Abattements d'azote lors du compostage de fumier de vaches laitières : exemple de cinq élevages des Côtes d'Armor

Jean-Marie Paillat, Mélynda Hassouna, Paul Robin
avec la collaboration de Marcel Lecomte

INRA - Agrocampus, UMR Sol Agronomie Spatialisation,
65 rue de St Brieuc, CS 84215, 35042 Rennes Cedex 02

Résumé : *Cinq tas de fumier issus d'élevages bovins variés des Côtes d'Armor ont été compostés de février à septembre 2005. Des échantillons ont été prélevés à la mise en tas, aux retournements et avant épandage. Les analyses de matière sèche, matière organique, azote total, phosphore et potassium ont été effectuées. Ces analyses à trois dates permettent de s'assurer de la qualité des résultats pour le calcul de l'abattement d'azote. Les calculs montrent un abattement d'azote d'environ 35% de l'azote initial pour un compostage court (5 à 6 semaines) et de 45 à 55% pour un compostage d'environ 6 mois. Les compositions observées et les abattements calculés apportent des références supplémentaires pour le compostage de printemps des fumiers de vaches laitières ou allaitantes dans les régions Ouest.*

1. Introduction

L'Agence de l'Eau Loire-Bretagne, dans le cadre des travaux du CORPEN, a sollicité une étude de terrain pour déterminer l'abattement d'azote occasionné par le compostage de fumier de vaches laitières en stabulation paillée. Cette étude a été mise en place auprès de 5 élevages des Côtes d'Armor par la CUMA Agricompost. L'INRA (UMR SAS) a été chargé d'effectuer les prélèvements sur les tas et de traiter les données d'analyses chimiques effectuées par le Laboratoire de Développement et d'Analyses (LDA) de Ploufragan (22).

2. Matériels et méthodes

2.1. Conduite du compostage

Cinq tas de compost ont été suivis de février à septembre 2005. Le fumier provenait principalement de litière accumulée pour vache laitière (éleveurs 1 et 2), mélangé à celui des autres ateliers de l'élevage quand tous les bâtiments ont été vidés au même moment (éleveur 3). Lorsque le tas était constitué de fumiers mis en tas à des dates différentes, seule la partie mise en tas au démarrage de l'expérimentation a été suivie (éleveur 4). Dans un cas, il s'agissait de vaches allaitantes avec l'usage d'un additif microbien (éleveur 5).

Le fumier a été positionné en andain par les éleveurs de manière habituelle, puis mélangé avec un retourneur d'andain de marque Jeantil. Trois passages (R1, R2, R3) ont été effectués après des durées variables (cf. annexe). Le premier passage était destiné à homogénéiser le produit initial de manière à vérifier l'analyse des échantillons prélevés en stabulation (S0). Le troisième retournement (R3) a eu lieu juste avant l'épandage de manière a bien homogénéiser le matériau avant le prélèvement final. Le dernier passage a eu lieu après des durées contrastées, allant d'un compostage court d'environ cinq semaines avec épandage au printemps, à un compostage long de six mois avec épandage à l'automne. Nous avons vérifié que le réglage du retourneur évitait d'entraîner la surface du sol dans le compost, ce qui aurait perturbé le bilan en matières minérales. Les prélèvements ont été réalisés après chaque retournement. Nous avons effectué l'échantillonnage après les retournements R2 et R3. Les éleveurs ont réalisé les prélèvements S0 et R1. Dans le cas des élevages 1 et 2, les échantillons S0 et R1 ont été perdus par suite d'une panne de congélateur.

2.2. Prélèvement et analyse des échantillons

La méthode de prélèvement que nous avons mise en œuvre a consisté à collecter à la fourche environ 40 prises de matériau en surface de l'andain et 20 autres en profondeur (20 à 50 cm). La totalité du matériau prélevé (environ 50 kg) a été homogénéisée par brassage à la fourche sur une plaque rigide en polyéthylène, puis divisée en deux parties. Une des parties a été à nouveau mélangée puis divisée en 2. Cette opération a été répétée jusqu'à l'obtention d'un échantillon homogène et représentatif d'environ 3 à 4 kg divisé lui-même en 2 sous-échantillons : un stocké chez l'éleveur (lorsque l'éleveur était présent lors du retournement) avant d'être regroupé avec les autres échantillons de l'expérimentation et acheminé au LDA pour analyses, un congelé à l'UMR SAS puis broyé et homogénéisé à l'état congelé en vue d'analyses ultérieures. Les méthodes mises en œuvre par les éleveurs ont pu être sensiblement différentes (prélèvement en surface du tas après passage du retourneur, prélèvement sur plusieurs sections du tas lors d'arrêts successifs du retourneur, etc.).

Sur l'échantillon envoyé au LDA, des analyses classiques d'effluents ont été effectuées. Les mesures réalisées sur le produit frais sont : la teneur en matière sèche (MS) (étuve à 105° C pendant 24h), la teneur en azote (minéralisation par la méthode Kjeldhal) et la teneur en ammonium (alcalinisation, distillation, puis titration). Les teneurs en nitrates et en nitrites n'ont pas été mesurées en raison des teneurs habituellement négligeables observées dans les composts jeunes d'effluents d'élevage. Il conviendrait néanmoins d'en tenir compte pour des durées de compostage de l'ordre de l'année. Les mesures réalisées sur le produit séché sont : la teneur en matière minérale (MM) (calcination au four à 550°C), la teneur en phosphore total (attaque acide des cendres et dosage par colorimétrie) et la teneur en potassium total (attaque acide des cendres et dosage par émission de flamme).

2.3. Principe de calcul de l'abattement d'azote

Pour calculer la perte d'azote (et des autres éléments), nous avons fait l'hypothèse de la conservation du phosphore (noté P[1], éq. 1), le potassium (noté K[2]), pouvant, quant à lui, migrer au sein du tas, entraîné par les liquides et se retrouver dans la couche basse souvent hors de l'action du retourneur. Il ne s'agit pas de lessivage lorsque cette couche au ras du sol est reprise au moment de l'épandage[3]. Les équations 8 et 9 permettent de calculer la perte pour chacun des éléments (exemple de l'azote total et du potassium sous forme K_2O). Il est préférable d'utiliser les mesures telles qu'elles sont effectuées (par exemple : N en % du produit brut ; P en % du produit sec) afin d'éviter d'introduire des écarts liés à l'arrondi des chiffres lors des conversions utilisant les mesures de matière sèche. La cohérence des résultats est analysée en vérifiant le bilan sur le potassium et la perte progressive de MS, de MO et d'eau ce qui nécessite au moins trois dates de prélèvement espacées d'au moins une semaine.

La perte relative d'azote (l'abattement en pourcentage) est calculée de la façon suivante (éq. 1) :

$$\text{Pertes N} = (M_i^h \times N_i^h - M_f^h \times N_f^h) / M_i^h N_i^h = 1 - M_f^h/M_i^h \times N_f^h/N_i^h \qquad [1]$$

avec M_i^h et M_f^h les masses totales de fumier ou compost humide (initiale et finale[4]), N_i^h et N_f^h, les teneurs en N initiale et finale mesurées sur le produit brut (par exemple, dans les mesures suivantes, en % Ntk par rapport au produit brut).

Si l'on suppose que le phosphore est conservé, on peut écrire la relation suivante (éq. 2) :

$$M_i^s \times P_i^s = M_f^s \times P_f^s \qquad [2]$$

avec M_i^s et M_f^s les masses totales de matière sèche initiale et finale, P_i^s et P_f^s les teneurs en P initiale et finale mesurées sur la matière sèche (par exemple, dans les mesures suivantes, en % P_2O_5 par rapport à la matière sèche).

Par ailleurs, les masses de matière sèche utilisées dans l'équation [2] sont calculées de la façon suivante (éq. 3 et 4) :

Masse totale de matière sèche initiale : $M_i^s = MS_i \times M_i^h$ [3]

Masse totale de matière sèche finale : $M_f^s = MS_f \times M_f^h$ [4]

---

1 1 kg de P correspond à 2,3 kg de P_2O_5 [2,3 = (31*2 + 16*5)/(31*2)]

2 1 kg de K correspond à 1,2 kg de K_2O [1,2 = (39*2 + 16)/(39*2)]

3 Il convient cependant de préciser que le lessivage d'éléments (azote, potassium et autres éléments solubles) hors du tas est possible lors de pluies abondantes sur des tas déjà humides. Dans le cas présent, compte tenu du mode de calcul adopté, le lessivage se manifesterait par un déficit de potassium par rapport au phosphore.

4 les indices i et f correspondent aux dates initiale et finale ; les exposants s et h correspondent aux produits sec et brut

avec MS_i et MS_f les teneurs en matière sèche initiale et finale.

Les masses non connues (M_i^s , M_i^h , M_f^s , M_f^h) peuvent être remplacées en exprimant les rapports suivants à partir des équations [2], [3] et [4] :

$M_i^s / M_f^s = P_f^s / P_i^s$ [5]

$M_f^h / M_i^h = (M_f^s / MS_f) / (M_i^s / MS_i) = (MS_i / MS_f) / (M_i^s / M_f^s)$ [6]

d'où l'on déduit :

$M_f^h / M_i^h = (MS_i / MS_f) / (P_f^s / P_i^s)$ [7]

2.4. Equations utilisées

Ainsi en remplaçant le rapport M_f^h / M_i^h dans l'équation [1], on obtient, pour les éléments mesurés sur le produit brut (par exemple l'azote) :

Perte $N = 1 – (N_f^h/N_i^h) \times (MS_i / MS_f) / (P_f^s / P_i^s)$ [8]

Ce qui donne pour les éléments mesurés sur le produit sec (par exemple le potassium) :

Perte $K = 1 – (K_f^s/ K_i^s) / (P_f^s / P_i^s)$ [9]

et pour la matière sèche :

Perte $MS = 1 – (P_i^s / P_f^s)$ [10]

Les pertes d'eau sont calculées ici en négligeant la pluie, ce qui revient à supposer que toute l'eau de pluie (ou de rosée) est évaporée du tas. Cette hypothèse, acceptable ici dans le cas d'un compostage de printemps une année faiblement pluvieuse, est à reconsidérer pour chaque période où l'on utilise ce type de méthode.

2.5. Exemple

	Matière sèche (MS)	**Azote (Ntk)**	**Phosphore (P_2O_5)**
Fumier initial	$MS_i = 17,2\%$	$N_i^h = 0,53\%$	$P_i^s = 0,98\%$
Compost final	$MS_f = 24,3\%$	$N_f^h = 0,75\%$	$P_f^s = 2,1\%$
abattement	Pertes $N = 1 – (0,75/0,53)x(17,2/24,3)/(2,1/0,98)$		**53% N initial**

3. Résultats et discussion

3.1. Composition des fumiers et composts

La liste des échantillons analysés avec les dates de prélèvement et les échantillons retenus pour le calcul des compositions moyennes et des abattements est donnée en annexe. Les échantillons faits aux premier et deuxième passage du retourneur permettent de vérifier la progressivité de l'abattement d'azote, d'eau et de matière organique.

Le tableau 1 présente les compositions moyennes du fumier de départ et du compost final ainsi que leur variabilité. Les tableaux 2 et 3 présentent les résultats détaillés des analyses, exprimés sur le produit brut et sur le produit sec, respectivement.

Tableau 1 Composition chimique moyenne des fumiers et des composts

composition du produit brut

Produit brut	Durée (jours)	MS (% brut)	MM (kg/tonne)	MO (kg/tonne)	Ntk (kg/tonne)	$N\text{-}NH_4^+$ (kg/tonne)	P_2O_5 (kg/tonne)	K_2O (kg/tonne)
Stabulation [a]	0	22 ± 4	34 ± 13	191 ± 40	6 ± 1	1 [0,1 à 1,7]	2 ± 0	9 ± 3
CV (%) [b]		*19%*	*40%*	*21%*	*24%*	*79%*	*15%*	*38%*
Compost [c]	39 [d] [28 à 219]	26 ± 4	90 ± 32	172 ± 13	7 ± 1	0,4 [0,0;1,1]	4 ± 1	13 ± 4
CV (%) [b]		*14%*	*36%*	*7%*	*15%*	*87%*	*31%*	*34%*

composition de la matière sèche

matière sèche	C / N (kg C/kg N)	NH_4^+/Ntk (%)	MM (% MS)	MO (% MS)	NtK (% MS)	$N\text{-}NH_4^+$ (% MS)	P_2O_5 (% MS)	K_2O (% MS)
	N							
Stabulation [a]	17 ± 4	16 [2 à 32]	15,0 ± 5,5	85,1 ± 5,5	2,6 ± 0,5	0,4 [0,04 à 0,99]	0,9 ± 0,1	3,9 ± 1,2
CV (%) [b]	*23%*	*85%*	*37%*	*6%*	*20%*	*94%*	*14%*	*31%*
Compost [c]	13 ± 2	7 [0 ; 18][e]	33,6 ± 7,8	66,5 ± 7,8	2,6 ± 0,2	0,2 [0,00 à 0,48]	1,5 ± 0,4	4,9 ± 1,1
CV (%) [b]	*15%*	*93%*	*23%*	*12%*	*9%*	*95%*	*25%*	*23%*

[a] moyenne sur 4 échantillons ± écart type , ou moyenne et gamme de variation (lorsque le CV est élevé).

[b] *CV* = coefficient de variation (écart type exprimé en % de la valeur moyenne).

[c] moyenne sur 6 échantillons (R3 des 5 élevages ainsi que R2 de l'élevage n°4, à 42 jours) ; moyenne ± écart type , ou moyenne et gamme de variation (lorsque le CV est élevé).

[d] Il s'agit de la durée moyenne pour les trois tas considérés, cependant la composition du tas après 7 mois de compostage était également dans cette gamme de composition ; la prise en compte de tous les tas « R3 » ne change pas cette composition moyenne.

[e] Il n'y a pas de relation entre les teneurs en azote ammoniacal initiale et finale ; dans notre cas le fumier le plus riche est devenu le compost le plus pauvre (éleveur 4), en raison de la longue durée de compostage (7 mois).

Les fumiers en sortie de stabulation ont des caractéristiques assez voisines (Tableau 1) : MS = 22 ±4%. Les coefficients de variation de la composition de la MS sont faibles (MO, P_2O_5) à moyens (MM, K_2O) en relation avec la variabilité des analyses d'une part et la variabilité de la complémentation minérale des animaux d'autre part. L'ammonium présente une forte variabilité relative (79% sur le produit brut) liée à la teneur en ammonium généralement faible des fumiers mais variable en raison des différences de conduite de la litière, de l'alimentation des vaches laitières et de leur production de lait. Le fumier de l'éleveur 4 est particulièrement riche en azote ammoniacal comme la plupart des fumiers humides. Les composts obtenus avec 1 ou 2 retournements après en moyenne 37 jours de compostage (tas 3, 4 et 5) sont assez semblables : MS = 26 ±4%. La composition de l'ensemble des composts étant assez voisine, nous avons utilisé tous les échantillons R3 disponibles ainsi que l'échantillon R2 de l'élevage 4, en raison de la date de prélèvement 42 jours après la mise en tas. Les coefficients de variation de la composition sont dans la même

gamme avant et après compostage. On retrouve la tendance à l'augmentation des teneurs en MM, P et K avec l'augmentation de la durée de compostage.

Tableau 2 Composition chimique des fumiers et compost (exprimée en kg par tonne de produit brut)

produit brut	Durée (jours)	MS	*MM*	*MO*	NtK	$N\text{-}NH_4^+$	P_2O_5	K_2O
Elevage n° 1								
R2	(19)	253	*74*	*179*	5,3	0,7	*2,5*	*7,1*
R3	(28)	262	*89*	*173*	6,1	0,5	*3,1*	*12,6*
Elevage n° 2								
R2	(19)	275	*96*	*179*	5,4	0,5	*3,0*	*11,3*
R3	(55)	268	*105*	*163*	6,8	0,4	*4,0*	*15,5*
S0*	(0) *	225*	*52**	*173**	5,7*	1,2*	*2,1**	*12,6**
Elevage n° 3								
S0	0	277	*33*	*244*	7,5	0,6	*2,2*	*10,5*
R1	13	211	*34*	*177*	5,2	0,7	*2,0*	*9,7*
R2-bis	25	233	*61*	*172*	6,1	0,7	*2,3*	*10,5*
R3-bis	34	235	*67*	*168*	6,2	0,5	*2,8*	*12,0*
Elevage n° 4								
S0	0	172	*20*	*152*	5,3	1,7	*1,7*	*4,6*
R1	31	225	*28*	*197*	5,5	1,2	*2,2*	*5,4*
R2	42	230	*48*	*182*	6,0	1,1	*2,8*	*6,7*
R3	219	243	*88*	*155*	7,5	0,0	*5,1*	*11,2*
Elevage n° 5								
S0	0	223	*30*	*193*	4,2	0,1	*1,7*	*8,0*
R2	14	245	*64*	*181*	4,4	0,3	*2,5*	*9,8*
R3	35	331	*141*	*190*	87	1	*5,6*	*19,9*

* ce prélèvement a été effectué dans la même stabulation que le fumier initial correspondant à R2 et R3, mais il ne correspond pas au fumier qui a été composté

Les nombres en italiques sont des valeurs calculées.

Le tas n°3 présente une forte différence de teneur en matière sèche entre le prélèvement fait en stabulation et celui fait après le 1er passage de retourneur (Tableau 2). Cette différence peut être le fait d'un défaut de représentativité de l'échantillon ou d'une pluie survenue avant le 1er passage. Mis à part ce cas, la teneur en MS augmente au cours du compostage en relation avec la perte d'eau consécutive à l'augmentation de température. La teneur en ammonium du tas 5 est particulièrement faible, relativement aux autres tas ; elle correspond probablement à un fumier plus pailleux, le rapport C/N estimé étant plus élevé que pour les autres tas. A l'inverse, le tas 4 présente des teneurs en azote et en ammonium plus élevées, la part d'azote ammoniacal dans l'azote total y est plus élevée que dans les autres tas et le rapport C/N plus faible. Ces teneurs en azote total et azote ammoniacal plus élevées sont à mettre en relation avec une humidité supérieure du fumier initial.

Tableau 3 Composition chimique de la matière sèche des fumiers et compost (% de MS)

matière sèche	*C/N***	*N-NH_4^+/Ntk*	MM	MO	*NtK*	*N-NH_4^+*	P_2O_5	K_2O
Elevage n° 1								
R2	*17*	*13%*	29,3	70,7	*2,09*	*0,27*	1,00	2,80
R3	*14*	*8%*	33,8	66,2	*2,33*	*0,19*	1,20	4,80
Elevage n° 2								
R2	*17*	*9%*	34,9	65,1	*1,96*	*0,18*	1,10	4,10
R3	*12*	*6%*	39,3	60,7	*2,54*	*0,15*	1,50	5,80
S0*	*15**	*21%**	23,1*	76,9*	*2,53**	*0,53**	0,95*	5,60*
Elevage n° 3								
S0	*16*	*8%*	11,8	88,2	*2,71*	*0,21*	0,79	3,80
R1	*17*	*13%*	16,3	83,7	*2,46*	*0,32*	0,97	4,60
R2-bis	*14*	*11%*	26,2	73,8	*2,62*	*0,28*	1,00	4,50
R3-bis	*14*	*8%*	28,6	71,4	*2,64*	*0,21*	1,20	5,10
Elevage n° 4								
S0	*14*	*32%*	11,6	88,4	*3,08*	*0,99*	0,98	2,70
R1	*18*	*22%*	12,6	87,4	*2,44*	*0,53*	0,98	2,40
R2	*15*	*18%*	20,9	79,1	*2,61*	*0,48*	1,20	2,90
R3	*10*	*0%*	36,1	63,9	*3,09*	*0,00*	2,10	4,60
Elevage n° 5								
S0	*23*	*2%*	13,3	86,7	*1,88*	*0,04*	0,74	3,60
R2	*21*	*8%*	26,2	73,8	*1,80*	*0,13*	1,00	4,00
R3	*11*	*2%*	42,6	57,4	*2,63*	*0,04*	1,70	6,00

* ce prélèvement a été effectué dans la même stabulation que le fumier initial correspondant à R2 et R3, mais il ne correspond pas au fumier qui a été composté
** le rapport C/N est estimé en considérant la teneur en carbone égale à la moitié de la teneur en MO.
Les nombres en italiques sont des valeurs calculées.

Le taux de paillage des animaux et la durée de séjour des animaux sur la litière influencent les caractéristiques du fumier initial (voir les références obtenues par l'Institut de l'Elevage). Avec l'oxydation du carbone et l'émission consécutive de CO_2, les teneurs en MO diminuent fortement avec pour conséquence une augmentation des teneurs en matières minérales, P et K qui sont des éléments non volatils. L'azote ammoniacal présent ou produit par l'ammonification est soit volatilisé, soit organisé par la biomasse, la nitrification restant faible durant la phase thermophile du compostage. Ainsi, les teneurs en ammonium diminuent. Par contre, la teneur en azote total reste stable dans la MS signifiant que les pertes de MS et d'azote sont assez proches. La teneur en azote dans le produit brut augmente légèrement au cours du compostage.

3.2. Abattement d'azote

En se basant sur la conservation du phosphore, les pertes ont été exprimées pour les principaux éléments (Tableau 4). Les valeurs obtenues ont permis d'éliminer les mesures non exploitables pour le calcul de l'abattement d'azote. Nous avons retenu les données de l'échantillon R2 après 42 jours pour connaître l'abattement en fin de compostage. Cet élevage étant le seul pouvant donner des pertes sur une longue période, nous avons également calculé

ses pertes en considérant la conservation simultanée de P et K (moyenne). Dans ce cas les abattements de MS, MO et Ntk sont réduits d'environ 10%, soit 45% d'abattement pour Ntk. Le calcul de la perte d'eau sur l'élevage 3 montre que l'échantillon prélevé en stabulation était probablement plus sec que le fumier initial[5]. Les teneurs observées sur le fumier brut sont donc probablement surestimées. En revanche, les abattements de MS et MO et la conservation de K_2O sont proches des valeurs observées dans les autres élevages. Par conséquent, nous considérons que la matière sèche est représentative du fumier initial et les valeurs sont utilisées pour le calcul des abattements moyens. Enfin, les élevages 1 et 2, pour lesquels nous n'avions pas la composition initiale, n'ont pas été utilisés lors du calcul. Le Tableau 4 présente les moyennes des pertes d'éléments ainsi calculées, en considérant les différentes périodes du compostage.

Les pertes en MS et MO sont plus élevées après le 1er retournement qu'avant. Elles atteignent 36% pour la MS et près de 50% pour la MO après 5 semaines de compostage avec un retournement. Les pertes de MS et MO se poursuivent pendant la maturation (10 à 20%) signifiant une forte minéralisation du compost.

Constituant la base de notre raisonnement, les pertes en P sont considérées nulles. La conservation du K est correcte dans les échantillons retenus (recouvrement à environ 20%, Tableau 4). D'autre part, nous n'avons pas raisonné les variations de teneurs en matières minérales car leur bilan est toujours excédentaire, y compris dans des expérimentations réalisées avec une pesée rigoureuse des tas. Deux hypothèses peuvent expliquer cet excédent : l'incorporation de minéraux lors des retournements (terre, etc. ; cette incorporation est impossible dans certaines expérimentations en conditions contrôlées), la méthode d'analyse par calcination d'un produit préalablement séché à l'étuve et qui a perdu de la MO.

A partir de ces données, il est possible d'estimer les pertes d'azote lors du compostage des fumiers considérés. Des pertes en N ont lieu dès la mise en tas du fumier, 20 à 25% de l'azote initial pour une durée moyenne de 19 jours. Après 1 ou 2 retournements, on constate une perte d'azote supplémentaire de 10% à 15% pour une durée moyenne de 18 jours, ce qui correspond à une perte totale d'environ 35% de l'azote initial pour un compost jeune (environ 5 semaines). Après une maturation de quelques mois, on note 10 à 20% de perte supplémentaire (selon que l'abattement est calculé sur P ou sur la moyenne de P et K). La variation du stock d'azote ammoniacal est faible avant le premier retournement (10%) car l'ammonification de composés azotés facilement dégradables est intense et vient compenser l'organisation et la volatilisation. Elle est plus importante après le 1er retournement (environ 35%), signifiant une forte organisation de l'azote ammoniacal. Dans cette période, la perte d'azote est plus faible et la nitrification est favorisée par la baisse des températures de tas. La diminution relative du stock d'ammonium se poursuit durant la maturation avec la nitrification, les pertes d'azote de cette période étant probablement le fait de la dénitrification.

[5] l'hypothèse de la pluie évoquée plus haut s'avère ici peu probable car il aurait fallu que 50 à 100 mm de pluie imprègnent le tas entre les 4 et 17 mars 2005, alors que mars 2005 a été plutôt sec.

Tableau 4 Pertes moyennes d'éléments lors du compostage (% initial)

	Durée (jours)	MS	eau	MM [a]	MO	**NtK**	$N\text{-}NH_4^+$ [b]	P_2O_5 [c]	K_2O [c]
Elevage n° 3									
R1	13	19%	-17%	-13%	23%	**26%**	-26%	0%	1%
R2-bis	25	21%	0%	-75%	34%	**24%**	-7%	0%	6%
R3-bis	34	34%	18%	-60%	47%	**36%**	33%	0%	12%
Elevage n° 4									
R1	31	0%	28%	-9%	1%	**21%**	46%	0%	11%
R2	42	18%	43%	-47%	27%	**31%**	60%	0%	12%
R3	219	53%	70%	-45%	66%	**53%**	100%	0%	20%
Elevage n° 5									
R2	14	26%	35%	-46%	37%	**29%**	-122%	0%	18%
R3	35	56%	75%	-39%	71%	**39%**	59%	0%	27%
Moyennes									
mise en tas [d]	19	15%	32%	-22%	20%	**25%**	10% [f]	0%	10%
compost jeune [e]	37	36%	59%	-49%	48%	**35%**	47% [f]	0%	17%
compost mûr	219	53%	70%	-45%	66%	**53%**	100%	0%	20%

[a] des valeurs négatives (augmentation de la quantité de matières minérales) sont fréquemment observées lors des bilans matière de compostage (cf. texte).

[b] des valeurs aberrantes peuvent être observées en raison de la faiblesse des teneurs et de la précision des mesures.

[c] les abattement de P sont nuls par hypothèse de calcul ; la diminution du potassium s'explique par une probable migration vers la base du tas ; dans le cas présent, l'hypothèse d'une sortie du tas par lessivage est peu probable car la diminution du potassium sur l'élevage 4 après 219 jours reste voisine (c'est-à-dire dans une gamme de ± 10% correspondant à une possible erreur d'échantillonnage ou d'analyse) de celle des autres tas (R2 à R3 des élevages 3 à 5 ; l'azote ayant pu migrer comme le potassium on peut en déduire l'incertitude sur l'abattement d'azote : il peut être surestimé de 10% en début de compostage à 20% en fin de compostage.

[d] utilisation de R1(3), R1(4) et R2(5) (sauf pour l'eau où l'élevage 1 n'est pas considéré)

[e] utilisation de R3bis(3), R2(4), R3(5)

[f] moyenne sur les élevages 3 et 4, l'élevage 5 est éliminé du calcul en raison des valeurs trop faibles de concentration qui augmentent l'effet de l'erreur de mesure sur le calcul d'abattement

4. Conclusion

L'objectif de ce travail était d'apporter des références supplémentaires de pertes azotées lors du compostage de fumier de vaches laitières, à partir de mesures de terrain. Malgré le faible nombre d'élevages considérés et une variabilité initiale entre les élevages *a priori* importante, les données sont assez homogènes entre les élevages et cohérentes entre les différentes analyses considérés. Par ailleurs, les durées de compostage ont varié fortement entre un compostage court avec épandage au printemps et un compostage long avec épandage à l'automne. Sur la base de ces mesures, nous proposons de retenir pour le compostage de printemps **35% de pertes azotées pour un compost jeune (5 à 6 semaines) et 45 à 55% pour un compost d'environ 6 mois**. Ces chiffres sont volontairement arrondis en raison de la variabilité entre élevages et des incertitudes de mesure sur la composition initiale, la composition finale, les conditions de mise en tas, les conditions climatiques au cours du compostage. Ces valeurs se décomposent de la façon suivante : 20 à 25% de pertes 3 semaines après la mise en place, 10 à 15% de pertes après le premier retournement et jusqu'à

l'obtention d'un compost jeune de 5 semaines après la sortie du fumier, puis 10 à 20% de pertes supplémentaires lors d'une maturation jusqu'à l'automne en andain. La variabilité est accrue dans la période de maturation en raison de la plus longue durée et de l'état du tas, généralement moins chaud et moins haut dans cette phase de maturation, deux facteurs qui accroissent la sensibilité du résultat au climat. Ces indications devraient être utilisables pour des fumiers de composition analogue (cf. Tableau 1), dans le cas du compostage de printemps des fumiers de vaches laitières ou allaitantes, dans les régions de l'Ouest.

5. Remerciements

Nous remercions toutes les personnes ayant contribué à la réalisation de cette étude, en particulier A. Pochon qui en a été à l'origine, R. Hamon de la CUMA Agricompost, le conducteur du retourneur et les éleveurs qui ont mis en place les conditions matérielles de cet essai sur le terrain et facilité notre intervention dès le passage du retourneur, E. Gouret et S. Pennec du LDA 22 qui ont contribué à la qualité des analyses des produits, Y. Hurvois de l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne, J. Ollivier et J. Deniaud du Conseil Général des Côtes d'Armor qui ont permis de définir l'étude et d'en assurer le financement.

6. Annexe : usage des échantillons prélevés

Tas	Date de prélèvement	commentaire	évaluation de l'abattement	calcul composition initiale	Calcul composition finale	calcul abattement
Elevage n° 1						
S0	(10/03/2005) [a]	échantillon perdu	-	-	-	-
R1	(17/03/2005) [a]	échantillon perdu	-	-	-	-
R2	29/03/05		+	-	-	-
R3	07/04/05		+	-	+	-
Elevage n° 2						
S0	(10/03/2005) [a]	échantillon perdu	-	-	-	-
R1	(17/03/2005) [a]	échantillon perdu	-	-	-	-
R2 [b]	29/03/05		+	-	-	-
R3 [b]	04/05/05		+	-	+	-
S0 [b, d]	04/05/05		+	+	-	-
Elevage n° 3						
S0	04/03/05		+	+	-	+
R1	17/03/05		+	-	-	-
R2 [c]	29/03/05	non utilisé, doute sur les mesures [e]	-	-	-	-
R3 [c]	07/04/05	non utilisé, doute sur les mesures [e]	-	-	-	-
R2bis [b, c]	29/03/05		+	-	-	-
R3bis [b, c]	07/04/05		+	-	+	+
Elevage n° 4						
S0	15/02/05		+	+	-	+
R1	18/03/05		+	-	-	-
R2 [b]	29/03/05		+	-	+	+
R3 [b]	22/09/05		+	-	+	+
Elevage n° 5						
S0	16/03/05		+	+	-	+
R1	17/03/05	non utilisé, origine incertaine [f]	-	-	-	-
R2 [b]	30/03/05		+	-	-	-
R3	20/04/05		+	-	+	+

[a] la date exacte de la mise en tas n'a pas été enregistrée (fin février - début mars), les autres dates des prélèvements S0 et R1 sont données par les éleveurs ; le premier passage du retourneur a eu lieu le 17 ou le 18 mars

[b] ces échantillons ont été broyés congelés à l'INRA avant analyse au LDA

[c] deux échantillons ont été analysés pour les prélèvements R2 et R3, l'un acheminé par l'éleveur et broyé avant analyse, l'autre acheminé et broyé congelé par nos soins

[d] ce prélèvement a été effectué dans la même stabulation que R2 et R3, mais ne correspond pas au fumier qui a été composté

[e] ces deux mesures sont trop proches pour correspondre à des prélèvements à deux dates différentes

[f] l'éleveur n'a pas fait de prélèvement ce jour là et la teneur en azote ammoniacal est trop faible (par rapport aux prélèvements S0 et R2 et par rapport aux autres échantillons R1) pour correspondre à un fumier avant compostage