

## II. ÉVACUATION, STOCKAGE ET TRANSFORMATIONS SIMPLES DES FUMIERS

[MCours.com](https://www.mycours.com)



## A. Identification rapide du fumier par spectrométrie fluorescente à rayons X

Pendant longtemps, la variabilité intrinsèque de la composition du **fumier** a considérablement limité l'estimation la **disponibilité** des **nutriments** présents et la prédictibilité de la réponse des cultures à l'**épandage**, diminuant *de facto* l'intérêt de la litière de **volaille** comme **engrais** dans la production agricole. Les méthodes d'analyses actuelles ne conduisent pas à des analyses rapides et reproductibles pour de tels matériaux hétérogènes, qui sont nécessaires pour pouvoir calculer des taux d'**épandage** pertinents notamment. Soixante et onze échantillons de litière ont été collectés à travers les états de l'Arkansas, de l'Oklahoma, et du Maryland pour évaluer l'application de la spectrométrie fluorescente dispersive d'énergie à rayons X (Energy dispersive X-ray fluorescence, EDXRF) à des fins d'analyse et de sélection rapide et exacte de différents types de **fumiers** (Dao et Zhang, 2007). Les résultats du dosage du **phosphore total** obtenus par la méthode à l'acide phosphomolybdate-ascorbique et l'EDXRF étaient corrélés, avec une erreur quadratique moyenne de 1,4 g/kg entre les méthodes. Les résultats de l'EDXRF et d'émission spectrométrique atomique plasma couplée pour le **phosphore**, le soufre, le potassium, le calcium, le manganèse, le cuivre, le zinc et l'arsenic étaient aussi bien corrélés. Une différenciation effective des litières issues d'élevages de poules pondeuses ou de poulets de chair a été possible par cette méthode sur la base de leurs concentrations en calcium et en arsenic. Les résultats suggèrent que la méthode EDXRF en disque pressé est une alternative aux méthodes de chimie des solutions à cause de sa simplicité et de sa rapidité de mise en oeuvre.

## B. Différentes pratiques d'évacuation du fumier hors du bâtiment d'élevage

De nombreuses variations existent dans les pratiques de gestion des **effluents** ; cependant, la plupart des poulaillers sont curés après 3 à 6 bandes élevées dans un même bâtiment aux Etats-Unis d'Amérique. Plus le nombre de bandes élevées sur la même litière croît, meilleure est sa valeur nutritionnelle pour les plantes, et les différences entre la zone « dortoir » et les autres zones dans le poulailler deviennent minimales après quatre bandes. En France, le **curage** complet du bâtiment est réalisé après chaque départ de lot (Ritz et Merka, 2009).

McGahan *et al.* (2008) ont étudié les différentes pratiques d'élevage concernant la gestion de la litière afin d'établir une charte des bonnes pratiques. En fonction du type d'élevage, les **fientes** aboutissent à du lisier, du **fumier** ou sont naturellement disséminées par les oiseaux dans les systèmes à **parcours libre**. La litière de **volaille** est souvent relativement sèche et donc assez facile à gérer car manipulable. Dans les vieux bâtiments, certains éleveurs évacuent et stockent la litière des zones souillées sous un hangar jusqu'au nettoyage complet du bâtiment (à la fin de la bande). Dans les systèmes d'élevage modernes, des courroies de transport évacuent le **fumier** hors du poulailler, entre deux bandes, vers un lieu de stockage ou d'enlèvement. Pour les élevages sur grillage ou sur caillebotis, les **fientes** accumulées sont enlevées totalement après que les oiseaux sont partis.

En fonction du type d'évacuation du **fumier**, les propriétés du produit obtenu en fin de bande changent. Sistani *et al.* (2003) ont comparé deux techniques d'élimination de la litière entre 2 bandes d'animaux : la première technique, le « decaking » ou **décomprimage** consiste à retirer

entre chaque bande le « **gâteau** », mélange de matériel souillé par les déjections et de nourriture gaspillée par les animaux ; la deuxième technique, le **curage**, consiste à retirer l'intégralité de la litière après 8 à 10 bandes d'animaux (durée d'élevage de 47 à 49 jours chacune). Contrairement à la litière, le **gâteau** mesure normalement 5-10 cm d'épaisseur et se forme en surface, avec une grande variabilité en fonction des poulaillers.

La récolte du **gâteau** s'effectue grâce à un outil spécialement conçu à cet effet (Housekeeper<sup>ND</sup>), qui sépare la litière sèche (fines particules de copeaux de bois, aiguilles de pin ou coques d'arachides) du **gâteau** humide agrégé en blocs, et laisse retomber la partie sèche du **substrat** au sol. L'ajout de litière fraîche permet ensuite de compenser le volume enlevé lors du **décomprimage**.

Cette étude a permis de montrer que le **décomprimage** produisait significativement moins de déchets que le **curage**, et qu'approximativement 57 % de la litière étaient finalement recyclés dans le poulailler lors du **décomprimage** contre 0 % avec le **curage**. En revanche, les deux types de déchets produits ne sont pas rigoureusement identiques en termes de propriétés chimiques. Le **gâteau** est significativement plus humide que la litière (455 et 277 g d'eau/kg, respectivement) et contient des quantités significativement plus importantes de Ca, Mg, K, Cu, Fe, Mn et Zn que le **fumier**. En revanche, aucune différence significative n'a été observée entre ces deux matériaux concernant l'**azote total**, l'**ammonium**, le **carbone total**, les **phosphores total et soluble**.

La récolte du **gâteau** ou de la litière peut également s'accompagner d'émissions gazeuses qu'il convient de limiter. Les composés volatils soufrés (VSCs) sont une classe majeure des espèces chimiques odorantes des installations d'élevage des animaux. Identifier et quantifier les VSCs dans l'air est un défi à cause de leur volatilité, leur réactivité et leurs faibles concentrations. Trabue *et al.* (2008) ont collecté de l'air avec un mini-absorbeur. L'air était séché en passant à travers un tube à chlorure de calcium. Des prélèvements ont été réalisés dans un poulailler industriel sur litière de coques de riz. Les absorbeurs étaient placés en surface de la litière, immédiatement après le retrait du **gâteau**. Le VSC odorant principal détecté dans la litière de **volaille** âgée était le trisulfure de diméthyle. Les autres VSCs dont la concentration dépassait les valeurs odorantes seuils étaient le méthane et le sulfure de diméthyle.

En conclusion, les pratiques d'évacuation de la litière hors du bâtiment d'élevage conditionnent le type de produit obtenu (**gâteau** ou **fumier**) et sa composition. L'évacuation de la litière s'accompagne d'émissions gazeuses (gaz soufrés), à l'origine de nuisances odorantes. En France, les élevages produisent du **fumier**, nous nous concentrerons donc surtout sur ce dernier dans la suite de l'exposé.

## C. Stockage du fumier

### 1. Influence du taux d'humidité

En fin de bande, l'éleveur est amené à transporter la litière hors du bâtiment pour son stockage, son **épandage** ou sa transformation. Le chargement/déchargement dans les remorques agricoles sera plus ou moins facile selon les propriétés d'écoulement de la litière, lesquelles conditionnent la conception des nouveaux conteneurs de stockage et des systèmes de transport. Elles sont caractérisées par le calcul de l'**indice d'écoulement**. Le frottement contre une surface est aussi un paramètre critique dans la conception structurelle et la stabilité des silos. Des faibles valeurs de frottement ont pour conséquence des charges transférées plus importantes sur les murs de paroi du

silos. Bernhart et Fasina (2009) ont étudié l'influence du taux d'humidité de la litière sur les propriétés physiques du produit et ses propriétés d'écoulement. Ils ont également déterminé les caractéristiques de frottement contre une surface.

Les échantillons de litière à base de copeaux de bois utilisés pour cette étude contenaient entre 10 et 30 % d'humidité. Le **substrat** a été stocké pendant trois mois avant le début de l'expérimentation. La taille des particules était obtenue par un système numérique d'analyse d'image. Un pycnomètre a permis de déterminer le volume des particules et d'en déduire la **densité particulaire** ( $\rho_p$ ). La **densité volumique** de tassement a été mesurée avec un automate : l'échantillon était tassé 500 fois à 300 tassements/min et le volume final a été mesuré à l'issue de l'opération.

La **densité** de la litière de **volaille** et son **indice d'écoulement** diminuaient quand le taux d'humidité augmentait, contrairement à son aptitude à être comprimée. Une litière de **volaille** plus humide s'écoule moins bien passant de « facilement écoulable » (**indice d'écoulement** de 6,4) pour un taux d'humidité de 10,3 % à « très adhésive » (non-écoulement, **indice d'écoulement** de 1,9) à un taux d'humidité de 30,9 %.

En conclusion, le taux d'humidité final de la litière va conditionner son aptitude à être manipulée et stockée à l'état de **fumier**. En effet, une litière humide (30,9 %) ne s'écoulera pas facilement et utilisera un volume plus important lors du stockage, alors qu'une litière relativement sèche (10,3 %) sera beaucoup plus facile à transporter.

## 2. Évolution biologique des fumiers au cours du stockage

### a) Évolution de l'azote

Dans le **fumier** de **volaille** frais, 60 à 80 % de l'**azote** se trouvent sous forme organique (urée et protéines). En fonction des conditions environnementales, un pourcentage important de cet **azote** organique (40-90 %) peut être converti en ammoniac en l'espace d'un an. Lors de la **digestion anaérobie** de la litière de **volaille**, en présence d'ammonium exogène, la concentration de l'ammoniac endogène augmente considérablement. Alors que certains microorganismes de la microflore anaérobie peuvent utiliser les ions ammonium, leur concentration en excès inhibe la décomposition des composés organiques, la production d'acides gras volatils et la méthanogénèse (Kelleher *et al.*, 2002).

Différentes pratiques de stockage peuvent influencer les pertes d'ammoniac au cours du stockage. Pour étudier leurs effets, Rodhe et Karlsson (2002) ont stocké du **fumier** de poulet d'octobre à mai en deux piles séparées, une découverte et l'autre recouverte avec une couche de paille de 30 cm d'épaisseur. Les émissions d'ammoniac ont été mesurées sur cinq périodes distinctes pendant le stockage. La température de l'air ambiant et les températures de piles étaient enregistrées en continu. Les mesures de température prises dans les piles pendant le stockage indiquaient une forte activité biologique. Les températures les plus hautes étaient enregistrées dans la pile couverte avec de la paille. Les pertes cumulées en ammoniac représentaient 7 % de l'**azote total** dans la pile non couverte contre 10 % dans la pile protégée. Le bouchon de paille agissait comme une barrière vis-à-vis des précipitations, limitant ainsi le taux d'humidité du **fumier**.

De façon plus globale, Phillips *et al.* (1999) ont étudié différentes options pour abattre les émissions d'ammoniac des dépôts d'**effluents**. Une revue de la littérature disponible suivie par une réunion de consensus ont permis de lister un certain nombre de pistes. Ces modalités d'abattement

étaient classées en fonction du type de stockage. Les capitaux à investir, les coûts de fonctionnement mais aussi d'autres aspects comme le bien-être animal ont été inclus dans l'estimation des abattements. Les différentes solutions proposées ont ensuite été classées de 1 (très mauvaise) à 5 (très bonne).

Pour les zones de stockage d'**effluents**, les approches de réduction retenues comme étant les plus intéressantes et réalisables rapidement à moindre coût étaient, dans l'ordre :

- le remplacement du stockage par un traitement industriel du produit ou son **épandage** direct sur les terres,
- la modification de la composition des aliments pour **volailles**,
- la minimisation de l'aire de surface de stockage par la constitution de piles (**fumiers** solides),
- la couverture de ces piles par une bâche (**fumiers** solides).

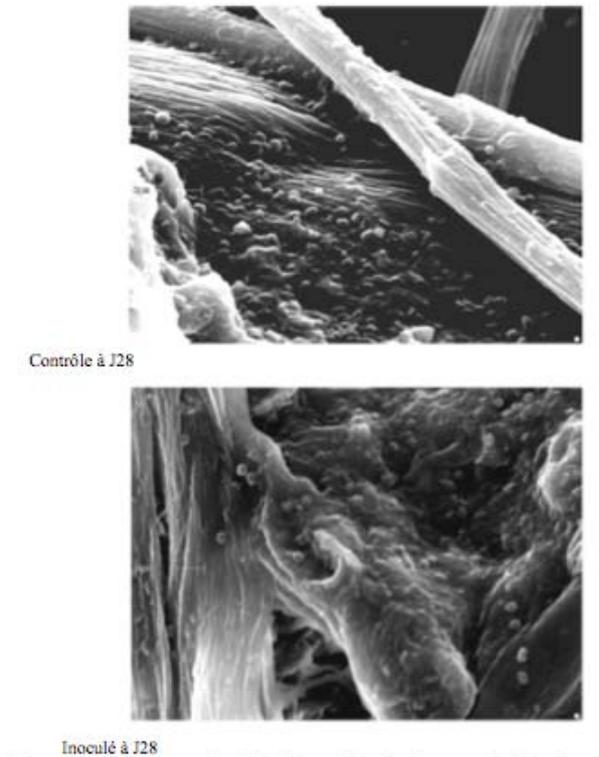
Le séchage du **fumier** permet également de diminuer la production d'ammoniac et en même temps de valoriser celui-ci comme **combustible** (pour les centrales électriques, notamment au Royaume-Uni).

En conclusion, au cours du stockage, une grande partie de l'**azote** organique est convertie en ammoniac, qui s'échappe dans l'atmosphère. Différentes stratégies sont possibles lors du stockage pour limiter les émissions d'ammoniac : minimiser la surface de contact entre le **fumier** et l'air en faisant des piles, et les couvrir avec une bâche (afin de créer des conditions anaérobies, peu favorables à la production d'ammoniac), sécher le **fumier**. En amont, la modification de la ration des animaux (voir I. E. 9.) permet d'éviter les émissions trop importantes d'ammoniac lors du stockage.

#### b) Inoculum bactérien et dégradation des plumes dans la litière

Une partie des populations microbiennes natives est susceptible de dégrader les déchets de **volaille**, mais le processus peut être activé en utilisant des bactéries dégradant spécifiquement les plumes. Des souches de *Bacillus licheniformis* et une espèce de *Streptomyces* isolée du plumage des oiseaux sauvages ont été mises en culture sur un milieu liquide de base afin d'inoculer des plumes placées dans les cuves de bioréaction (Ichida *et al.*, 2001). Les trois cuves témoins contenaient seulement le milieu de base ajouté aux plumes, à la litière ou à la paille. La température, la production d'ammoniac, de **carbone** et d'**azote** étaient enregistrées pendant quatre semaines. La microscopie électronique à balayage des échantillons de plumes montrait une dégradation plus importante de la structure kératinisée, et une formation plus précoce du film microbien sur les plumes inoculées que sur celles nonensemencées (**figure 2**). Les *B. licheniformis* et *Streptomyces* spp. thermophiles étaient présents en abondance tout au long de l'étude. Des bactéries entériques Gram négatives (*Salmonella*, *Escherichia coli*) trouvées à l'origine sur les résidus de plumes n'étaient pas retrouvées après 4 jours d'incubation. Les températures des cuves atteignaient 64 à 71 °C en 36 heures et se stabilisaient à 50 °C. Le 14<sup>ème</sup> jour, le contenu des cuves était mélangé ce qui relançait l'activité bactérienne. Cette dernière culminait à 59 °C avant de chuter rapidement suite à l'épuisement du **carbone** disponible. Ainsi, l'inoculation par des bactéries kératinophiles des déchets de plumes pourrait-elle améliorer le **compostage** de grandes quantités de ces produits générés chaque année par les élevages de **volaille** et les établissements de transformation.

**Figure 2 : vue en microscopie électronique à balayage.** À J28, les plumes « témoin » nonensemencées présentaient des signes de dégradation mais conservaient une forme définie comme sur l'image du haut. Sur l'image du bas, les plumes inoculées sont difficilement identifiables visuellement. D'après Ichida *et al.*, 2001.



En conclusion, l'inoculation de la litière, lors du stockage (ou pendant l'élevage des **volailles**, voir I.) permet de développer une microflore apte à dégrader les composants de la litière (notamment les plumes), tout en limitant les émissions gazeuses. Cette inoculation contribue également à éliminer les bactéries pathogènes par l'élévation de la température au cœur du **fumier** pendant son stockage.

### 3. Stockage en piles et assainissement du fumier

Le **fumier** de **volaille** est classiquement stocké en piles de 1,2 m ou plus. Le sol doit être imperméable pour éviter tout risque de **ruissellement** et de pollution des eaux de surface. En effet, la litière est relativement légère et peut subir un **lessivage** sur les lieux de stockage provisoire. Griffiths (2007) recommande d'être particulièrement vigilant lors de l'entreposage du **fumier** de **volaille** pour éviter qu'il ne contamine les cours d'eau environnants ou ne soit dispersé hors des zones prévues à cet effet.

Les piles doivent également être à l'abri des intempéries pour éviter une augmentation importante du taux d'humidité du **fumier** (McGahan *et al.*, 2008). Le stockage a notamment pour objectif d'assainir le **fumier**, par l'échauffement qui s'y produit.

Kwak *et al.* (2005) ont ainsi évalué les effets d'un traitement en pile profonde de la litière de poulet de chair. La survie des entérobactéries a été évaluée en aérant ou non les piles profondes (Essai 1). L'effet de la durée (Essai 2) et de la fréquence (Essai 3) de l'aération sur le contrôle de l'échauffement de la litière de **volaille** a également été déterminé. L'impact de la température des

pires sur la survie des bactéries cibles et sur la composition chimique de la litière de **volaille** a été enregistré.

Dans l'essai 1, *E. coli*, *Salmonella* Enteritidis et *Shigella sonnei* ont été intentionnellement inoculées à raison de  $10^3$  bactéries par gramme de litière dans 0,4 tonnes de **fumier** et leur survie a été suivie en fonction du temps de stockage en pile du **fumier**.

Dans l'essai 2, la litière était aérée une fois par jour dès que la température maximale (62 °C) de la pile était atteinte et commençait à diminuer à la fin de la période de traitement.

Dans l'essai 3, la litière était aérée une ou deux fois par jour, à compter du jour suivant le pic de température et jusqu'à avoir atteint une température d'équilibre de 20 °C. Pendant le traitement en pile profonde de la litière, les bactéries pathogènes étaient éliminées entre le deuxième (*Shigella*) et le quatrième jour (*E. coli* et *Salmonella*) de stockage. Ce phénomène avait lieu non seulement à cause de la forte température générée, mais aussi à cause d'autres facteurs potentiels, comme le dégagement d'ammoniac et la compétition microbienne. L'aération résultait en une dissipation de la chaleur et donc une diminution de la température de la litière en pile profonde ; lors de l'aération, les entérobactéries pathogènes étaient détruites en 4 à 8 jours. La procédure optimale d'aération pour éviter un chauffage excessif de la litière empilée consistait à aérer une fois par jour jusqu'au pic de température au début du traitement en pile profonde et de poursuivre pendant 3 jours encore ou jusqu'à ce que la température ait décliné jusqu'à une valeur constante. Ces fréquence et durée d'aération n'altéraient pas la composition chimique de la litière de **volaille** stockée telle quelle.

Ces résultats suggèrent que la litière de **volaille** correctement empilée, avec ou sans aération, assure l'élimination des entérobactéries pathogènes en 8 jours.

Cette dernière affirmation est cependant à nuancer. En effet, Bush *et al.* (2007) ont testé la survie de *Salmonella* dans le **fumier** empilé sur une hauteur recommandée (2,13 m) ou sur une hauteur de 0,76 m. Des sacs de dialyse contenant le **fumier** de **volaille** et *Salmonella* Typhimurium ont été placés dans les piles. La température était enregistrée quotidiennement en utilisant des thermocouples reliés aux sacs d'échantillons, lesquels étaient récupérés après 21 jours. Une mesure de l'ammoniac était pratiquée à différents endroits dans les piles. Le contenu des sacs était mis en culture pour déterminer la viabilité des inoculas de salmonelles. Cet essai démontre une large variation de la température dans les piles ; ainsi, près de la surface, la température variait en fonction de la température ambiante. La concentration en ammoniac dans le **fumier** de **volaille** était plus élevée en haut de la pile de 2,13 m. *Salmonella* était éliminée dans 98,7 % des sites d'échantillonnage, avec une réduction d'au moins 5 log<sub>10</sub> là où elles étaient encore viables.

De même, Graham *et al.* (2009a) ont caractérisé la survie de souches antibiorésistantes d'entérocoques et de staphylocoques dans les piles de **fumier** de **volaille**. La température, l'humidité et le pH ont été mesurés à un mètre de profondeur dans le **fumier** pendant une période de 120 jours dans les piles de stockage de trois fermes conventionnelles de **volaille** de chair, tout comme les unités formant colonies d'*Enterococcus* spp. et de *Staphylococcus* spp. Des températures supérieures à 60 °C ont été enregistrées seulement par intermittence au cœur des piles de litière. Les entérocoques et les staphylocoques antibiorésistants, tout comme les gènes de résistance persistaient au-delà de la période de 120 jours d'étude. Ces deux dernières études indiquent que les pratiques de stockage classiques du **fumier** de **volaille** en piles sont insuffisantes pour éliminer les staphylocoques et les entérocoques antibiorésistants, qui peuvent être alors répandus dans l'environnement lors de l'**épandage** sur les terres.

- Antibiorésistance

Les isolats sélectionnés par Graham *et al.* (2009a) dans chaque échantillon de **fumier** (voir paragraphe précédent) ont été testés pour leur résistance à huit antibiotiques couramment

administrés dans l'aliment des **volailles**, tout comme pour la présence de gènes de résistance et d'éléments génétiques mobiles. Les gènes de résistance identifiés dans l'étude incluaient : *erm*(A), *erm*(B), *erm*(C), *msr*(A/B), *msr*(C) et *vat*(E).

En conclusion, le stockage en piles permet suivant les études, un assainissement complet ou partiel du **fumier** pour *Salmonella* Typhimurium, certains entérocoques et staphylocoques. Cet abattement est obtenu en 8 jours pour la majorité des entérobactéries, mais la survie de *S. Typhimurium* peut être supérieure à 21 jours, et celles de certains entérocoques et staphylocoques supérieure à 120 jours. L'**épandage** des **fumiers** pourrait en conséquence permettre la dispersion de ces bactéries dans l'environnement proche et affecter par voie de conséquence les populations humaines.

## D. Compaction du fumier

L'utilisation de la litière a été historiquement limitée à quelques kilomètres autour du lieu de production en raison de sa faible **densité** rendant son transport à distance peu intéressant. Différentes techniques ont été mises au point pour augmenter cette **densité**.

La litière utilisée pour l'étude de Bernhart *et al.* (2010) était composée de copeaux de bois. L'expérimentation a été mise en œuvre sur du **fumier** dont le taux d'humidité était compris entre 19,8 % et 70,7 %. La **compaction** avait lieu dans un moule circulaire lubrifié avec de l'huile végétale pour limiter les forces de frottements entre la litière et le moule. Le moule était rempli avec la litière, pendant 60 secondes dès qu'une force constante était atteinte. La force nécessaire pour remplir le moule était déterminée, et la force pour rompre l'échantillon après 2 mois de stockage était également enregistrée.

Les résultats obtenus ont montré que la **densité** initiale après **compaction** de la litière de **volaille**, l'énergie nécessaire pour la **compaction** et la solidité du matériel densifié après 2 mois de stockage étaient significativement affectées par le taux d'humidité et la pression appliquée pendant la compression. Après 2 mois de stockage, la **densité** du matériel compacté dépendait seulement de la pression appliquée pendant la **compaction**. Cependant, les auteurs rapportent que, lorsque le taux d'humidité de la litière atteignait 60,5 %, l'énergie nécessaire (0,25 à 2,00 kJ/kg) pour compacter la litière par rapport à celle requise pour la transformer en **granulés** (voir F. pour la **granulation**) était réduite d'un facteur 9.

Les auteurs recommandent donc de compacter la litière en ajustant son taux d'humidité à 60,5 % et avec une pression de 5,0 MPa. La **compaction** permet de réduire efficacement le volume de **fumier**, et la conservation du produit obtenu qui dépend uniquement de la pression appliquée lors de la compression est bonne après deux mois de stockage.

## E. Compostage du fumier

Le **compostage** correspond à la dégradation anaérobie des déchets organiques biodégradables. C'est un processus relativement rapide, qui prend classiquement 46 semaines pour obtenir un matériau final stabilisé. Le **compost** à maturité ne s'échauffe plus lors du retournement ; il possède une température inférieure ou égale à 30 °C et n'est pas phytotoxique. Pour évaluer la phytotoxicité du **compost**, de très nombreux tests sont disponibles. Les plus fiables sont les tests de germination. Plus un **compost** est mature et plus les **indices de germination** sont élevés (Kraeutler et Levasseur, 2001).

Le ratio C/N et l'**humidité relative** du **substrat** initial jouent un rôle primordial dans la réussite du **compostage**. Ainsi, le faible ratio C/N du **fumier** de poules pondeuses induit des pertes importantes sous forme d'ammoniac (Georgakakis et Krintas, 2000). D'après Ferguson et Ziegler (2004), le **compost** devrait être produit par un processus qui combine au départ des matériaux végétaux et animaux, avec un ratio C/N initial compris entre 25/1 et 40/1. L'excès d'humidité, s'il est supérieur à 75 % (Georgakakis et Krintas, 2000) inhibe le démarrage rapide du processus de **compostage**. Le taux d'humidité (ou le pourcentage de matière sèche) a une influence majeure sur le taux de décomposition et la tendance à la stabilisation, puisque la chaleur métabolique générée pendant le processus provoque l'évaporation de l'eau. Les facteurs qui contribuent à la perte d'humidité incluent l'évaporation, le **lessivage** et l'aération, naturelle ou forcée (Kelleher *et al.*, 2002). Un taux d'humidité de la matière brute initial compris entre 40 et 60 % est ainsi conseillé pour un **compostage** de qualité, bien que Fernandes *et al.* (1994 dans Kelleher *et al.*, 2002) aient réussi une telle opération sur du **fumier** de **volaille** mélangé avec de la **tourbe** dans une pile statique passive à des taux d'humidité initiale élevés (73-80 %).

## 1. Évolution biologique des fumiers au cours du compostage

### a) Transformation de l'azote, de la matière organique et du phosphore

Une litière de poulet a été compostée en **piles à aération forcée** pour comprendre l'évolution de la composition du **substrat** et les pertes d'**azote** au cours du processus de **biodégradation** (Tiquia et Tam, 2000). Pendant le **compostage**, les propriétés chimiques (différentes fractions azotées, **matière organique**, **carbone** organique, ratio C/N), physiques et microbiennes de la litière de **volaille** ont été examinées. Les pertes cumulatives et les bilans massiques de l'**azote** et de la **matière organique** ont été également établis. L'évolution de la concentration d'**azote total** des piles correspondait à celle de l'**azote** organique, constituant azoté majeur d'un point de vue quantitatif. La concentration en ammonium diminuait de façon importante pendant les 35 premiers jours de **compostage** sans toutefois être compensée par un accroissement rapide de la concentration en nitrate et nitrite. Cette dernière, très basse à  $J_0$  ( $< 0,5$  g/kg), ne variait pas pendant les 35 premiers jours de **compostage**, suggérant que les pertes d'**azote** survenaient pendant le **compostage** du fait principalement de la volatilisation de l'ammoniac lorsque la température de la pile était haute et les valeurs de pH supérieures à 7. Le ratio C/N faible ( $< 20/1$ ) contribuait également aux pertes azotées de la litière de **volaille**. La **matière organique** et le **carbone** organique total ont également décru pendant le processus de décomposition. Environ 42 kg de **carbone** organique étaient convertis en  $CO_2$ . D'un autre côté, 18 kg d'**azote** étaient perdus pendant le **compostage**. Cela démontre que l'opération de **compostage** réduit la valeur de la litière de **volaille** comme **engrais** azoté. Cependant, la litière compostée contenait plus de **matière organique** humifiée (stabilisée) que la litière non compostée, ce qui pourrait améliorer sa valeur comme **conditionneur de sol**.

Pour le **phosphore**, de récentes études ont indiqué qu'il n'était pas stabilisé lors du **compostage** et que le **phosphore** en excès pouvait être libéré dans l'environnement quand la litière de **volaille** était appliquée sur les terres en se basant seulement sur les besoins en **azote** des plantes (voir III. A. 4. a) (2)) (Preusch *et al.*, 2004).

## b) Émissions d'ammoniac

Les émissions d'ammoniac pendant le **compostage** de la litière de **volaille** représentent un impact significatif sur l'environnement. Elwell *et al.* (1998 dans Kelleher *et al.*, 2002) ont réalisé des études sur le **compostage** de la litière de **volaille** sans rien ajouter au **substrat** à traiter. Ils ont montré que même si du matériel trop humide peut entraver le démarrage du processus de **biodégradation**, l'évolution thermique du processus assèche le matériau et aboutit à un produit à texture fine qui contient moins de 20 % d'humidité et peut être ensaché et/ou vendu industriellement.

Kithome *et al.* (1999 dans Kelleher *et al.*, 2002) ont également mesuré la volatilisation d'ammoniac lors du **compostage** en laboratoire de la litière de **volaille** mais en testant le potentiel de différents additifs pour diminuer la perte de ce gaz. Différents **amendements** étaient ajoutés à la litière de **volaille**, incluant deux **zéolithes** naturelles, de l'argile, de la fibre de coco (mésocarpe de la noix de coco), du  $\text{CaCl}_2$ , du  $\text{CaSO}_4$ , du  $\text{MgCl}_2$ , du  $\text{MgSO}_4$  et du  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ . Le **compostage** durait de 49 à 56 jours et l'ammoniac volatilisé était piégé dans une solution d'acide sulfurique. Les matériaux compostés étaient pesés et analysés afin de déterminer leur taux d'humidité, les concentrations en **azote total** et ammonium. Les pertes d'ammoniac issu des litières non amendées représentaient de 47 à 62 % de l'**azote total** du **fumier**. L'adjonction en surface d'une couche de 38 % de **zéolithe** (avec 62 % de **fumier**) réduisait les pertes en ammoniac de 44 % alors que l'apport de 33 % de fibres de coco (avec 67 % de **fumier**) résultait en un abattement de 49 %. Composter le **fumier** de **volaille** (80 %) avec 20 % d'alun diminuait ces pertes de 28 %. L'ajout de **zéolithe**, de fibres de coco et d'alun produisait des **composts** riches en ammonium, représentant de 17 % à 53 % de l'**azote total**. L'adjonction de 20 % de  $\text{CaCl}_2$  réduisait la volatilisation d'ammoniac, sans accroître les concentrations d'ammonium ou de nitrates. Les **composts** amendés avec 38 % de **zéolithe** ou 33 % de fibres de coco avaient des concentrations en **azote total** de 17 % et 31 %, respectivement.

En conclusion, les **amendements** de **zéolithe** et de fibre de coco représentent les techniques les plus efficaces pour diminuer les pertes en ammoniac pendant le **compostage** de la litière de **volaille**.

## c) Émissions de Composés Organiques Volatils (COVs)

Les composés organiques volatils sont un large groupe de composés anthropogéniques (xénobiotiques) ou biogéniques avec des pressions de vapeur relativement élevées. Ils sont également caractérisés par leur faible solubilité dans l'eau. Ils constituent des polluants atmosphériques potentiels à cause de leurs propriétés malodorantes voire nocives. Une irritation des yeux et de la gorge, des lésions hépatiques ou nerveuses centrales peuvent survenir en cas d'exposition prolongée à ces composés. Ils peuvent également avoir des effets cancérigènes. De plus, ils contribuent potentiellement au réchauffement climatique, à la réduction stratosphérique de la couche d'ozone et à la formation d'ozone troposphérique. Leurs émissions sont importantes en début de **compostage**, jusqu'à  $15\ 000\ \text{mg}/\text{m}^3$  de COV pour le **compostage** de la litière seule pendant les trois premières semaines, puis leur production diminue progressivement jusqu'à des valeurs inférieures à  $2000\ \text{mg}/\text{m}^3$  dès la 6<sup>ème</sup> semaine de **compostage** (Turan *et al.*, 2009).

d) Evolution bactérienne : validation de l'hygiénisation des composts par la chaleur à 70°C pendant une heure

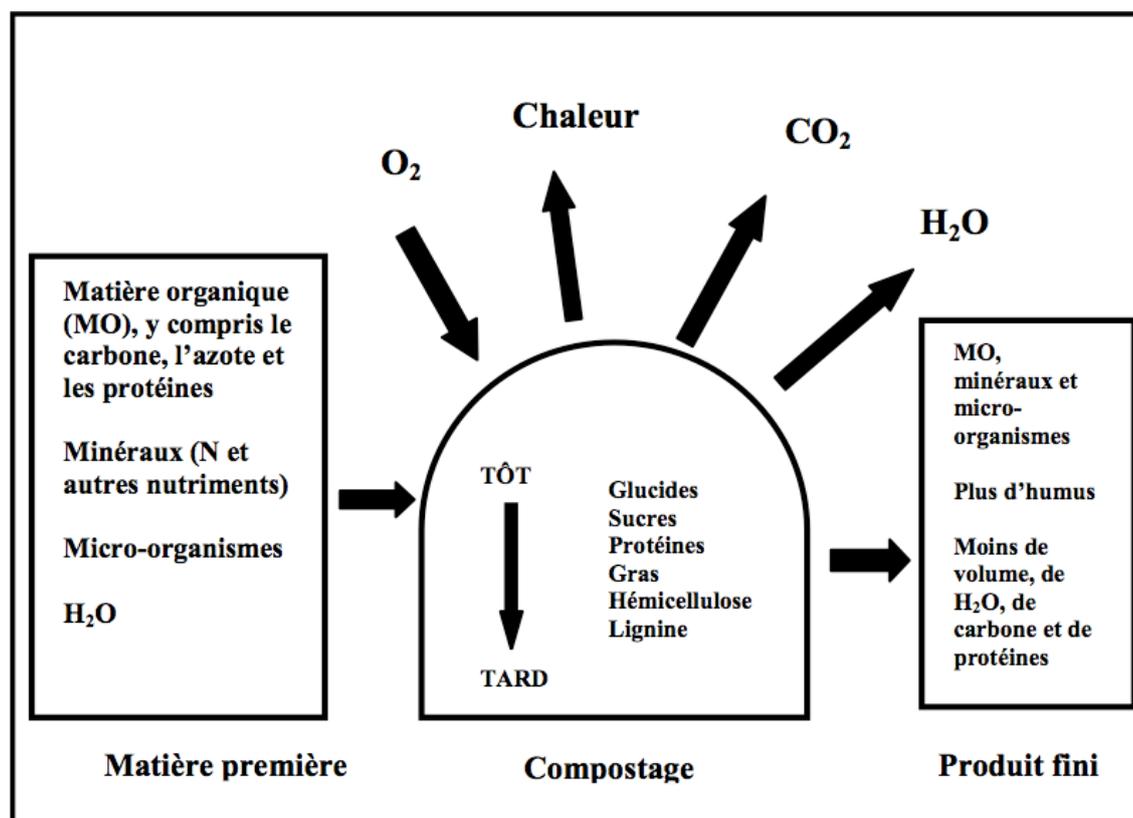
La maturation des piles de **compost**, qui atteint normalement des températures allant de 55 à 65 °C, est généralement considérée comme efficace pour contrôler les risques biologiques et se conformer aux standards sanitaires relatifs aux **composts** stipulés à la fois par l'Union Européenne et les Etats-Unis d'Amérique. La législation de l'Union Européenne encadrant la sécurité des dangers biologiques exige que les produits compostés dérivés de sources animales atteignent 70 °C, soit pendant au moins 3 heures lors de la phase de maturation du **compost**, soit pendant 1 heure si on utilise un traitement thermique à 70 °C, avant l'**épandage** sur les terres. L'établissement de la limite inférieure de létalité thermique des principaux agents pathogènes à 70 °C pendant 1 h pour assurer la biosécurité des produits compostés de déchets animaux (c'est-à-dire les formulations en **granulés**) n'est pas véritablement étayé par des tests de validation spécifiques. Ces derniers comprennent une étape de stérilisation (souvent par autoclave), suivie par l'inoculation d'espèces bactériennes sélectionnées avant exposition à 70 °C pendant 1 h et détermination de l'effet léthal. Les formulations des **composts** sous forme de **granulés** ne peuvent être stérilisées sous atmosphère humide (autoclave) sous peine de voir dégrader la structure et donc l'intégrité des échantillons. Moore *et al.* (2009) ont donc décrit une méthode de laboratoire utilisant une étape de stérilisation par irradiation au <sup>60</sup>Co appliquée à :

- des échantillons de **compost** extraits de piles de **compost** et,
- des produits en **granulés** dérivés de litières compostées.

La létalité thermique d'un processus de traitement selon un couple (temps/température soit 70 °C pendant 1 h est déterminée pour l'échantillon irradié après inoculation par un des 10 microorganismes potentiellement à l'origine d'intoxications alimentaires (*Campylobacter*, *Escherichia*, *Listeria*, *Salmonella*, *Yersinia*), et fréquemment détectées dans les **effluents** d'élevages de **volailles**. Ce test sur les échantillons de **compost** peut être utile pour l'inspection et la validation des composteurs pendant le processus de maturation, dont les températures, atteignant 55-65 °C, sont supposées efficaces pour obtenir l'assainissement bactériologique du **substrat**. Des mesures astreignantes supplémentaires de nature réglementaires sont nécessaires pour les produits compostés provenant des industriels qui produisent des **engrais** en **granulés**. Ceux-ci dérivent en effet du compostage de déchets animaux agricoles comprenant les solides de lisier de porc, la litière de **volaille** et le **compost** usagé des champignons, qui sont porteurs d'agents pathogènes résiduels potentiellement responsables d'intoxications alimentaires, avec des implications pour la chaîne alimentaire incluant l'Homme au final. Pour l'environnement, les stratégies durables de recyclage des **effluents** d'élevage nécessitent que les produits finaux compostés soient débarrassés de leurs agents pathogènes, en accord avec la législation de sécurité environnementale, avant d'être distribués sur le marché. Ce test fournit un outil de caractérisation du risque pour la gestion durable de la sécurité de l'environnement en « validant » la létalité thermique d'un processus de **compostage** donné ou de ses dérivés. Il peut également être mis en œuvre sans compromettre l'intégrité de l'échantillon.

En conclusion, le **compostage** dure environ 46 semaines pour le **fumier de volaille**. Il permet une humification (stabilisation) de la **matière organique** contenue dans le **fumier**. Il s'accompagne de l'émission de gaz en quantités importantes. Les émissions d'ammoniac peuvent être diminuées avec différents **amendements** sur le **fumier**. La **figure 3** résume l'ensemble des transformations du **fumier** au cours du **compostage**. Enfin, la méthode consistant à maintenir une température de 70 °C pendant 1 h a été validée pour l'**hygiénisation** de la litière de **volaille** (compostée ou en **granulés**). Elle permet d'éviter les risques liés à la dissémination d'organismes pathogènes lorsque la litière est destinée à l'alimentation animale (voir IV), par exemple.

Figure 3 : bilan des transformations du fumier au cours du compostage. McClintock, 2005.



## 2. Compostage en piles

Les problèmes environnementaux associés à l'application de **fumier de volaille** brut sur les terres agricoles pourraient être atténués en stabilisant les **nutriments** et la teneur en **matière organique** par un **compostage** préalable à l'**épandage**. Dans l'étude de Tiquia et Tam (2002), les changements quantitatifs des propriétés physiques, chimiques et microbiennes de la litière de **volaille** ont été analysés pour comprendre le processus de **compostage** et évaluer l'adaptabilité du produit composté comme **amendement** pour les sols. La litière était compostée en **piles à aération forcée**. La maturation du **compost** de litière de **volaille** était accompagnée par une diminution des températures internes de **compost** jusqu'au niveau de la température ambiante, une augmentation relative des teneurs en Cu, Zn, P, K et  $\text{NO}_x^-$  totaux et une diminution de la concentration en **carbone**, de la **matière organique**, des fractions extraites (C et  $\text{NH}_4^+$  extraits dans l'eau) et des taux de **métaux lourds** du **fumier de volaille**. Il a fallu 128 jours pour convertir la litière de **volaille**

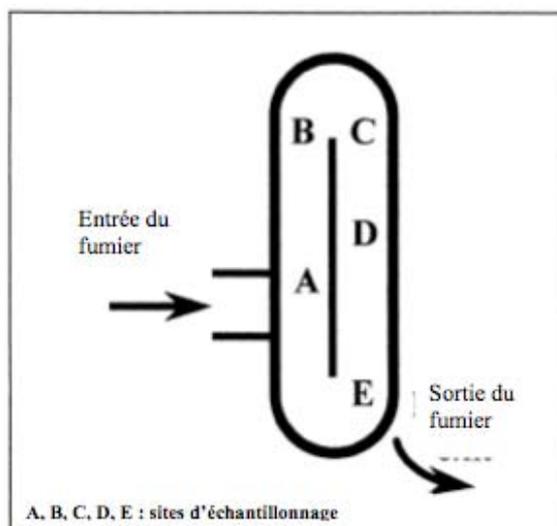
immature en un **compost** mature. Le produit final dérivé de la litière de **volaille** contenait des **nutriments** essentiels pour la croissance des plantes, y compris des oligoéléments.

En conclusion, le **compostage** de la litière de **volaille** a converti les **nutriments** solubles en des formes organiques plus stables, réduisant ainsi leur **biodisponibilité** et les risques de pertes par **ruissellement** lors de l'application sur les terres cultivées.

### 3. Techniques Okada<sup>ND</sup> et Hosoya<sup>ND</sup>

Deux principales techniques de **compostage** sont disponibles pour le traitement à la ferme : les systèmes Okada<sup>ND</sup> et Hosoya<sup>ND</sup>, tous deux d'origine japonaise (la description des deux systèmes est faite par Georgakakis et Krintas, 2000). Ils sont basés sur un système mécanique de retournement et de broyage spécialement conçu à cet effet. Il consiste en une série de couteaux ou fourchettes rotatifs au moyen desquels le **fumier** est complètement retourné, aéré et graduellement poussé vers la sortie de l'usine, laquelle consiste en une fosse longitudinale profonde, ouverte en surface, de forme ovale d'environ 80-100 m de long et 4-6 m de large (*figure 4*).

**Figure 4** : schématisation du système Hosoya. D'après Georgakakis et Krintas, 2000.



Ce système convient pour traiter le **fumier** de 100 000 à 120 000 poules pondeuses. La fosse est placée sous un abri fermé de type serre, dont le squelette métallique est recouvert de feuilles de plastique dur de couleur claire. Le but de ce type de couverture est le réchauffement de l'air intérieur par le soleil pendant les jours ensoleillés d'hiver et du début du printemps. Le reste de l'année, la chaleur solaire en excès est évacuée par des grandes ouvertures localisées sur les côtés de la serre.

Le **fumier** remplit la fosse jusqu'à 1,0 à 1,2 m de hauteur. Dans le système Okada<sup>ND</sup>, la fosse est droite alors que dans le système Hosoya<sup>ND</sup>, elle est de forme ovale. En conséquence, dans le premier cas de figure, le **fumier** est poussé en ligne droite vers la sortie tandis que dans le second, il tourne en continu, et une quantité équivalente à celle qui est entrée dans la fosse ressort par le trou de sortie pour un intervalle de temps donné. Un tour complet de fosse pour Hosoya<sup>ND</sup> dure environ 2,0 h, incluant une période de repos de 15-20 min pour la maintenance ou le repos. En une journée, il y a donc au maximum 12 rotations complètes. Un tour complet du dispositif de broyage résulte en

un déplacement du **fumier** de 1,5 m le long de la fosse ou un maximum de 18 m après 12 tours complets en 24 h. Ainsi, le temps maximum de déplacement pour le **fumier** frais avant d'atteindre la sortie de la fosse de 80 m de long est de 4,44 jours.

Georgakakis et Krintas (2000) ont conduit une étude afin d'optimiser les conditions d'utilisation du système Hosoya<sup>ND</sup> pour le **compostage** du **fumier** de **volaille** dans un élevage de poules en Grèce. La ferme était située à environ 50 km au Nord d'Athènes, avec un système Hosoya<sup>ND</sup> installé qui a été en fonction pendant plus de 4 ans. Pendant l'étude, la performance du système a été étudiée en prélevant notamment des échantillons de matériel dans la fosse (*figure 4*) pour déterminer le taux d'humidité et analyser les **solides volatils** et **totaux**. La température du matériau, tout comme la température et l'**humidité relative** de l'air environnant ont été enregistrés. Les résultats ont montré que le processus de **compostage** ne pouvait pas être achevé dans l'installation Hosoya<sup>ND</sup>. En effet, la rotation et la poussée quotidiennes du **fumier** vers la sortie, nécessaires pour atteindre le taux de rotation désiré, entraînaient une chute précoce de la température du **fumier**, ce qui altérait *de facto* le processus de **compostage** et empêchait sa finalisation. Edwards (1992, dans Georgakakis et Krintas, 2000) a suggéré qu'il faudrait faire tourner le système seulement tous les 2 ou 3 jours. Gray (1972 dans Georgakakis et Krintas, 2000) a mentionné le fait qu'une trop grande agitation peut conduire à une perte excessive de chaleur et d'humidité et réduire les capacités de dégradation du **substrat** par les microorganismes. Une étape supplémentaire est donc nécessaire pour finaliser efficacement le processus de **compostage** de ce type de **fumier**. Dans ce cas, le système Hosoya<sup>ND</sup> peut être considéré comme une étape de pré-compostage mécanique nécessaire pour le **fumier** de poules à fort taux d'humidité et à texture boueuse avant de le composter complètement en disposant le produit obtenu, relativement sec et riche en particules fines de 12 mm de diamètre ou moins en piles ou en conteneurs. Une piste d'étude pour le contrôle de la température suggérée par Georgakakis et Krintas (2000) consisterait en un raccourcissement de la fosse, ce qui permettrait par la même occasion d'en réduire le coût et de diminuer les odeurs, le temps de l'opération et le coût d'entretien de la machine.

En conclusion, le système Hosoya, tel qu'il est utilisé dans l'étude de Georgakakis et Krintas (2000), ne permet pas d'obtenir une maturation complète du **fumier**. Il peut donc être considéré comme une étape de pré-compostage mécanique, qui permet de rendre le **fumier** plus manipulable (voir C. 1.) en l'asséchant et en réduisant la taille des particules qu'il contient.

#### 4. Différents exemples de co-compostages

Le **fumier** de **volaille** est riche en fibres, en **azote** sous forme ammoniacale et en eau. Ces facteurs sont peu favorables au **compostage** de ce matériau isolé, c'est pourquoi on le trouve très souvent co-composté. Le principe général du co-**compostage** du **fumier** de **volaille** repose sur l'augmentation du ratio C/N par l'apport de matières riches en **carbone**, car le ratio C/N des **fumiers** de **volaille** est souvent faible. Cette technique permet ainsi de contrôler les émissions d'ammoniac pendant la maturation, et éventuellement d'accélérer le processus de **compostage**. On co-composte souvent la litière avec des déchets végétaux, des déchets ou des sous-produits industriels (boue de désencrage du papier, déchets de brasserie...), afin de recycler le mélange de déchets ainsi obtenu. D'autre part, le co-compost sera ensuite épandu sur les cultures, c'est pourquoi on cherche à améliorer la quantité et la qualité des **nutriments** disponibles par cette pratique. Un nombre très important de publications existe concernant les co-composts, nous en détaillerons quelques-unes seulement.

Guerra-Rodríguez *et al.* (2001) ont évalué le co-compostage de chardon de châtaigne (*Castanea sativa*) et de litière de feuilles avec du **fumier de volaille solide** en comparant plusieurs paramètres chimiques, physico-chimiques et biologiques. Le **fumier de volaille solide** correspond à une litière profonde, plus riche en matériaux ligno-cellulosiques, ammonium et avec un taux d'humidité plus important. Le pH final du co-compost était de 8,89 et le ratio C/N était de 13. L'**indice de germination** obtenu en utilisant le **compost** variait en fonction des semences utilisées. Il était de 55,35 % pour les semences de fromental (*Arrhenatherum elatius*), 156,56 % pour les semences de blé (*Triticum* sp.) et 100 % pour les semences d'orge (*Hordeum vulgare*). Le co-compost était mature en 103 jours. Le co-compostage du **fumier de volaille** avec un mélange de chardons de châtaigne et de litière de feuilles a permis de diminuer la durée du **compostage** (15 semaines par rapport aux 46 semaines lorsque la litière est compostée seule). Le produit fini présente une bonne innocuité avec des **indices de germination** élevés.

A l'instar des chardons de châtaigne, les déchets d'orge (issus de l'industrie brassicole et des malteries) en Espagne, sont pauvres en **azote** et ne peuvent être compostés seuls. La litière de **volaille** solide peut compenser le déficit en **azote**. Guerra-Rodríguez *et al.* (2000) ont réalisé un **compost** en mélangeant 24 kg de **fumier solide de volaille** et 8 kg de déchets d'orge ; ils ont déterminé un certain nombre de paramètres chimiques et physico-chimiques, et ont également réalisé des tests biologiques sur le mélange de co-compost obtenu. Le ratio 3/1 (3 : **fumier** et 1 : matériel ligno-cellulosique) entre les deux matériaux a été utilisé car Menoyo (1995, dans Guerra-Rodríguez *et al.*, 2000) a montré qu'il était optimal pour co-composter le **fumier de volaille** avec d'autres matériaux ligno-cellulosiques. Le co-compost était mature en 103 jours. Son pH final était de 8,72 et le ratio C/N de 13. Le pourcentage de germination obtenu avec ce produit variait en fonction des semences utilisées. Il était de 186 % pour les graines d'ivraie (*Lolium* sp.), 85,74 % pour les grains de blé et 103 % pour les grains d'orge. On obtient donc de nouveau une accélération du processus de **compostage**, et une innocuité très bonne du **compost** mature avec ce type de mélange.

Raviv *et al.* (1999, dans Kelleher *et al.*, 2002) ont découvert que l'ajout de peaux de pamplemousse écrasées au **compost de fumier de volaille** avait des effets bénéfiques sur les caractéristiques du produit final. La litière de **volaille** non amendée disposée en pile aérée s'échauffait de manière excessive (> 65 °C) induisant une perte rapide de **solides volatils** totaux et d'**azote**. L'ajout de 5 % de MS de peaux de pamplemousse écrasées diminuait le pH de la phase aqueuse de 6,6 à 5,8 et permettait à la température de la pile de rester sous contrôle, en dessous de 60 °C. L'**azote** était mieux conservé que les **solides volatils** totaux dans le mélange avec les peaux, pour un résultat strictement inverse observé dans le **fumier de volaille** seul. Les auteurs suggèrent que l'ammoniac libéré dans le cas du **fumier** composté seul pourrait avoir été fixé par la **matière organique** dans le mélange. L'ajout de peaux de pamplemousse a donc permis de mieux contrôler la température pendant le **compostage**, et d'éviter des pertes d'**azote** importantes sous forme d'ammoniac.

En conclusion, le co-compostage est une alternative intéressante au **compostage** du **fumier** seul. Il permet de gagner de nombreuses semaines par l'accélération du processus biologique, de limiter les pertes d'ammoniac et de modifier les caractéristiques du produit fini en vue de son **épandage**.

## 5. Amendements pour les composts

### a) Zéolithe naturelle

Les **zéolithes** sont des aluminosilicates dont les propriétés d'**adsorption** des ions, notamment métalliques, sont intéressantes. Turan (2008) a étudié la perte de **salinité** due à l'ajout de **zéolithe** naturelle lors du processus de **compostage**. Bien que ce procédé soit une alternative de gestion prometteuse des **effluents** de **volaille**, certains inconvénients alimentent les débats. Le problème principal est le risque d'obtenir un **compost** de **fumier** de **volaille** dont la **salinité** serait excessive. Des valeurs élevées correspondent à une forte teneur en minéraux solubles susceptibles d'inhiber l'activité biologique du **compost** ou de poser des problèmes lors d'une application en grandes quantités sur les terres agricoles. De la **zéolithe** naturelle a donc été appliquée sur la litière à hauteur de 5 à 10 % et le **compost** obtenu comparé à celui obtenu sans **amendement**. La concentration en sels du **compost** final diminuait si on augmentait la quantité de **zéolithe** naturelle utilisée. En utilisant 5 % et 10 % de **zéolithe** naturelle, la **salinité** du produit final diminuait de 66,64 % et 88,92 %, respectivement. La **zéolithe** avait également pour effet de diminuer le pH, le taux d'humidité, et la conductivité du **compost**. Elle augmentait la quantité d'**azote total** tout en réduisant la concentration en ammonium et ammoniac. Elle faisait diminuer le taux de **carbone** total ainsi que le rapport C/N du produit final. Ainsi, l'addition de **zéolithe** naturelle sur la litière de **volaille** s'est avérée bénéfique sur les caractéristiques du **compost** obtenu.

### b) Diminution des Composés Organiques Volatils (COVs) par différents traitements

L'objectif de l'étude de Turan *et al.* (2009) était de réduire la production de **composés organiques volatils** (VOCs) pendant le **compostage** de la litière de **volaille**. La **zéolithe** naturelle, la perlite expansée, la pierre ponce et la vermiculite expansée ont été utilisées comme « matériaux naturels » pour réduire les composés organiques volatils. Le **compostage** était réalisé à l'échelle du laboratoire dans une usine de **compostage** interne. La litière de **volaille** était compostée 100 jours avec un *ratio* volumétrique de matériel naturel/litière de **volaille** de 1/10<sup>ème</sup>. Les composés organiques volatils étaient mesurés en utilisant la méthode FT-IR pour l'analyseur de composés organiques volatils. Les expériences ont montré que la production de composés organiques volatils était plus élevée dans le traitement témoin (litière compostée seule). Les contributeurs majeurs à ces hauts niveaux seraient les composés aromatiques et aliphatiques qui résultent des conditions anaérobies générées lors du processus de **biodégradation**. Les matériaux naturels réduisaient significativement les composés organiques volatils. À la fin du processus, l'efficacité de rétention des VOCs était de 79,73 % pour le traitement **zéolithe** naturelle, 54,59 % avec la perlite expansée, 88,22 % avec la pierre ponce et 61,53 % avec la vermiculite expansée.

## 6. Recommandations et conclusion

D'un point de vue sanitaire, le **fumier** devrait toujours être composté (Ferguson et Ziegler, 2004), sauf si :

- il a été stocké pendant plus de trois mois sans nouvel apport,
- il est appliqué sur des cultures qui ne sont pas destinées à la consommation humaine,

- il est enfoui dans le sol plus de 120 jours avant la récolte d'un produit dont la partie comestible peut être en contact direct avec la surface ou les particules du sol,
- il est enfoui dans le sol plus de 90 jours avant la récolte d'un produit dont la partie comestible n'a pas de contact direct avec la surface ou les particules du sol.

D'un point de vue environnemental, Kirchmann et Lundvall (1998, dans Kelleher *et al.*, 2002) concluent dans leur étude que le **compostage** des déchets animaux, incluant la litière de **volaille**, devrait être limité à ceux qui ont besoin d'être assainis. Cette conclusion résulte de tests de laboratoire pour étudier l'effet de différents traitements de **fumiers** solides sur les pertes d'ammoniac pendant le stockage. Le **compostage** émettait significativement plus d'ammoniac que la décomposition anaérobie pendant la phase d'incubation. Cependant, l'application du matériel composté sur le sol résultait en des pertes moindres en ammoniac, puisque les concentrations résiduelles en ammonium étaient faibles. Un abattement important des pertes d'ammoniac pourrait être obtenu à condition de sécher les **fientes** avant le stockage.

En conclusion, le **compostage** est un traitement simple de la litière qui a pour conséquence une diminution du volume des déchets, une consistance améliorée des **fumiers** (matériel inodore, texture fine, taux d'humidité faible), une humification de la **matière organique**, et une élimination des agents pathogènes (Florin *et al.*, 2009 ; Preusch *et al.*, 2004). Les inconvénients de la **biodégradation** sont une perte d'**azote** et d'autres **nutriments** pendant le **compostage**, le coût des équipements nécessaires, le travail important, et les nuisances odorantes (ammoniac) qu'elle entraîne (Kelleher *et al.*, 2002).

Le processus de **compostage** immobilise l'**azote** dans la litière et produit de l'humus, une source de **matière organique** et de **nutriments** à libération lente. La libération lente des **nutriments** à partir de la litière compostée pourrait diminuer les effets néfastes pour l'environnement, causés par le **lessivage** de l'**azote** dans les eaux de **ruissellement** des fermes (Preusch *et al.*, 2004).

Le **compostage** conduit également (lorsqu'un chauffage à 70 °C pendant 3 h minimum a lieu) à une élimination des bactéries pathogènes dans le produit final. Si ce chauffage n'a pas lieu spontanément, il peut être remplacé par un traitement thermique à 70°C pendant 1 heure du **compost**.

## F. Granulation

Des techniques appropriées de gestion de la litière de poulet de chair sont nécessaires pour réduire voire éviter les risques de pollution autour des installations de production. Il en est ainsi de la **granulation**. Les objectifs de Hammac II *et al.* (2007) étaient de déterminer l'impact de cette transformation sur la concentration en **nutriments** du produit final et de déterminer la **disponibilité** de l'**azote** et du **phosphore** après **épandage** de litière de **volaille** sous forme de **granulés**. Une expérimentation sous serre portant sur des cultures d'ivraie (*Lolium multiflorum*) et de sorgho commun (*Sorghum bicolor*) a permis d'évaluer l'accumulation de matière sèche et le prélèvement d'**azote** et de **phosphore** par les plantes. Les données cumulées sur toutes les coupes montraient que les **granulés** induisaient un prélèvement d'**azote** et de **phosphore** plus faible par rapport à l'emploi de ces deux éléments sous forme inorganique. La production de **biomasse** sèche après application de cette nouvelle formule était inférieure à celle impliquant l'apport de nitrate d'ammonium (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>) mais similaire à celle consécutive à l'utilisation de phosphate de calcium. Ceci indique que la litière de **volaille** en **granulés** peut servir comme source d'**azote** et de **phosphore** pour les plantes bien que la **disponibilité** de ces deux éléments puisse être plus limitée comparée aux **engrais** inorganiques.

Le chauffage et la déshydratation de la litière de **volaille** réduiraient le nombre de microorganismes pathogènes à un faible niveau, voire pourraient les éliminer complètement. Il est possible, cependant, pour les bactéries aptes à sporuler de survivre à ces traitements, mais le risque de botulisme, par exemple, peut être substantiellement réduit si les cadavres d'oiseaux sont systématiquement relevés pour éviter qu'ils ne soient compostés avec la litière (Jeremiah et Gibson, 2003).

Le **fumier** de **volaille** peut également être **granulé** avec d'autres déchets ou sous-produits, afin d'améliorer la qualité du produit fini et sa capacité à répondre aux besoins des plantes. Ces préparations **granulées** sont appelées « **engrais** à libération progressive de **nutriments** ». Dans leur article, Rao *et al.* (2007) exposent les résultats qu'ils ont obtenus avec le **compostage** de **déchets solides** de porc (20 % du poids total), mélangé avec d'autres **substrats** biodégradables disponibles localement, comprenant la litière de **volaille** (26 %), le **compost** usagé de champignons (26 %), les coques de cacao (18 %) et le papier émincé humidifié (10 %). Les **composts** matures de 6 mois d'âge avaient une composition en **nutriments** de 2,3 % d'**azote total**, 1,6 % de **phosphore** et 3,1 % de potassium, donc trop faible pour une application directe comme **engrais** agricole. Des formulations incorporant du sang séché ou des **amendements** à base de plumes augmentaient le taux d'**azote** organique, diminuaient le taux d'humidité dans les mélanges de **composts** matures et facilitaient le processus de **granulation**. L'inclusion de suppléments minéraux, de sulfate d'ammonium, de phosphorite et de sulfate de potassium permettait d'obtenir des **engrais** à libération progressive de **nutriments** avec des ratios N/P/K de 10/3/6 et 3/10/5 qui étaient étudiés pour des prairies d'agrément comme les terrains de golf, pour l'application au printemps ou en été, et pour l'**épandage** d'automne respectivement. Des tests microbiologiques rigoureux (PCR et cultures bactériennes) entrepris tout au long du processus de **compostage** et des phases de **granulation** indiquaient que les **engrais** organo-minéraux formulés étaient dépourvus d'agents pathogènes bactériens végétatifs.

En conclusion, la **granulation** est un procédé industriel simple qui permet d'obtenir un produit sec, compact et sain, prêt à l'emploi pour être épandu sur les cultures.

De nombreuses possibilités sont offertes aux éleveurs pour l'évacuation, le stockage et le **compostage** de la litière. Au cours de ces différentes étapes, de nombreuses émissions gazeuses peuvent avoir lieu ; il convient en conséquence d'adopter des pratiques d'élevage pour les limiter (**amendements** de **zéolithe**, inoculations bactériennes, par exemple). Le **compostage** du **fumier** peut se faire soit seul, soit associé à d'autres déchets ou sous-produits. Cette dernière solution est une alternative intéressante qui permet de recycler plusieurs déchets ensemble tout en améliorant les qualités du produit final.

[MCours.com](https://www.MCours.com)