

Emissions de gaz à effet de serre en bâtiment d'élevage bovin

J.-B. Dollé¹, P. Robin²

1 : Institut de l'Élevage, 56, Avenue Roger Salengro, BP 39, F-62051 Saint-Laurent-Blangy ;
jean-baptiste.dolle@inst-elevage.asso.fr

2 : INRA UMR SAS, CS 84215 65, Rue Saint Brieuc, F-35000 Rennes ; paul.robin@rennes.inra.fr

Résumé

L'activité agricole contribue à l'émission de Gaz à Effet de Serre (GES) au travers du dioxyde de carbone (CO₂), du méthane (CH₄) et du protoxyde d'azote (N₂O). Selon les estimations nationales des émissions à partir des recommandations de l'IPCC développées à l'échelle mondiale, l'agriculture est responsable de 20% des émissions de GES au niveau français. Sur ces 20%, 60% proviennent des sols agricoles et de la consommation d'énergie, et 40% sont liés à l'activité d'élevage. Au-delà de la fermentation ruminale qui est estimée à environ 100 kg de CH₄/UGB/an, il y a également une production de CH₄ et N₂O par les déjections dans les bâtiments et le stockage. Les valeurs officielles actuelles sont de 40 kg de CH₄/UGB/an quel que soit le produit, le type de bâtiment ou le mode de stockage.

Ces données sont issues de la littérature étrangère avec une typologie des combinaisons de systèmes de logement, stockage, pratiques de l'éleveur, différente de celle rencontrée au niveau national. Les facteurs d'émission de la typologie française n'ont pas été validés en France, par défaut de travaux complets menés sur le sujet. Les seuls travaux menés en France par le CEMAGREF, l'INRA et le CIRAD ont consisté à acquérir des connaissances sur les mécanismes et les méthodes de mesure des émissions de GES au stockage et à l'épandage des engrais de ferme.

Par conséquent, les organismes professionnels et publics ont lancé une étude relative à la mise au point méthodologique de mesures simplifiées des GES sur le segment bâtiment-stockage. Cette étude financée par l'ACTA vise à aider la quantification des émissions agricoles de GES et ensuite à faciliter la mise en place d'une politique de réduction au travers de mesures d'atténuation.

Introduction

Le protoxyde d'azote (N₂O) et le méthane (CH₄), tout comme la vapeur d'eau (H₂O) et le dioxyde de carbone (CO₂), sont des gaz produits au cours des cycles de l'eau, du carbone et de l'azote et qui contribuent à l'effet serre de notre atmosphère. L'activité humaine interfère sur ces émissions de gaz. On considère que 100% des émissions de CO₂ et H₂O liées à la respiration des végétaux et animaux sont "biogéniques" et ne constituent pas une contribution additionnelle à l'effet de serre. En revanche, on considère que 100% du N₂O et du CH₄ sont "anthropiques" et doivent à ce titre être gérés tout comme les émissions des autres activités humaines. En agriculture et plus précisément en élevage, le logement des animaux et la gestion des déjections animales influent sur les mécanismes biologiques et donc sur les pertes gazeuses. Alors que la France s'est engagée vis-à-vis des accords de Kyoto à stabiliser ses émissions nettes de GES en 2012 par rapport à 1990, les données nationales sur le segment bâtiment-stockage sont rares. La quantification des émissions adaptée à notre contexte puis ensuite la proposition de mesures de réduction des émissions nécessitent la mise en place de travaux sur le sujet.

C'est dans ce contexte que ce document vise à faire un état des lieux de la contribution de l'élevage bovin aux émissions de gaz à effet de serre dans le domaine du logement. Un rappel des mécanismes et sources de méthane et de protoxyde d'azote sur le segment bâtiment-stockage cherche à faciliter l'appropriation des données issues des travaux étrangers et les inventaires d'émission réalisés grâce à l'approche IPCC (*International Panel for Climate Change*). Enfin, la présentation des travaux engagés en France par les Instituts Techniques, le CEMAGREF, l'INRA et le CITEPA éclairera sur les moyens mis en œuvre et notamment la mise au point d'une méthode simplifiée de quantification destinée à combler le manque de références sur le sujet.

La somme des émissions de méthane et de protoxyde d'azote liées aux déjections des animaux d'élevage représente 3,7% du pouvoir de réchauffement global. Cumulées aux émissions provenant de la fermentation entérique, la contribution de l'activité d'élevage s'élève à 9,3% du PRG (figure 1).

Au travers des émissions de CH₄ et N₂O liées à la fermentation entérique et à la gestion des déjections, et compte tenu du pouvoir de réchauffement global de ces deux composés, **l'élevage bovin contribue au pouvoir de réchauffement global national à hauteur de 7,6%** (figure 1). Sur la base d'un temps de présence en bâtiment voisin de 6 mois, nous pouvons considérer que 3,8% de ces émissions sont issues des bâtiments et stockages, l'autre moitié ayant lieu au pâturage.

Cette estimation est menée par le CITEPA, sur la base de références IPCC ou GIEC (Groupe d'Experts Intergouvernementaux sur l'évolution du Climat) dont le rôle est d'évaluer les risques de changements climatiques provoqués par l'homme. Faute de données spécifiques nationales françaises relatives aux bâtiments et au stockage des déjections, les inventaires nationaux sont basés sur la méthode dite "Tiers 1" de l'IPCC.

Cette méthode repose sur le découpage de la production animale en "activités émettrices" (CITEPA, 2005) qui conduit à individualiser l'émission de différentes catégories d'animaux, la gestion des effluents et des couverts végétaux pour la production des aliments et le recyclage des effluents. En l'absence de données nationales, les catégories d'activités sont floues et ne permettent pas de refléter les impacts des évolutions des pratiques agricoles. Les facteurs d'émission utilisés pour chaque activité sont basés sur la typologie des élevages et des types d'effluent, mise en place à l'échelle mondiale par le groupe intergouvernemental d'experts (tableau 1).

TABLEAU 1 – Facteurs d'émission IPCC pour les vaches laitières.

	Fermentation entérique	Gestion des déjections		
		Lisier		Fumier
Méthane (kg CH ₄ /an)	119	40 (à 17°C)		
Protoxyde d'azote (kg N-N ₂ O/kg N excrété)	---	0 (sans croûte de surface)	0,005 (avec croûte de surface)	0,005

2. Les mécanismes et les sources de méthane et de protoxyde d'azote dans les bâtiments d'élevage bovin

Le méthane est issu de la digestion anaérobie de la biomasse végétale au cours de trois étapes successives : hydrolyse et acidogénèse, acétogénèse et méthanogénèse. La production de méthane par les espèces animales est d'origine digestive ou associée aux déjections. Le méthane d'origine digestive représente des dégagements potentiels importants. Il provient de la digestion microbienne des fourrages dans le rumen. Le méthane issu des déjections est produit au cours de la dégradation anaérobie de la matière organique. Il est consommé au cours de réactions biologiques d'oxydation telles que celles observées dans les sols (GERMON et HÉNAULT, 1995) ou au cours du compostage (MORAND *et al.*, 2005). Les émissions sont estimées pour l'animal d'une part et pour les déjections d'autre part.

Le protoxyde d'azote est émis vers l'atmosphère chaque fois que sa production excède sa fixation. Il est produit lors des processus de nitrification et de dénitrification. Il est fixé par la nitrogénase, enzyme fixatrice de N₂. Cette enzyme est à la base de la vie sur terre et on la retrouve dans des milieux très variés et dans une grande diversité d'organismes (MANCINELLI, 1992). Selon HWANG et HANAKI (2000), la dénitrification est prédominante lorsque la proportion d'oxygène dans l'air est inférieure à 5% ; les deux réactions ont lieu entre 5 et 15%. Pour une humidité supérieure à 60%, la dénitrification est prédominante et la formation de N₂ est supérieure à celle de N₂O. L'optimum d'humidité pour l'émission de N₂O se situe entre 40 et 60% (HWANG et HANAKI, 2000). On considère que la contribution des animaux aux émissions de N₂O *via* la digestion est négligeable (IPCC, 1996). Par conséquent, pour la partie bâtiment et stockage, on évalue la production de protoxyde d'azote issue des déjections et on l'exprime en proportion de l'azote excrété.

Les bâtiments d'élevage bovin sont des lieux d'émissions de méthane et de protoxyde d'azote. Les dégagements gazeux liés à la fermentation entérique des animaux constituent la base commune à tout mode de logement. Ils dépendent des animaux, de leur alimentation et du climat. C'est ensuite la variété des types de déjections (lisier, fumier), du climat et des modes de gestion de ces déjections qui amène à distinguer plusieurs situations où la nature et la quantité de gaz émis seront différentes en bâtiment et au stockage.

En bâtiment, la première source potentielle d'émission est la dispersion des déjections sur les aires de vie fréquentées par les animaux. Cette phase, préalable au stockage, se traduit par des dégagements gazeux limités (ELLIS *et al.*, 2001) et que l'on suppose être du même ordre de grandeur quel que soit le type de déjections.

Au stockage, il est utile de distinguer les lisiers des fumiers. Pour les systèmes lisier, le stockage en fosse de ces effluents conduit à un processus de digestion anaérobie où les émanations gazeuses se font quasi exclusivement sous forme de méthane (SNEATH *et al.*, 1997). En l'absence de croûte naturelle en surface, le manque d'oxygène sur toute la profondeur de l'ouvrage se traduit par de très faibles émissions de protoxyde d'azote. Pour les systèmes avec production de fumier, il convient de considérer deux cas de figure, en fonction du mode de gestion de la litière. Les fumiers de litière accumulée sous les animaux sont curés périodiquement tous les mois, tous les 2 mois, voire davantage. Le tassement du fumier par les animaux conduit à une asphyxie du milieu à l'origine de dégagements importants de méthane (GROENESTEIN *et al.*, 1994). Le phénomène est différent pour les fumiers pailleux raclés quotidiennement ou ceux de litière accumulée curés et stockés sur une plate-forme. Ceux-ci se trouvent dans des conditions favorables à des phases successives d'aérobiose et d'anaérobiose. Ces conditions se traduisent par une montée en température du fumier, une dégradation de la litière et des phases de nitrification et dénitrification au cours desquelles on observe des émissions de CH₄ moindres et de N₂O potentiellement supérieures à la litière accumulée.

3. Les résultats des travaux menés à l'étranger

Les pays du nord ont fait un effort important de recherche sur les émissions de gaz à effet de serre provenant de l'activité d'élevage. Même si les mesures en bâtiment ne facilitent pas la distinction sur l'origine des émissions, il est toutefois envisageable de distinguer les deux sources d'émissions que sont l'animal et les déjections.

– Emissions liées à l'animal

Plusieurs modèles prévisionnels d'émission de méthane ont été élaborés à partir de critères de production laitière et d'alimentation (BENCHAAR *et al.*, 1998 ; MILLS *et al.*, 2001). Ces modèles (tableau 2), ainsi que des mesures réalisées en chambre de respiration, confirment la part importante de méthane d'origine entérique.

TABLEAU 2 – Estimations des émissions de méthane d'origine entérique des vaches laitières.

	CH ₄ entérique (g CH ₄ /VL/jour)	
Vaches laitières (VL)	130 – 290	308
Référence	HARTUNG (1997)	AMON <i>et al.</i> (1997)

Ces émissions journalières se traduisent par une perte gazeuse annuelle de l'ordre de 100 kg CH₄/VL/an, variable selon le mode d'alimentation et le niveau de production laitière. Ces résultats corroborent ceux obtenus par VAN AMSTEL *et al.* (1993) mettant en évidence une émission comprise entre 63 et 102 kg CH₄/VL/an.

– Emissions liées aux déjections

Les déjections constituent un gisement potentiel de méthane et de protoxyde d'azote en bâtiment et au cours du stockage.

Le premier poste d'émission concerne les fèces et urines dispersées sur les aires de vie des animaux. Ce potentiel d'émission des bâtiments avec des déjections raclées et stockées à l'extérieur a été peu étudié. Selon ELLIS *et al.* (2001), les faibles quantités de fèces et urine couplées aux raclages rapprochés expliquent les faibles émissions sur les aires bétonnées. Les mesures menées sur des aires non couvertes fréquentées par les animaux, mettent en évidence des pertes de 0,02 g CH₄/VL/jour et 1,9 µg N₂O/VL/jour (tableau 3), soit 3,6 g de CH₄/VL et 1 mg N-N₂O/VL pour une période de stabulation de 6 mois.

TABLEAU 3 – Emissions de gaz à effet de serre des vaches laitières sur les aires raclées.

	Lisier
CH ₄ (g CH ₄ /VL/jour)	0,02
N ₂ O (µg N ₂ O/VL/jour)	1,9
Référence	ELLIS <i>et al.</i> (2001)

Le second poste d'émission, quantitativement le plus important, concerne le stockage des déjections. Qu'il soit réalisé à l'intérieur ou à l'extérieur des bâtiments, les émissions de gaz provenant des déjections liquides présentent certaines analogies. En fosse de stockage des lisiers, les émissions se font principalement sous forme de méthane. Certaines études (tableaux 4 et 5) font état de facteurs d'émission de 320 g CH₄/VL/jour (SNEATH *et al.*, 1997) et de 24 à 47 g CH₄/m³/jour (SOMMER *et al.*, 2000) relativement proches. Ramené à la durée de stockage de 6 mois, DE MOL et HILHORST quantifient les émissions de CH₄ à un niveau de 2,93 kg/m³ de lisier.

TABLEAU 4 – Emissions de gaz à effet de serre liées aux déjections stockées en bâtiment.

		Lisier stocké sous caillebotis		Fumier de litière accumulée
CH ₄	(g/VL/jour)	320		1188
	Référence	SNEATH <i>et al.</i> (1997)		GROENESTEIN <i>et al.</i> (1994)
N ₂ O	(g/VL/jour)	0 – 0,8	0,4 – 0,8	0,8
	Référence	CHADWICK <i>et al.</i> (1998)	HARTUNG (1997)	CHADWICK <i>et al.</i> (1998)

Les conditions anaérobies rencontrées dans les fosses à lisier, propices à la formation de méthane, sont peu génératrices de protoxyde d'azote (tableau 4). Selon CHADWICK *et al.* (1998) et HARTUNG (1997), les émissions de protoxyde d'azote oscillent entre 0 et 0,8 g N₂O/VL/jour, soit entre 0 et 0,45 kg N-N₂O/VL sur une période de stockage de 6 mois.

TABLEAU 5 – Emissions de gaz à effet de serre liées aux déjections stockées à l'extérieur.

		Lisier		Fumier
CH ₄	(g/m ³ /jour)	24 - 47	16	---
	Référence	SOMMER <i>et al.</i> (2000)	DE MOL <i>et</i> HILHORST (2003)	---
N ₂ O	(g/m ³ /jour)	---	---	1,1
	Référence	---	---	CHADWICK <i>et al.</i> (1998)

Les caractéristiques physiques et de compositions différentes des fumiers se traduisent par des niveaux d'émission distincts des lisiers. Pour les systèmes fumiers, il convient de distinguer les situations avec accumulation du fumier sous les animaux des situations avec stockage extérieur.

Dans le premier cas, la gestion de la litière dans des conditions anaérobies liées au tassement des animaux conduit à une production de méthane (tableau 4) pouvant atteindre 1 188 g CH₄/VL/jour (GROENESTEIN *et al.*, 1994). Ce mode de gestion de la litière conduit à des émissions de CH₄ liées aux déjections supérieures à la fermentation entérique. Dans ce mode d'élevage, la formation de N₂O (tableau 4) reste limitée et voisine des systèmes lisiers (0,8 g N₂O/VL/jour ; CHADWICK *et al.*, 1998). Le fumier stocké à l'extérieur est quant à lui une source potentielle de N₂O associée aux phases successives de nitrification - dénitrification. CHADWICK *et al.* (1998) mettent en évidence un facteur d'émission de 1,1 g N₂O/m³/jour sans préciser le type de fumier (tableau 5).

– Application des données étrangères aux conditions d'élevage françaises

Les facteurs d'émission cités plus haut appliqués à nos conditions d'élevage permettent de donner une indication sur les émissions globales par poste et par animal pour différents systèmes (tableau 6).

Les critères d'élevage retenus pour le calcul portent sur le temps de présence des animaux dans le bâtiment, les volumes de déjections et les rejets azotés. A l'exception du CH₄ entérique pour lequel le rejet est calculé sur 1 an, les pertes gazeuses émanant des déjections ont été déterminées pour une durée de 6 mois assimilée au temps de présence moyen des animaux dans le bâtiment. Le volume de déjections produit sur cette période de 6 mois est de 10,8 m³ pour le lisier et 8 m³ pour le fumier. Lorsque les facteurs d'émission sont exprimés par rapport à l'azote excrété, la quantité d'azote rejetée par vache a été fixée à 100 kg.

TABLEAU 6 – Estimation des émissions annuelles de gaz en bâtiment bovin pour une durée de stabulation de 6 mois.

Emission calculée	Part liée à l'animal Fermentation entérique	Part liée aux déjections		
		Système lisier		Système fumier
		Lisier stocké en fosse	Litière accumulée	Fumier stocké sur fumière
CH ₄ (kg CH ₄ /VL/an)	100	31 – 90	213	---
N ₂ O (g N-N ₂ O/VL/an)	0	0 – 66	67	740

Les émissions annuelles de méthane entérique sont estimées 100 kg/VL. Volontairement, les pertes gazeuses liées aux déjections sur les aires fréquentées par les animaux, jugées négligeables, ne figurent pas dans ce tableau.

Pour les lisiers stockés en fosse, les émissions de N₂O comprises entre 0 et 66 g N-N₂O/VL (soit entre 0 et 0,15% de l'azote excrété) sont très hétérogènes et dépendent considérablement des conditions du milieu. La quantité de méthane émise est comprise entre 31 et 90 kg CH₄/VL. Cumulée aux émissions de méthane entérique, la perte annuelle est comprise entre 77 et 192 kg CH₄/VL. Ces valeurs sont cohérentes avec le facteur d'émission mesuré par GROOT KOERKAMP et UENK en 1997 en bâtiment logettes lisier pour vache laitière qui est de 96,7 kg CH₄/animal/an. Ceux-ci mettent également l'accent sur la forte incidence de la surface d'émission liée au mode de logement et à l'ouvrage de stockage. C'est ainsi qu'en étable entravée pour vaches laitières, ils mettent en évidence un facteur d'émission de seulement 43,9 kg CH₄/animal/an.

La litière accumulée représente un potentiel important de perte de méthane pouvant s'avérer supérieur aux émissions entériques. L'émission de 213 kg de CH₄/VL, qui provient d'une extrapolation des données obtenues par GROENESTEIN, apparaît anormalement élevée et mériterait d'être confrontée à d'autres mesures en bâtiment du même type.

Le fumier stocké sur fumière paraît avoir dans tous les cas avec un potentiel d'émission de N₂O très supérieur au lisier, en rapport avec les conditions de stockage. Une telle quantité d'azote transférée dans l'atmosphère sous forme de N₂O mérite des investigations supplémentaires pour préciser les conditions exactes de cette émission (pratiques d'élevage, type de fumier).

4. Les travaux menés en France

Comparativement aux travaux menés à l'étranger, peu d'investigations ont été entreprises en France. Des études sur les émissions de gaz à effet de serre au traitement des lisiers et en bâtiment ont été conduites depuis une dizaine d'années au CEMAGREF et à l'INRA dans le cadre des programmes "AGRIGES" et "Porcherie verte".

Des travaux sur les émissions de gaz à effet de serre au cours du stockage et du compostage des déjections porcines et avicoles ont été conduits par le CEMAGREF (AUBERT et GUIZIOU, 1996 ; MARTINEZ *et al.*, 1999). Les mesures menées sur lisier de porc au stockage révèlent des niveaux d'émission compris entre 8 et 70 g C-CH₄/m³ lisier/jour (MARTINEZ, 1999). La mesure des émissions

des différents gaz au compostage s'est poursuivie au CNRS en conditions normales (MORAND *et al.*, 1999) et à l'INRA en conditions de laboratoire, en collaboration avec l'ITAVI et l'Institut de l'Elevage (ROBIN et PAILLAT, 2000 ; ROBIN *et al.*, 2002). D'autres travaux ont porté sur les émissions au stockage (MARTINEZ *et al.*, 2003) et à l'épandage sur sols cultivés (CELLIER et LAVILLE, 1999 ; CELLIER *et al.*, 1996), mettant en évidence l'effet de la nature des déjections et des conditions environnementales.

Cette analyse fait ressortir des résultats partiels sur les émissions au stockage et l'absence d'éléments concernant les émissions en bâtiment d'élevage bovin. Les résultats restent partiels et ceux obtenus à l'étranger ne peuvent être transposés en l'état en France. Supposer *a priori* qu'un bâtiment conduit en France "avec le même climat et les mêmes méthodes de conduite d'élevage" aurait les mêmes émissions qu'un bâtiment conduit dans un pays connexe reviendrait à affirmer que l'on connaît suffisamment aujourd'hui la relation entre les émissions, le climat et les pratiques d'élevage. Or, les modèles décrivant cette relation sont basés sur une typologie des élevages où la variabilité intraclasse des émissions conduit encore à une forte incertitude sur le niveau de l'émission. En effet, la majorité des travaux ont porté sur des systèmes lisiers, alors que nous possédons en France des systèmes fumiers pour lesquels les facteurs d'émission varient probablement de façon importante en fonction de la gestion du fumier. En production bovine, les études étrangères sont réalisées dans des bâtiments avec caillebotis, alors que ces derniers ne représentent que 5% du parc en France. Enfin, les études sont menées en bâtiment fermé avec ventilation dynamique à faible débit (500 m³/VL/heure) alors qu'en France les bâtiments ouverts avec ventilation statique, et débit d'air important (1 000 m³/VL/heure), prédominent.

Face à ce constat, les Instituts Techniques de l'Elevage (Institut de l'Elevage, ITAVI, ITP) se sont associés à l'INRA, au CEMAGREF et au CITEPA pour lancer une étude sur les émissions dans le cadre d'un projet soutenu par l'ACTA. Cette étude qui débute en 2006 pour une durée de trois ans a deux objectifs principaux. Le premier est de mettre au point une méthode de mesure simplifiée des émissions de gaz à effet de serre dans les bâtiments d'élevage et au cours du stockage des déjections. Le second objectif vise à appliquer et valider cette méthode simplifiée afin de proposer ensuite une méthode de détermination des facteurs d'émission et de certification des techniques de réduction adaptées aux besoins de l'élevage français.

La simplification de la mesure des émissions est une condition *sine qua non* de la caractérisation des émissions de l'élevage en France en raison du nombre d'exploitations, de la diversité d'espèces animales, de stades physiologiques, de climats, de bâtiments et de modes de conduite, de l'effectif scientifique et technique concerné, du coût de mise en œuvre de mesures en continu par lot élevé et du retard pris en France en matière de caractérisation des émissions par rapport à d'autres pays européens.

Les travaux menés avec l'appui méthodologique et scientifique de l'INRA et du CEMAGREF s'articulent en deux phases. La première phase consiste à mettre au point une méthode de mesures simplifiées en élevage expérimental, dans les bâtiments et au cours du stockage. La seconde phase repose sur l'application et la validation de la méthode simplifiée de quantification des émissions de GES en bâtiments et au stockage dans des élevages commerciaux.

A l'issue de ces deux phases, si les résultats sont concluants en regard des contraintes des inventaires d'émission, ces travaux pourront être développés afin de caractériser les facteurs d'émission pour un nombre croissant "d'activités émettrices" et de techniques de réduction dans le domaine de l'élevage.

4.1. Mise au point méthodologique de mesures simplifiées en élevage expérimental

– Mesures en bâtiment

Dans les bâtiments, la quantification des émissions gazeuses nécessite la connaissance du débit d'air du bâtiment et de la concentration en gaz à l'intérieur de celui-ci.

Pour la mesure de débit d'air, il s'agit de mettre au point une méthode simplifiée reposant sur la détermination du débit d'air grâce à un bilan de masse et un bilan d'énergie sur le gaz carbonique, la

vapeur d'eau et le gradient de température. Ces calculs de bilan, basés sur des modèles, sont effectués à partir des concentrations de gaz carbonique, de la température et de l'hygrométrie à l'intérieur et à l'extérieur du bâtiment, et en intégrant la production d'énergie par les animaux et la litière le cas échéant. Utilisée par ailleurs dans la bibliographie, cette méthode doit, pour sa validation, être confrontée à d'autres plus lourdes et plus onéreuses, spécifiques à chaque mode de ventilation. Pour les bâtiments bovins dont la ventilation est statique, la méthode employée repose sur l'utilisation d'un gaz traceur.

Pour les mesures de concentration des différents gaz à effet de serre (CO_2 , CH_4 , N_2O) et de l'ammoniac (NH_3) dans les bâtiments, nous avons recours à un spectromètre photo-acoustique d'absorption infrarouge. Un équipement de prélèvement d'air dans le bâtiment et à l'extérieur sera mis en place grâce à des tuyaux flexibles. Les températures et hygrométries intérieures et extérieures, de même que la vitesse du vent et la direction du vent à l'extérieur du bâtiment, seront suivies en continu durant les cycles de mesure.

L'ensemble des paramètres nécessaires à la détermination des quantités de gaz émises (débit d'air, température et concentrations en gaz) sera suivi en continu durant une semaine. La méthode "lourde" de détermination du débit d'air (mesure au gaz traceur dans les bâtiments à ventilation statique) sera mise en œuvre à raison d'une semaine de mesure à intervalles réguliers pendant la période de suivi. Afin d'apprécier l'incidence des conditions climatiques au travers notamment de la température, les suivis porteront sur les saisons hivernales et estivales.

Deux types de bâtiments sont retenus pour cette phase de calage méthodologique (logettes lisier et logettes fumier).

– Mesures au stockage

Le volet stockage comprend des mesures sur site et en laboratoire. Les mesures sur site ont pour objectif de caler la méthodologie de mesure des émissions. Celles en laboratoire visent à mettre en évidence les variabilités d'émission liées aux caractéristiques des déjections.

La mise au point méthodologique sur site sera mise en œuvre sur une seule ferme expérimentale. Pour les lisiers, la fosse sera équipée d'une chambre flottante de volatilisation disposée à la surface du liquide. Une circulation d'air en continu dans cette enceinte permet de balayer les gaz émis et de mesurer la concentration des divers composants grâce à un analyseur infrarouge semblable à celui utilisé en bâtiment. La concentration des différents gaz (CO_2 , CH_4 , N_2O , NH_3) sera suivie durant plusieurs séquences tout au long de la durée de stockage. L'objectif d'un tel cycle est de mettre en évidence l'influence des conditions climatiques (effet saison) et du milieu ainsi que les conséquences de l'accumulation de produit dans l'ouvrage. Le même principe, avec utilisation d'un tunnel, sera mis en place pour le fumier stocké sur plate-forme.

Les tests en laboratoire menés dans des conditions standardisées doivent permettre d'écarter les effets associés aux conditions de stockage et du milieu, et d'identifier la variabilité liée aux seuls types de déjections. Au-delà de l'incidence du type de déjections, la maîtrise des conditions environnementales permettra d'étudier l'importance de paramètres climatiques tels que la température. Trois types de déjections bovines feront l'objet du test en laboratoire (lisier, fumier de raclage et fumier de litière accumulée de vaches laitières). Au cours de ces expérimentations, les émissions de GES des différents substrats seront mesurées durant une période de 15 à 30 jours en conditions contrôlées dans des cellules de 5 litres simulant les conditions de stockage.

A l'issue de cette phase de mise au point méthodologique, nous serons à même de proposer une méthode simplifiée de quantification des émissions de GES applicable dans la seconde phase. Cette première étape doit également permettre d'évaluer les facteurs d'émission obtenus dans les deux bâtiments et sur les deux ouvrages de stockage.

4.2. Application et validation de la méthode simplifiée de mesure des GES en bâtiments et au stockage

Les choix méthodologiques simplifiés seront appliqués dans des élevages commerciaux couvrant chacun un contexte différent lié au mode de logement, à la catégorie animale et à la nature des déjections. Une typologie des systèmes rencontrés sera effectuée grâce notamment aux enquêtes

réalisées par le SCEES sur les bâtiments d'élevage. Cette typologie devra intégrer les modes de logement (logettes et aire paillée), les types de déjections (lisier et fumier) et les catégories animales (vaches laitières et allaitantes). La typologie intégrera les effectifs nationaux. Celle-ci doit aboutir à la constitution d'un échantillon de 5 à 10 élevages où sera appliquée la méthodologie simplifiée. En fonction de la conduite d'élevage, ces suivis seront renouvelés à deux reprises dans un même élevage, de sorte à intégrer la variabilité liée à la saison (hiver / été).

Les suivis consisteront à installer dans les élevages un dispositif de prélèvement dans le bâtiment et un équipement de prélèvement sur le stockage (cloche ou tunnel). Les paramètres semblables à ceux suivis lors de la première phase (température, hygrométrie, CO₂, CH₄, N₂O, NH₃) seront observés dans les élevages. Un seul analyseur de gaz présent sur l'exploitation assurera l'analyse des gaz provenant du bâtiment, du stockage et de l'air extérieur sur la durée du suivi. Ces mesures seront complétées par des informations fournies par l'éleveur sur le mode de conduite d'élevage (animaux, litières, alimentation...).

Au terme de cette phase, le groupe de travail validera la méthode simplifiée appliquée aux élevages commerciaux. Pour ces derniers, nous disposerons des facteurs d'émission de GES par animal sur la période de suivi. Ces facteurs seront comparés à ceux figurant dans la bibliographie. A ce stade, les méthodes seront disponibles pour assurer une grande opération de quantification au niveau national pour chacun des systèmes rencontrés.

Conclusion

La prise en compte des émissions de gaz à effet de serre dans les choix techniques en matière d'élevage est désormais importante. Certains pays se sont investis dans l'étude du phénomène de dégagement gazeux et de sa quantification. De telles études ont été engagées en France en 2006 pour les différents types de bâtiments d'élevage, de façon à ce que les choix techniques soient effectivement valorisés dans les inventaires nationaux d'émission. Alors que la mesure de polluants atmosphériques requiert la mise en place de méthodes lourdes et onéreuses (gaz traceur...), la mise au point d'une méthode simplifiée de quantification permettra de caractériser la diversité des modes d'élevage. La prise en compte précoce des contraintes opérationnelles des inventaires nationaux d'émission favorisera l'utilisation des données observées pour réduire l'incertitude sur l'émission des bâtiments et stockages, tenir compte des améliorations techniques et permettre la mise en place ultérieure de procédures de certification des émissions à l'échelle de l'exploitation.

Références bibliographiques

- AMON B. *et al.* (1997). Einsatz eines mobilen emissionsmeßraumes zur emissionsratenbestimmung umwelt und klimarelevanter gase aus der rinderhaltung (Stall, Festmistlagerung und – kompostierung). 3rd International Conference, "Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung", Kiel, Germany.
- AUBERT C., GUIZIOU F. (1996). Compostage de fumiers de volailles. Journée Nationale Volailles de Chair, ITAVI, Rennes, 11 p.
- BENCHAAR C., RIVEST J., POMAR C., CHIQUETTE J. (1998). Prediction of methane production from dairy cows using existing. *J. Anim. Sci.* 76 : 617-627.
- CELLIER P., LAVILLE P. (1999). Les émissions de N₂O par les sols agricoles en France : quelle évaluation possible ? *CR Acad. Agric. Fr.*, 85, 6, 177-192.
- CELLIER P., GERMON J.C., HENAULT C. ET GENERMONT S. (1996). Les émissions d'ammoniac (NH₃) et d'oxydes d'azotes (NO_x et N₂O) par les sols cultivés : mécanismes de production et quantification des flux. In : *Maîtrise de l'azote dans les agrosystèmes*. Ed INRA.
- CHADWICK DR, SNEATH RW, PHILLIPS VR, PAIN BF (1998). A UK inventory of nitrous oxide emissions from farmed livestock. *Atmospheric Environment* 33 : 3345-3354.
- CITEPA (2005) Emissions dans l'air. (<http://www.citepa.org/emissions/index.htm>)
- DE MOL RM, HILHORST MA (2003). Methaan-, lachgas- en ammoniakemissie bij productie, opslag en transport van mest. 2003-03. Instituut voor Milieu- en Agritechniek, Wageningen, 252 pp

- ELLIS S., WEBB J., MISSELBROOK T., CAHWICK D. (2001). Emission of ammonia (NH₃), nitrous oxide (N₂O) and methane (CH₄) from a dairy hardstanding in the UK. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 60 : 115-122.
- FONTELLE *et al.* (2004). Inventaire des émissions de polluants atmosphériques en France. Format SECTEN, CITEPA, 232 p.
- GERMON J.C., HÉNAULT C. (1995). Processus d'émissions de méthane et d'oxydes d'azote gazeux par les sols. In Perrier A. (coord.), 1995. Agriculture et gaz à effet de serre. Dossier de l'Environnement de l'INRA n° 10. INRA, Paris, 29-38.
- GROENESTEIN CM, HUIS IN 'T VELD JWH (1994). Practical research into ammonia emissions from animal houses XV : straw bed house for sucking cows (in dutch). Directorate for agricultural research (DLO). Report 94-1006, Wageningen, 14 pp.
- GROOT KOERKAMP PWG, UENK GH (1997). Climatic conditions and aerial pollutants in and emissions from commercial production systems in the Netherlands, in : VOERMANS JAM, MONTANY GJ (eds) Ammonia and odour control from animal production facilities. Proceedings of the International Symposium. pp 139-14, Research Station for pig husbandry (PV), Rosmalen.
- HARTUNG (1997). Ammonia and greenhouse gas emissions from dairy barns. ASAE Annual International Meeting, paper n° 974127. Minneapolis, Minnesota.
- HWANG, S., HANAOKI, K. (2000). Effects of oxygen concentration and moisture content of refuse on nitrification, denitrification and nitrous oxide production. *Bioresource Technology* 71, 159-165.
- IPCC (1996). Guidelines for national greenhouse gas inventories. (<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.htm>)
- JOHNSON K.A., JOHNSON D.E. (1995). Methane emissions from cattle. *J. Anim. Sci.* 73 : 2483-2492.
- MANCINELLI, R.L. (1992). Nitrogen cycle. *Encyclopedia of Microbiology* vol.3, 229-237.
- MARTINEZ J., BÉLINE F., PEU P., GUIZIOU F. (1999). Emissions de méthane et de protoxyde d'azote au cours du stockage, du traitement et de l'épandage des déjections animales. *C.R. Acad. Agric. Fr.*, 85(6), 87-101.
- MARTINEZ J., GUIZIOU F., PEU P., GUEUTIER V. (2003). Influence of treatment techniques for pig slurry on methane emissions during subsequent storage. *Biosystems Engineering*, 85(3), 347-354.
- MILLS J.A.N., DIJKSTRA J., BANNINK A., CAMMELL S.B., KEBREAB E., FRANCE J. (2001). A mechanistic model of whole-tract digestion and methanogenesis in the lactating dairy cow : model development, evaluation, and application. *J. Anim. Sci.* 79:1584-1597.
- MORAND P.; YULPRIYANTO H.; BARON S.; ROBIN P. (1999). Quantification of gases emitted during composting of poplar bark-poultry dung mixtures, related to microbial activities.. *International Composting Symposium, Halifax (Canada)*, 30 p.
- MORAND P.; PERES G.; ROBIN P., YULPRIYANTO H.; BARON S. (2005). Gaseous emissions from composting bark/manure mixtures. *Compost Science and Utilization*, 13 (1), 14-26.
- ROBIN P., PAILLAT J.M. (2000). Compostage des fumiers de litière accumulée de bovins, estimation et caractérisation des pertes d'azote par volatilisation. Rapport final, Convention IE-INRA.
- ROBIN P., HACALA S, PAILLAT JM (2002A). Heat partition during composting of cattle manure. RAMIRAN'02, 10th International Ramiran Conference, Slovak Republic 14-18 may 2002, 4 p.
- ROBIN P.; AMAND G.; PERRIN P.; AUBERT C.; FRANCK Y.; LUBAC S.; FERREN J.C. (2002B). Productions de chaleur d'un élevage intensif de canards sur caillebotis ou sur litière, application au calcul du débit d'air d'un bâtiment. *Sciences et Techniques Avicoles*, 38, 19-30.
- SAUVANT D. (1995). Emissions de méthane par les ruminants : processus, modélisation, quantification et spatialisation. In Perrier A. (coord.), 1995. Agriculture et gaz à effet de serre. Dossier de l'Environnement de l'INRA n° 10. INRA, Paris, 7-16.
- SNEATH RW, PHILLIPS VR, DEMMERS TGM, BURGESS LR, SHORT JL, WELCH SK (1997). Long term measurements of greenhouse gas emissions from UK livestock building. In : *Livestock Environment V. Vol. I. Proceedings of the Fifth International Symposium, Minnesota, May 29-31*, pp 146-153.
- SOMMER SG, PETERSEN SO, SOGAARD HT (2000). Greenhouse gas emissions from stored fermented and untreated dairy cattle slurry : effect of slurry cover. In. press.
- VAN AMSTEL AR, SWART RJ, KROL MS, BECK JP, BOUWMANS AF, VAN DER HOEK KW (1993). Methane, the other greenhouse gas. Research and policy in the Netherlands. Dutch Institute of Human Health and Environmental Hygiene (RIVM), Report N° 48 1507001, Bilthoven.
- VELTHOF G.L., OENEMA O. (1997). Nitrous oxide emission from dairy farming systems in the Netherlands. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 45, pp 347-360.
- YU, K.W., WANG, Z.P., VERMOSEN, A., PATRICK, J.R.W.H., VAN CLEEMPTUT, O. (2001). Nitrous oxide and methane emissions from different soil suspensions: effect of soil redox status. *Biol. Fertil. Soils* 34, 25-30.