

# Effet de la réduction du taux protéique de l'aliment sur la volatilisation ammoniacale des effluents porcins

Stéphanie PORTEJOIE (1), Jean-Yves DOURMAD (2), José MARTINEZ (1), Yves LEBRETON (2)

(1) CEMAGREF – 17, avenue de Cucillé, 35044 Rennes Cedex

(2) I.N.R.A. UMR Veau Porc – 35590 Saint Gilles

## Effet de la réduction du taux protéique de l'aliment sur la volatilisation ammoniacale des effluents porcins

L'objectif de cette expérience est de déterminer l'influence de trois conduites alimentaires différenciées par l'apport de protéines (12, 16 et 20%) sur les performances zootechniques, sur l'excrétion azotée des animaux, sur la volatilisation de l'ammoniac des effluents au laboratoire et sur le terrain. Quinze mâles castrés sont placés en cage de digestibilité et affectés aux trois traitements sur la base d'une mise en lot en 5 blocs de 3 animaux. L'expérimentation a duré 21 jours durant lesquels les excréta sont collectés séparément. Un échantillon de chaque type d'effluent (urines seules, lisier frais et lisier de 18j) est placé dans une cellule au laboratoire pendant 7j, pour établir la cinétique de volatilisation au stockage. Un suivi sur le terrain, de l'évolution de la composition des lisiers au cours d'un stockage de trois mois et de la cinétique de la volatilisation de l'ammoniac lors de l'épandage, est effectué. La diminution de la teneur en protéines du régime, permet une réduction importante de l'excrétion azotée, surtout au niveau de la fraction urinaire sans affecter les performances zootechniques ainsi qu'une diminution de la quantité d'excréta, la consommation d'eau étant réduite. Les teneurs en azote ammoniacal et en azote total ainsi que le pH diminuent linéairement avec le taux protéique. Tous ces facteurs contribuent à réduire les pertes par volatilisation de l'ammoniac aux différents stades de la gestion des effluents. Sur l'ensemble du processus de gestion des effluents, une réduction de la volatilisation de l'ammoniac de 63% est obtenue en abaissant le taux protéique de l'aliment de 20 à 12%.

## Effect of the reduction of dietary crude protein on ammonia volatilisation from pig effluent

The aim of this study was to evaluate the effects of three strategies of protein feeding (12, 16 and 20%) on animal performance, nitrogen excretion and ammonia emission in the laboratory and in the field. The animals (15 castrated males) were housed individually in metabolism cages and were fed one of the three diets. The experiment lasted 21 days and urine and faeces were collected separately. Samples of each type of effluent (urine alone, recent slurry and 18-day old slurry) were placed in a laboratory system designed to measure ammonia emission for 7 days. In the field, measurements of ammonia volatilisation were made during storage and surface-application of slurry. Lowering dietary crude protein while maintaining normal growth rate reduced urinary nitrogen and total amount of effluent, because of a lower water consumption. Ammoniacal nitrogen content, total nitrogen content and pH decreased when dietary crude protein decreased. This consequently reduced ammonia emission during all the stages of the management of the effluents. Over the whole process of the slurry ammonia emission was reduced by 63% when dietary protein decreased from 20 to 12%.

## INTRODUCTION

Les émissions d'ammoniac, pour la partie ouest de l'Europe, ont été estimées entre 2,8 et 5,2 Mt de N-NH<sub>3</sub> par an (ECE-TOC, 1994). A l'échelle mondiale, ces émissions ont été estimées à 54 Mt par an (ECETOC, 1994 ; OLIVIER et al., 1998). Plus de 95% des émissions sont d'origine agricole et la majeure partie provient des effluents d'élevage (81% de l'émission totale) (BUJSMAN et al., 1987). La volatilisation de l'ammoniac contribue à un transfert de l'azote contenu dans les effluents d'élevage vers l'atmosphère. Ce processus physico-chimique est susceptible d'avoir lieu aux différents stades de leur gestion : dans les bâtiments d'élevage, au cours du stockage et après épandage au champ.

Les retombées de l'ammoniac ont diverses conséquences sur les écosystèmes (eutrophisation, acidification) et sur la santé. L'ammoniac est un gaz irritant et est incriminé comme étant à l'origine de maladies (asthme, bronchites chroniques) chez les éleveurs et chez les animaux, ainsi que de la diminution des performances zootechniques. Il apparaît donc important de mieux comprendre ces processus d'émission et d'améliorer nos connaissances sur la composition et les caractéristiques des effluents afin de mettre en place les techniques de réduction adaptées au contexte agricole.

L'alimentation permet d'agir sur l'excrétion azotée totale et modifie également le mode d'excrétion (moins d'azote sous forme d'urée dans les urines et plus sous forme de protéines bactériennes dans les fèces).

Plusieurs études estiment, par défaut de bilan, l'impact du taux protéique de l'aliment sur les émissions d'ammoniac mais peu en apportent la preuve expérimentale. Pour les effluents porcins, CANH et al. (1998) ont étudié, au laboratoire et sur le terrain, la relation entre le taux protéique et la volatilisation de l'ammoniac au cours du stockage tandis que MISSELBROOK et al. (1998) l'ont fait à l'épandage. PAUL et al. (1998), quant à eux, ont établi un bilan azoté Aliment - Animal - Sol - Plante pour le lisier de bovin. Dans ce contexte, l'objectif principal de notre étude est d'établir un bilan azoté complet Aliment - Epandage pour des régimes différent par leur teneur en protéines.

## 1. MATÉRIELS ET MÉTHODES

### 1.1. Expérimentation sur les animaux

Trois régimes expérimentaux constitués à partir principalement de blé et de tourteau de soja sont comparés. Ces régimes diffèrent par leur teneur en protéines, à savoir respectivement 12% (R1), 16% (R2) et 20% (R3). Les formules sont calculées de façon à avoir la même teneur en énergie nette (2300 Kcal EN/kg) et à contenir au moins 7,2 g/kg de lysine digestible, 4,47 g/kg de méthionine+cystine digestible, 4,70 g/kg de thréonine digestible et 1,37 g/kg de tryptophane digestible.

Quinze mâles castrés sont transférés au bâtiment expérimental vers 50 kg de poids vif et placés en cage de digestibilité, permettant un contrôle précis des quantités ingérées et une

collecte séparée des fèces et des urines. Ils sont affectés aux trois traitements expérimentaux sur la base d'une mise en lot en 5 blocs de 3 animaux comparables. La température moyenne ambiante est de 24±1°C.

Le niveau alimentaire est adapté pendant la période pré-expérimentale en fonction de l'appétit des animaux. Pendant la mesure de la digestibilité (6 premiers jours), le niveau alimentaire est maintenu constant (1,9 kg/j). Pour les 15 jours qui suivent, la ration alimentaire est augmentée en fonction de l'appétit des animaux, mais elle reste identique pour les trois régimes et l'eau est disponible en permanence à volonté. La consommation et les refus d'eau (gaspillage) et d'aliment sont mesurés.

La durée totale de l'expérimentation est de 30 jours, dont 9 jours d'adaptation à la cage et à l'alimentation et 21 jours durant lesquels les excréta (urines et fèces) sont collectés séparément. Lors de la mesure de la digestibilité, les excréta sont collectés, pesés séparément pour chaque animal et stockés à 4°C, les urines sont prélevées sur acides de façon à limiter les pertes d'ammoniac. A partir du 7<sup>ème</sup> jour de collecte et pendant 15 jours, l'urine est collectée en l'absence d'acide. L'ensemble de la collecte journalière d'urines et de fèces est pesé par régime. Sur deux périodes de 2 jours, les excréta toujours séparés sont transférés au Cemagref pour le suivi en laboratoire. Les autres jours, les excréta, une fois pesés, sont mélangés de façon à constituer un lisier. Les collectes d'excréta pour cet essai s'arrêtent le 16<sup>ème</sup> jour, les effluents collectés pendant la dernière période étant utilisés pour une autre expérience. Les animaux sont pesés le 1<sup>er</sup>, le 6<sup>ème</sup>, le 16<sup>ème</sup> et le dernier jour de collecte.

### 1.2. Suivi au laboratoire de la volatilisation de l'ammoniac

La volatilisation de l'ammoniac au cours du stockage est mesurée au laboratoire pendant 7 jours dans les conditions ambiantes de température et d'humidité. L'outil utilisé est un banc de volatilisation qui permet une étude comparative de la volatilisation de NH<sub>3</sub> des effluents issus des trois régimes alimentaires. Les mesures de volatilisation sont effectuées sur trois types d'effluent pour chaque régime alimentaire : sur les urines collectées sans acide, sur les mélanges urines/fèces effectués juste avant le lancement de la manipulation (lisiers frais) et sur les lisiers obtenus à la fin de l'expérimentation sur les animaux (lisiers de 18 jours).

Un échantillon de 5,7 kg d'effluents est placé dans une cellule (composée d'une cuve recevant l'échantillon et d'un couvercle) dont la surface d'émission est de 314 cm<sup>2</sup>. Au total, neuf cellules sont utilisées simultanément, soit trois répétitions par régime. Avant d'entrer dans la cellule, l'air est réhumidifié. Après passage dans la cellule, l'air barbote dans 50ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (2N), ce qui permet un piégeage de NH<sub>3</sub> émis. Le système fonctionne en aspiration et est muni d'un compteur à gaz, d'un débitmètre ajusté à 5L/min et d'une pompe. La mesure directe des émissions d'ammoniac, par collecte intégrale du flux de balayage et par un changement des pièges à pas de temps variable (une fois par jour), permet d'établir

les cinétiques de volatilisation au stockage pour chaque type de substrat.

### 1.3. Suivi sur le terrain

Un stockage de trois mois est effectué à l'extérieur en fûts couverts (décembre 2000 à avril 2001) pour éviter toute dilution et un bilan azoté est réalisé pour les trois lisiers obtenus à la fin de l'expérimentation sur les animaux. A la fin de ce stockage, une mesure à l'épandage de la volatilisation de l'ammoniac est réalisée, à l'aide d'un système de tunnels de ventilation. Ces essais sont conduits sur une durée de 3 jours (MOAL, 1995).

Un volume de 6L de lisier est épandu sous la « canopy », soit l'équivalent d'une dose 60 m<sup>3</sup> de lisier/ha. Au total, trois tunnels ont été utilisés, soit un par régime. Après passage sous la « canopy » et dans le croisillon, l'air barbote dans 50ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0,25N) pour piéger NH<sub>3</sub>, puis quitte le système après avoir passé un compteur à gaz, un débitmètre ajusté à 5L/min et une pompe. Par un changement des pièges à pas de temps variable, la mesure directe des émissions d'ammoniac permet d'établir les cinétiques de volatilisation à l'épandage pour chaque lisier.

### 1.4. Analyses

Un échantillon représentatif de chacun des trois aliments distribués est prélevé afin de déterminer la teneur en matière sèche (MS), en protéines, en énergie, en azote total et en fibres. Pour les fèces et les urines, les mesures effectuées sont MS, NTK et la teneur en énergie.

Pour chaque type d'effluent, l'ensemble des analyses physico-chimiques (MS, pH, azote kjeldahl et NAT<sup>2</sup>) est effectué en début et fin des différentes expérimentations au stockage et au démarrage de l'épandage. Les solutions de piégeage sont titrées par distillation et titration pour les suivis au laboratoire et par chromatographie ionique pour les suivis sur le terrain.

## 2. RÉSULTATS

### 2.1. Performances zootechniques et résultats de digestibilité

La teneur en protéines des régimes est légèrement inférieure, d'environ 0,5 point, à la teneur calculée, mais l'écart entre les traitements est conforme aux prévisions (tableau 1). Les

**Tableau 1** - Composition des régimes expérimentaux

	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>
<b>Composition, %</b>			
Blé	60,170	46,422	33,286
Orge	30,000	30,000	30,000
Tourteau de soja 48	2,650	16,042	28,391
Huile de colza	-	1,194	2,316
Mélasses	3,000	3,000	3,000
Carbonate de calcium	1,384	1,478	1,561
Phosphate bicalcique	1,004	0,736	0,496
COV(1)	0,500	0,500	0,500
Sel	0,450	0,450	0,450
DL Méthionine	0,085	0,016	-
L Lysine	0,541	0,141	-
Thréonine	0,192	0,021	-
Tryptophane	0,024	-	-
<b>Résultats d'analyses</b>			
Matière sèche	87,2	87,5	88,1
Matières minérales	5,33	5,33	5,72
Matières azotées	11,21	15,50	19,47
Lipides	1,58	2,72	3,85
Cellulose brute	2,91	3,53	3,75
NDF	11,94	12,62	11,98
ADF	3,59	4,15	4,69
ADL	0,68	0,67	0,62
Énergie brute, MJ	15,30	15,86	16,28

(1) Complément oligo-éléments vitamines

(2) Azote Ammoniacal Total

**Tableau 2-** Résultats de digestibilité et performances zootechniques

	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>Etr (1)</b>
<b>Nombre d'animaux</b>	5	5	5	
<b>Résultats de digestibilité</b>				
Durée, j	6	6	6	-
Aliment, kg/j	1,9	1,9	1,9	-
Poids initial, kg	54,5	52,8	53,4	4,0
Gain de poids, kg	3,49	4,00	4,84	1,0
Coefficient d'utilisation digestive, %				
Matière sèche	85,72	85,72	85,47	1,09
Matière organique	88,24	87,69	87,43	0,99
Azote	82,88	84,73	85,73	2,14
Énergie	86,23	85,47	85,37	1,19
Énergie digestible, MJ/kg	13,19 <sup>a</sup>	13,55 <sup>b</sup>	13,90 <sup>c</sup>	0,19 ***
Énergie métabolisable, MJ/kg	12,84 <sup>a</sup>	13,08 <sup>b</sup>	13,48 <sup>b</sup>	0,18 ***
EM/ED	0,974	0,965	0,970	0,006 <sup>t</sup>
Bilan azoté, g/j				
N ingéré	34,0	47,1	59,2	-
N fécal	5,8 <sup>a</sup>	7,2 <sup>b</sup>	8,5 <sup>c</sup>	0,9 **
N absorbé	28,2 <sup>a</sup>	39,9 <sup>b</sup>	50,7 <sup>c</sup>	0,9 ***
N urinaire	8,1 <sup>a</sup>	16,0 <sup>b</sup>	23,1 <sup>c</sup>	1,8 ***
N retenu	20,1 <sup>a</sup>	23,9 <sup>b</sup>	27,7 <sup>c</sup>	1,4 ***
<b>Performances zootechniques</b>				
Durée, j	21	21	21	
Aliment, kg/j	2,07	2,07	2,07	
GMQ, g/j	873	935	908	105
IC, kg/kg	2,37	2,22	2,35	0,31

(1) Ecart-type résiduel

résultats de digestibilité mesurés pendant la première période de collecte (6j) sont présentés au tableau 2. Aucun refus d'aliment n'a été observé au cours de cette période. Le poids moyen des porcs au début de la période de collecte s'élève à 53,6 kg. Bien qu'il soit numériquement plus faible pour le régime 1, le gain de poids vif (3,8 kg en moyenne) n'est pas significativement influencé par le régime. Les coefficients d'utilisation digestive de la matière sèche, de la matière organique, de l'azote et de l'énergie s'élèvent à respectivement 85,6 – 87,8 – 84,4 et 85,7% et ne diffèrent pas significativement entre les régimes. Par contre, la teneur en énergie digestible (ED) augmente du régime 1 au régime 3 et la teneur en énergie métabolisable est significativement plus faible pour le régime 1 (tableau 2) que pour les deux autres régimes. Tous les paramètres du bilan azoté sont influencés significativement par la teneur en protéines de l'aliment. Ainsi, la quantité d'azote retenue augmente du régime 1 au régime 3 de 20,1 à 27,7 g/j. De même, les quantités d'azote rejeté dans les fèces et l'urine augmentent linéairement avec la teneur en protéines du régime.

Après cette période de mesure de digestibilité, la ration alimentaire a été augmentée progressivement, pendant les 15 jours suivants, de 1,9 kg/j à 2,2 kg/j en fonction de l'appé-

tit des animaux et est restée identique pour les trois régimes. La consommation d'eau pendant la période de collecte des effluents pour les essais en laboratoire s'élevait en moyenne à 7,25 L/jour, le ratio eau/aliment étant de 3,38 L/kg. Bien que l'écart ne soit pas significatif compte tenu de la variabilité, la consommation augmentait avec la teneur en protéines du régime (respectivement 6,66 – 7,36 et 7,73 L pour les régimes à 12, 16 et 20% de protéines).

Les performances zootechniques mesurées sur la totalité de la période expérimentale (21j) ne diffèrent pas entre les traitements. La vitesse de croissance s'élève en moyenne à 905 g/j et l'indice de consommation à 2,31 kg/kg (tableau 2).

## 2.2. Composition et volume des effluents

Exprimée en grammes par jour, la production de lisier par porc augmente du régime 1 au régime 3 de 3552 à 5693 g/j (tableau 3). Le ratio quantité d'urines sur quantité de fèces augmente avec la teneur en protéines du régime.

L'augmentation de l'excrétion azotée de R1 à R3 se fait principalement au niveau de la fraction urinaire, cette dernière passe de 58,1% à 73,3% de l'azote total de R1 à R3.

Le taux protéique de l'aliment influence les concentrations en azote total et en azote ammoniacal, ainsi que le pH de l'effluent. La quantité totale d'azote présente dans le lisier, après 7 jours de collecte, s'élève à 101, 183 et 249 g/porc, respectivement pour R1, R2 et R3. La réduction du taux protéique de 20% à 12% entraîne une diminution de la teneur en azote total excrété de 59,3% alors que la teneur en azote ammoniacal est, quant à elle, réduite de 67,5%. La part relative de la fraction ammoniacale diminue donc entre R3 et R1, passant respectivement de 79% de l'azote total à 63% ; ceci s'accompagne d'une réduction du pH de 1,3 unité. La teneur en matière sèche de l'effluent diffère entre les trois régimes, la teneur la plus élevée étant observée pour le régime R1.

### 2.3. Suivi au laboratoire de la volatilisation de l'ammoniac

La quantité d'azote ammoniacal volatilisé augmente avec la teneur en protéines du régime dans tous les cas étudiés. Les cinétiques de volatilisation de l'ammoniac sont présentées dans la figure 1.

Pendant la période d'étude, la quantité cumulée d'azote ammoniacal volatilisé s'établit à 119 (R1), 357 (R2) et 435

mgN/kg (R3) pour les urines seules. Pour les lisiers frais (mélanges), elle s'établit à 122 (R1), 336 (R2) et 498 mgN/kg (R3). Pour les lisiers de 18 jours, cette quantité d'ammoniac émis se situe à 138 (R1), 299 (R2) et 385 mgN/kg (R3). Les pourcentages de volatilisation de l'ammoniac par rapport à l'azote total de départ sont compris entre 6 et 10% pour les urines, 6 et 10% pour les mélanges et 5 et 7% pour les lisiers, respectivement pour R1 et R3.

### 2.4. Suivi sur le terrain

Le stockage des trois lisiers en fûts couverts, pendant trois mois, a conduit à des pertes en azote, respectivement pour R1, R2 et R3, de l'ordre de 804, 980 et de 1123 mgN/kg de lisier brut, ce qui représente un pourcentage de pertes par rapport à l'azote total de départ de 26,4 (R1), 22,8 (R2) et de 20,5% (R3). Ce stockage a également entraîné une diminution du pH de 7,57 à 7,46 pour R1, de 8,61 à 7,70 pour R2 et de 8,92 à 7,84 pour R3.

A l'épandage (figure 2), les pertes par volatilisation de l'ammoniac atteignent, respectivement pour les trois régimes alimentaires R1, R2 et R3, 28,9, 66,6 et 61,5 kgN/ha (soit des pourcentages de volatilisation de l'ammoniac par rapport à l'azote total de départ épandu, respectivement pour R1, R2

**Tableau 3** - Caractéristiques de chaque type d'effluent

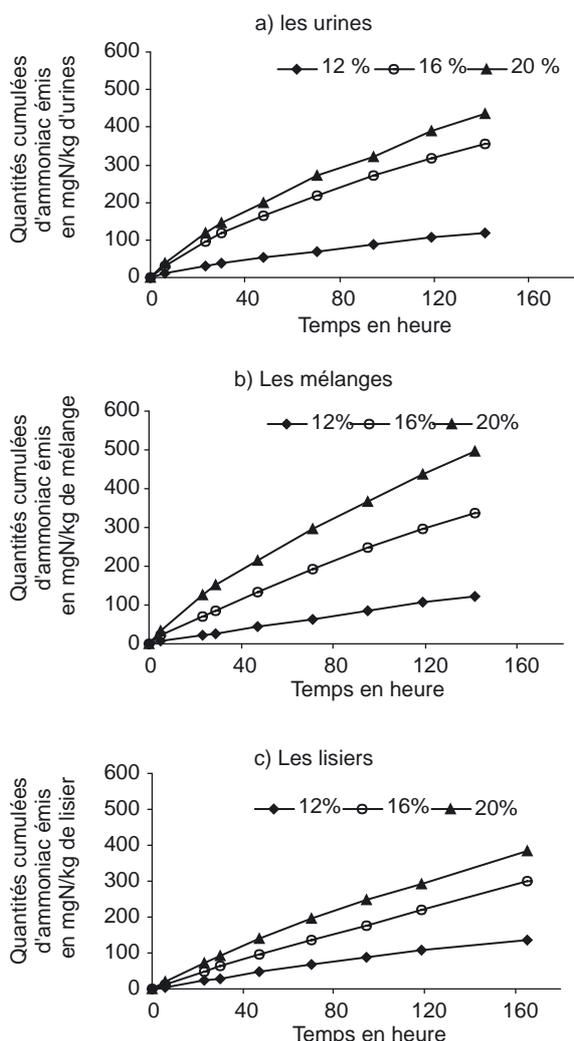
	12%	16%	20%
<b>Effluents frais (1)</b>			
Urines			
Masse (g/j/porc)	2890	4366	4923
Azote total (%)	0,279	0,367	0,469
Fèces			
Masse (g/j/porc)	662	771	770
Azote total (%)	0,881	0,932	1,090
Excréta			
Masse (g/j/porc)	3552	5137	5693
Urines (%)	81,4	85,0	86,5
Fèces (%)	18,6	15,0	13,5
Azote total (g/j/porc)	13,90	23,23	31,46
Urines (%)	58,1	69,0	73,3
Fèces (%)	41,9	31,0	26,7
<b>Lisiers (2)</b>			
Masse (kg)	166,4	212,9	227,4 (3)
Masse (kg/j/porc)	4,7	6,0	6,4
Matière sèche (%)	5,9	4,6	4,4
Azote total (mgN/kg de lisier brut)	3045	4300	5480
Azote ammoniacal total (mgN/kg de lisier brut)	1915	3125	4315
pH	7,57	8,61	8,92

(1) Effluent collecté individuellement (5 animaux par traitement) pendant les 6 jours de mesure de digestibilité

(2) Effluent collecté en mélange pendant 7 jours (5 animaux par traitement)

(3) Les excréta de 1 animal n'ont pas été collectés les 2 derniers jours pour le régime à 20 % de protéines

**Figure 1** - Cinétique de volatilisation de l'ammoniac des trois types de substrats lors du stockage : a) les urines, b) les mélanges urines/fèces, c) les lisiers (18j).



et R3, de 19,2, 31,9 et 22,5%).

### 3. DISCUSSION

#### 3.1. Performances zootechniques, azote ingéré et azote excrété

Les résultats de cette expérimentation confirment que la diminution de la teneur en protéines du régime, tout en maintenant les mêmes apports en acides aminés essentiels (lysine, méthionine, cystine, thréonine et tryptophane), permet une réduction importante de la quantité d'azote excrété sans incidence sur l'appétit, la croissance et l'efficacité alimentaire. Des résultats similaires ont été obtenus par d'autres auteurs (KIES et al., 1992 ; LATIMIER et al., 1993 ; QUINIOU et al., 1994 ; CHAUVEL et GRANIER, 1994 ; BOURDON et al., 1995 ; PFEIFFER et al., 1995 ; CANH et al., 1998).

La réduction de l'excrétion azotée se situe surtout au niveau de la fraction urinaire. Nos résultats montrent, pour une diminution du taux protéique de 20 à 12%, une réduction de l'excrétion azotée de 64,9% pour la fraction urinaire et de

31,8% pour la fraction fécale. Avec la même quantité d'azote retenue par jour, la totalité de l'azote apporté en sus des besoins est excrété par l'animal, surtout au niveau de la fraction urinaire. Plus le taux protéique augmente, plus la quantité d'urée excrétée dans l'urine est importante (PAUL et al., 1998). Le coefficient d'utilisation digestive de l'azote étant le même pour les trois régimes, la diminution du taux protéique entraîne aussi une réduction de l'excrétion azotée au niveau de la fraction fécale.

#### 3.2. Caractéristiques des effluents

La réduction de la teneur en protéines du régime s'accompagne d'une modification de la nature des effluents produits, en quantité et en composition. Les quantités d'effluents diffèrent entre régimes. Nos mesures montrent, pour une diminution du taux protéique de 20 à 12%, une réduction de la quantité d'effluents : de 41% pour les urines, de 14% pour les fèces et de 26% pour les lisiers. Ces résultats diffèrent de ceux de CANH et al. (1998), la consommation d'eau était fixée dans leur essai alors que, dans notre étude, l'eau est disponible à volonté, et l'augmentation du taux protéique entraîne une consommation plus importante d'eau (PFEIFFER et al., 1995 ; ALBAR et GRANIER, 1996). Cette augmentation de la consommation d'eau permettrait de diluer l'urée en excès et d'éviter ainsi une concentration urinaire excessive. Cette hypothèse est validée par l'augmentation de la teneur en matière sèche des lisiers lorsque le taux protéique de l'aliment diminue, la teneur en matière sèche des fèces et des urines ne différant pas entre les régimes.

Une diminution du taux protéique de l'aliment entraîne une réduction de la teneur en azote ammoniacal et par conséquent en azote total de l'effluent. Ceci est en accord avec CANH et al. (1998) et LATIMIER et al. (1993). La diminution de l'excrétion azotée dans les urines semble être le facteur déterminant de la diminution de la teneur en NAT du lisier lorsque la teneur en protéines diminue. Le ratio NAT/NTK des urines collectées sans acide et celui des fèces s'élèvent à respectivement 0,90 et 0,07 et ne diffèrent pas significativement entre les régimes. Dans les lisiers, ce ratio augmente linéairement avec la teneur en protéines de 0,62 pour R1 à 0,79 pour R3, en relation avec la modification des contributions respectives des urines et des fèces à l'excrétion totale d'azote.

**Figure 2** - Cinétique de volatilisation de l'ammoniac des trois types de lisiers à l'épandage

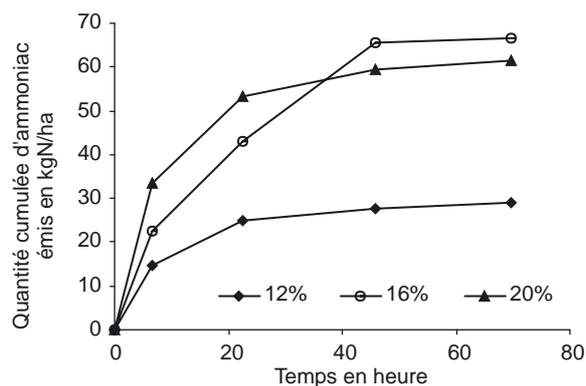
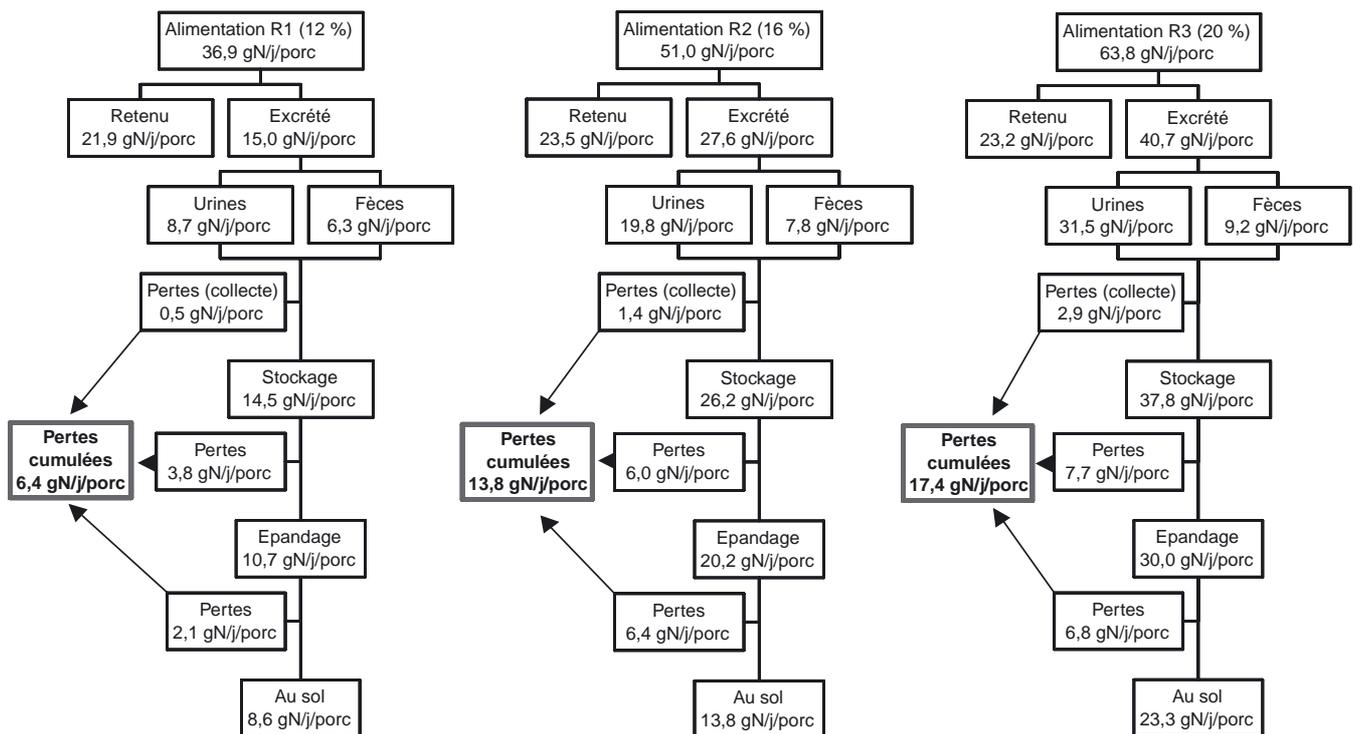


Figure 3 - Bilan azoté des trois régimes alimentaires



Le taux protéique influence également le pH du lisier. SOMMER et HUSTED (1995) montrent que la concentration en NAT du lisier est un facteur important influençant le pH. Ceci suggère que l'abaissement du pH du lisier dans notre étude est causé principalement par la réduction de la teneur en NAT du lisier. La réduction de l'apport de protéines, entraînant une réduction de la teneur en potassium, amène à une modification du bilan électrolytique du régime, le rendant plus acidogène (PATIENCE, 1990). Il s'en suit un pH urinaire abaissé de 9,07 à 8,49 pour une diminution du taux protéique de 20 à 12%.

### 3.3. Volatilisation de l'ammoniac au stockage

La teneur en NAT est le principal facteur responsable de la variation du pH et de l'émission de l'ammoniac pour les trois types d'effluents. Des résultats similaires ont été obtenus par CANH et al. (1998). Dans notre étude, la réduction de la volatilisation de l'ammoniac pour les lisiers est de 22% pour une diminution du taux protéique de 20 à 16% et de 64% pour un abaissement de 20 à 12% de protéines. La volatilisation de l'ammoniac pour un régime à basse teneur en protéines est moindre, non seulement parce que l'excrétion azotée est moins importante mais aussi parce que le ratio NAT/NTK et le pH sont plus faibles. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus lors du stockage des lisiers à l'extérieur ; la réduction de la volatilisation de l'ammoniac pour les lisiers est de 14% pour une diminution du taux protéique de 20 à 16% et de 44% pour un abaissement de 20 à 12% de protéines. Les résultats obtenus au laboratoire, même si les conditions sont peu représentatives de la dynamique existant sur le terrain, donnent donc une bonne indication de ce qui pourrait être mesuré concrètement au niveau d'une fosse de stockage.

Notre étude révèle que même si les urines sont collectées séparément des fèces, il y a une importante volatilisation de l'ammoniac, 90% de l'azote total est déjà sous forme ammoniacale dans les urines fraîches après 1 jour de collecte. Par contre les analyses effectuées sur les urines collectées avec de l'acide montrent que la majorité de l'azote est sous forme organique, urée. Contrairement à ce qui est admis généralement, la présence de fèces ne semble donc pas nécessaire au démarrage de la transformation de l'urée en ammoniac. Dans notre essai, les urines étaient collectées séparément et les récipients lavés chaque jour.

### 3.4. Volatilisation de l'ammoniac à l'épandage

Les paramètres extérieurs étant les mêmes lors de l'épandage, la teneur en NAT semble être le principal facteur responsable des différences d'émission d'ammoniac entre les lisiers. Nos résultats montrent une réduction de la volatilisation de l'ammoniac de 56% pour un abaissement de la teneur en protéines de 20 à 12%. Par contre, les analyses effectuées ne nous permettent pas d'expliquer la légère augmentation de la volatilisation de l'ammoniac (+8%) entre 20 à 16% de protéines.

Le bilan du devenir de l'azote depuis l'aliment jusqu'à l'épandage pour chaque régime est présenté à la figure 3. Dans ce bilan, la rétention azotée des animaux est calculée à partir de leurs performances de croissance (DOURMAD et HENRY, 1994). Globalement, la volatilisation cumulée sur toute la période de gestion des effluents (bâtiment, stockage et épandage) s'élève à 6,4 (12%), 13,8 (16%) et 17,4 gN/j/porc (20%). Une réduction de la volatilisation de l'ammoniac de 63% peut donc être obtenue en abaissant le taux protéique de l'aliment de 20 à 12%.

## CONCLUSION

La modification du taux protéique dans le régime alimentaire n'affecte pas les performances zootechniques des animaux mais s'accompagne d'une modification significative du volume et de la composition du lisier produit.

On note ainsi une réduction importante à la fois de la quantité d'effluents, surtout au niveau de la fraction urinaire, de la teneur en azote, surtout sous forme ammoniacale, et un abaissement du pH. Tous ces facteurs contribuent à réduire de façon importante les pertes par volatilisation de l'ammoniac aux différents stades de la gestion des effluents.

## REMERCIEMENTS

Nous remercions le Pr C-M COSTE pour l'intérêt porté à ce travail. Cette étude a été effectuée dans le cadre du programme Porcherie Verte. Les auteurs remercient le Ministère de l'Agriculture et de la Pêche (DERF, Monsieur Roger Jumel) pour son soutien financier.

Nous remercions également toute l'équipe du bâtiment expérimental ainsi que Monsieur P. BODINIER de l'INRA pour leur collaboration efficace lors de la réalisation de l'expérimentation sur les animaux.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ALBAR et GRANIER, 1996. Journ. Rech Porcine en France, 28, 257-266.
- BUJISMAN et al., 1987. Atmospheric Environment, 21(5), 1009-1022.
- BOURDON D., DOURMAD J.Y., HENRY Y., 1995. Journ. Rech Porcine en France, 27, 269-277.
- CANH T. T. et al., 1998. Livestock Production Science, 56, 181-191.
- CHAUVEL J., GRANIER R., 1994. Journ. Rech. Porcine en France, 26, 97-106.
- DOURMAD J.Y., HENRY, 1994. Production Animale, 7; 263-274.
- ECETOC, 1994. Technical Report No. 62, 196 p.
- KIES A. et al., 1992. Journ. Rech. Porcine en France, 24, 219-226.
- LATIMIER P. et al., 1993. Journ. Rech. Porcine en France, 25, 295-300.
- MOAL J. F., 1995. Thèse d'Agrochimie, Equipement pour l'eau et l'environnement, Cemagref, 230 p.
- MISSELBROOK T. H. et al., 1998. Journal of Agricultural Science, Cambridge, 130, 183-1991.
- NI J., 1999. J. Agric. Engng Res., 72, 1-17.
- OLIVIER et al., 1998. Global air emission inventories for anthropogenic sources of NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub> and N<sub>2</sub>O in 1990. In : Van der Hoek K. W. et al. Eds. Nitrogen, the Confer-N-s. First International Nitrogen Conference, Noordwijkerhout, The Netherlands, March 23-27, 135-148.
- PATIENCE J.F., 1990. J. Anim. Sci., 68, 398-408.
- PAUL J. W. et al., 1998. J. Environ. Qual., 27, 528-534.
- PFEIFFER A. et al., 1995. Livestock Production Science, 44, 179-187.
- QUINIOU N., DOURMAD J.Y., HENRY Y., BOURDON, D., GUILLOU, 1994. Journ. Rech Porcine en France, 26, 91-96.
- SOMMER S. G., HUSTED S., 1995. Journal of Agricultural Science, Cambridge, 124, 45-53.