Effet de la saison et de la ration sur les émissions de méthane des lisiers de bovins

Sabrina Staerfl[1], Christine Bosshard[2], Cyril Graf[1], Johanna Zeitz[1], Michael Kreuzer[1] et Carla Soliva[1]
[1]ETH Zurich, Institut des sciences agraires, 8092 Zurich
[2]Station de recherche Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, 8046 Zurich
Renseignements: Michael Kreuzer, e-mail: michael.kreuzer@inw.agrl.ethz.ch, tél.: +41 44 632 59 72



Figure 1 | Le lisier a été prélevé verticalement à l'aide d'une sonde en verre acrylique sur une exploitation. (Photo: ART)

Introduction

Le méthane (CH_4) possède un potentiel de réchauffement global 21 fois plus élevé que l'oxyde de carbone (CO_2; Steinfeld *et al.* 2006). Il est, avec le protoxyde d'azote (N_2O), le plus important gaz à effet de serre provenant de l'agriculture. L'élevage de ruminants participe aux émissions globales de CH_4 principalement par la fermentation entérique. Bien que les quantités de CH_4 provenant du lisier soient plus faibles que celles émanant de la fermentation entérique, elles ne doivent pas être négligées dans la budgétisation des gaz à effet de serre. C'est particulièrement la dégradation anaérobe de substance organique qui conduit à des émissions de CH_4 provenant du lisier (Steinfeld *et al.* 2006).

Résumé

Lorsque les données nationales manquent, le budget de gaz à effet de serre est calculé avec les normes standard IPCC. La norme standard actuelle pour la quantité maximale de méthane pouvant être produite par du lisier suisse (B_0) est de 240 l méthane (CH_4)/kg solides volatils (SV). Dans cette étude, le lisier de 64 exploitations laitières provenant des principaux cantons producteurs de lait a été collecté. Les échantillons ont été prélevés dans des exploitations avec et sans affouragement d'ensilage (systèmes typiques de production de lait), en été et en hiver. De plus, les exploitations ont été classées selon leur performance laitière annuelle. B_0 a été déterminé par l'incubation du lisier durant 14 semaines à 35 °C. Pour le lisier d'hiver, B_0 était situé entre 241 et 314 l CH_4/kg SV, et pour le lisier d'été entre 35 et 62 l CH_4/kg SV. Ce B_0 bas peut être la conséquence d'une fermentation préalable dans le stock de lisier ou d'une forte dilution causée par les pluies. Bien que la composition des nutriments des rations et des SV soit différente, ni l'affouragement ni la performance laitière n'ont influencé B_0. Les résultats montrent que d'autres paramètres dans l'affouragement et le management du lisier doivent être pris en considération pour émettre des valeurs propres aux pays.

Puisque les données spécifiques aux pays concernant les émissions de CH_4 dues à la fermentation entérique et au lisier sont souvent incomplètes ou manquent, on utilise les donnée standards de *l'Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), afin de calculer le budget des gaz à effet de serre (Klevenhusen *et al.* 2010). Pour l'heure, ce sont aussi ces données qui sont utilisées pour la Suisse. Pour la l'Amérique du Nord et pour l'Europe, la quantité maximale de CH_4 capable d'être produite (B_0) par du lisier de bétail laitier a été fixée à 240 l CH_4/kg de solides volatils (SV). La quantité de CH_4 qui peut être émise du lisier dépend de différents facteurs comme la durée de stockage, la température de stockage et l'affouragement (Steinfeld *et al.* 2006). Les rations contenant beaucoup de concentré, qui réduisent le pH dans la panse ainsi que la digestibilité des fibres, conduisent à des teneurs élevées en SV considérés comme un substrat bien fermentable pour la production de CH_4 du lisier (Hindrichsen *et al.* 2006).

Le but de cette étude était de déterminer de manière expérimentale B_0 pour le lisier de bétail laitier, afin d'obtenir les premières données spécifiques suisses. Pour ce, les exploitations ont été choisies sur la base des deux systèmes d'affouragement typiques suisses, à savoir avec ou sans ensilage (le dernier principalement pour la production de fromage dur). De plus, les exploitations ont été classifiées sur la base de la performance laitière du troupeau, afin de prendre en compte indirectement les différentes proportions de concentré dans la ration. Les facteurs saisonniers comme les différences dans l'affouragement et la température de stockage du lisier ont été prises en compte en prenant des échantillons des mêmes exploitations en hiver et en été.

Matériel et méthodes

Choix des exploitations laitières

Le lisier a été collecté sur 64 exploitations laitières suisses (tabl. 1). Les exploitations des principaux cantons suisses laitiers (AG, BE, FR, LU, SG, TG, VD et ZH; Muller 2010) ›

Tableau 1 | Description des exploitations laitières suisses où le lisier a été prélevé (valeur moyenne ± déviation standard)

Système d'affouragement	Avec ensilage			Sans ensilage		
Performance laitière du troupeau (kg/vache et année)	**<7000**	**7000–8000**	**>8000**	**<7000**	**7000–8000**	**>8000**
Nombre d'exploitations	11	11	11	11	11	9
Taille des exploitations (ha)	23,9±3,8	25,3±4,4	32,5±3,6	25,9±3,8	31,1±3,8	39,6±4,2
Taille du troupeau (nombre de vaches)	26,5±3,8	23,6±4,9	40,6±4,0	28,2±4,1	30,5±4,1	37,4±4,6
Performance laitière (kg/vache et année)	6415±110	7801±140	8637±114	6545±119	7490±119	8444±132
Pourcentage de concentré (% de la ration totale)	24,5±2,8	21,7±3,1	36,7±3,4	18,2±3,1	15,6±3,6	22,7±2,9



Figure 2 | Des bouteilles de sérum et la seringue pour déterminer la phase gazeuse par chromatographie. (Photo: Sabrina Stärfl)

ont été choisies au hasard. La taille moyenne des exploitations était de 27,5 ± 7,7 ha, et la plupart des vaches appartenaient à la race brune et à la race Holstein. Les exploitations ont été classées d'une part par rapport à leur système d'affouragement, à savoir affouragement avec ensilage (ensilage d'herbe et de maïs avec concentré à l'année), ou affouragement sans ensilage (foin en hiver, herbe en été, quantités moindres de concentré); d'autre part, la classification s'est basée sur la performance laitière annuelle du troupeau: basse, moyenne ou élevée. Le degré de dilution du lisier variait entre 1: 0,5 et 1:2 (lisier: eau). La plupart des exploitations (83 %) disposaient d'une fosse à purin couverte.

Prélèvements des échantillons de lisier

Les échantillons ont été prélevés en février et mars 2010 (hiver) et en août 2010 (été). Après que le lisier ait été mélangé durant 30 minutes, les échantillons ont été prélevés verticalement à l'aide d'une sonde en verre acrylique (longueur 2 à 4 m, diamètre interne 4,5 cm; fig. 1). Les prélèvements de 10 prises avec la sonde ont été homogénéisés dans un tonneau de 40 l pour en faire un échantillon total; de celui-ci, un échantillon partiel de 1 l a été pris. Ce procédé a été répété afin d'obtenir un deuxième échantillon de 1 l. Les échantillons partiels ont été ensuite été mis dans les bouteilles en plastique (Semadeni AG, Ostermundingen, Switzerland), entreposés dans des boîtes réfrigérantes pour le transport et conservés à -20 °C jusqu'à leur préparation en laboratoire. De plus, des échantillons des aliments pour animaux utilisés (mis en commun en fonction de la part dans la ration) ou des aliments complets (la proportion des composantes individuelles a été notée) ont été pris. D'autres données sur les exploitations ont été rassemblées avec un questionnaire standard.

Expérience sur le stockage de lisier

La détermination de la quantité maximale de CH_4 capable d'être produite par du lisier a été effectuée selon la méthode d'incubation *in vitro* de Hashimoto (1989). Des bouteilles de sérum d'un volume de 119,1 ± 0,6 ml ont servi de récipient de fermentation (fig. 2). Les bouteilles ont été remplies avec 50 ml de lisier et d'inoculant avec un rapport de 2,33:1 (Sommer *et al.* 2007). L'inoculant était composé de lisier de vaches affouragées avec un aliment complet (45 % ensilage d'herbe, 39 % ensilage de maïs, 9,5 % foin, 6,5 % concentré). Cet inoculant a été stocké durant 3 semaines à 35 °C afin de faire démarrer la fermentation avec une population stable de microbes et de réduire la proportion de matière fermentable (Sommer *et al.* 2007). Quatre récipients de fermentations qui n'étaient remplis que d'inoculant ont servi de contrôle et de base pour des calculs subséquents. Les bouteilles ont été rincées avec de l'azote (N) afin d'enlever l'oxygène (fermentation anaérobe), puis elles ont été fermées hermétiquement avec un bouchon en plastique d'1 cm (Bellco Glass, Vineland, USA) et incubées durant 14 semaines à 35 ± 0,2 °C. Les concentrations de CH_4 dans les gaz de fermentation, qui ont été prises à l'aide d'une seringue étanche aux gaz (Hamilton-Bonaduz, Suisse) une fois par semaine à travers le bouchon en plastique, ont été déterminées par chromatographie en phase gazeuse (Hewlett Packard, Model 5890 Series II, Avondale, PA, USA). Le volume de fermentation a été établi au moyen d'une seringue à gaz (Eterna matic Sanitex, Sanitex SA, Bassecourt, Suisse) munie d'une aiguille de 2,5cm (Taille 16, B. Braun Medical AG, Sempach, Suisse), le piston en verre de la seringue en position horizontale étant poussé par les gaz de fermentation jusqu'à atteinte de la pression atmosphérique (Steed et Hashimoto, 1994). Les volumes de gaz ont été corrigés sur une température de 0 °C et une pression de 1013 mbar.

Analyses en laboratoire

Les échantillons de fourrage sec (foin, concentré) ou séché (ensilage, herbe; 48h à 60 °C) ont été moulus à une grosseur de particule de 1 mm. La matière sèche (MS) et la teneur en cendre (TC) ont été analysées dans l'inoculant, le lisier et le fourrage (TGA-701, Leco Corporation, St. Joseph, MI, USA). Les teneurs en carbone (C) et azote ont été établies avec le C/N-Analysator (Leco-Analysator Typ FP-2000, Leco Instrumente, Kirchheim, Allemagne). L'énergie brute (EB) a été calculée grâce à un calorimètre (Calorimeter C7000, IKA-Werke GmbH & Co. KG, Staufen, Allemagne). La concentration d'ammoniac-N a été mesurée dans le lisier et l'inoculant par distillation sur MgO (Distillation Unit 323, Büchi, Flawil, Suisse; Amberger *et al.* 1982).

Tableau 2 | Composition chimique (g/kg MS) et teneur en énergie brute (MJ/kg MS) des rations et du lisier d'hiver (h) et d'été (é)

Système d'affouragement		Avec ensilage			Sans ensilage				Valeurs P			
Performance laitière du troupeau (kg/vache et année)		<7000	7000-8000	>8000	<7000	7000-8000	>8000	SEM[1]	Système d'affouragement (F)	Performance laitière (M)	F×M	Saison
Ration												
Cendres	h	80,7	82,3	83,8	82,7	89,8	96,8	3,75	0,019	0,094	0,37	<0,001
	é	94	91,2	83,7	105	119	112	8,55	0,003	0,69	0,54	
N total	h	23,1	24,8	24	23,1	22,7	24,5	1,21	0,64	0,68	0,54	<0,001
	é	25,1	27,4	23,8	30,1	27,8	31,7	2,16	0,019	1	0,27	
Energie brute	h	18	18,1	18,2	17,8	17,9	17,8	0,13	0,025	0,72	0,59	0,064
	é	18,1	18,2	18,1	17,4	17,6	17,6	0,16	<0,001	0,62	0,93	
Lisier												
MS (g/kg matière fraîche)	h	4,78	4,29	4,47	4,42	5,53	4,58	0,759	0,99	0,82	0,29	<0,001
	é	2,26	2,16	1,84	1,66	2,33	2,29	0,504	0,98	0,82	0,5	
Cendres	h	327	361	279	342	282	324	34,9	0,81	0,6	0,14	0,95
	é	320	350	285	325	270	309	31,6	0,75	0,66	0,16	
N total	h	58,5	71,4	50,8	68,5	52,3	54,1	7,84	0,77	0,35	0,16	0,78
	é	54,2	68,2	58,4	64,5	48,6	52,9	8,31	0,52	0,68	0,22	
NH_3-N	h	45,1	51	31,3	43,8	28,3	36,5	7,05	0,29	0,35	0,13	0,88
	é	40,2	47,7	35,8	40,5	26,9	33,7	7,19	0,22	0,5	0,2	
C:N	h	6,95	6,1	7,74	7,29	8,55	6,66	0,747	0,36	0,96	0,076	0,96
	é	6,88	6,05	7,63	7,15	8,39	6,55	0,884	0,33	0,96	0,087	
Energie brute	h	16,1	15,2	16,3	15,5	16,3	15,9	0,53	0,94	0,76	0,24	0,97
	é	15,8	15	15,8	14,9	15,8	15,7	0,47	0,98	0,77	0,23	

[1]SEM = erreur standard de la moyenne.

Calculs et analyses statistiques

La teneur en SV a été définie selon l'IPCC (2006; niveau 2) comme ceci:

SV (kg/vache/jour) = [EB × (1 - DA/100) + (EU × EB)] × [(1-CENDRE/18,45)]

EB = Consommation d'EB (MJ/vache/jour; consommation moyenne suisse supposée de 18 kg MS/vache/jour; ALP 2008), DA = digestibilité de l'alimentation (%) = (EB – énergie de fèces (MJ/vache/jour)) × 100/EB, UE × EB = énergie urinaire exprimée en fraction de EB (ici la valeur standard de l'IPCC de 0,04 × EB a été utilisée), CENDRE = teneur en cendre du lisier par rapport à la consommation de fourrage. Le facteur 18,45 correspond au facteur de conversion pour EB par kg MS (MJ/kg; facteur relativement constant pour de nombreux types d'alimentation basé sur le fourrage ou les céréales; IPCC 2006). La production de CH_4 (ml CH_4/g SV) a été calculée en soustrayant la production de CH_4 de l'inoculant (moyenne des 4 bouteilles de contrôle) des productions de CH_4 de chaque bouteille d'incubation. La valeur a été divisée par la production de SV dans le lisier. La quantité maximale de CH_4 pouvant être produite (B_0, ml CH_4/g SV) a été calculée avec l'équation suivante:

$'B' = B_0 \times (1 - e^{-kt})$

'B' est la production cumulée de CH_4 pendant une période d'incubation de 14 semaines, k est le taux de production de méthane par jour et t le temps. B_0 (quantité de production de méthane capable d'être produite quand t = infini) a été estimé à l'aide d'une courbe de régression non linéaire en appliquant l'algorithme de Marquardt-Levenberg dans SigmaPlot 11,0 (Systat Software, Chicago, Illinois) (Massé *et al.* 2010). La mise ›

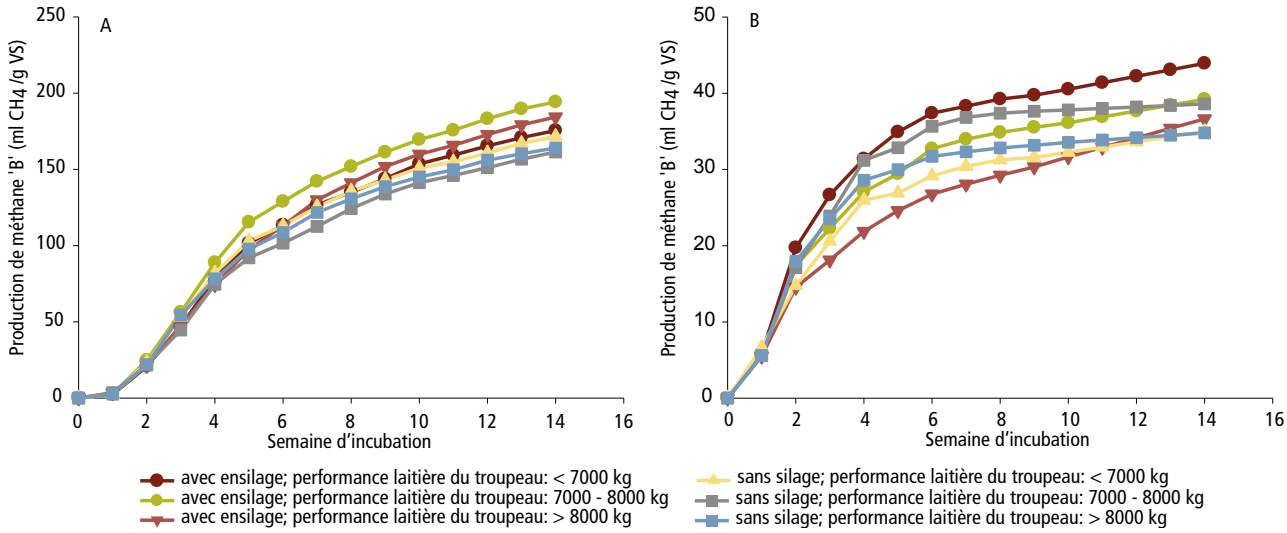


Figure 3 | **Production cumulée de méthane 'B' (IPCC 2006) émanant de lisier de bétail laitier avec ou sans affouragement d'ensilage et produisant différentes performances laitières de troupeau, émis pour une période d'incubation de 14 semaines à 35 °C. (A, lisier d'hiver; B, lisier d'été)**

en valeur statistique a été faite par une analyse de la variance (procédure MIXED; SAS 9.1, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) avec comme effets fixes le système d'affouragement, la performance laitière ainsi que leur interaction et la saison. La comparaison des moyennes a été effectuée avec le test Tukey et les différences où $p<0,05$ ont été considérées comme significatives.

Résultats et discussion

Composition chimique des rations et du lisier

De manière générale, les différences saisonnières dans la composition nutritionnelle des rations fourragères des exploitations à ensilage étaient moindres par rapport aux exploitations sans ensilage (tabl. 2). Cela s'explique par le fait que la ration des exploitations avec ensilage change à peine durant l'année, alors que les animaux affourragés sans ensilage reçoivent du foin en hiver et de l'herbe en été. La saison a eu une influence significative sur les teneurs en cendre et en azote des rations, avec des teneurs plus élevées en été. Le teneur en azote plus élevée des rations sans ensilage par rapport aux rations à base d'ensilage résulte vraisemblablement de la teneur en protéines typiquement plus élevée dans l'herbe fraîche par rapport à l'ensilage. De plus, la teneur en cendre était plus élevée de manière significative dans les rations sans ensilage, contrairement à la teneur en EB qui était significativement plus basse que les rations avec ensilage. Aucun lien n'a été trouvé entre le système d'affouragement et la performance laitière concernant la composition des nutriments dans la ration. Concernant les teneurs en MS dans le lisier, une différence ($p<0,001$) a pu être observée entre les deux saisons. Pour les autres nutriments investigués dans le lisier, aucune différence significative n'a pu être trouvée.

Emissions de méthane lors du stockage de lisier

La production cumulée de méthane 'B', sur laquelle se base B_0, change de manière cruciale avec le temps croissant d'incubation pour le lisier d'hiver (fig. 3A) et d'été (fig. 3B). Comme dans d'autres études (p. ex. Hindrichsen *et al.* 2006), la production de CH_4 a augmenté lentement jusqu'à un certain niveau pour ensuite baisser, probablement à cause de la disponibilité décroissante de nutriments. Contrairement à Hindrichsen *et al.* (2006; sans inoculant), la production maximale de CH_4 a pu être observée déjà après 4 semaines d'incubation, ce qui est vraisemblablement le résultat de l'emploi d'un inoculant (Vedrenne *et al.* 2008). Quand un inoculant est utilisé comme dans cette étude, il est préférable d'utiliser un rapport inoculant/substrat bas (30:70 selon Hashimoto 1989), afin d'éviter une production excessive de CH_4 (Vedrenne *et al.* 2008).

Les teneurs totales de SV dans le lisier ne dépassent la valeur standard de l'IPCC (2006) de 1,86 t/vache et année que de très peu pour les deux saisons (tabl. 3). Une tendance ($p=0,07$) saisonnière à la hausse a pu être observée en hiver. La teneur en SV varie de manière significative entre les 2 systèmes d'affouragement pour les 2 saisons, ce qui est probablement dû aux teneurs

Tableau 3 | Quantité de solides volatils (SV) et de la quantité maximale de CH_4 pouvant être produite (B_0) après 14 semaines d'incubation à 35 °C du lisier d'hiver (h) et d'été (é)

Système d'affouragement		Avec ensilage			Sans ensilage				Valeurs P			
Performance laitière du troupeau (kg/vache et année)		<7000	7000-8000	>8000	<7000	7000-8000	>8000	SEM[1]	Système d'affouragement (F)	Performance laitière (M)	F×M	Saison
Matières solides volatiles (t/vache et année)[2]	h	2,14	2,15	2,17	2,12	2,14	2,11	0,016	0,031	0,65	0,37	0,068
	é	2,11	2,13	2,14	2,09	2,1	2,08	0,019	<0,001	0,54	0,76	
B_0 (l CH_4/kg SV)	h	275	308	314	246	281	241	51,6	0,27	0,77	0,87	<0,001
	é	61,5	45,1	45,6	34,5	42,7	35,5	12,24	0,21	0,84	0,6	

[1]SEM = erreur standard de la moyenne.
[2]Définie selon l'IPCC (2006; niveau 2); valeur standard 1,86 t/vache et année.

basse en EB et haute en cendre dans les rations sans ensilage par rapport aux rations avec. La performance laitière n'a eu aucune influence sur les SV et aucune interaction entre les performances laitières et l'affouragement n'a peu être trouvée. Un effet saisonnier a été observé ($p<0,001$) pour la quantité maximale de CH_4 capable d'être produite B_0, contrairement au système d'affouragement, à la production laitière et à leur interaction qui n'ont en aucune influence ($p<0,05$). Les valeurs basse de B_0 dans les exploitations sans ensilage ($p<0,05$) comparées aux exploitations avec ensilage résultent sans doute des teneurs basses en matière fermentable dans leur lisier (Steinfeld *et al.* 2006). Møller *et al.* (2004) ont aussi trouvé des valeurs B_0 plus basses dans du lisier de bétail laitier affouragé avec des rations riches en fibre comparé à d'autres riches en concentré. La valeur basse de pH dans la panse quand la ration est riche en concentré réduit notamment la digestibilité de fibres, ce qui conduit à des teneurs plus élevées en matière fermentable dans le lisier (Hindrichsen *et al.* 2006). Il est surprenant de constater que dans cette expérience, la performance laitière n'a eu aucune influence sur B_0 (et SV). Après 14 semaines d'incubation à 35 °C, le B_0 du lisier d'hiver était plus élevé que celui d'été (tabl. 3), bien que la teneur en SV soit à peine différente. Dans ce cas, le lisier d'été n'a pas été dilué seulement par l'affouragement d'herbe riche en eau (exploitations sans ensilage) mais aussi par d'importantes précipitations avant la prise d'échantillons. Vedrenne *et al.* (2008) ont d'ailleurs même trouvé des valeurs B_0 plus élevées dans du lisier dilué (1 à 7 % MS) que dans du lisier non dilué (3 à 14 % MS), car ainsi les concentrations trop hautes d'acides gras volatiles (AGV) ou d'ammoniac, inhibitrices pour la production de CH_4, ont été diluées. Ça ne semble pas être le cas dans cette étude. Il est probable qu'en raison de l'épandage répété du lisier en été, aucune population stable de microbes n'ait pu s'établir comme dans le lisier d'hiver. De plus, les températures plus hautes en été ont pu accélérer la fermentation anaérobe, de manière à ce qu'il y ait moins de matière fermentable dans les échantillons de lisier au moment des prélèvements d'échantillons. Bien que ce ne soit pas visible sur les teneurs en SV, il ne faut pas exclure que la composition des SV était différente dans le lisier d'hiver et d'été, à savoir que différentes proportions d'acides volatiles gras, protéines, hydrates de carbone et lignine étaient disponibles dans SV (Vedrenne *et al.* 2008). De plus, des quantités inconnues et différentes d'acides gras volatiles ont pu être perdues durant la détermination de MS et des cendres brutes, ce qui pourrait éventuellement conduire à des teneurs en cendres brutes inexactes et par conséquence de SV aussi (Vedrenne *et al.* 2008). On aurait pu s'attendre à avoir une production similaire de CH_4, particulièrement dans les exploitations avec ensilage et affouragement constant. Par conséquent, les données spécifiques aux pays de B_0 en été ne devraient pas être déterminées avec du lisier stocké, mais frais.

La valeur standard de l'IPCC (2006) de 240 l CH_4/kg SV pour B_0 par les vaches laitières en Europe de l'Ouest se fonde sur des calculs théoriques basés sur les quantités évacuées de SV. Dans cette expérience, B_0 pour le lisier d'hiver était entre 241 (sans ensilage, > 8000 kg de performance laitière) et 314 CH_4/kg SV (avec ensilage, > 8000 kg de performance laitière), la dernière valeur étant 30 % au-dessus de la valeur standard IPCC. Dans d'autres expériences, B_0 variait entre 126 et 207 l CH_4/kg SV pour du lisier frais (Amon *et al.* 2004; Møller *et al.* 2004) et entre 204 et 296 l CH_4/kg SV pour du lisier stocké (Vedrenne *et al.* 2008). De toute évidence, le potentiel ›

maximal d'émission de CH_4 du lisier dépend encore d'autres facteurs que la teneur en SV et le système d'affouragement (performance laitière inclue). La durée de stockage de 14 semaines, comme utilisée dans cette étude, correspond plus ou moins à la durée de stockage en Europe de l'Ouest pour le lisier d'hiver, mais est trop longue pour le lisier d'été. Comme montré dans la figure 3, la durée de stockage influence clairement le potentiel de production de CH_4. Comme la durée de stockage n'est pas prise en compte dans les lignes directrices de l'IPCC (2006) pour la détermination de B_0, cela peut conduire à des inexactitudes pour les valeurs standard. De plus, les valeurs qui ont été déterminées comme ici selon la méthode *in vitro* de Hashimoto (1989) diffèrent de celles calculées sur la base d'autres méthodes (p. ex. système avec bouteilles de serum de Møller *et al.* 2004; système avec chambres fermées de Külling *et al.* 2001; système avec chambres respiratoires de Hindrichsen *et al.* 2006 et Klevenhusen *et al.* 2010), où la quantité stockée de lisier à tester peut aussi jouer un rôle. Un autre facteur qui influence la production de CH_4 du lisier est la température de stockage (ici 35 °C; Hashimoto 1989). D'autres auteurs comme Steed et Hashimoto (1994) ont effectué leurs incubations à 10 °C, 20 °C et 30 °C. Klevenhusen *et al.* (2010) a incubé du lisier à 14 °C et 27 °C, ce qui correspond aux valeurs supposées de l'IPCC (2006) pour les zones climatiques froides et chaudes. Les résultats de la présente expérience montrent que le développement de protocoles plus homogènes pour la détermination d'émission de CH_4 provenant du lisier dans des conditions de laboratoire est nécessaire.

Conclusions

Cette étude montre qu'il existe de grandes différences de quantité maximale de méthane pouvant être produite par du lisier d'hiver et d'été. Il faut clarifier si ces différences sont dues à la fermentation préalable dans le silo à lisier, aux différentes populations de microbes ou aux différentes quantités de précipitations saisonnières et variations de températures. Avant de pouvoir émettre des données spécifiques pour la Suisse, il est nécessaire d'étendre la base de données à la Suisse entière (entre autres les régions de montagne). De plus, les méthodes expérimentales qui permettent de calculer les émissions de méthane doivent être standardisées. ■

Remerciements
Cette étude a été soutenue par les Offices fédéraux de l'agriculture et de l'environnement suisse. Merci aussi à toutes les exploitations pour leur bonne coopération.

Bibliographie

- ALP (Agroscope Liebefeld-Posieux), 2008. Fütterungsempfehlungen und Nährstofftabellen für Wiederkäuer. Accès: http://www.agroscope.admin.ch/futtermitteldatenbank/04834/index.html?lang=de. [1 novembre 2011].
- Amberger A., Vilsmeier K., & Guster R., 1982. Stickstofffraktionen verschiedener Güllen und deren Wirkung im Pflanzenversuch. Z. Pflanzenernähr. *Bodenk.* **145**, 325–336.
- Amon T., Kryvoruchko V., & Amon B., 2004. Methane production from maize, grassland and animal manures through anaerobic digestion. In: FAO ESCORENA Network on Recycling of Agricultural, Municipal and Industrial Residues in Agriculture: RAMIRAN 2004, 11th International Conference, 6.-9. Oktober 2004, Murcia, Spain, Vol. II, 175–178.
- Hashimoto, A. G., 1989. Effect of inoculum substrate ratio on methane yield and production rate from straw. *Biol. Wastes* **28** (4), 247–255.
- Hindrichsen, I. K., Wettstein, H. R., Machmüller, A., & Kreuzer, M., 2006. Methane emission, nutrient degradation and nitrogen turnover in dairy cows and their slurry at different milk production scenarios with and without concentrate supplementation. *Agric. Ecosyst. Environ.* **113**, 150–161.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2006. Guidelines for national greenhouse gas inventories. Vol. **4** | Agriculture, forestry and other land use (Eds H.S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, K. Tanabe). 10.1–10.87.
- Klevenhusen F., Bernasconi S. M., Kreuzer M., & Soliva C. R., 2010. Experimental validation of the Intergovernmental Panel on Climate Change default values for ruminant-derived methane and its carbon-isotope signature. *Anim. Prod. Sci.* **50** (3), 159–167.
- Külling D. R., Menzi H., Krober T. F., Neftel A., Sutter F., Lischer P. & Kreuzer M., 2001. Emissions of ammonia, nitrous oxide and methane from different types of dairy manure during storage as affected by dietary protein content. *J. Agric. Sci.* **137** (2), 235–250.
- Massé D., Gilbert Y., Savoie P., Belanger G., Parent G., & Babineau D., 2010. Methane yield from switchgrass harvested at different stages of development in Eastern Canada. *Biores. Technol.* **101** (24), 9536–9541.
- Møller H. B., Sommer S. G., & Ahring B. K., 2004. Biological degradation and greenhouse gas emissions during pre-storage of liquid animal manure. *J. Environ. Qual.* **33** (1), 27–36.
- Muller T., 2010. Auswertung der Daten über die Milchproduktion, Milchjahr 2008/2009. Accès: http://www.blw.admin.ch/themen/00013/00079/index.html?lang=de [1 novembre 2011]
- Sommer S. G., Petersen S. O., Sørensen P., Poulsen H. D. & Møller H. B., 2007. Methane and carbon dioxide emissions and nitrogen turnover during liquid manure storage. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* **78** (1), 27–36.
- Steed J. & Hashimoto A. G., 1994. Methane emissions from typical manure management systems. *Biores. Technol.* **50** (1), 123–130.
- Steinfeld H., Gerber P., Wassenaar T., Castel V., Rosales M., & de Haan C. (editors), 2006. Livestock's long shadow: environmental issues and options. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italie.
- Vedrenne F., Beline F., Dabert P. & Bernet N., 2008. The effect of incubation conditions on the laboratory measurement of the methane producing capacity of livestock wastes. *Biores. Technol.* **99** (1), 146–155.

Riassunto

Influenza della stagione e dell'alimentazione sulle emissioni di metano dai liquami svizzeri

In assenza di dati nazionali, il budget dei gas serra viene calcolato per mezzo dei cosiddetti valori standard IPCC. Il valore standard attualmente assunto per il potenziale massimo di formazione di metano (B_0) dei liquami svizzeri è di 240 litri di metano (CH_4) per chilogrammo di sostanza volatile (VS). Nel presente studio sono stati collezionati liquami provenienti da 64 aziende produttrici di latte, situate nei più importanti cantoni svizzeri produttori di latte. I campioni sono stati prelevati sia da aziende foraggianti silaggi, sia da aziende prive di silaggi nelle razioni (a rappresentare i due tipici sistemi di produzione lattiera). I campionamenti sono stati effettuati sia in inverno, sia in estate. Le aziende sono state inoltre suddivise secondo il loro livello di produzione annuale di latte. B_0 è stato determinato in seguito ad un'incubazione dei liquami a 35 °C per 14 settimane. Per i liquami invernali sono stati determinati valori di B_0 tra 241 e 314 l CH_4/kg VS, per i liquami estivi tra 35 e 62 l CH_4 /kg VS. Questi valori di B_0 inferiori potrebbero essere dovuti ad una precedente fermentazione nella cisterna del liquame o ad una forte diluizione dovuta alla pioggia. Sebbene la composizione nutritiva delle razioni e delle sostanze volatili (VS) abbiano mostrato differenze significanti, né l'alimentazione degli animali, né il loro livello di produzione lattiera hanno influenzato il valore di B_0. I risultati mostrano che ulteriori differenze nell'alimentazione del bestiame e nella gestione dei liquami devono essere prese in considerazione, al fine di individuare i valori specifici del paese.

Summary

Effect of season and feeding on methane emission from Swiss dairy cow slurry

Due to the lack of country-specific data, the so-called IPCC default values are often taken for calculating greenhouse gas budgets. The default value to be applied for Switzerland for the ultimate methane (CH_4) production capacity (B_0) of slurry amounts to 240 l CH_4/kg volatile solids (VS). In the present study, slurry from 64 dairy farms representing all major Swiss milk producing Cantons was collected. Sampling took place both in winter and summer on farms feeding either silage or no silage (two major Swiss dairy cattle feeding systems). Farms were further classified by their annual milk yield. B_0 was determined by incubating the slurry at 35 °C for 14 weeks. Winter slurry resulted in a B_0 ranging between 241 and 314 l CH_4/kg VS, summer slurry B_0 ranged between 35 and 62 l CH_4/kg VS. This low B_0 could have resulted from previous fermentation in the slurry ponds or strong dilution through precipitation. Annual milk yield and feeding system did not influence B_0, even though nutrient composition of diets and VS differed significantly. The results indicate that further differences in feeding and slurry management have to be considered in developing country-specific data.

Key words: methane, slurry, dairy farms, IPCC default value.