est de 11,1 %. Les pertes en eau sont importantes (26 %), de même que les pertes en azote (26,1 %). Il y a peu de pertes de matières organiques (7,4 %).

Tableau 23 - Pertes apparentes de masse (%)

Essai CHAULAGE	Global
Masse Totale	- 11,1 %
MS	- 4,7 %
Eau	- 26,0 %
MM	- 4,3 %
MO	- 7,4 %
N total	- 26,1 %
P₂O₅	- 12,5 %
K₂O	-25,1 %
CaO	- 1,7 %
Cu	- 20,3 %
Zn	+ 80,0 %

4.3.4. Evolution de la température

4.3.4.1. Au cours des premières 24 heures

La température à cœur (environ 60 cm de profondeur) a fait l'objet d'un suivi discontinu au cours de la première heure. 4 minutes après la fin de l'opération de mélange, la température est de 40 °C. Les 50 °C sont atteints en 20 minutes et les 60 °C en 50 minutes.

La température de sub-surface (entre 15 et 30 cm de profondeur) a fait l'objet d'un suivi et d'un enregistrement toutes les minutes pendant les 24 heures qui ont suivi le mélange des déchets de couvoir avec la chaux vive. La cinétique de montée en température est moins rapide qu'à cœur, probablement du fait de la température extérieure de 16 °C. La température maximale (58,5 °C) est atteinte en 1 heure. Ensuite la température va décroître régulièrement, pour repasser sous la barre des 50 °C au bout de 19 heures.

Figure 16 - Evolution de la température à cœur (60 cm de profondeur) au cours de la première heure (essai CHAULAGE)

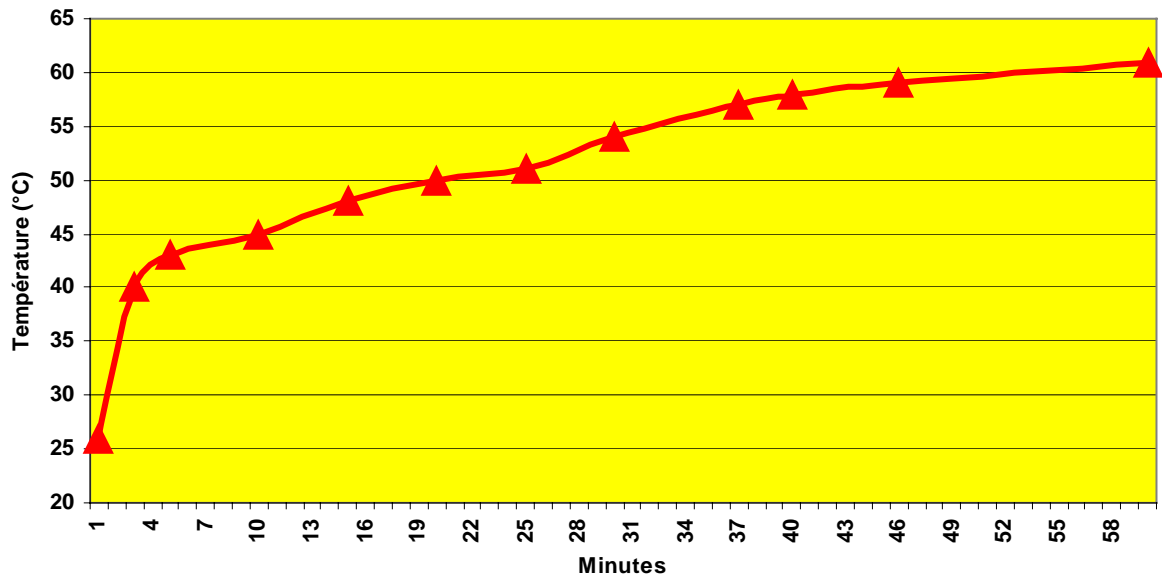
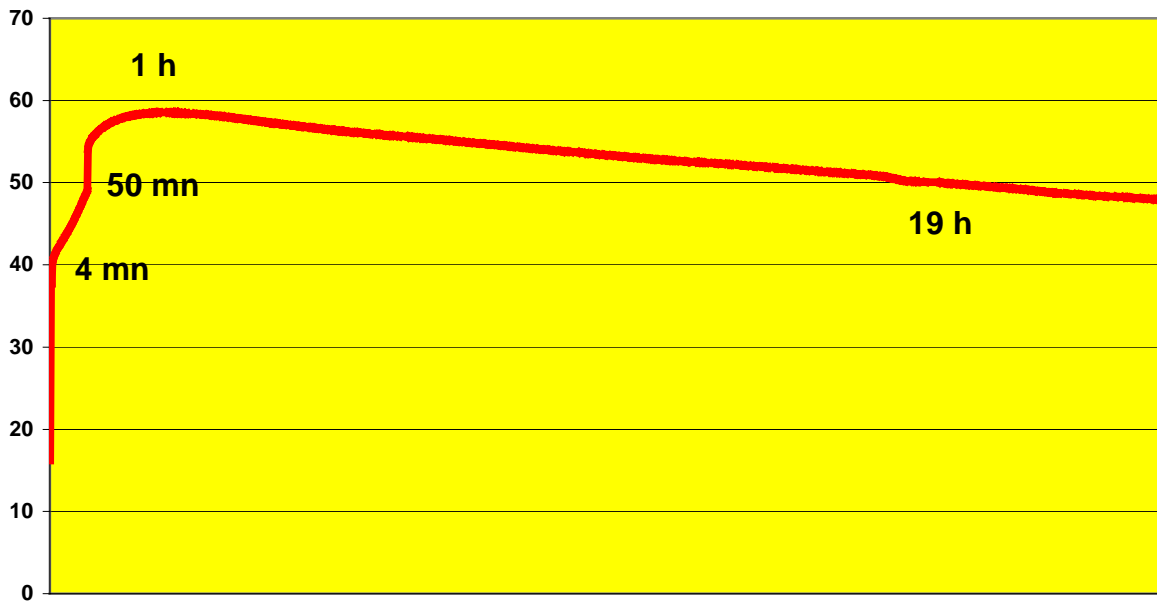


Figure 17 - Evolution de la température de sub-surface au cours de 24 premières heures

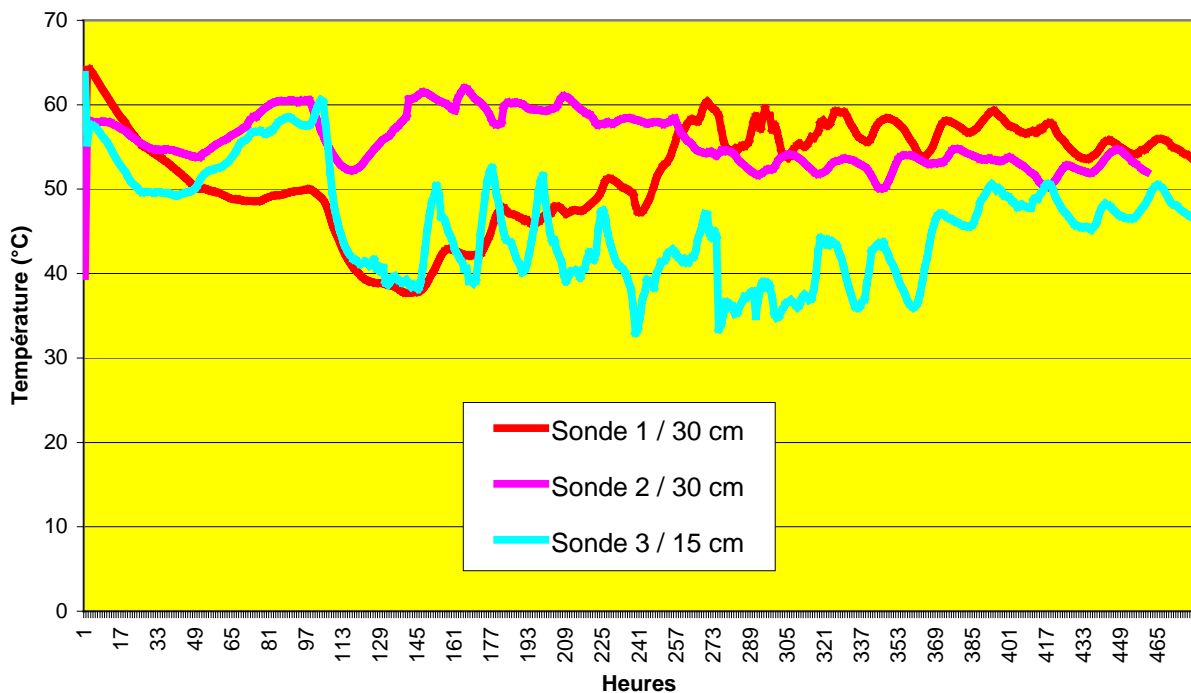


4.3.4.2. Au cours des 3 semaines de l'essai

La température moyenne des 2 sondes placées à 30 cm de profondeur a été de 52 et 56 °C, tandis que pour la sonde placée à 15 cm, la moyenne a été de 46 °C. Pour ces 3 sondes, la température maximale atteinte a été respectivement de 64, 62 et 64 °C.

La figure 3 nous montre comment la température est montée très vite au-dessus de 60 °C, en ne s'y maintenant que quelques heures (4 à 7 heures), pour redescendre ensuite à 50 °C en l'espace de 2 à 4 jours. Par la suite, on note une remontée sur 2 des sondes. La sonde placée à 15 cm est plus sensible aux variations quotidiennes (en lien probablement avec les conditions météorologiques) que celles placées plus en profondeur. Après une douzaine de jours, les 2 sondes à 30 cm ont un comportement similaire et fluctuent autour de la valeur de 55 °C.

Figure 18 - Evolution de la température de sub-surface (15-30 cm) en 20 jours



3.4.3. Répartition du temps en fonction de la température

A 15 cm de profondeur, la température a dépassé 60 °C pendant 4 heures ; la majorité du temps (78,5 %, soit 15,7 jours), la température enregistrée a été en-dessous de 50 °C.

A 30 cm de profondeur, la température a dépassé 60 °C pendant 7 heures. La majorité du temps (62,5 % soit 12,5 jours), la température a été comprise entre 50 et 55 °C.

Par ailleurs, sur des traitements antérieurs, il a été constaté que la température à cœur était de 47 °C au bout de 2 semaines, 38 ° après 1 mois et 25 ° après 2 mois.

Tableau 24 – Nombre de jours à température élevée (essai CHAULAGE)

°C	Sonde à 15 cm de profondeur			Sondes à 30 cm de profondeur		
	Nombre de jours	Nombre d'heures	%	Nombre de jours	Nombre d'heures	%
< 50	15,7	377	78,5	1,7	40	8,3
50-55	2,2	53	11,0	12,5	300	62,5
55-60	1,9	46	9,6	5,5	133	27,7
60-65	0,2	4	0,8	0,3	7	1,5
TOTAL	20	480	100,0	20	480	100,0

Figure 19- Répartition du temps par classe de température (essai CHAULAGE)

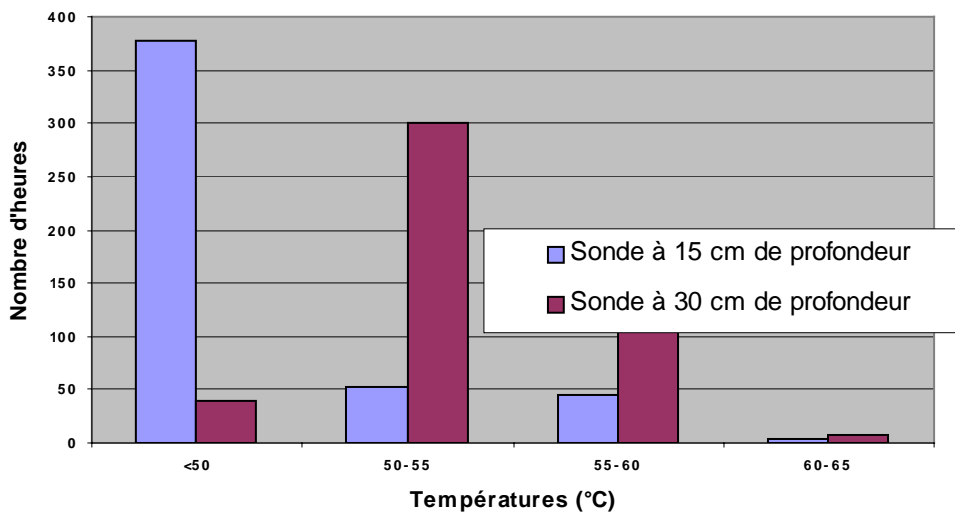
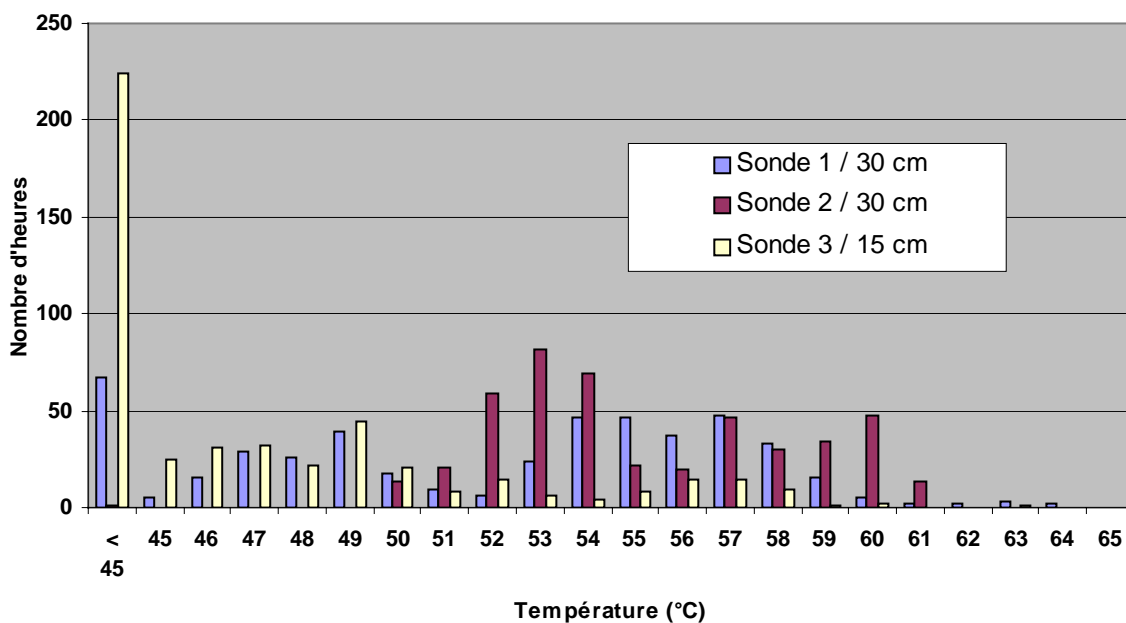


Figure 20 – Diagramme temps/température moyen (sub-surface) entre J0 et J20 (essai CHAULAGE)



4.3.5. Situation par rapport à des normes

Les résultats obtenus ont été comparés aux normes actuellement en vigueur

Norme NFU -44 051 (amendements organiques)

Le produit obtenu au final est conforme à tous les critères pris en compte dans cette norme, sauf pour les critères concernant la matière organique.

Tableau 25 - Situation par rapport à la norme amendement organique (essai CHAULAGE)

Norme NF U 44 051	Déchets de couvoir chaulés	Conformité
$N + P_2O_5 + K_2O < 7 \%$	1,87	Conforme
$N < 3 \%$ sur brut	1,28	Conforme
$P_2O_5 < 3 \%$ sur brut	0,43	Conforme
$K_2O < 3 \%$ sur brut	0,16	Conforme
$MO > 20 \%$ sur brut	10,2	Non conforme
$MO > 30 \%$ sur sec	13,5	Non conforme
$MO/Norg \leq 55$	8	Conforme
$N_{total}/MS \leq 3 \%$	1,57	Conforme

Norme NFU - 42 001 (engrais organiques)

Avec la norme actuelle (notamment, $N + P_2O_5 + K_2O \geq 3 \%$), le produit obtenu ne correspond pas à la norme « Engrais organiques », du fait de sa trop faible teneur en phosphore et en potasse.

Tableau 26 - Situation par rapport à la norme engrais organique (essai CHAULAGE)

Norme NF U 42 001	Déchets de couvoir chaulés	Conformité
$N + P_2O_5 + K_2O \geq 3 \%$	1,87	Non conforme
$N_{organique} \geq 1 \%$ sur brut	1,28	Conforme

Norme NFU - 44 095 (composts contenant des matières agronomiques issues du traitement des eaux)

Bien que cette norme ne concerne pas les engrais organiques, on utilise souvent ses valeurs en éléments traces métalliques car il est probable que ces mêmes valeurs seront retenues dans la nouvelle norme « engrais organiques ». Dans tous les cas, les teneurs du compost obtenu, en cuivre et en zinc, sont inférieures aux seuils limites établis dans le cadre de cette norme (300 mg/kg de MS pour le cuivre et 600 mg/kg pour le zinc).

Préconisations ECOLABEL européen

L'ECOLABEL européen est défini par une décision de la commission du 28 août 2001 établissant les critères écologiques pour l'attribution du label écologique communautaire aux amendements pour sols et aux milieux de culture (JOCE du 12/09/2001). Pour le cuivre, le résultat est conforme à la préconisation (< 100 mg/kg de MS); il en est de même pour le zinc (< 300 mg/kg de MS).

Tableau 27 – Situation par rapport à d'autres normes (essai CHAULAGE)

	Déchets de couvoir chaulés	Norme NF U 44 095		Préconisations ECOLABEL	
		Norme	Conformité	Norme	Conformité
Cuivre (mg/kg de MS)	3	300	Conforme	100	Conforme
Zinc (mg/kg de MS)	23	600	Conforme	300	Conforme

4.3.6. Caractéristiques microbiologiques

L'évolution microbiologique du produit est présentée dans le tableau 9. A J0, avant chaulage, les contaminants sont relativement importants, mais en relation avec l'origine des constituants. On notera l'absence de salmonelles et d'œufs d'helminthes, et la présence de *listeria* (autre que *monocytogenes*). Le fait de chauler a un effet immédiat sur le taux de contamination des déchets : les *listeria* disparaissent, les *E. coli* passent sous la barre des 10 germes par gramme ; les anaérobies sulfitoréducteurs sont considérablement réduits et disparaîtront après 3 semaines de stockage. On notera toutefois une contamination par *clostridium*, très probablement en lien avec les activités conduites sur la plateforme où s'est déroulé cet essai.

Les résultats obtenus montrent que le chaulage permet d'obtenir une bonne hygiénisation du produit sans pour autant que le niveau « zéro germe » soit atteint, ce qui apparaît impossible dans nos conditions expérimentales.

Tableau 28 – Evolution du statut microbiologique (germes/g)

	J0		J21
	Avant ajout de chaux	Après ajout de chaux	
<i>E. coli</i>	6 000 000	< 10	< 10
<i>C. perfringens</i> sporulés	< 1	< 1	40
<i>C. perfringens</i> végétatifs	< 1	< 1	50
Anaérobies sulfito-réducteurs sporulés	360 000	49	< 10
Anaérobies sulfito-réducteurs végétatifs	1 500 000	800	< 10
Salmonelles	abs/25 g	abs/25 g	abs/25 g
Listeria	Présence	abs/25 g	abs/25 g
Œufs d'Helminthes	absence	absence	absence

4.4. Conclusions

Cet essai de traitement thermique individuel par chaulage de déchets de couvoir a permis de mettre en évidence un certain nombre de points :

- les enregistrements en continu montrent que la température de 60 °C est atteinte au moins dans les 30 premiers centimètres du tas constitué ; en profondeur, cette température est atteinte 1 heure après le chaulage ;
- en sub-surface, cette température de 60 °C ne se maintient que pendant quelques heures ;
- pour avoir une montée en température plus importante, il aurait été souhaitable d'augmenter la proportion de chaux (passer d'environ 7 % à 10-12 %) ;
- la composition physico-chimique du produit n'est pas conforme à la norme amendement organique actuelle NFU 44 051 (pas assez de matière organique, mais c'est normal dans la mesure où les déchets de couvoir sont très minéralisés), ni à la norme engrais organique NFU 42 001 (pas assez de phosphore et de potasse): par ailleurs, les teneurs en cuivre et en zinc sont très en dessous des préconisations de la norme NFU 44 095 (boues de station d'épuration) et des préconisations ECOLABEL ; dans ces conditions, les déchets de couvoir traités par chaulage ne peuvent être épandus que dans le cadre d'un plan d'épandage ;
- le procédé aboutit à une perte de masse de l'ordre de 11 % ; pour l'azote, cette perte est de 26 % ;
- à la fin de la période d'essai (soit après 3 semaines), les concentrations en germes contaminants sont soit en dessous des seuils de détection soit trop faibles pour exercer un pouvoir pathogène ; les résultats obtenus montrent que le chaulage permet d'obtenir une bonne hygiénisation du produit sans pour autant que le niveau « zéro germe » soit atteint, ce qui apparaît impossible dans nos conditions expérimentales.

Dans ces conditions le chaulage des déchets de couvoir, apparaît comme une solution appropriée au traitement des déchets de couvoir, mais ne dispense pas pour autant d'avoir un plan d'épandage, le produit obtenu ne correspondant pas à une norme reconnue.

5 – CONCLUSION GENERALE

Le règlement européen 1774 d'octobre 2002 prévoit le traitement des déchets de couvoir dans une unité de transformation agréée, à condition que cette unité permette de répondre à un certain nombre d'objectifs, notamment en ce qui concerne la température atteinte et l'hygiénisation des produits.

Les couvoirs étant relativement disséminés sur le territoire, pour cette étude, nous avons privilégié des techniques susceptibles de répondre au cahier des charges du règlement européen tout en étant applicable à l'échelle d'un couvoir : le compostage et le chaulage.

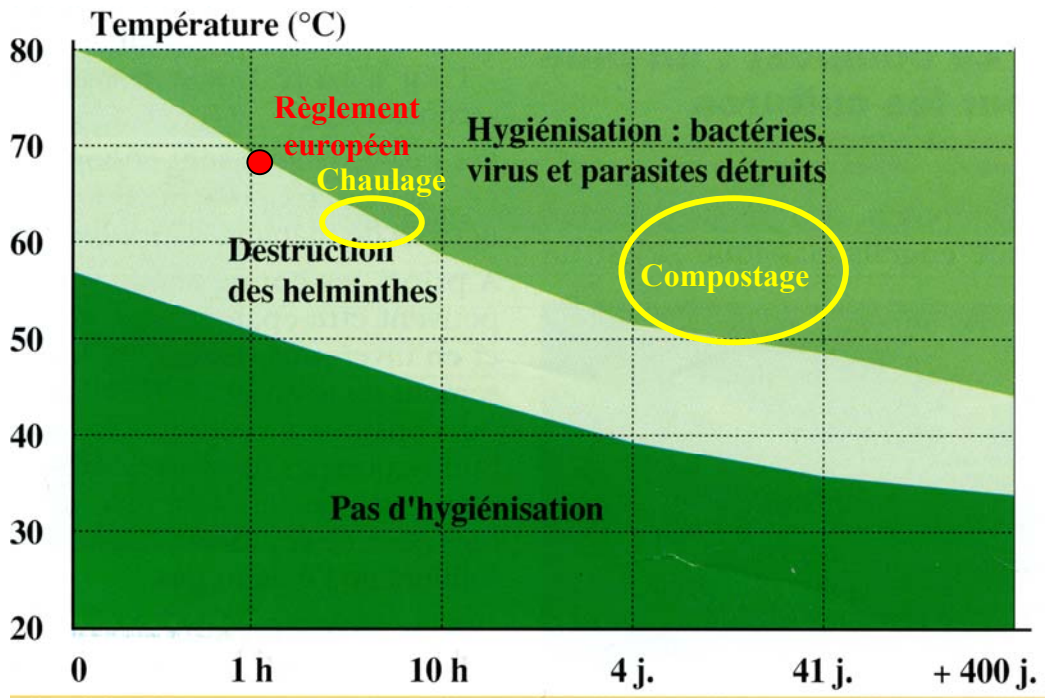
En ce qui concerne, l'obligation d'utiliser un réacteur fermé, seul l'essai avec le silo VALID a rempli cette exigence.

Pour ce qui est de l'obtention d'une température de 70 °C pendant 1 heure, les 2 essais de compostage ont montré que c'était possible ; par contre, toutes les matières compostées ne sont pas soumises à une température aussi élevée (d'ailleurs incompatible avec un bon compostage), mais sont maintenues pendant une longue période (plusieurs jours) à une température de l'ordre de 60-65 °C. L'essai de chaulage n'a pas permis d'atteindre 70 °C, probablement parce que la quantité de chaux mise en œuvre dans cet essai s'est révélé insuffisante, mais malgré tout, le produit est maintenu à une température de 60-65 °C pendant plusieurs heures.

Pour les 3 essais, l'objectif du règlement européen a été atteint en ce qui concerne l'hygiénisation du produit.

Le règlement européen de 2002 a été modifié le 7 février 2006. Il prévoit que le système de compostage en réacteur fermé ne soit pas exclusif, à condition de satisfaire aux autres exigences du règlement; par ailleurs, à partir du moment où l'on peut démontrer que l'on réduit les risques biologiques, il n'y a plus d'obligation absolue d'utiliser les paramètres de contrôles du règlement (en particulier la température). Ceci revient à dire qu'il n'y a plus d'obligation de moyens, mais obligation de résultat.

Dans ces conditions, les 2 techniques de compostage testées et la technique de traitement thermique individuel par chaulage satisfont totalement aux exigences du règlement européen modifié.



ANNEXES

Silo VALID

	Sur brut									Sur sec		
	J0	J42	J84	J0/J42	J0/J42 (%)	J42/J84	J42/J84 (%)	J0/J84	J0/J84 (%)	J0	J42	J84
MS (%)	69,9	72,55	74							69,9	72,6	74,0
MM (%)	25,9	27,9	29,4							37,1	38,5	39,7
MO (%)	44,0	44,7	44,6							62,9	61,5	60,3
Ntk (%)	2,36	2,435	2,42							3,38	3,36	3,27
N-NH4 (%)	0,61	0,64	0,61							0,87	0,88	0,82
N org (%)	1,75	1,80	1,81							2,50	2,48	2,45
N-NH4/Ntk (%)	25,8	26,1	25,2									
Norg/Ntk (%)	74,2	73,9	74,8									
P2O5 (%)	2,39	2,60	2,80							3,42	3,58	3,78
K2O (%)	1,5	1,65	1,7							2,15	2,27	2,30
CaO (%)	12,1	14,1	13,1							17,3	19,4	17,7
Cu (mg/kg)	21	26,5	26							30	37	35
Zn (mg/kg)	130	155	190							186	214	257
C (%)	23,9	25,2	24,3							34,2	34,7	32,8
C/N LDA	10,1	10,35	10									
C/N calculé	10,1	10,4	10,0									
1/2MO/N	9,3	9,2	16,4									
Fumier (Kg)	37030											
Déchets de couvoir (Kg)	14400											
Eau (Kg)	1330											
Masse totale (Kg)	52760	49460	46937	-3300	-6,3%	-2523	-5,1%	-5823	11,0%			
Masse MS (Kg)	36879	35883	34733	-996	-2,7%	-1150	-3,2%	-2146	-5,8%			
Masse H2O (Kg)	15881	13577	12204	-2304	-14,5%	-1373	-10,1%	-3677	23,2%			
Masse MM (Kg)	13665	13799	13799	135	1,0%	0	0,0%	135	1,0%			
Masse MO (Kg)	23214	22084	20934	-1131	-4,9%	-1150	-5,2%	-2280	-9,8%			
Masse Ntk (Kg)	1245	1204	1136	-41	-3,3%	-68	-5,7%	-109	-8,8%			
Masse N-NH4(Kg)	322	314	286	-8	-2,4%	-28	-8,8%	-36	11,0%			
Masse Norg (Kg)	923	890	850	-33	-3,6%	-41	-4,6%	-74	-8,0%			
Masse P2O5 (Kg)	1261	1286	1314	25	2,0%	28	2,2%	53	4,2%			
Masse K2O (Kg)	791	816	798	25	3,1%	-18	-2,2%	7	0,8%			
Masse CaO (Kg)	6384	6974	6149	590	9,2%	-825	-11,8%	-235	-3,7%			
Masse Cu (g)	11080	13107	12204	2027	18,3%	-903	-6,9%	1124	10,1%			
Masse Zn (g)	68588	76663	89180	8075	11,8%	12517	16,3%	20592	30,0%			
Masse C (kg)	12610	12464	11406	-146	-1,2%	-1058		-1204				

INOCULUM

	Sur brut									Sur sec		
	J0	J42	J84	J0/J42	J0/J42 (%)	J42/J84	J42/J84 (%)	J0/J84	J0/J84 (%)	J0	J42	J84
MS (%)	46,3	58,15	52,6							46,3	58,2	52,6
MM (%)	20,7	25,5	22,7							44,6	43,9	43,2
MO (%)	25,7	28,2	29,9							55,4	48,5	56,8
Ntk (%)	1,115	1,215	1,205							2,41	2,09	2,29
N-NH4 (%)	0,47	0,33	0,37							1,00	0,56	0,69
N org (%)	0,82	0,89	0,84							1,76	1,53	1,60
N-NH4/Ntk (%)	41,7	26,7	30,3									
Norg/Ntk (%)	73,1	73,3	69,7									
P2O5 (%)	1,05	1,40	1,60							2,27	2,41	3,04
K2O (%)	0,965	1,5	1,6							2,08	2,58	3,04
CaO (%)												
Cu (mg/kg)			21									40
Zn (mg/kg)			110									209
C (%)			16,85									32,0
C/N LDA			14									
C/N calculé			14,0									
1/2MO/N	11,5	11,6	12,4									
Fumier (Kg)	70000											
Déchets de couvoir (Kg)	14640											
Paille(Kg)	1500											
Masse totale (Kg)	86140	62260	69940	-23880	-27,7%	7680	12,3%	-16200	-18,8%			
Masse MS (Kg)	39883	36204	36788	-3679	-9,2%	584	1,6%	-3095	-7,8%			
Masse H2O (Kg)	46257	26056	33151	-20201	-43,7%	7096	27,2%	-13106	-28,3%			
Masse MM (Kg)	17788	15876	15876	-1912	-10,7%	0	0,0%	-1912	-10,7%			
Masse MO (Kg)	22095	17557	20912	-4538	-20,5%	3355	19,1%	-1183	-5,4%			
Masse Ntk (Kg)	960	756	843	-204	-21,2%	86	11,4%	-118	-12,3%			
Masse N-NH4(Kg)	401	202	255	-198	-49,5%	53	26,2%	-145	-36,3%			
Masse Norg (Kg)	702	554	587	-148	-21,1%	33	6,0%	-115	-16,3%			
Masse P2O5 (Kg)	904	872	1119	-33	-3,6%	247	28,4%	215	23,7%			
Masse K2O (Kg)	831	934	1119	103	12,3%	185	19,8%	288	34,6%			
Masse CaO (Kg)												
Masse Cu (g)			14687			14687		14687				
Masse Zn (g)			76934			76934		76934				
Masse C (kg)			11785			11785		11785				

CHAULAGE

	Sur brut				Sur sec			
	J0		J21	J0/J21	J0/J42 (%)	J0		J21
	Avant chaulage	Après chaulage				Avant chaulage	Après chaulage	
MS (%)	71,4	70,3	75,3			71,4	70,3	75,3
MM (%)	61,5	60,5	65,1			86,1	86,1	86,5
MO (%)	9,9	9,8	10,2			13,9	13,9	13,5
Ntk (%)	2,48	1,54	1,28			3,47	2,19	1,70
N-NH4 (%)	0,32	0,12	0,09			0,45	0,17	0,12
N org (%)	2,16	1,42	1,18			3,03	2,02	1,57
N-NH4/Ntk (%)	12,9	7,8	7,3			12,9	7,8	7,3
Norg/Ntk (%)	87,1	92,2	92,2			87,1	92,2	92,2
P2O5 (%)	0,33	0,34	0,43			0,46	0,48	0,57
K2O (%)	0,14	0,19	0,16			0,20	0,27	0,21
CaO (%)	35,3	34,4	38			49,4	48,9	50,5
Cu (mg/kg)	2,4	1,7	2,3			3	2	3
Zn (mg/kg)	10	8,4	17			14	12	23
C (%)	5,9	6,2	6,7			8,3	8,8	8,9
C/N LDA			5,23					
C/N calculé	2,4	4,0	5,2					
1/2MO/N	2,0	3,2	4,0					
Déchets de couvoir (Kg)		7370						
Chaux (kg)		500						
Masse totale (Kg)		7870	7000	-870	-11,1%			
Masse MS (Kg)		5533	5271	-262	-4,7%			
Masse H2O (Kg)		2337	1729	-608	-26,0%			
Masse MM (Kg)		4761	4557	-204	-4,3%			
Masse MO (Kg)		771	714	-57	-7,4%			
Masse Ntk (Kg)		121	90	-32	-26,1%			
Masse N-NH4(Kg)		9	7	-3	-31,1%			
Masse Norg (Kg)		112	83	-29	-26,1%			
Masse P2O5 (Kg)		27	30	3	12,5%			
Masse K2O (Kg)		15	11	-4	-25,1%			
Masse CaO (Kg)		2707	2660	-47	-1,7%			
Masse Cu (g)		134	161	27	20,3%			
Masse Zn (g)		661	1190	529	80,0%			
Masse C (kg)		488	469	-19	-3,9%			