

Effet de l'ajout de sources de fibres dans l'aliment sur la volatilisation de l'ammoniac et la production de méthane des effluents porcins

Guillaume JARRET (1,2), José MARTINEZ (1,2), Jean-Yves DOURMAD (3)

(1) CEMAGREF, Unité de recherche Gestion environnementale et traitement biologique des déchets,
17, avenue de Cucillé, CS 64427, 35044 Rennes Cedex

(2) Université Européenne de Bretagne

(3) INRA Agrocampus Ouest, UMR 1079 - SENAH, F-35590 Saint Gilles

Jean-Yves.Dourmad@rennes.inra.fr

Avec la collaboration technique de Georges Guillemois (3), Francis Le Gouevéc (3), Régis Janvier (3),
Yolande Jaguelin-Peyraud (3), Anne Pasquier (3) et Fabienne Pontrucher (3)

Effet de l'ajout de sources de fibres dans l'aliment sur la volatilisation de l'ammoniac et la production de méthane des effluents porcins

L'objectif de cette étude est de déterminer l'effet de l'incorporation de 20 % de trois matières premières riches en fibres (drêches de blé, pulpes de betterave et tourteaux de colza gras) sur les performances zootechniques et l'excrétion d'azote et de carbone des animaux, ainsi que sur la volatilisation d'ammoniac et la production de méthane des effluents. Ces régimes sont comparés à deux régimes témoins, à base de céréales et de tourteau de soja, contenant 17,5 ou 14,0% de MAT. Vingt mâles castrés, soit 4 par régime, sont placés en cage de digestibilité afin de collecter séparément les fèces et les urines. La volatilisation de l'ammoniac au stockage est simulée au laboratoire pendant 16 jours sur des échantillons d'urine et de lisier. Le potentiel maximal de méthanisation (B_0) des lisiers ainsi que la production de méthane mesurée sur des échantillons bruts de fèces, de lisier frais et de lisier stocké, sont déterminés au laboratoire pendant 100 jours. L'ajout de sources de fibres n'a pas eu d'effet marqué sur les performances zootechniques des animaux. Par contre cet ajout a permis de modifier la répartition des excréta azotés des urines vers les fèces diminuant ainsi la part de l'azote ammoniacal, de réduire le pH des fèces et des lisiers et d'augmenter la production d'AGV. Les résultats mettent clairement en évidence des effets des régimes sur la volatilisation d'ammoniac des lisiers. Elle est réduite de 13 % pour le régime à faible teneur en protéines et de 19 à 33 % pour les régimes enrichis en fibres. La dynamique d'émission et la production totale cumulée de méthane sont affectées à la fois par la nature du régime et par le type d'effluent.

The effect of adding fibre sources to diets on the volatilisation of ammonia and the production of methane from pig effluents

The aim of this study was to investigate the influence of the incorporation of 20% of three raw materials rich in fibre (dried distiller's grain solubles, sugar beet pulp and oily rapeseed cake) on animal growth performance, nitrogen and carbon excretions, and ammonia volatilisation and methane production from effluents. These 3 diets were compared to two control diets, mainly based on cereal and soybean meal, with 17.5 or 14.0 % of crude protein (CP). The animals (20 castrated males) were housed individually in metabolism cages and fed one of the five diets (ie. 4 pigs per diet). Sample of each type of effluent (urine and faeces) were collected separately. Ammonia volatilisation was measured on samples of urines and slurry, during 16 days in a laboratory pilot scale system. The ultimate methane potential (B_0) of slurry and methane production of faeces, fresh slurry and stored slurry were measured in laboratory during 100 days. The addition of fibre sources to the diet had no marked effect on animal performance, but it modified N balance. For high fibre diets N excretion increased in faeces whereas it decreased in urine, resulting in a reduction of ammonia N. Slurry VFA was increased and pH was decreased. Ammonia emission from slurry was significantly lower by 13 % for the low CP diet and by 19 to 33 % for the high fibre diets, compared to the control high CP diet. The emission kinetics and the total cumulated production of methane were significantly affected by both the type of diet and the type of effluent.

INTRODUCTION

Plusieurs études ont montré que la modification de l'alimentation des porcs est une bonne méthode pour réduire les risques de pollutions et plus particulièrement les émissions d'ammoniac (Portejoie *et al.*, 2002, Shriver *et al.*, 2003). La réduction de la teneur en protéines, associée à une supplémentation en acides aminés, ou l'ajout de fibres dans les régimes alimentaires, permettent de réduire l'excrétion azotée et les émissions d'ammoniac (Portejoie *et al.*, 2002 ; Canh *et al.*, 1997 ; Canh *et al.*, 1998). La modification de l'alimentation pourrait aussi influencer la production de méthane des effluents, mais très peu d'études ont été conduites sur ce sujet. Zeeman (1991) et Velthof *et al.* (2005) ont montré qu'une diminution du taux protéique du régime permettait de réduire la production de méthane, alors que l'ajout de fibres fermentescibles l'augmentait.

Dans un contexte où de nouvelles matières premières riches en protéines et en fibres sont disponibles, comme les co-produits de biocarburants (bioéthanol et biodiésel), il semble intéressant de déterminer si l'incorporation de ces matières premières (drêches de blé, pulpes de betteraves et tourteaux de colza gras) influence la volatilisation d'ammoniac et la production de méthane des effluents.

1. MATÉRIELS ET MÉTHODES

1.1. Expérimentation animale

Cinq régimes expérimentaux sont formulés : deux régimes témoins à base de blé et de tourteau de soja et contenant 16,5 % (R1) ou 13,0 % (R2) de matières azotées totales (MAT) et trois régimes à environ 16,5 % de MAT dans lesquels ont été incorporés respectivement 20 % de drêches de blé (R3), 20 % de pulpes de betteraves (R4) ou 20 % de tourteaux de colza (R5). La composition détaillée des régimes est rapportée au tableau 1.

Vingt mâles castrés d'environ 50 kg de poids vifs sont placés en cage de digestibilité. Les animaux reçoivent deux repas par jour avec un apport d'eau limité à cinq litres. Pendant la mesure de digestibilité, les excréta (fèces et urines) sont collectés quotidiennement pour chaque animal, pesés et stockés à 4°C. Chaque jour, un aliquote d'urine est prélevé et acidifié. Le reste des urines est récupéré dans un bidon de 200 L et stocké dans une chambre à 10°C. A la fin de la période de collecte une partie de l'urine et des fèces est stockée séparément et conservée à 4°C jusqu'aux analyses et aux mesures d'émissions. Les urines et les fèces restantes sont mélangées dans les proportions excrétées. Les lisiers ainsi reconstitués sont homogénéisés puis conservés à 4°C pour des suivis et analyses au laboratoire.

Tableau 1 - Composition des régimes expérimentaux et résultats d'analyses

	R1	R2	R3	R4	R5
Matières premières, % brut					
Blé	79,52	89,21	69,53	58,14	69,03
Tourteau de soja 48	16,54	6,58	6,45	19,02	7,67
Drêche de blé	-	-	20,00	-	-
Pulpe de betterave déshydratée	-	-	-	20,00	-
Tourteau de colza gras	-	-	-	-	20,00
Phosphate Bicalcique dihydraté	0,54	0,59	0,82	0,74	0,29
Carbonate de calcium	1,75	1,92	1,71	0,97	1,78
Sel ou chlorure de sodium	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
COV (1)	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
L-Lysine-HCL	0,65	0,50	0,47	0,13	0,25
DL-Méthionine	0,02	0,06	-	0,02	-
L-Thréonine	0,04	0,17	0,07	0,04	0,03
L-Thryptophane	-	0,02	-	-	-
Composition chimique, % brut					
Matière sèche	87,61	87,35	88,22	87,72	87,91
Matière minérale	5,05	4,78	5,36	5,68	5,53
Matière organique	82,56	82,57	82,86	82,04	82,38
Carbone total	38,43	38,95	39,62	38,53	39,77
Matière azotée totale	17,5	14,0	18,4	17,6	17,7
Matière grasse	1,53	1,36	2,86	1,42	4,49
WICW (2)	10,91	9,88	16,27	19,97	16,42
Cellulose brute	2,23	2,09	3,51	5,63	4,50
TDF	11,02	10,85	17,91	23,02	16,96
NDF	10,52	8,61	15,48	16,07	13,95
ADF	2,82	2,53	4,95	6,86	5,99
ADL	0,37	0,33	1,02	0,52	1,70
Hémicellulose (NDF-ADF)	7,70	6,08	10,53	9,21	7,96
Cellulose	2,45	2,20	3,93	6,34	4,29
Amidon Ewers	48,19	53,50	39,39	37,52	39,63
Amidon enzymatique	45,08	51,42	37,10	33,16	36,89
Sucres totaux	3,35	2,37	2,95	4,91	3,90
Énergie brute (MJ/kg MS)	15,69	15,56	16,25	15,67	16,53

(1) COV : Complément Oligo-éléments Vitamines

(2) WICW : teneur en parois végétales insolubles dans l'eau (cellulose, hémicelluloses, substances pectiques, lignine et protéines constitutives des parois végétales insolubles dans l'eau)

1.2. Suivi au laboratoire de la volatilisation d'ammoniac

La volatilisation de l'ammoniac des lisiers et des urines, au cours du stockage, est mesurée au laboratoire pendant 16 jours dans les conditions ambiantes de température et d'humidité.

Cette volatilisation est réalisée sur un banc de volatilisation selon la méthode décrite par Portejoie et al. (2002).

Deux répétitions de la mesure sont réalisées pour chaque échantillon.

1.3. Mesure du potentiel maximal de la production de méthane (B₀) des lisiers stockés

Le potentiel maximal de production de méthane (B₀) est déterminé selon une méthode inspirée des tests de détermination du potentiel biométhanogène (BMP) et adaptée par Vedrenne et al. (2008).

La production de méthane des lisiers est mesurée au laboratoire pendant 100 jours.

Environ 24 grammes de lisiers, 2,4 grammes d'inoculum (provenant d'un pilote anaérobie) et 93,6 grammes d'eau sont mélangés et introduits dans des flacons de 330 ml pour obtenir un volume final de 120 ml et un volume de tête de 210 ml.

Trois répétitions de la mesure sont réalisées pour chaque échantillon.

1.4. Mesure de la production de méthane des échantillons bruts de fèces, lisier frais et lisier stocké

La production de méthane des trois types d'effluents testés (fèces, lisier frais, lisier stocké 3 mois à 4°C) est mesurée au laboratoire selon la même méthode que pour les B₀ mais sans dilution des effluents, mis à part pour les fèces pour lesquels l'urine est remplacée par de l'eau de façon à avoir la même teneur en MO pour chaque type d'effluent. Deux répétitions de la mesure sont réalisées pour chaque échantillon.

1.5. Analyses

Des analyses sont réalisées sur chaque aliment et les fèces de chaque animal afin de déterminer leurs teneurs en MO, azote, matières grasses, cellulose brute, TDF, NDF, ADF, ADL, hémicellulose, parois végétales insolubles dans l'eau (WICW), amidon (Ewers et enzymatique), sucres totaux et Énergie brute. Les teneurs en MS, MO, azote total Kjeldahl (NTK) et ammoniacal, en carbone total et le pH des fèces et des lisiers sont également déterminés. La digestibilité de chacun de ces éléments est déterminée selon les méthodes habituelles (Noblet et Bourdon, 1997). Pour chaque mesure d'émission des analyses sont effectuées au début et à la fin de la période de mesure. L'ensemble de ces analyses a été effectué selon les normes AFNOR. L'analyse des acides gras volatils (AGV) est effectuée sur la partie soluble des effluents, par chromatographie en phase liquide selon la méthode de Peu et al. (2004).

Tableau 2 - Digestibilité des régimes et performances zootechniques des animaux

	R1	R2	R3	R4	R5	ETR	Effet régime
Nombre d'animaux	4	4	4	4	4	-	-
Durée de collecte, j	10	10	10	10	10	-	-
Performances							
Aliment ingéré, g MS/j	1829	1828	1847	1842	1833	-	-
Poids vif moyen, kg	68,0	65,9	67,5	68,5	67,3	3,16	NS
Gain moyen quotidien, g	1015a	865b	890ab	905ab	870ab	66,98	P=0,04
IC kg MS/kg	1,81	2,13	2,08	2,04	2,12	0,16	P=0,06
Bilan azoté, g /j							
N ingéré	58,55c	47,00d	61,51a	58,99b	58,94b	0,11	P<0,001
N fécal	4,91c	4,47c	11,64a	9,71b	9,81ab	0,85	P<0,001
N absorbé	53,65a	42,53c	49,88b	49,28b	49,13b	0,79	P<0,001
N urinaire	22,20	16,63	21,68	19,96	22,76	3,29	NS
N fixé	31,45	25,90	28,20	29,33	26,37	3,19	NS
Bilan carboné, g /j							
C ingéré	797,46b	789,93c	821,98a	797,73b	822,08a	1,56	P<0,001
C fécal	80,49c	82,56c	150,42a	113,59b	144,60a	5,26	P<0,001
C absorbé	716,97	707,37	671,56	684,14	677,48		
Coefficient de digestibilité, %							
Matière sèche	89,34a	88,98a	81,49c	85,45b	82,20c	0,54	P<0,001
Matière organique	91,38a	91,12a	83,78c	87,91b	84,60c	0,56	P<0,001
Azote	91,63a	90,49a	81,08b	83,54b	83,37b	1,43	P<0,001
Carbone	89,91	89,55	81,70	85,76	82,41		
Énergie	89,49a	89,13a	80,73c	85,01b	81,71c	0,63	P<0,001
Matière grasse	43,53c	38,13c	56,32b	29,28d	65,93a	2,67	P<0,001
WICW	59,64b	51,27c	46,84d	75,10a	51,57c	1,53	P<0,001
Cellulose brute	23,41bc	14,03d	21,27dc	69,86a	29,53b	3,47	P<0,001
TDF	61,27b	56,01b	56,26b	76,61a	56,14b	2,60	P<0,001
NDF	65,21b	52,82c	56,57c	74,45a	54,84c	2,36	P<0,001
ADF	43,79b	32,18d	38,84bc	72,58a	36,07dc	2,65	P<0,001
Hémicellulose (NDF-ADF)	21,41a	20,64ab	17,74c	1,87d	18,77bc	1,17	P<0,001
Énergie, MJ/kg MS							
Énergie digestible	16,02a	15,87a	14,87c	15,19b	15,36b	0,12	P<0,001
Énergie métabolisable	15,52a	15,47a	14,44c	14,72bc	14,85b	0,17	P<0,001
EM/ED, %	96,86	97,44	97,08	96,98	96,68	0,93	NS

2. RÉSULTATS

2.1. Performances zootechniques et résultats de digestibilité

La teneur en protéines des régimes est supérieure d'environ 1 point à la teneur calculée, mais l'écart entre les traitements est conforme aux prévisions (Tableau 1). Les résultats des performances zootechniques et de digestibilité sont présentés dans le tableau 2. Pendant la période de tests de digestibilité et de performances (10 jours), les animaux ont ingéré 1836 g de MS d'aliment en moyenne (Tableau 2). Le gain moyen quotidien est significativement plus élevé pour le régime 1 (1015g), intermédiaire pour les régimes 3, 4, et 5 (888g en moyenne) et plus faible pour le régime 2 (865g), alors que l'indice de consommation (IC) ne diffère pas significativement entre les régimes, bien qu'il tende à être plus faible pour le régime 1. En ce qui concerne le bilan azoté, seuls les paramètres N fécal et N absorbé sont influencés par le régime. Ainsi, la quantité d'N fécal est multipliée par 2 pour les régimes 3, 4 et 5 incorporant des sources de fibres. La quantité d'N absorbé est plus élevée pour le régime 1 (53,6 g/j), intermédiaire pour les régimes 3, 4 et 5 (49,4 g/j) et plus faible pour le régime 2 pauvre en protéines (42,5 g/j). La quantité de carbone ingéré est plus élevée pour les régimes 3 et 5, intermédiaire pour les régimes 1 et 4 et plus faible pour le régime 2. La quantité de carbone excrété dans les fèces est significativement plus élevée pour les régimes 3 et 5, intermédiaire pour le régime 4 et plus faible pour les régimes 1 et 2. Les coefficients d'utilisation digestive sont eux aussi influencés par la nature du régime. Les coefficients d'utilisation digestive de la MS, de la MO et de l'énergie sont significativement plus élevés pour les régimes témoins 1 et 2, intermédiaires pour les régimes 3 et 5, et plus faibles pour le régime 4. Le coefficient d'utilisation digestive de l'azote est significativement plus faible pour les régimes riches en fibres.

Le coefficient d'utilisation digestive du carbone est également plus élevé pour les régimes 1 et 2, intermédiaire pour le régime 4 et plus faible pour les régimes 3 et 5. Le coefficient d'utilisation digestive des fibres totales est significativement plus élevé pour le régime 4 que pour les autres régimes. Le coefficient d'utilisation digestive de l'énergie est significativement plus élevé pour les régimes 1 et 2, intermédiaire pour les régimes 4 et 5 et le plus faible pour le régime 3.

2.2. Composition et volume des effluents

La quantité de fèces excrétées par jour et par porc est significativement influencée par la nature du régime, mais pas la quantité d'urine. La production de fèces est multipliée par deux pour les régimes 3, 4 et 5 (1354 g en moyenne) comparativement aux régimes 1 et 2 (694 g en moyenne). L'ajout de fibres dans l'alimentation influence l'ensemble des caractéristiques des effluents (Tableau 3). La teneur en MS est significativement plus faible pour les fèces des régimes 3, 4 et 5 que pour celles des régimes 1 et 2. La teneur en MO des fèces, relativement à la MS, est plus élevée pour les régimes 3 et 5 que pour les régimes 1, 2 et 4. La concentration en azote est significativement plus élevée pour les régimes 3 et 4 (3,53%/MS en moyenne), intermédiaire pour le régime 5 (2,98%/MS) et plus faible pour les régimes 1 et 2 (2,37%/MS en moyenne). L'ajout de drêches de blé et de pulpes de betteraves déshydratées dans la ration alimentaire augmente de 49 % la concentration en azote total des fèces par rapport aux régimes 1 et 2, tandis que l'ajout des tourteaux de colza gras l'augmente de 26 %. La concentration en azote total des urines est plus élevée pour les urines du régime 1 que pour les autres régimes. La concentration en carbone total est significativement plus élevée pour les fèces des régimes enrichis en fibres. La teneur en fibres totales des fèces est plus élevée pour les régimes 3 et 5 et plus faible pour le régime 4.

Tableau 3 - Influence du régime sur la composition des effluents

	R1	R2	R3	R4	R5	ETR	Effet Stat
Fèces							
Masse excrétée, g/j/porc	718b	669b	1333a	1372a	1356a	173	P<0,001
Matière sèche, %	27,3a	30,6a	25,7ab	19,7b	24,7ab	2,9	P=0,002
Mat. minérale, % MS	23,8a	23,8a	17,7b	22,3a	19,0b	0,82	P<0,001
Mat. organique, % MS	76,2b	76,2b	82,3a	77,7b	81,0a	0,82	P<0,001
Azote Kjeldahl, %MS	2,50c	2,23c	3,43a	3,63a	2,98b	0,19	P<0,001
Azote ammon., % MS	0,10d	0,00e	0,30b	0,60a	0,20c		
Carbone total, % MS	41,3bc	41,0c	44,0a	42,4b	44,3a	0,59	P<0,001
Matière grasse, % MS	9,24ab	8,78ab	7,65c	7,91bc	9,82a	0,67	P=0,002
WICW, % MS	46,9b	49,8ab	52,5a	38,4c	50,5ab	1,67	P<0,001
Cellulose brute, % MS	18,3b	18,7ab	16,9b	13,3c	20,3a	0,90	P<0,001
TDF, % MS	45,4ab	49,3a	47,5ab	41,6b	47,2ab	3,10	P=0,032
NDF, % MS	39,1a	42,2a	41,2a	32,1b	40,3a	1,94	P<0,001
ADF, % MS	17,0c	17,8bc	18,5b	14,7d	24,5a	0,72	P<0,001
ADL, % MS	3,8c	4,2bc	4,8b	3,6c	10,2a	0,42	P<0,001
EB, MJ/kg MS	17,6c	17,6c	19,2a	18,4b	19,3a	0,20	P<0,001
AGV totaux g/L	0,13	0,09	1,45	2,89	1,18	-	-
pH, unité pH	8,39	8,58	8,20	7,08	7,95	-	-
Urine							
Masse excrétée, g/j/porc	3362	3305	3457	3886	4479	1384	NS
Matière sèche, %	1,40b	1,40b	1,60a	1,20c	1,00d	-	-
Azote Kjeldahl, g/L	0,70	0,55	0,66	0,56	0,52	0,25	NS
Azote ammoniacal, g/L	0,66a	0,48c	0,59b	0,47d	0,48c	-	-
Énergie brute, MJ/kg	0,297	0,254	0,203	0,245	0,210	97,52	NS
pH, unité pH	8,58	8,18	8,61	8,77	9,12	-	-

Tableau 4 - Effet du régime alimentaire sur la volatilisation de l'ammoniac d'échantillons de lisier et d'urine

	R1	R2	R3	R4	R5	ETR	Effet
1- Lisier stocké							
Nb de jours de volatilisation	16	16	16	16	16	-	-
Masse initiale par cellule, kg	5,441	5,333	5,517	5,017	4,917	-	-
Azote Kjeldahl initial, g/L	6,97	5,50	7,20	5,64	5,62	-	-
Azote ammoniacal initial, g/L	6,17	4,47	4,97	4,31	4,17	-	-
NAT/NTK, %	89	81	58	76	74	-	-
AGV totaux, g/L	3,47	2,10	2,99	3,90	2,93	-	-
pH initial, unité pH	9,15	8,56	8,21	7,83	8,05	-	-
N-NH ₃ volatilisé, g	5,53a	3,72bc	3,82b	2,83d	3,29dc	0,12	P<0,001
Taux de volatilisation N, %	14,59a	12,70b	9,62c	9,99c	11,89b	0,41	P<0,001
2- Urine							
Nb de jours de volatilisation	16	16	16	16	16	-	-
Masse initiale par cellule, kg	5,012	5,003	5,005	5,008	5,018	-	-
Azote Kjeldahl initial, g/L	7,11	5,42	6,60	5,11	5,29	-	-
Azote ammoniacal initial, g/L	6,89	5,24	6,26	4,90	5,07	-	-
NAT/NTK, %	97	97	95	96	96	-	-
pH initial	9,38	9,24	9,24	9,31	9,25	-	-
N-NH ₃ volatilisé, g	7,82a	5,35b	6,22ab	5,55b	5,49b	0,55	P=0,034
Taux de volatilisation N, %	21,95	19,74	18,85	21,70	20,68	2,05	NS

L'énergie brute des fèces relativement à la MS est significativement plus élevée pour les fèces des régimes 3 et 5, intermédiaire pour le régime 4 et plus faible pour les régimes 1 et 2. L'énergie brute des urines n'est pas influencée par la nature du régime. Le pH des fèces est numériquement plus faible pour les régimes 3, 4 et 5. En revanche en ce qui concerne le pH des urines, celui-ci est plus faible pour les urines provenant des régimes 1 et 2.

2.3. Volatilisation d'ammoniac

De même que pour les effluents frais, la teneur en azote total des lisiers est influencée par la nature du régime (Tableau 4). Le pH initial des lisiers diffère également selon le régime; il est plus élevé pour les deux régimes témoins. La quantité d'azote ammoniacal volatilisé est plus faible pour les lisiers issus des régimes à teneur réduite en protéines (R2) ou enrichis en fibres (R3, R4, R5) que pour le régime R1 (Tableau 4). De même, la quantité cumulée d'ammoniac volatilisé est significativement plus élevée pour le régime R1. Le taux de volatilisation de l'N est compris entre 9,6 et 14,6% pour les lisiers et entre 18,8 et 21,9% pour les urines. Il est significativement influencé par le régime pour les lisiers alors que le régime n'a aucun effet sur le taux de volatilisation de l'urine.

2.4. Potentiel maximal de production de méthane (B₀) des lisiers stockés

Les caractéristiques de chaque échantillon et les résultats de potentiel maximal de production de méthane (B₀) des lisiers stockés sont présentés dans le Tableau 5 et à la Figure 1. Les B₀ sont influencés significativement par la nature du régime. Dans l'ordre décroissant, le B₀ le plus élevé est celui de R5, puis R1, R4, R2 et R3. La différence entre régimes est plus marquée en début de méthanisation (Tableau 5, Figure 1).

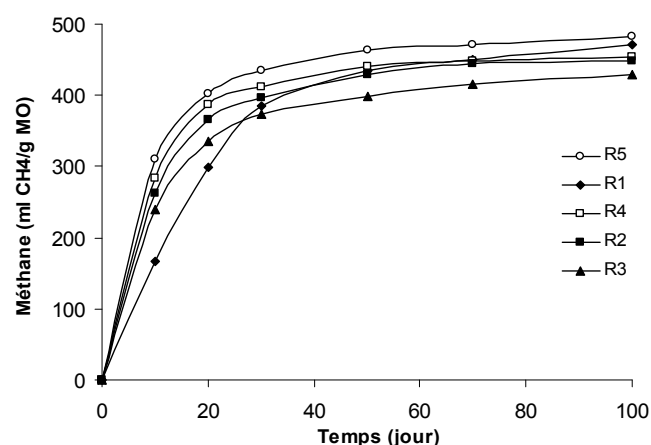


Figure 1 - Effet du régime alimentaire sur la cinétique de production de méthane et le potentiel maximal de méthanisation (B₀) du lisier stocké

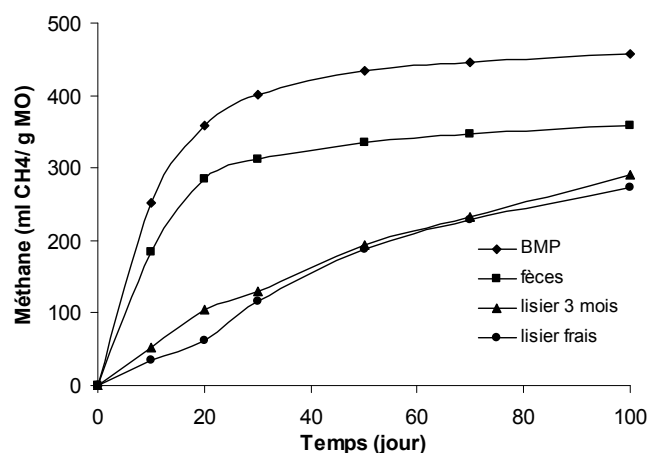


Figure 2 - Effet du type d'effluent (BMP ie lisier dilué, fèces, lisier frais et lisier stocké) sur la production de méthane

Ainsi, après 20 jours la production de méthane est la plus faible pour le régime R1. Le pourcentage de méthane dans le biogaz est également influencé par la nature du régime.

2.5. Production de méthane des échantillons de fèces et lisier frais et stocké

Les caractéristiques initiales et la production de méthane des échantillons de fèces et de lisier frais ou stocké, après 20 et 100 jours sont présentées au Tableau 5. La production de méthane de tous les types d'effluents est significativement influencée par le régime. A 20 jours, la production de méthane est plus élevée pour les échantillons (fèces, lisiers frais ou stockés) des régimes R5, R4 et R3. A 100 jours, la

production cumulée de méthane est également plus élevée pour les régimes enrichis en fibres, mais l'ampleur des écarts avec les autres régimes se réduit et dépend de la nature de l'effluent.

Les cinétiques de production cumulée diffèrent en effet très significativement selon le type d'effluents (Figure 2), tous régimes confondus. La production cumulée de méthane est plus élevée pour les échantillons de lisier dilué utilisées pour les BMP, puis pour les fèces et ensuite pour les lisiers stockés de 3 mois et les lisiers frais, qui diffèrent peu entre eux. Pour ces deux derniers types d'effluent la méthanisation démarre très lentement.

Tableau 5 - Effet du régime alimentaire sur le potentiel maximal de méthanisation (BMP) du lisier stocké (3 mois) ainsi que sur la production de méthane d'échantillon de fèces, de lisier frais et de lisier stocké (3 mois)

	R1	R2	R3	R4	R5	ETR	Effet
Caractéristiques initiales (g/L)							
1 – BMP							
Matière organique	7,92	8,24	12,20	8,27	7,85	-	-
Azote total Kjeldahl	1,48	1,19	1,53	1,21	1,21	-	-
Azote ammoniacal	1,28	0,94	1,04	0,91	0,88	-	-
Acides gras volatils	0,15	0,09	0,31	0,07	0,17	-	-
pH	8,82	8,20	8,54	8,60	8,62	-	-
2 – Fèces							
Matière organique	33,26	32,49	53,59	34,55	39,14	-	-
Azote total Kjeldahl	1,50	1,52	2,65	2,17	1,88	-	-
Azote ammoniacal	0,38	0,38	0,57	0,70	0,47	-	-
Acides gras volatils	0,13	0,09	1,45	2,89	1,18	-	-
pH	8,39	8,58	8,20	7,08	7,95	-	-
3 - Lisier frais							
Matière organique	33,71	27,60	52,67	35,40	38,15	-	-
Azote total Kjeldahl	6,71	5,42	6,78	5,60	5,47	-	-
Azote ammoniacal	5,44	4,29	4,87	3,94	4,03	-	-
Acides gras volatils	3,78	3,85	5,18	4,73	2,99	-	-
pH	9,14	8,79	8,50	8,45	8,62	-	-
4 - Lisier stocké 3 mois							
Matière organique	35,87	37,33	55,13	37,52	35,56	-	-
Azote total Kjeldahl	6,69	5,37	6,90	5,49	5,48	-	-
Azote ammoniacal	5,78	4,25	4,70	4,10	3,98	-	-
Acides gras volatils	5,85	2,53	4,34	4,88	3,69	-	-
pH	9,15	8,56	8,21	7,83	8,05	-	-
Production de Méthane (CH₄, ml/g MO)							
Après 20 jours,							
BMP	298e	365c	336d	387b	402a	4,3	P<0,001
Fèces	271c	189d	280c	336a	314b	2,7	P<0,001
Lisier frais	8d	25c	27c	65b	75a	1,0	P<0,001
Lisier stocké 3 mois	6d	42c	35c	222b	239a	3,1	P<0,001
Après 100 jours							
BMP (B ₀)	471ab	449c	428d	453bc	484a	6,8	P<0,001
Fèces	346c	234d	358c	422a	387b	4,2	P<0,001
Lisier frais	86c	217b	231b	386a	402a	5,8	P<0,001
Lisier stocké 3 mois	193d	290b	238c	362a	377a	10,3	P<0,001
Teneur en CH₄ du biogaz après 100 jours, %							
BMP	82,3a	67,6c	64,5d	67,7c	70,3b	0,2	P<0,001
Fèces	61,5c	59,3d	60,5c	62,6b	64,8a	0,3	P<0,001
Lisier frais	67,4	69,8	67,2	68,4	69,0	2,22	NS
Lisier stocké 3 mois	72,5a	63,1bc	60,3c	65,1bc	67,0b	1,24	P=0,002

3. DISCUSSION

3.1. Performances zootechniques, azote et carbone ingérés et excrétés

L'ajout de sources de fibres dans les régimes n'a pas d'incidence marquée sur l'appétit, la croissance et l'efficacité alimentaire, ce qui est en accord avec la bibliographie pour ces niveaux d'incorporation. Toutefois, la croissance des animaux est plus élevée et l'indice de consommation tend à être plus faible pour le régime témoins R1 que pour les régimes enrichis en fibres, en accord avec la valeur énergétique supérieure de cet aliment. En revanche, l'ajout de sources de fibres dans l'alimentation modifie très significativement la répartition azotée des excréta, l'ajout de fibres doublant l'excrétion azotée fécale et diminuant l'excrétion azotée urinaire de 6 à 26% par rapport aux régimes témoins. Des résultats similaires ont été obtenus par d'autres auteurs (Canh et *al.*, 1997; Shriver et *al.*, 2003). L'augmentation de la quantité d'azote fécal s'explique par le fait que la cellulose et les hémicelluloses présentes en plus fortes quantités ont servi de source d'énergie à la microflore du gros intestin favorisant ainsi la captation d'ammoniac sanguin au détriment de l'excrétion urinaire. L'ajout de fibres augmente également la quantité de carbone excrété, en relation avec la digestibilité plus faible de la MO de ces régimes. L'ajout de sources de fibres dans les régimes diminue la digestibilité des protéines et du carbone des régimes d'environ 10 points par rapport aux deux régimes témoins. Il en est de même pour le coefficient d'utilisation digestive de la MS, de la MO et de l'énergie brute. Les fèces issues des régimes enrichis en fibres contiennent donc plus d'azote, de carbone et d'énergie que celles issues des deux régimes témoins. Cet écart est encore plus marqué lorsque l'on considère l'excrétion journalière, compte tenu des différences de volumes d'effluents produits. L'ajout de sources de fibres dans les régimes ne modifie pas le coefficient de digestibilité des fibres, excepté pour le régime avec des pulpes de betteraves qui présente des coefficients d'utilisation digestive des fibres totales et des NDF plus élevés. Ces résultats sur l'effet des pulpes de betterave sont en accord avec ceux obtenus par Ramonet et *al.* (2000).

3.2. Caractéristiques des effluents

L'ajout de fibres dans les régimes a augmenté de 100 % la quantité de fèces excrétées par jour et par porc. Ce résultat est en accord avec les travaux de Massé et *al.* (2003) chez les truies en gestation. Selon Egron et *al.* (1996) l'augmentation de la masse fécale peut être due à la combinaison de plusieurs facteurs : 1) une plus forte quantité de fibres indigestibles excrétées, 2) une plus forte capacité de rétention d'eau des fibres excrétées, 3) à l'excrétion de produits non digérés entraînés de force par les fibres. La plus faible teneur en MS des fèces issues des régimes enrichis en fibres est bien confirmée dans notre étude, de même que l'excrétion fécale plus importante de fibres. En revanche, l'ajout de sources de fibres n'a eu aucun effet sur la quantité d'urine excrétée. Cela peut être dû au fait que la quantité d'eau allouée par jour et par porc était fixée et non distribuée *ad libitum* comme pour d'autres travaux tels que ceux de Massé et *al.* (2003). La concentration en azote total des excréta confirme bien la réorientation de l'excrétion azotée des urines vers les fèces.

3.3. Volatilisation d'ammoniac des lisiers

La concentration en azote ammoniacal des lisiers issus des régimes avec ajout de fibres est pratiquement équivalente à celle du lisier provenant du régime à 14% de MAT. L'ajout de sources de fibres a permis de diminuer la concentration en azote ammoniacal des lisiers de 30% en moyenne par rapport au régime témoin à 17 % de MAT. Sommer et Husted (1995) montrent que la concentration en azote ammoniacal est un facteur important de variation du pH des effluents et Canh et *al.* (1997) indiquent que l'ajout de fibres fermentescibles dans le régime diminue le pH, notamment par la production d'AGV dans l'intestin grêle. Ces AGV sont produits par la dégradation bactérienne des fibres telles que les pectines, cellulose et hémicelluloses. Dans notre étude le pH des lisiers issus des régimes enrichis en fibres est réduit en accord avec les résultats obtenus par Canh et *al.* (1997, 1998). Le pH et la concentration en azote ammoniacal étant les principaux facteurs de variation de la volatilisation de l'ammoniac, c'est donc logiquement que l'on observe un taux de volatilisation et une volatilisation cumulée de l'ammoniac plus faibles pour les lisiers issus de régimes avec fibres.

3.4. B₀ et production cumulée de méthane

La production de méthane lors du processus de méthanisation dépend de plusieurs facteurs : le pH, la température et les caractéristiques physico-chimiques des effluents, notamment la concentration en azote ammoniacal et en AGV. La méthodologie pour obtenir le potentiel maximal de méthane (B₀) implique une dilution et le contrôle de la température d'incubation des échantillons. Ces précautions permettent d'éviter d'une part les inhibitions dues à une concentration excessive en azote ammoniacal et d'autre part d'optimiser le développement du pool bactérien associé à la méthanisation. Dans la bibliographie le B₀ des effluents de porcs est compris entre 290 et 480 ml CH₄/g MO. Nos résultats se situent bien dans cette gamme. Velthof et *al.* (2005) ont montré que la production de méthane était positivement corrélée avec la MS, la teneur en carbone et la teneur en AGV. Ils ont aussi montré que le B₀ des lisiers était plus faible pour les régimes avec des teneurs en protéines faibles. Cet effet est probablement lié à la faible teneur en AGV des lisiers pendant la méthanisation (Zeeman, 1991). Velthof et *al.* (2005) ont également montré que la production de méthane dépend de la teneur en fibres fermentescibles des régimes. Moins le régime et le lisier contiennent de fibres fermentescibles et moins il produira de méthane. Ceci est dû au fait que la production de méthane est liée à la teneur en carbone total et à la teneur en AGV des lisiers. Nos résultats sont donc en accord avec les résultats de ces auteurs. Les B₀ les plus élevés sont ceux provenant de lisiers issus de régimes à fortes teneurs en fibres fermentescibles et en protéines (R5, R1 et R4). Il est cependant intéressant de constater que le B₀ du lisier R3 est le plus faible alors que ses teneurs en protéines et en fibres fermentescibles sont proches de celles des lisiers R4 et R5. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que le processus de fabrication des drèches de blé nécessite des étapes de chauffage pouvant être à l'origine d'une complexation des protéines, avec des molécules telles que la lignine, les rendant soit inaccessibles aux bactéries associées à la méthanisation, soit difficilement dégradables.

Le traitement par méthanisation des échantillons bruts de fèces, de lisiers frais et de lisiers stockés montre une production de méthane plus importante pour les échantillons de fèces que pour les deux autres types d'échantillons, cette production dépendant par ailleurs de la nature de l'alimentation. Là aussi la production de méthane dépend à la fois de la teneur en protéines, de la teneur en carbone total, de la teneur en fibres fermentescibles, du pH et donc de la concentration en azote ammoniacal des échantillons, et de leur concentration en AGV. Hansen et *al.* (1998) ont montré qu'une concentration élevée en azote ammoniacal pouvait inhiber la production de méthane. Ceci semble être confirmé dans notre travail dans la mesure où la méthanisation des échantillons de lisier, surtout frais, démarre très difficilement et ceci d'autant plus que la teneur en N ammoniacal est élevée. Toutefois le seuil de la concentration en azote ammoniacal à ne pas dépasser reste assez controversé selon les auteurs.

Les écarts de potentiel de production de méthane entre les régimes sont nettement plus importants lorsqu'ils sont exprimés par porc et par jour, compte tenu de la différence d'excrétion de MO. Ce potentiel est en effet de 70 litres/porc/j pour les régimes témoins et il s'élève à respectivement 121, 95 et 130 litres/porc/j pour les régimes

enrichis en drêches de blé, en pulpes de betteraves et en tourteaux de colza gras.

CONCLUSION

Cette étude a montré que l'ajout de co-produits de biocarburants en tant que sources de protéines et de fibres dans l'alimentation a permis d'orienter l'excrétion azotée vers les fèces, de diminuer le taux de volatilisation de l'ammoniac au stockage et d'augmenter la production de méthane.

La composition des aliments et son effet sur la quantité et les caractéristiques des effluents devrait donc être prise en compte dans le cadre de l'optimisation des filières de collecte et de traitement des effluents, afin de minimiser les émissions non contrôlées d'ammoniac et de méthane.

REMERCIEMENTS

Ce travail est réalisé dans le cadre d'une thèse cofinancée par l'ADEME et la région Bretagne et a bénéficié du support du programme PSDR Biodecol2 et des crédits incitatifs du département PhASE de l'INRA.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Canh T.T., Verstegen M.W.A, Aarnink A.J.A, Schrama J.W., 1997. Influence of dietary factors on nitrogen partitioning and composition of urine and feces of fattening pigs. *J. Anim. Sci.*, 75, 700-706.
- Canh T.T., Sutton A.L., Aarnink A.J.A, Verstegen M.W.A, Schrama J.W., Bakker G.C.M., 1998. Dietary carbohydrates alter the fecal composition and pH and the ammonia emission from slurry of growing pigs. *J. Anim. Sci.*, 76, 1887-1895.
- Egron G., Tabbi L., Guilbeaud M., Chevalier M., Cadore J.L., 1996. Influence du taux et de la nature des fibres alimentaires dans l'alimentation du chien. *Revue Médicale Vétérinaire*, 147, 215-222.
- Hansen K.H., Angelidaki I., Ahring B.K., 1998. Anaerobic digestion of swine manure: inhibition by ammonia. *Wat. Res.*, 32, 5-12.
- Massé D.I., Croteau F., Bergeron R., Bolduc J., Ramonet Y., Meunier-Salaun M.C., Robert S., 2003. Effect of dietary fiber incorporation on the characteristics of pregnant sows slurry. *Canadian Biosystems Engineering*, 45, 6.7-6.12.
- Noblet J., Bourdon D., 1997. Valeur énergétique comparée de onze matières premières chez le porc en croissance et la truie adulte. *Journées Rech. Porcine France*, 29, 221-226.
- Peu P., Béline F., Martinez J., 2004. Volatile fatty acids analysis from pig slurry using high-performance liquid chromatography. *Inter. J. Envir. Anal. Chem.*, 13, 1017-1022.
- Portejoie S., Dourmad J.Y., Martinez J., Lebreton Y., 2002. Effet de la réduction du taux protéique de l'aliment sur la volatilisation ammoniacale des effluents porcins. *Journées Rech. Porcine*, 34, 167-174.
- Ramonet Y., Robert S., Aumaître A., Dourmad J.Y., Meunier-Salaun M.C., 2000. Influence of the nature of dietary fibre on digestive utilization, some metabolite and hormone profiles and the behaviour of pregnant sows. *Anim. Sci.*, 70, 275-286.
- Shriver J.A., Carter S.D., Sutton A.L., Richert B.T., Senne B.W., Pettey L.A., 2003. Effects of adding fiber sources to reduced-crude protein, amino acid-supplemented diets on nitrogen excretion, growth performance, and carcass traits of finishing pigs. *J. Anim. Sci.*, 81, 492-502.
- Sommer S.G., Husted S., 1995. A simple-model of pH in slurry. *J. Agri. Sci.*, 124, 447-453.
- Vedrenne F., Béline F., Dabert P., Bernet N., 2008. The effect of incubation conditions on the laboratory measurement of methane producing capacity of livestock wastes. *Biores. Technol.*, 99, 146-155.
- Velthof G.L., Nelemans J.A., Oenema O., Kuikman P.J., 2005. Gaseous nitrogen and carbon losses from pig manure derived from different diets. *J. Environ. Qual.*, 34, 698-706.
- Zeeman G., 1991. Mesophilic and psychrophilic digestion of liquid manure. Ph.D. thesis. Agric. Univ. Wageningen, Wageningen, the Netherlands.