

## APPLICATION ET VALIDATION D'UNE METHODE DE MESURES SIMPLIFIEES DES GAZ A EFFET DE SERRE EN BATIMENT D'ELEVAGE AVICOLES

PONCHANT P<sup>1</sup>, HASSOUNA M<sup>2</sup>, AUBERT C<sup>1</sup>, ROBIN P<sup>2</sup>, AMAND G<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ITAVI - Zoopôle Beaucemaine. 22440 PLOUFRAGAN  
<sup>2</sup>INRA – UMR SAS 65 rue de Saint Brieuc. 35065 RENNES

### RESUME

La quantification des émissions agricoles de gaz à effet de serre via des facteurs d'émissions issus de résultats étrangers n'est actuellement pas adaptée aux systèmes de productions avicoles français et rend difficile la mise en place d'une politique de réduction au travers de mesures d'atténuation pertinentes. La simplification de la mesure des émissions de gaz à effet de serre est une condition nécessaire à la caractérisation des émissions de l'élevage en France. Dans le cadre d'un projet ACTA, des méthodes simplifiées (rapport de concentration, estimations des débits d'air à partir des productions de chaleurs totale, sensible et latente), retenues à l'issue d'une première phase sont validées avec une mise en œuvre dans des élevages représentatifs du terrain. Cela a permis de mettre en avant certains critères à respecter lors du prélèvement (conservation des échantillons, période de prélèvement,...). L'analyse des échantillons montrent des résultats cohérents (30% d'incertitude par rapport au bilan de masse) pour la méthode des rapports de concentrations ainsi que pour la méthode à partir de l'estimation des débits d'air calculée sur la production de chaleur latente dans les bâtiments d'élevage. Une amélioration des conditions de prélèvement et des références utilisées lors du bilan de masse sont encore nécessaires.

### ABSTRACT:

The quantification of livestock greenhouse gas emissions is currently not adapted to french poultry production and causes some difficulties to reduce the emissions in breedings and to certify the reduction of them. The emission's typology can be improved by the simplification of emissions measurements in poultry buildings. To valid one method, series of measurements and samples were realized in representatives breeding buildings. Series permit to precise sampling conditions. The results are coherent (30% of incertitude in comparison of mass balance) for concentration method and air flow from latent heat method. An improvement of sampling methodology and references for mass balance are still necessary.

## INTRODUCTION

L'agriculture contribue à l'émission de gaz à effet de serre (GES) au travers du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), du méthane (CH<sub>4</sub>) et du protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O). Selon les estimations obtenues à partir des recommandations de l'IPCC (Intergovernmental Panel for Climate Change), l'agriculture est responsable de 20% des émissions de GES au niveau national (GIEC, 2007). Cette approche relève de facteurs d'émissions globaux issus de la littérature étrangère avec une typologie de systèmes de logements, de stockage des déjections, de pratiques d'éleveurs différentes de celle rencontrées sur notre territoire. En France, les connaissances acquises concernent les mécanismes à l'origine des émissions gazeuses polluantes et la mise au point de méthodes de mesure de référence des émissions de GES au stockage et à l'épandage des engrais de ferme. Malheureusement, ces méthodes étant lourdes et coûteuses, elles ne permettent pas d'acquérir des facteurs d'émissions représentatifs de la variabilité des systèmes français. C'est pourquoi la quantification des émissions agricoles de GES est actuellement imprécise et rend difficile la mise en place d'une politique de réduction au travers de mesures d'atténuation pertinentes. L'objectif de cette étude est de mettre au point et de valider une méthode de mesure simplifiée des émissions de GES dans les bâtiments avicoles. 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 bâtiments, de modes de conduites et du retard pris par la France en matière de caractérisation des émissions par rapport à d'autres états européens.

## 1. CHOIX ET COMPARAISON DES METHODES SIMPLIFIEES DE MESURE DES EMISSIONS GAZEUSES EN BATIMENT

La première phase du projet a consisté à mettre au point une méthode de mesure simplifiée des émissions gazeuses en bâtiments avicoles. Pour ce faire, trois méthodes ont été mises en œuvre pour estimer les émissions de GES basées sur :

- les rapports de concentration (Paillat et al., 2004)
- le calcul à partir des débits d'air à partir de bilans thermiques (Hassouna et al., 2005)
- la mise en œuvre et le suivi de la concentration d'un gaz traceur (Hassouna et al., 2008).

Les mesures ont été réalisées dans deux bâtiments commerciaux (élevage de canards, bâtiment dynamique), (élevage de dindes, bâtiment statique). Des mesures en continu ont été réalisées pendant deux périodes d'élevage (5<sup>ème</sup> et 9<sup>ème</sup> semaines) sur des lots estivaux et hivernaux.

Les estimations des émissions en eau obtenues à partir des différentes méthodes (émissions mesurées) ont été comparées au défaut du bilan de masse

(émissions calculées), considéré comme la méthode de référence. La différence entre les émissions mesurées et calculées correspond à l'incertitude de mesure.

**Tableau 1** - Comparaison des émissions obtenues (en kg d'eau) selon les différentes méthodes en élevage de dindes (bâtiment à ventilation naturelle)

Méthode de mesures	Bilan d'eau*	ÉMISSIONS GAZEUSES			
		Rapport de concentr ation	Traçage	Producti on de chaleur totale	Producti on de chaleur latente
Période 2 suivi été	<b>53964</b>	43560	83356	73949	83312
		19,3%	-54,5%	-37,0%	-54,4%
Période 1 suivi hiver	<b>11761</b>	13969	10101	5644	7307
		-18,8%	14,1%	52,0%	37,9%
Période 2 suivi hiver	<b>22185</b>	23905	30620	27883	32332
		-7,8%	-38,0%	-25,7%	-45,7%

\*avec eau métabolique

Étant donné les incertitudes qui existent actuellement sur les facteurs d'émission des GES et d'ammoniac (parfois égales à 100%), nous avons décidé qu'une incertitude de 30% pourrait être acceptée. Cette première phase du projet a permis de mettre en évidence que la méthode des rapports de concentration semblait plus précises que les autres méthodes d'estimation à partir des débits d'air. En effet, le tableau 1 présente les résultats obtenus dans un bâtiment à ventilation naturelle (élevage de dindes), pour chacune des méthodes, comparées au bilan de masse en eau (le bilan de masse sur l'eau est utilisé pour valider les mesures l'échantillonnage et quantifier les erreurs sur les mesures). Pour chaque période de mesures, la méthode des rapports de concentration est celle qui donne les incertitudes les plus faibles (20% de différence au maximum pour chaque période). Les autres méthodes surestiment assez fortement les émissions en eau, surtout en période 2 (9<sup>ème</sup> semaine). Au cours de la période 1, les résultats des méthodes d'estimations à partir des débits d'air sous estiment les émissions. Cette sous estimation est due en partie aux modèles de production de chaleur des animaux utilisés (CIGR, 2002). Cette hypothèse reste à confirmer au cours de la phase de validation et d'application des méthodes simplifiées dans d'autres élevages. La méthode des rapports de concentration devra être testée et validée pour d'autres productions afin d'en estimer sa faisabilité dans différents types d'élevage sur le terrain.

## 2. APPLICATION ET VALIDATION DES METHODES SIMPLIFIEES DE MESURES DES EMISSIONS DE GES EN BATIMENTS D'ELEVAGE AVICOLE

## 2.1. Méthode et matériel expérimental

### 2.1.1. Typologie des élevages sélectionnés

Pour valider la méthode des rapports de concentration retenue à l'issue de la première phase du projet, une mise en œuvre dans des élevages représentatifs du terrain est nécessaire. C'est pourquoi la typologie des élevages a été établie en tenant compte du type de ventilation des bâtiments d'élevage (mécanisée, naturelle), du type de déjections (lisiers, fientes, fumier) et de l'espèce produite (poulets, dindes, pintades, canards, poules pondeuses). A partir de celle-ci des élevages ont été sélectionnés pour tester la méthode. Des élevages label et palmipède gras ont également été ajoutés. Ces élevages ont été retenus sans tenir compte, ni de leur organisation de production, ni de leurs performances techniques.

### 2.1.2. Le protocole de mesure dans les élevages

Pour quantifier les facteurs d'émissions, la phase 1 du projet a montré que deux mesures ponctuelles gazeuses par élevage dans les productions non sexées (poulet, pondeuse, pintade : mesures en milieu et fin de bande) et trois mesures dans les élevages où les deux genres sont présents (dinde, canard : mesures en milieu, fin de bande puis après le départ des femelles) sont suffisantes.

Pour chaque mesure, l'air est échantillonné dans le bâtiment et à l'extérieur : deux sacs étanches en TEDLAR®, une pompe à air, des tuyaux en PTFE® sont utilisés. Puis les prélèvements sont analysés au moyen d'un analyseur photoacoustique infra rouge (INNOVA® 1312). Pour chaque prélèvement, l'analyseur détermine les concentrations de N<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, CH<sub>4</sub> et H<sub>2</sub>O (une dizaine de valeurs pour chaque gaz).

Des mesures de température et d'hygrométrie intérieures et extérieures sont également réalisées (TESTO® 400).

Lors de l'échantillonnage, l'aspiration de l'air se fait à 1.50 mètre de haut et en suivant un parcours dans le bâtiment, défini au préalable (passage dans l'air de vie des animaux, le long des chaînes d'alimentation et d'abreuvement). A l'extérieur, le prélèvement s'effectue autour du bâtiment en faisant attention à ne pas prélever à moins de 5 mètres des parois.

Un questionnaire sur les données techniques relatives au bâtiment (surface, niveau d'isolation, ventilation,...) et à l'élevage (poids moyen des animaux lors des mesures, nombre d'animaux, consommation d'aliments et d'eau,...) est également soumis à l'éleveur. Les données renseignées permettent de réaliser des calculs de bilans de masse nécessaires à la validation des résultats obtenus.

## 2.2. Méthodologie de calcul des émissions

### 2.2.1. Construction du Bilan de Masse

Comme lors de la première phase de l'étude, la validation des résultats se fait grâce aux bilans de masse (eau, carbone, phosphore et azote). Ces calculs

reposent sur des données concernant les teneurs en éléments dans l'alimentation, la carcasse des animaux et les effluents. Pour cette étude visant à mettre au point une méthode simplifiée et peu coûteuse nous nous sommes basés sur des données issues de la bibliographie. Cependant d'autres données nécessaires aux calculs (poids des animaux, quantités des déjections produites, quantité d'aliment, d'eau,...) ont pu être renseignées par l'éleveur ou à dire d'experts (Cémagref, INRA et ITAVI).

### 2.2.2. Méthodes des rapports de concentration

Les calculs d'émission sont réalisés à partir du calcul du bilan carboné et des mesures des concentrations gazeuses dans le bâtiment et à l'extérieur.

Dans un premier temps on estime le défaut du bilan carboné (équ 1) qui correspond aux pertes gazeuses sous forme de CO<sub>2</sub> et de CH<sub>4</sub> (équ 2).

$$\text{Clitière} + \text{Canimauxdeb} + \text{Caliments} - \text{Canimauxfin} - \text{Ceffluents} = \text{Perte C} \quad (\text{équ 1})$$

$$\text{Perte C} = \text{Emission C-CO}_2 + \text{Emission C-CH}_4 \quad (\text{équ 2})$$

Ainsi, les différentes émissions peuvent être calculées en suivant les équations suivantes.

- $\text{Emission C-CO}_2 = \text{Perte C} / [1 + (\text{gradient C-CH}_4 / \text{gradient C-CO}_2)]$
- $\text{Emission C-CH}_4 = \text{Emission C-CO}_2 * (\text{gradient C-CH}_4 / \text{gradient C-CO}_2)$
- $\text{Emission N-NH}_3 = \text{Emission C-CO}_2 * (\text{gradient N-NH}_3 / \text{gradient C-CO}_2)$
- $\text{Emission N-N}_2\text{O} = \text{Emission C-CO}_2 * (\text{gradient N-N}_2\text{O} / \text{gradient C-CO}_2)$

### 2.2.3. Méthode de calcul des émissions à partir des estimations des débits d'air.

Les débits de ventilation des bâtiments sont exprimés à partir des modèles de production de chaleur des animaux (CIGR, 2002).

La chaleur « totale » produite par le métabolisme des animaux et les apports d'énergie (chauffage, alimentation) dans le bâtiment va être dissipée sous deux formes :

- la chaleur « sensible », exprimée en Watt, issue de la chaleur des animaux, de la litière et du chauffage du bâtiment.
- la chaleur « latente », exprimée en grammes d'eau, conduit à une augmentation de l'humidité spécifique. Elle est due à la respiration des animaux, à la litière et au refroidissement évaporatif (ITAVI, 1998)

Les données techniques nécessaires au calcul des débits sont le poids des animaux, les déperditions du bâtiment, la température et l'hygrométrie. Lorsque le débit est connu, on peut calculer les émissions par la formule suivante :

$$\text{Emission} = [\text{concentration}] \times \text{Débit de ventilation}$$

## 3. RESULTATS

Pour chaque élevage, les émissions globales en eau (tableau 2), azote et carbone ont été calculées par la méthode dite « de référence ». Quatre méthodes

simplifiées y ont également été testées : la méthode des rapports de concentrations, la méthode par estimation des débits d'air théoriques sur les chaleurs latentes, sensibles et totales produites par les animaux lors des périodes d'élevage. Ces méthodes permettent d'obtenir des émissions par type de gaz (dioxyde de carbone, méthane, protoxyde d'azote et ammoniac) que l'on compare aux résultats du défaut de bilan de masse (méthode de référence).

### 3.1. Poulet

Les résultats dans les élevages de poulet montrent que les méthodes testées (rapport de concentrations, estimations à partir des débits d'air) surestiment les quantités d'eau émises par lot, essentiellement sur les lots estivaux. Les méthodes testées les plus intéressantes sont la méthode des rapports de concentration ainsi que la méthode d'estimation des émissions à partir des débits d'air calculés sur la chaleur latente.

### 3.2. Dindes

Les résultats en dinde mettent également en évidence une surestimation des quantités d'eau sur les bilans « été » pour chaque méthode et lot testés. D'autre part, les méthodes simplifiées à partir des calculs des débits d'air pour un élevage en hiver montrent des surestimations des émissions azotées ( $N_2O + NH_3 + N_2$ ) par rapport à la méthode de référence. Compte tenu de la volatilisation de l'azote sous forme de diazote ( $N_2$ ) dans les bâtiments d'élevage, ce résultat indique donc une limite concernant les méthodes simplifiées à partir des débits d'air. Les méthodes les plus robustes semblent être la méthode d'estimation des émissions à partir des débits d'air calculés sur la chaleur latente et la méthode des rapports de concentrations. Cependant, les valeurs sont à prendre avec précaution, car lors des mesures estivales les conditions pour estimer les débits d'air n'étaient pas des plus favorables (fortes températures, brassage forcé de l'air intérieur).

### 3.3. Canard

Les calculs des émissions en eau indiquent des résultats plutôt cohérents sur le bilan « hiver » et une sous-estimation des émissions pour les méthodes à partir des débits d'air pour le bilan « été ». Ainsi, toutes les méthodes testées se sont révélées pertinentes.

### 3.4. Pintade

Les résultats montrent une forte surestimation des émissions en été, principalement pour la méthode à partir des débits d'air sur la chaleur sensible. Les méthodes simplifiées qui se sont révélées les plus pertinentes sont la méthode des rapports de concentrations et le calcul des émissions à partir du débit d'air calculé sur la chaleur latente produite par les animaux. Il est à noter que les émissions azotées sont systématiquement surestimées (-65 à -149%), quelque soit la méthode simplifiée utilisée.

### 3.5. Poule Pondeuse

Les calculs indiquent une légère surestimation des émissions pour la méthode des rapports de concentrations et une forte sous-estimation pour les méthodes à partir des débits d'air. On remarque que les méthodes simplifiées les mieux adaptées sont la méthode des rapports de concentrations et la méthode des débits d'air sur la chaleur latente.

## 4. DISCUSSION

Les résultats montrent de manière globale que la méthode des rapports de concentrations est la méthode qui donne les résultats les proches de ceux obtenus à partir des bilans de masse. Dans certains cas, les résultats obtenus à partir d'estimation du débit sont satisfaisants (inférieur à 30% d'incertitude) notamment pour le débit estimé suivant les productions de chaleur latente. D'autres campagnes et études en stations expérimentales sont encore à envisager pour diminuer les incertitudes associées à cette méthode principalement liées à une mauvaise connaissance des modèles de production de chaleur des animaux.

En outre, la variabilité de la qualité des résultats obtenus pourrait s'expliquer à la fois par de nombreuses incertitudes dans la méthode de prélèvement mais aussi moment choisi pour réaliser le prélèvement et à partir duquel sera extrapolée l'émission globale. Tout d'abord, les résultats sont fortement modifiés en fonction des conditions climatiques (pluies, fortes températures, vents forts) car cela modifie ponctuellement à la fois les concentrations mesurées à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments, mais remet également en cause les modèles de production de chaleur des animaux (CIGR, 2002). De la même manière, le moment de prélèvement de l'échantillon au cours de la journée peut impacter sur les résultats.

De plus, la conservation de l'air prélevé dans le bâtiment dans les sacs peut être une source d'erreur. En effet, le fait de sortir un échantillon d'air à près de 30°C et de l'amener à la température extérieure plus basse provoque la condensation de l'eau de l'échantillon sur les parois du sac TEDLAR®. Cela induit une sous-estimation des concentrations mesurées par l'appareil, notamment pour l'ammoniac qui se solubilise dans l'eau condensée.

Cependant, les différences par rapport au défaut de bilan en eau peuvent également venir du fait que nous utilisons des valeurs moyennes sur certains intrants ou sortants du bilan de masse (composition des aliments, composition des déjections, quantités de déjections, composition des carcasses, isolation du bâtiment) et que les valeurs réelles sont légèrement différentes des valeurs utilisées pour les calculs. Cependant, cela représente une très faible incertitude par rapport à celles associée aux modèles de production de chaleur préconisés par la CIGR, notamment en début de lot (Robin et al, 2008). C'est pourquoi l'amélioration et la production de nouveaux modèles devraient permettre d'améliorer les

émissions calculées sur l'ensemble de la période d'élevage.

## CONCLUSION

La méthode simplifiée, peu onéreuse, rapide, indique des résultats encourageants pour l'ensemble des productions avicoles testées. Ainsi, parmi l'ensemble des méthodes testées, la méthode des rapports de concentrations semble la plus robuste. Il est tout de même possible de la compléter avec la méthode

reposant sur l'estimation des débits d'air à partir de la chaleur latente produite par les animaux. Cependant, afin de pouvoir être efficace et d'obtenir des facteurs d'émission représentatifs, il est nécessaire d'améliorer les méthodes (améliorer les équations CIGR, affiner les références moyennes utilisées) et de travailler sur la conservation des échantillons pour pouvoir réaliser une campagne de mesures à l'échelle nationale au cours des années à venir.

**Tableau 2** - Comparaison des émissions en eau estimées par les méthodes simplifiées par rapport au bilan de masse pour différents types d'élevage par rapport

Emissions H2O	Méthode Bilan	Rapport [C]	% diff	Q air, lat	% diff	Q air, sens	% diff	Q air, tot	% diff
Poulet Standard, lot hiver	124222	79589	36%	66188	47%	66274	47%	60607	51%
Poulet Standard, lot été	143878	171302	-19%	141812	1%	369139	-157%	200614	-39%
Poulet Export, lot été	132134	210388	-59%	157594	-19%	310950	-135%	183255	-39%
Dinde Certifié, lot hiver	331784	181312	45%	371799	-12%	251914	24%	79292	76%
Dinde Certifié, lot été	315409	495486	-57%	349095	-11%	279614	11%	550141	-74%
Dinde Standard, lot hiver	231696	238630	-3%	384970	-66%	458918	-98%	381499	-65%
Canard Certifié, lot hiver	64902	51646	20%	59624	8%	64471	1%	56414	13%
Canard Standard, lot été	181408	244282	-35%	74094	59%	135794	25%	91481	50%
Pintade Standard, lot hiver	135016	170167	-26%	132612	2%	144568	-7%	125201	7%
Pintade Standard, lot été	121264	162681	-34%	147166	-21%	411132	-239%	192212	-59%
Poules Pondeuse en cage	1420514	1678071	-18%	495696	65%	993837	30%	655547	54%

## BIBLIOGRAPHIE

- CORPEN, 1996. Estimation des rejets d'azote par les élevages avicoles, 11p.
- CIGR, 1984. Climatization of animal houses. Scottish Farm Build. Investigation Unit, Craibstone, Scotland.
- CIGR, 2002. Heat and moisture production at animal and house levels.
- GIEC. Avril 2007. Contribution du Groupe de travail II au quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Bilan 2007 des changements climatiques : Impacts, adaptation et vulnérabilité. Résumé à l'attention des décideurs. pp 3-4. 20p.
- HASSOUNA M., ROBIN P., AMANT G. 2005. Effet de la régulation du débit d'air sur les performances du refroidissement évaporatif en période chaude. In Journées de la Recherche Avicole 30 et 31 mars 2004 St Malo,
- HASSOUNA M., ESPAGNOL S., ROBIN P., PAILLAT J.-M., LEVASSEUR P., Li Y., 2008. Monitoring NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> emissions during pig solid manure storage - Effect of turning. In Compost Science & Utilization, Vol. 16, No. 4, 267-274.
- ITAVI, 1998. Sciences et Techniques Avicoles Hors Série 1998. Gestion de l'ambiance des bâtiments avicoles. 28p.
- INSTITUT DE L'ELEVAGE, ITCF, ITAVI, IFIP, 1999. Fertiliser avec les engrais de ferme. 104p.
- PAILLAT J.-M., ROBIN P., HASSOUNA M. 2005. Effet du compostage d'effluents porcins sur les émissions gazeuses - Influence de la biodégradabilité du carbone et de l'azote sur les émissions de gaz carbonique et d'ammoniac. Programme Porcherie Verte Action de recherche AC-42C Rapport final, 107 p.
- ROBIN, HASSOUNA, AMAND, 2005. CALORSTA, logiciel de dimensionnement et de diagnostic des systèmes de refroidissement évaporatif des bâtiments avicoles. 6<sup>ème</sup> Journées de la Recherche Avicole
- ROBIN, HASSOUNA, AMAND, AUBERT, LELEU, LECOMTE, LUBAC, 2008. Adaptation des équations de prédiction des flux d'air en bâtiments d'élevage de canards en ventilation statique ou dynamique. Rapport Final. 30p.