

Dispositif de mesure des flux de masse et d'énergie des bâtiments d'élevage

¹Marcel Lecomte, Mélynda Hassouna, Paul Robin

Résumé : Nous décrivons ici un dispositif expérimental, conçu pour répondre à un besoin d'un matériel pour quantifier les flux thermiques et de gaz émis par les animaux et leurs effluents, dans des conditions analogues aux élevages commerciaux et dans des conditions climatiques reproductibles (extrêmes, moyennes). Avec cet outil nous étudions et quantifions les flux thermiques et environnementaux potentiellement polluants (ammoniac, gaz à effet de serre et odeurs) des bâtiments d'élevage, des composts d'effluents d'élevage, de sols en conditions climatiques contrôlées et nous validons les résultats sur le terrain.

Ce dispositif est constitué d'une partie fixe (la halle expérimentale) et d'une partie mobile (le dispositif de traçage). La halle expérimentale comprend un local expérimental dans lequel sont disposées des enceintes d'élevage (2 tailles différentes : 8 m³ ou 32 m³) équipées de matériels de mesure (température, hygrométrie, concentrations en gaz, apports d'énergie (chauffage, éclairage), vitesse d'air) et un local mesure. Le local expérimental permet la reproductibilité du climat extérieur (entre 5 et 40°C) et son homogénéité pour les enceintes. Le dispositif de mesure mobile est constitué d'un analyseur de gaz, d'un échantillonneur doseur, d'un ordinateur, de bouteilles de gaz traceur, d'onduleurs, d'une station météo, de thermohygromètres, d'un téléphone mobile, de pesons et d'une cabane de chantier.

Mots clés : flux, énergie, masse, bâtiments d'élevage, climat, environnement, thermique, gaz à effet de serre, ammoniac



Photo 1 : Dispositif mobile de mesure des émissions gazeuses des bâtiments d'élevage et au stockage des effluents

¹ UMR Sol, Agronomie et Spatialisation 65, rue de St Brieuc 35042 Rennes Cedex ☎ 02 33 39 92 14

✉ Marcel.Lecomte@rennes.inra.fr

Introduction

La halle d'étude des bâtiments d'élevage a été mise en place en 1987 pour répondre à un besoin d'outil pour quantifier les flux thermiques et de gaz émis par les animaux et leurs effluents, dans des conditions analogues aux élevages commerciaux et dans conditions climatiques reproductibles (extrêmes, moyennes). Aujourd'hui, avec cet outil, nous mesurons les flux thermiques et environnementaux potentiellement polluants (ammoniac, gaz à effet de serre et odeurs) des bâtiments d'élevage, des composts d'effluents d'élevage, de sols en conditions climatiques contrôlées et nous avons la possibilité de valider sur le terrain les résultats concernant le compostage et les bâtiments d'élevage acquis en conditions contrôlées au moyen d'un dispositif de mesure mobile (**photo 1**).

Parmi les dispositifs expérimentaux connus en France et à l'étranger, cette installation est la seule où sont étudiés les échanges d'énergie et de masse générés par les milieux vivants eux-mêmes, par exemple les animaux et leurs effluents, dans des modèles réduits de bâtiments placés dans une enceinte à climat contrôlé. Seul le degré d'ouverture de l'enceinte permet d'intervenir sur le gradient intérieur - extérieur. Contrairement aux enceintes métaboliques, généralement utilisées dans le domaine des sciences animales, les mesures énergétiques sont directes et nous caractérisons en outre les formes d'énergie émise (chaleurs sensible et latente²). Cette particularité nous a permis d'étudier de façon analogue des animaux d'élevage, des composts et des sols (De Oliveira, 1999 ; De Oliveira et al, 1999 ; Kermarrec et Robin, 2002 ; Robin et Perrin, 2001). Par différence avec les écotrons souvent utilisés en sciences végétales, l'absence de recirculation de l'air à l'intérieur des enceintes conduit à l'inutilité d'une filtration des particules et d'une condensation de la vapeur d'eau. Cela évite des interférences avec les concentrations en aérosols, gaz et odeurs de sorte que l'ambiance intérieure s'établit de façon analogue aux conditions naturelles, par l'équilibre entre échanges gazeux avec le milieu extérieur et productions de gaz et d'énergie par le milieu vivant.

1. Le dispositif fixe : la halle expérimentale

Cette halle expérimentale est constituée d'un local expérimental (**figure 1**) dans lequel sont disposés des enceintes d'élevage équipées de matériel de mesure et un local mesure.

1.1. Le local expérimental peut recevoir soit 6 petites enceintes d'élevage (volume 8 m³ et superficie 3 m²) soit 4 petites et 2 grandes (volume 32 m³ et superficie 12 m²). Les parois sont des murs lourds isolés intérieurement. L'air neuf est soufflé par un ventilateur à débit variable dans un réseau de gaines de distribution d'air à l'intérieur de l'enceinte. Ce ventilateur assure également le refoulement de l'air vicié par les hottes des quatre petites enceintes. L'air vicié des deux grandes enceintes est aspiré par un second ventilateur à travers un ensemble de filtration comprenant des filtres à poussières et une enceinte de charbon actif (désodorisation).

² La **chaleur sensible** est la chaleur (énergie) qui conduit à une élévation de température. Elle est apportée par les animaux, la litière, le chauffage et l'éclairage, l'ensoleillement direct dans le bâtiment et les apports à travers les parois quand il fait plus froid à l'intérieur du bâtiment. Elle est diminuée lorsque les gouttelettes d'eau s'évaporent dans l'air.

La **chaleur latente** est la chaleur (énergie) qui transforme l'eau liquide en vapeur, c'est donc celle qui conduit à une augmentation de l'humidité spécifique. Elle est due à la respiration des animaux, à l'évaporation par la litière et au refroidissement évaporatif (refroidissement de l'air dans le bâtiment par évaporation d'eau apportée sous forme liquide).

Le local expérimental assure 3 fonctions :

- la première est de permettre la reproductibilité du climat extérieur et son homogénéité pour les six enceintes. Les dispositions matérielles actuelles offrent la possibilité de simuler une large plage de températures (5 à 40°C) par apport de froid ou de chaud, éventuellement des niveaux distincts d'humidité ou de concentration en gaz par adaptation du taux de renouvellement d'air du local à celui des enceintes, mais il est trop exigü pour simuler des conditions variées de vent. Les connaissances relatives à ce facteur sont moins prioritaires que la connaissance des productions de chaleur et de gaz pour le dimensionnement thermique (renouvellement d'air et isolation) d'une enceinte d'élevage.
- La deuxième est d'assurer les échanges avec les enceintes et leur contrôle, notamment les apports d'eau, d'aliment, l'arrivée et le départ des animaux, l'arrivée et le départ des matériaux constitutifs de litière (ou des tas de compost ou bloc de sol le cas échéant), l'homogénéisation de ces milieux entre enceintes en cas de besoin.
- La troisième est de déclencher une alarme téléphonique en cas de défaut de fonctionnement mettant en jeu la survie des animaux ou l'acquisition des données : arrêt de ventilation, hausse anormale de température du local, panne électrique.

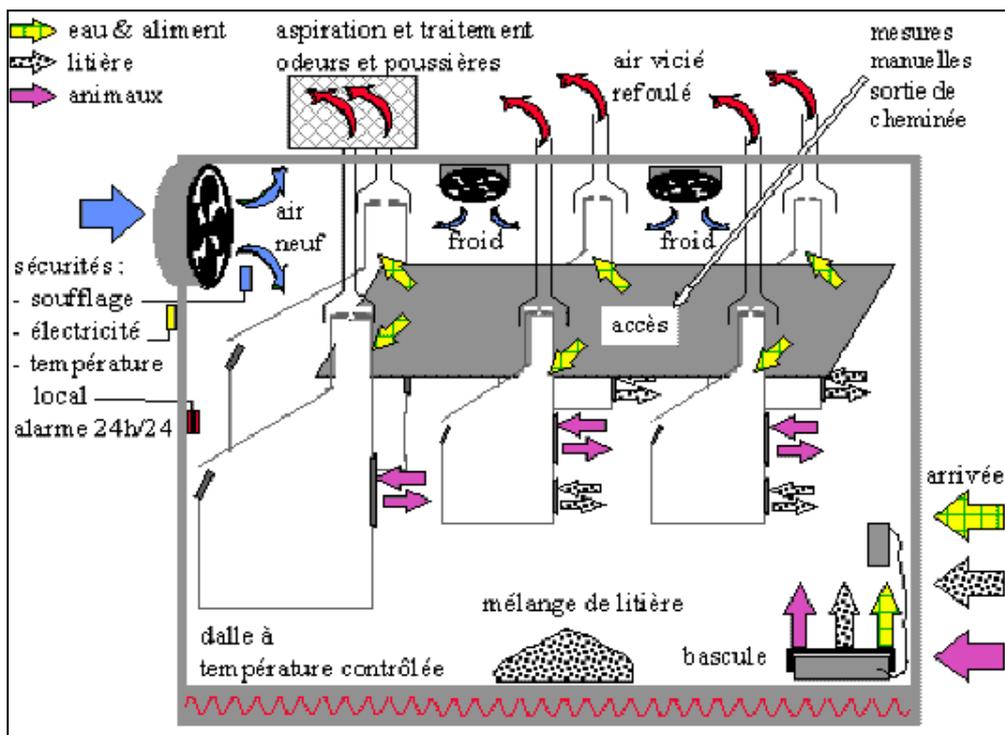


Figure 1 : la halle expérimentale : le local et les enceintes

1.2 L'enceinte d'élevage avec ses équipements de mesure est présentée **figure 2**. Les parois sont constituées de bois et isolant. L'orifice d'entrée d'air est une simple ouverture avec un volet réglable manuellement (réglage quotidien pour les expérimentations sur le compostage et hebdomadaire pour les expérimentations mettant en jeu des animaux). L'orifice de sortie est composé de 6 (pour les petites enceintes) ou de 24 (pour les grandes enceintes) orifices identiques, moulés en cône de venturi pour améliorer la mesure de vitesse d'air.

La première fonction de l'enceinte est la représentation d'un bâtiment d'élevage intensif en fonctionnement, avec les contraintes que cela impose : continuité absolue du renouvellement d'air, régulation des conditions d'ambiance (température, concentration en gaz, éclairage), apport en eau et aliment aux animaux, arrivée et départ des animaux, évacuation des déjections, nettoyage de l'enceinte.

La seconde fonction de l'enceinte est de permettre la reproductibilité d'un type d'enceinte ou d'un mode d'élevage.

La troisième fonction est d'assurer la mesure continue ou discrète des paramètres physiques de l'enceinte (variables d'état et flux présentés **figure 2**). Pour les expérimentations utilisant de la paille ou de la sciure, il est impératif de protéger de la poussière les équipements de mesure en continu (thermocouples).

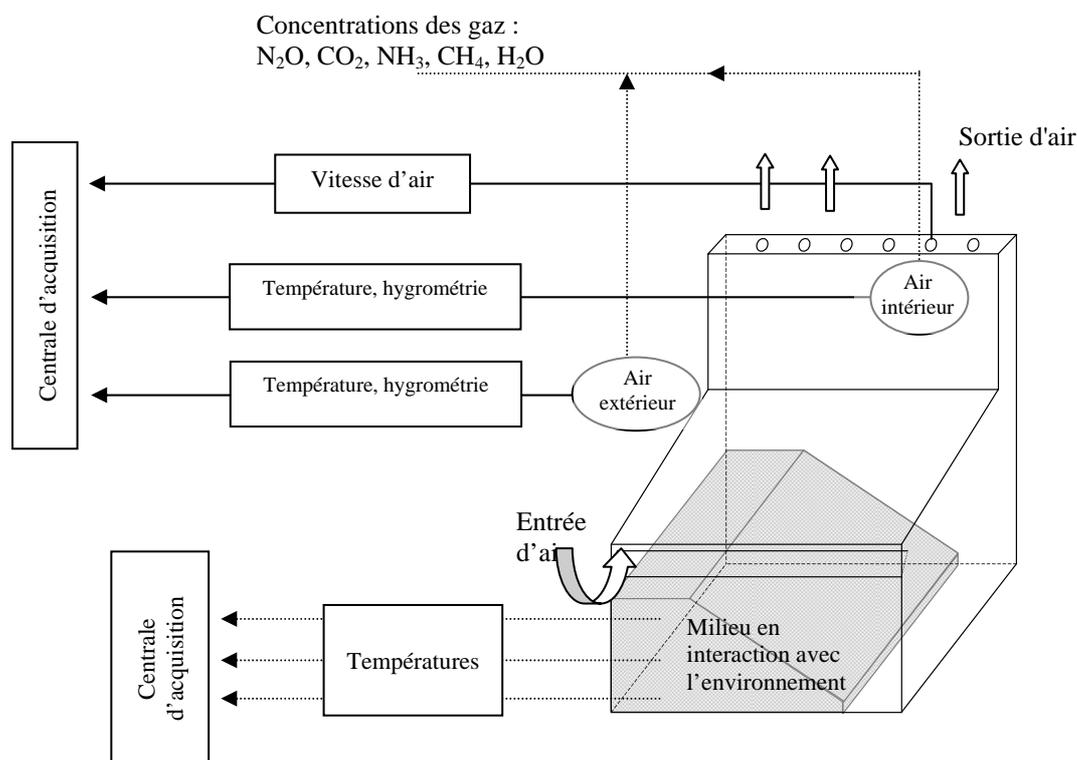


Figure 2 : Enceinte d'élevage et la chaîne de mesure

1.3 Le local mesure (figure 3) est le dernier maillon de ce dispositif, il a deux fonctions :

- la première fonction est de protéger l'électronique de mesure des contraintes mécaniques imposées par la circulation des animaux, de la litière ou des tas de compost et par les modifications d'enceintes expérimentales. Il protège également ce matériel des poussières (par soufflage d'air extérieur) et des conditions d'ambiance extrêmes pouvant être réalisées dans le local expérimental.

- la seconde fonction est de centraliser les mesures acquises, en particulier celles effectuées en continu, et d'en assurer la continuité et la synchronisation afin de valider l'approche factorielle des phénomènes (constance des facteurs, homogénéité de tous les facteurs hormis ceux étudiés).

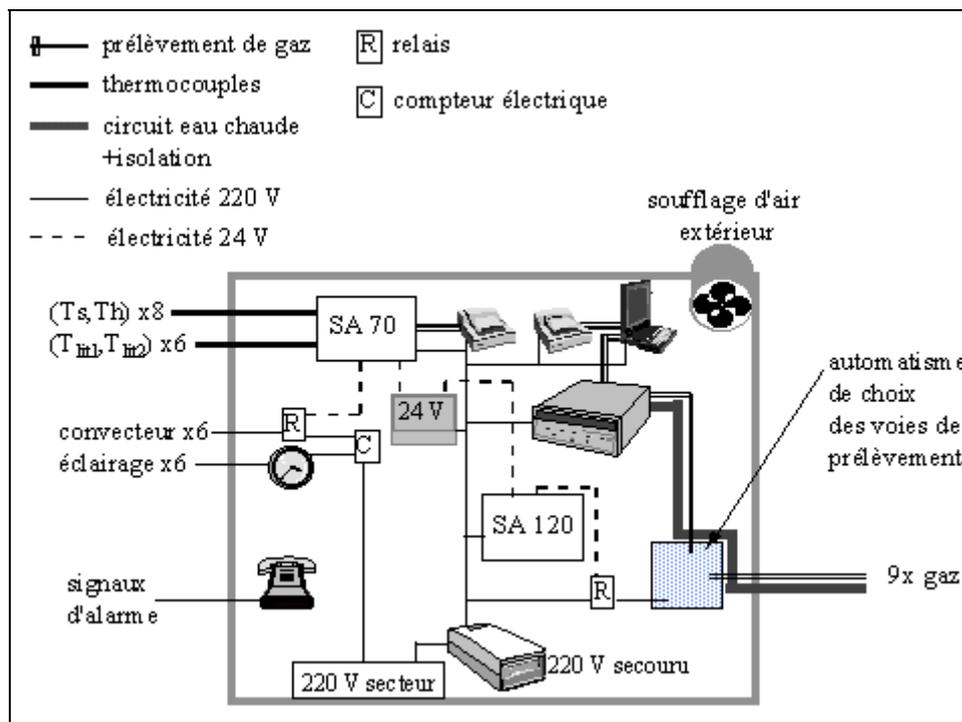


Figure 3 : Dispositions matérielles du local mesure

Des mesures de température et d'hygrométrie sont réalisées en continu au moyen de psychromètres dans chaque enceinte ainsi qu'à deux endroits dans le local expérimental. Des mesures de vitesse d'air sont également acquises en continu au moyen d'anémomètre fil chaud (modèles 8450 et 8455 TSI) disposés au milieu d'un des orifices calibrés de sortie d'air. L'ensemble de ces données est enregistré dans une centrale d'acquisition (modèle SA70, AOIP). En ce qui concerne les prélèvements d'air dans les enceintes et dans le local, le passage successif d'un point de prélèvement à un autre est provoqué par le déclenchement d'un relais lui-même activé par une centrale d'acquisition (modèle SA120, AOIP). Une circulation d'eau chaude le long des tubes de prélèvement de gaz et de ventilation des litières assure l'absence de condensation dans les tubes en cas de température extérieure froide ou de panne électrique. Ces prélèvements sont ensuite analysés par un analyseur multigaz infrarouge photoacoustique (BRUEL & KJAER 3426 (3 gaz) ou INNOVA 1312 (5 gaz)). Le

changement de relais a lieu toutes les 15 minutes (durée pouvant être changée par l'opérateur) et par conséquent l'air est échantillonné pendant 15 minutes au même endroit. Durant ces 15 minutes, toutes les 1,5 minutes l'analyseur de gaz renvoie des valeurs de concentrations en protoxyde d'azote, ammoniac, eau, méthane et dioxyde de carbone qui sont stockées dans un ordinateur.

Ces mesures en continu sont couplées à des mesures discrètes³ (un anémomètre à hélice pour le contrôle des vitesses d'air, tube colorimétrique pour contrôle des concentrations, barbotages le cas échéant). Le **tableau 1** récapitule l'ensemble des variables mesurées ainsi que les capteurs utilisés.

Dans ce dispositif, la sécurité des résultats expérimentaux est élevée en raison de la reproductibilité de toutes les conditions expérimentales (climats, enceintes, milieux vivants), des contrôles instantanés sur les flux par les relations flux-gradients et la confrontation masse-énergie, des contrôles *a posteriori* par la confrontation des flux cumulés aux bilans de masse multiélémentaires (Paillat et *al.*, 2005). La particularité d'obtenir les flux à partir du gradient intérieur-extérieur généré par le métabolisme à l'intérieur de l'enceinte (ventilation dite « naturelle ») donne une sécurité supplémentaire à nos résultats car les flux mesurés doivent obéir aux relations physiques flux-gradients. La vérification horaire des flux est complétée par une vérification des bilans d'eau et de carbone entre quantités apportées sous forme solide et liquide et quantités sortantes sous formes d'animaux, effluents et gaz.

De plus, depuis 2002, un ensemble de matériels permet des mesures similaires en conditions commerciales ou naturelles (caractérisation du climat, des masses et des émissions gazeuses), ce qui offre la possibilité de valider sur le terrain, dans des bâtiments pouvant atteindre 1000 m², la représentativité des connaissances acquises en conditions contrôlées et de mettre au point des méthodes simplifiées d'observation utilisables par les professionnels et les organismes de Recherche et de Développement..

³ On appelle mesures discrètes les mesures réalisées ponctuellement et manuellement pendant une expérimentation.

Pas de temps d'acquisition	Variables	Matériel	Incertitude
<u>2 minutes</u> mémoire des valeurs moyennes horaires	Températures sèches et humides (psychromètres) dans les enceintes et en deux points dans l'air extérieur, températures de litières ou des tas de des enceintes	Thermocouples et Centrale d'acquisition (SA70 d'AOIP, 21X de CAMPBELL)	0,1 K en relatif 0,3 K en absolu
<u>Pas de 2 minutes</u> (SA70) ou <u>1 minute</u> (SA120) ; mémoire des valeurs moyennes horaires	Vitesse d'air à la sortie d'un orifice pour contrôle de la régularité des débits (hyp. régime permanent)	Anémomètres fil chaud (8450 TSI) Centrale d'acquisition (SA70)	±2% de la valeur lue
	Temps de mise sous tension, des convecteurs ; durée proportionnelle à l'écart entre la température observée et la température de consigne.	Centrale d'acquisition et de contrôle (SA70)	
<u>2 minutes</u> moyenne de valeurs sélectionnées sur une durée de pompage de 20 minutes	Teneurs en gaz (mg/m ³ d'air humide ou ppm ; CO ₂ , CH ₄ , NH ₃ , N ₂ O, H ₂ O) sur six enceintes+2 extérieurs	Analyseur de gaz (3426, BRÜEL & KJÆR et 1312 INNOVA) + centrale d'acquisition et de contrôle (SA120) + automatisme de changement de voie de prélèvement + PC (stockage, sélection des pas de temps)	<u>Seuils de détection (INNOVA 1312):</u> N ₂ O : 0,03 ppm NH ₃ : 0,2 ppm CO ₂ : 1,5 ppm CH ₄ : 0,40 ppm Gamme de 1 à 10 ⁵ x(seuil de détection)
<u>1 jour</u> (moyenne des valeurs observées sur les orifices)	Apport d'énergie dans les enceintes	Compteur électrique	résolution de 1 kWh
	Vitesses d'air en sortie des enceintes, des litières et en entrée des litières	Anémomètre à hélice (LCA 6000, Airflow)	résolution de 0,01 m/s Incertitude ?
	Aliment, eau	Bascule de précision (Metler)	résolution de 50 g portée de 120 kg
<u>1 bande</u>	Masse de litière, masse des animaux	Bascule de précision	résolution de 50 g portée de 120 kg
	Teneurs de la litière et de l'aliment en éléments (C,N,P,K,H ₂ O)	Laboratoire agréé (I.N.R.A., Arras, L.D.A.A. Combourg)	0,5 % de la mesure (sur la base du nombre de chiffres significatifs)
<u>Occasionnel</u>	Teneurs en CO ₂ , NO _x , H ₂ S, amines, mercaptans, NH ₃	Tubes DRAEGER, barbotages en solutions	5% pleine échelle
	Poussières (collaboration avec ITP Rennes, mesure sur 3 m ³ air)		

Tableau 1 : Variables mesurées et matériels utilisés dans la halle expérimentale

2. Le dispositif mobile

2.1 Le matériel

Cet ensemble mobile est disposé dans une cabane de chantier placée à proximité du site étudié lors des campagnes de mesure (**figure 4**).

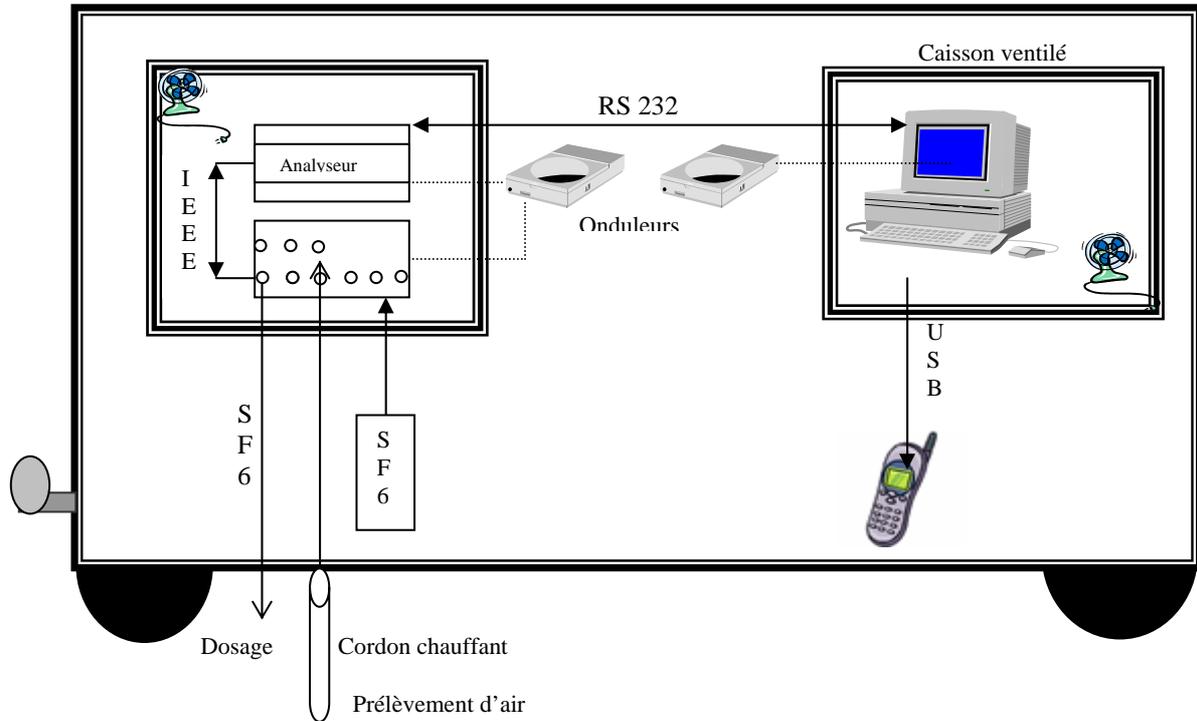


Figure 4 : Dispositif mobile de mesure des émissions gazeuses des bâtiments d'élevage

Ce dispositif de mesure est constitué d'un analyseur de gaz, d'un échantillonneur doseur, d'un PC, de bouteilles de gaz traceur, d'onduleurs, d'une station météo, de thermohygromètres, d'un téléphone mobile et de pesons (**tableau 2**). Nous l'avons mis au point pour assurer le suivi en continu des concentrations des gaz dans un bâtiment (H_2O , NH_3 , N_2O , CO_2 , CH_4) et la quantification du débit d'air⁴ par la dilution d'un gaz traceur (en l'occurrence le SF_6) injecté avec un débit connu dans l'air intérieur du bâtiment d'élevage et dont on suit également la concentration à l'intérieur et à l'extérieur du bâtiment. Cette méthode est complétée par le calcul du débit d'air à partir de la décroissance de la concentration en gaz traceur qui suit l'arrêt de l'injection. L'échantillonnage spatial et temporel est le même pour les mesures de débit d'air et de concentration en gaz x.

⁴ La quantification du débit d'air est nécessaire pour le calcul des émissions gazeuses que nous calculons de la manière suivante pour un gaz donné:

$$Q_{\text{gaz}} = Q_{\text{air}} \cdot \rho_i \cdot (C_{\text{gaz},i} - C_{\text{gaz},e})$$

Q_{gaz} quantité de gaz émis en mg/h, Q_{air} débit d'air sortant du bâtiment en m^3 d'air humide/h, ρ_i est la masse volumique de l'air intérieur (en kg d'air sec/ m^3 d'air humide), $C_{\text{gaz},i}$ concentration massique de gaz à l'intérieur en mg/kg d'air sec ($C_{\text{gaz},e}$ pour l'extérieur).

Pas de temps d'acquisition	Variables	Matériel	Incertitude
<u>1 mesure/35 secondes</u> <u>mémorisation moyenne 1/2</u> <u>heure</u>	Température, hygrométrie Vitesse, direction du vent Pluviométrie Rayonnement global Pression atmosphérique	Thermohygromètre (MP100A) Pluviomètre (ARG100) Baromètre (RPT410F) Pyromètre (SP1110) Moniteur de vent (05103) (ensemble station météo CAMPBELL) Centrale d'acquisition (CR10X CAMPBELL)	HR : ±1% HR (5-95% RH) ±2% HR (<5%, > 95% RH) T: ±0.5°C P : ±2mB RG: ±5% Vitesse vent : ±0,3ms ⁻¹ (1à 60), ±1 ms ⁻¹ (60 à 100ms ⁻¹) Direction du vent: ±3°
<u>1 mesure/10 minutes</u>	Température et hygrométrie à l'intérieur et à l'extérieur du bâtiment (moyenne des mesures/10 minutes)	TESTO 177-H1	±0.5°C en température ±2% HR
<u>1 mesure/2 minutes</u> <u>mémorisation moyenne horaire</u>	Températures dans les litière ou les tas de compost	Thermocouples et Centrale d'acquisition (21X de CAMPBELL)	0,1 K en relatif 0,3 K en absolu
<u>1 échantillon d'air analysé/2</u> <u>minutes</u> (pour chaque échantillon analysé teneurs en CO ₂ , CH ₄ , NH ₃ , N ₂ O, H ₂ O)	Teneurs en gaz (mg/m ³ d'air humide ou ppm ; CO ₂ , CH ₄ , NH ₃ , N ₂ O, H ₂ O)	Analyseur de gaz 1312 INNOVA + échantillonneur de gaz 1303 INNOVA	<u>Seuils de détection (INNOVA 1312):</u> N ₂ O : 0,03 ppm NH ₃ : 0,2 ppm CO ₂ : 1,5 ppm CH ₄ : 0,40 ppm Gamme de 1 à 10 ⁵ x(seuil de détection)
<u>Plusieurs fois/ bande</u>	Teneurs en CO ₂ , NO _x , H ₂ S, amines, mercaptans, NH ₃	Tubes DRAEGER, barbotages en solutions	5% pleine échelle
	Température et hygrométrie à l'intérieur et à l'extérieur du bâtiment	SONDE TESTO	±1% HR (10-90% RH) ±2% HR (<10%, > 90% RH) ±0.5°C en température
<u>1 mesure/bande</u>	Masse de litière,	Eleveur	300 kg
	Masse de Fumier,	Pèse essieux (Précia Molen)	±50 kg
	Apport d'énergie dans bâtiment	Compteur électrique	résolution de 1 kWh
	Aliment, eau	Donné par l'éleveur	
	Teneurs de la litière et de l'aliment en éléments (C,N,P,K,H ₂ O)	Laboratoire agréé (I.N.R.A., Arras, L.D.A.A. Combourg)	0,5 % de la mesure (sur la base du nombre de chiffres significatifs)

Tableau 2 : Variables mesurées et matériels utilisés pour les mesures sur le terrain

Les échantillons d'air sont pompés par l'échantillonneur doseur à travers un filtre et un tuyau PTFE (en tout 4 tuyaux à l'intérieur du bâtiment et 2 tuyaux à l'extérieur d'une longueur maximale de 50 m). En période hivernale, afin d'éviter une éventuelle condensation de vapeur d'eau, les tuyaux d'échantillonnage intérieurs sont réchauffés sur la partie située entre le bâtiment et l'échantillonneur doseur au moyen d'un fil électrique chauffant longeant les tuyaux, l'ensemble est gainé de papier aluminium puis isolé par des gaines en mousse La

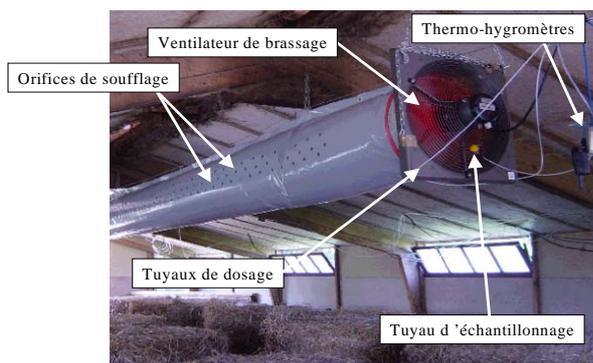
durée de stabilisation des mesures de gaz varie entre 10 minutes (intérieur des salles) et 30 à 60 minutes (extérieur). La concentration moyenne pour chaque gaz est déduite d'une dizaine de mesures après stabilisation. Une légère variation des concentrations peut être observée, probablement en raison des variations rapides de renouvellement d'air (courants d'air dus aux effets de vent) et de l'activité des animaux (production variable de gaz). Au cours de nos différentes campagnes de mesures, nous avons remarqué que la variabilité temporelle des valeurs observées est du même ordre de grandeur que la variabilité spatiale constatée en se déplaçant dans la salle. Régulièrement, des mesures de concentrations en ammoniac ont été réalisées au moyen de tubes colorimétriques (DRÄGER) de façon à vérifier l'absence de dérive de l'analyseur.

L'analyseur 1312 et l'échantillonneur doseur (**photo 2a**) sont alimentés via un onduleur, placés dans une enveloppe de mousse, protégés mécaniquement par une caisse de type "flight case". Celle-ci est chauffée par la dissipation thermique des appareils eux-mêmes. Elle est ventilée par un ventilateur au débit suffisant (600 m³/h) pour assurer un fonctionnement jusqu'à des températures extérieures voisines de 35°C. Un thermostat déclenche le ventilateur de façon à maintenir une température dans la caisse supérieure à 20°C et pour y éviter des condensations. L'enveloppe de mousse empêche un excès de poussières au niveau des appareils, notamment lorsque les appareils sont placés à l'intérieur d'une salle d'élevage. Afin de vérifier l'absence de dérive de l'analyseur, nous effectuons régulièrement des mesures de concentrations soit avec de tubes colorimétriques (DRÄGER), soit avec des poches Tedlar contenant des mélanges de gaz étalons.

Pour que le gaz traceur soit injecté de façon homogène en tous points du bâtiment et pour que les concentrations en gaz soient homogènes il est nécessaire d'homogénéiser l'ambiance dans le bâtiment. Pour ce faire, nous avons choisi d'utiliser une gaine de polyéthylène percée de trous sur toute sa longueur couplée à un ventilateur hélicoïdal équipé d'un redresseur de flux permettant un taux de brassage d'environ 10 volumes/heure (**Photo2b**). Ce système permet d'homogénéiser l'ambiance en évitant de créer des vitesses d'air près des animaux, de modifier le taux de renouvellement d'air du bâtiment et il fonctionne quel que soit le niveau de poussières dans l'ambiance ; il est nettoyable ou jetable en cas de changement de bâtiment ou de lot d'animaux. L'injection du SF₆ est réalisée à l'entrée de la gaine de brassage au moyen de tuyaux connectés aux buses de dosage de l'échantillonneur doseur.



a/ Analyseur 5 gaz et échantillonneur-doseur



b/ Système d'homogénéisation d'ambiance

Photos 2 : *Eléments du dispositif de mesure des émissions gazeuses des bâtiments d'élevage*

2.2 Le programme de pilotage

En ce qui concerne l'automatisation de la chaîne de mesure des gaz (analyseur + échantillonneur doseur), nous avons développé un logiciel spécifique pour notre application.

Le programme de mesure se déroule sur 3 phases :

- La première appelée phase de dosage consiste à injecter une quantité connue de gaz traceur à l'intérieur du bâtiment durant une période de deux heures. Cette durée permet d'obtenir une relative stabilité de la concentration en gaz traceur et de vérifier que d'éventuelles variations temporelles des concentrations des autres gaz restent du même ordre de grandeur que l'hétérogénéité spatiale. Nous pouvons ainsi estimer l'incertitude de nos mesures d'émissions gazeuses. Durant cette phase, les durées de mesure par voie étaient de 10 minutes et s'achevaient sur une voie extérieure.
- La deuxième dite phase de décroissance consiste à arrêter l'injection du gaz et de mesurer la décroissance de concentration du gaz traceur. Elle permet de mettre en œuvre un deuxième mode de calcul du débit de renouvellement d'air et constitue une vérification du calcul précédent. Elle est brève lorsque le renouvellement d'air du bâtiment est élevé. Les mesures sur la voie principale de calcul du débit d'air (généralement une voie située à l'entrée du ventilateur du dispositif de brassage de l'ambiance) durent 20 minutes, les autres durées de mesure sont de 10 minutes puis de 7 minutes en fin de période. Dans ce dernier cas le nombre de mesures par voie est limité à trois ou quatre mais la période de mise à l'équilibre de l'analyseur est réduite en n'ayant qu'un seul changement extérieur - intérieur.
- La troisième phase est appelée phase d'hétérogénéité et dure 60 minutes. Elle permet de mettre en évidence l'hétérogénéité des concentrations dans la salle d'élevage ; il n'y a pas de gaz traceur injecté et le système de brassage de l'air est stoppé manuellement (quand un opérateur est sur le site).

2.3 L'enregistrement des données

Les mesures sont mémorisées à raison d'un fichier ASCII par voie, par phase et par jour et d'un fichier journalier pour les quantités de gaz traceur injectées entre deux mesures. Nous récupérons les données quotidiennement par télétransmission et en raison des fréquents changements de sites de mesure nous utilisons un téléphone mobile (avec modem et ligne data).

La station météorologique (Campbell) agréée par la « World Meteorological Organization » comprend un anémo-girouette, un thermo-hygromètre, un pyranomètre, un baromètre, et un pluviomètre. Ces capteurs sont reliés à une centrale d'acquisition (modèle CR10X Campbell) qui effectue des scrutations toutes les 35 secondes et stocke les moyennes toutes les demi-heures. Cette station est interrogée par modem toutes les heures et les données acquises sont transmises au micro-ordinateur qui pilote le système de traçage. Les données sont sous forme d'un fichier ASCII. Les mesures de pression, température et humidité de l'air (intérieures et extérieures) servent au calcul des gradients de concentration en gaz. Les autres mesures (vent, rayonnement, pluie) sont destinées à interpréter les variations d'émissions gazeuses en fonction des conditions climatiques, notamment pour évaluer leur représentativité.

Nous mesurons la température et l'hygrométrie à l'intérieur et à l'extérieur du bâtiment avec des capteurs - enregistreurs de température et d'hygrométrie (177-H1 TESTO). La fréquence d'acquisition est fixée à 10 minutes. Nous contrôlons régulièrement ces mesures à l'aide d'un thermo-hygromètre manuel (TESTO) à l'emplacement des capteurs - enregistreurs.

La synchronisation des mesures de concentration en gaz et des mesures climatiques est indispensable, nous la vérifions en comparant les mesures d'humidité de l'air faites par l'analyseur de gaz à celles des thermohygromètres.

Le nombre de données à traiter pour un suivi en continu de 3 mois est important puisqu'il dépasse 550 000 données brutes pour les gaz, 100 000 pour les centrales d'acquisition et 150 000 pour les capteurs - enregistreurs. Ainsi, en s'assurant de l'absence de biais ou de dérive des capteurs, l'impact d'une éventuelle anomalie de mesure ou d'une panne de quelques jours ne remet pas en cause la précision de l'estimation pour la bande étudiée, en raison du grand nombre de mesures utilisées.

Conclusion

Les fonctions, l'échelle d'observation et la modularité de ce dispositif font de celui-ci un outil à la fois, unique en France et en Europe, et complémentaire des autres dispositifs expérimentaux. La multiplicité des méthodes de mesure des émissions gazeuses (par bilans de masse et d'énergie, traçage ou mesure du débit d'air) ainsi que la redondance des données permettent une validation croisée des résultats et l'estimation de l'erreur de mesure.

Dans les années qui viennent ce dispositif baptisé MEGEVE (Mesure des Echanges de Gaz et d'Énergie entre le Vivant et l'Environnement) sera reconstruit afin de l'ouvrir plus largement au monde scientifique et à l'enseignement, d'y apporter de nouvelles fonctions et d'y renforcer la traçabilité, la reproductibilité et la fiabilité des observations.

Bibliographie

- De Oliveira PAV (1999) Comparaison des systèmes d'élevage des porcs sur litière de sciure ou caillebotis intégral. Thèse Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie de Rennes. 264 p.
- De Oliveira PAV, Souloumiac D, Robin P, Kermarrec C (1999) Comparaison des productions de chaleur en engraissement de porcs sur litière de sciure ou sur caillebotis intégral. *Annales de Zootechnie*, 48, 117-129.
- Kermarrec C, Robin P (2002) Emissions de gaz azotés en élevage de porcs sur litière de sciure. *Journées de la Recherche Porcine*, n°34, Communication, 155-160.
- Paillat JM, Robin P, Hassouna M, Leterme P (2005) Predicting ammonia and carbon dioxide emissions from carbon and nitrogen biodegradability during animal waste composting. *Atmospheric environment*, 39:6833-6842.
- Robin P, Perrin P (2001) Productions de chaleur et calcul du débit d'air d'un élevage de canards sur caillebotis ou sur litière. Rapport final, convention ITAVI-INRA 2000, dossier Odeurs/ACTA. 49p.