

11.1 Procédure pour la mesure du débit d'air par bilan CO₂ dans les bâtiments d'élevage (*Guidelines for the measurement of air flow rate with CO₂ balance in animal houses*)

11.1.1 Introduction (*Introduction*)

11.1.1.1 Objectif (*Objective*)

La mesure du débit d'air peut être une bonne illustration de la qualité de l'air en relation avec les besoins physiologiques. À l'intérieur des bâtiments, le renouvellement d'air est une nécessité pour la régulation de la température et l'évacuation des gaz comme l'anhydride carbonique et l'ammoniac. Quand la mesure de la vitesse d'air n'est pas faisable, par exemple dans des bâtiments à ventilation naturelle, le contrôle du gradient de CO₂ entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment permet de contrôler la bonne application des règles de ventilation.

Une autre application est proposée avec la mesure des émissions où le débit de ventilation par animal est multiplié par le gradient de concentration du gaz étudié entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment.

L'objectif de ces recommandations est de proposer une méthode pour mesurer le débit d'air dans des bâtiments d'élevage, que la ventilation soit naturelle ou mécanique, lorsque la production de CO₂ par les animaux est connue. Cette méthode s'apparente à une méthode par traçage où le gaz traceur est émis par les animaux.

The measurement of air flow rate can be a good illustration of air quality in relation with physiological needs. Inside buildings, the renewal of air is a necessity for the temperature regulation and the evacuation of gases like carbon dioxide and ammonia. When the measurement of air velocity is not feasible, for example in naturally ventilated buildings, the control of the CO₂ gradient between inside and outside the building allows to control the good application of ventilation rules.

Another application is found with the measurement of gaseous emissions where the ventilation rate per animal is applied to the concentration gradient of the studied gas between inside and outside the animal house.

The objective of these guidelines is to propose a method to measure the air flow rate in animal houses, whatever if the ventilation is natural or mechanical, provided the CO₂ production by the animals is known. This method is similar to a tracing method where the tracer source is achieved by the animals.

11.1.1.2 Domaine d'application (*Scope*)

L'utilisation du gradient de CO₂ pour estimer le débit de ventilation peut être mise en oeuvre dans tous les bâtiments d'élevage où un modèle correct de production de CO₂ peut être utilisé. C'est le cas pour des bâtiments sur caillebotis ou sur sol plein parce que la plupart des connaissances sur les émissions de CO₂ par des animaux a été observée dans des chambres respiratoires sans accumulation d'effluent (Pedersen et al., 2008). Quand l'effluent est accumulé dans le bâtiment pendant quelques semaines, par exemple avec du

Using the CO₂ gradient to estimate the ventilation rate can be achieved in the animal houses where a reasonable model of CO₂ production can be applied. This is the case for buildings with slatted or solid floors because most knowledge on CO₂ emissions by animals was observed in respiration chambers without manure accumulation (Pedersen et al., 2008). When manure is accumulated in the building during some weeks for example with solid manure, the specific emission of CO₂ by the manure should be added if

fumier, l'émission spécifique de CO₂ par l'effluent devrait être ajoutée si on la connaît.

Cette méthode ne donne pas des mesures précises en raison des variations d'émissions de CO₂ liées à l'activité animale. Ces variations se produisent dans la plupart des bâtiments d'élevage (CIGR, 2002). Elles peuvent être modélisées et parfois améliorer la prédiction (de Sousa et Pedersen, 2004) mais quand on utilise le modèle et qu'il y a un décalage de temps entre les sorties du modèle et la véritable activité animale, ce décalage a comme conséquence un biais significatif dans l'évaluation de débit de ventilation aux pas de temps horaires. Par conséquent, cette méthode devrait être employée quand l'objectif des mesures est d'avoir une évaluation correcte du débit de ventilation moyen à un pas de temps d'une journée ou d'une demi-journée (jour ou nuit), ou lorsque les fluctuations de production de CO₂ sont négligeables.

it is known.

This method does not give accurate measurements because of variations of CO₂ emissions due to animal activity. These variations occur in most animal houses (CIGR, 2002). They can be modeled and sometimes improve the estimate (de Sousa et Pedersen, 2004) but when the model is used and there is a time shift between the model output and the true animal activity, this shift results in a significant bias in ventilation rate estimate at hourly time steps. Therefore, this method should be used when the objective of the measurements is to have a reasonable estimate of the mean ventilation rate at a daily or half-daily (day or night) time step, or when the fluctuations around the mean CO₂ production are negligible.

11.1.1.3 Principes (Principles)

Le principe est le même que celui du traçage : on suppose connu le flux de CO₂, on suppose que la ventilation explique la relation entre production de CO₂ et gradient de CO₂, et on en déduit que le taux de ventilation égale le rapport du gradient de CO₂ par la production théorique de CO₂ sortant par la ventilation.

The principle is the same as that of tracing: the CO₂ flux is supposed to be known, it is assumed that ventilation explains the relation between CO₂ production and CO₂ gradient between inside and outside the room, then it is deduced that the rate of ventilation is equal to the ratio of the CO₂ gradient by the theoretical CO₂ production emitted by ventilation.

11.1.2 Appareillage (equipment)

Le matériel varie selon que l'on souhaite effectuer des mesures continues ou discontinues.

On peut se référer aux procédures « bilan de masse » ou « traçage » selon que l'on préfère mettre en oeuvre des mesures continues ou discontinues.

Dans tous les cas, il est souhaitable d'utiliser des appareils pour la mesure des températures et humidités de l'air, et de mesurer la concentration en CO₂ à l'intérieur et à l'extérieur du bâtiment (ou à l'entrée et à la sortie d'air lorsque les salles d'élevage ne sont pas en prise directe avec l'air extérieur).

Depending on discontinuous or continuous measurements, the equipment will vary.

One can refer to the procedures "mass balance" or "tracing" for respectively discontinuous or continuous sampling.

In any case, it is recommended to use equipment for the measurement of air temperature and humidity, and to measure the concentration in CO₂ inside and outside the house (inlet and outlet when the house does not exchange directly with outside the house) .

11.1.3 Observations (Observations)

En cas d'observations manuelles on doit circuler dans tout le volume du bâtiment sans s'approcher trop des bords ou des animaux. Il est important d'éviter tout mouvement brusque qui pourrait déclencher des mouvements de panique.

En cas d'enregistrements de concentrations en CO₂ et de température et d'humidité, on doit positionner au moins 2 capteurs, l'un proche de la sortie d'air, l'autre dans l'aire de vie des animaux.

Il est utile de compléter ces observations par des mesures de vitesse d'air aux orifices (volet entrées d'air, cheminées de sortie) si elle sont faisables.

Ces mesures sur l'air doivent être complétées par des observations concernant les animaux, comme leurs poids et production (croissance, lait, oeufs, etc.). La connaissance des aliments (quantités, énergie digestible, etc.) peut être utile pour renseigner les modèles de production de CO₂.

In the case of manual observations one must walk in all the volume of the house without approaching too much the edges or the animals. It is important to avoid any abrupt movement which could start movements of panic.

In the case of recording CO₂ concentrations, temperature and moisture, at least 2 sensors should be used, one close to the exit of air, the other in area where live the animals.

It is useful to supplement these observations by air velocity measurements in the openings (opening for air inlet, shaft for air outlet) if they are feasible.

These measurements in the air should be completed by observations concerning the animals, such as weight and production (growth, milk, eggs, etc.). Knowledge of the feed (quantities, feed energy intake) can be useful inputs for some models of CO₂ production.

11.1.4 Calculs (Calculations)

On calcule la production de chaleur du bâtiment (H_{house} en W) en fonction du nombre et de la nature des animaux (cf. procédure sur les productions de chaleur). Si les animaux sont élevés sur caillebotis ou si la litière est récente (moins de trois semaines), on peut se baser seulement sur le cheptel animal. Si les animaux sont élevés sur litière et que celle-ci est relativement âgée, il faut ajouter la production de chaleur totale de la litière.

Cette production de chaleur est traduite en production de CO₂ (C_{prod} in m³ CO₂.h⁻¹) en utilisant le tableau suivant (Tableau 1.). A la production de CO₂ des animaux, il convient d'ajouter celle du chauffage.

The heat production of the house (H_{house} in W) is calculated according to the number and nature of the animals (cf procedure related to the heat productions). If the animals are reared on slatted floor or if the litter is recent (less than three weeks), the calculation can be only based on the animal livestock. If the animals are reared on litter and if it is relatively old, it is necessary to add the heat production of the litter.

This heat production is converted into CO₂ production (C_{prod} in m³ CO₂.h⁻¹) using the following table (Tableau 1.). CO₂ production due to heating should also be added.

Tableau 1. Production de CO₂ pour 1000 W de chaleur totale produite dans le bâtiment / CO₂ production per hpu at house level (Pedersen et al., 2008).

C_{hpu} : production de CO ₂ / CO ₂ production (m ³ CO ₂ .hour ⁻¹).(1000 W total heat at house level) ⁻¹	
Bovins (Cows)	
Veaux (<i>Calves</i>)	0.170
Vaches laitières (<i>Dairy cows</i>)	0.200
Porcins (Pigs)	
Porcelets (<i>Weaners</i>)	0.185

Porcs charcutiers (<i>Growing pigs</i>)	0.200
Truies (<i>Sows</i>)	0.180
Volailles (<i>Poultry</i>)	
Poulets (<i>Broiler</i>) < 0.5 kg	0.180
Poulets (<i>Broiler</i>) > 0.5 kg	0.185
Poules pondeuses (<i>Layers</i>)	0.180
Ovins (<i>Sheep</i>)	0.175

Puis, la production CO₂ est convertie en débit de ventilation (V_{CO₂} en m³.h⁻¹ à la densité de l'air intérieur) à l'aide des mesures de concentrations en CO₂ (C_{in} et C_{out} sont les concentrations en CO₂ de l'air intérieur et extérieur en ppmv, Blanes & Pedersen, 2005).

Quand des mesures de température et d'humidité de l'air sont réalisées, elles devraient être employées pour calculer la densité de l'air. En effet, l'erreur relative sur le gradient de concentration dû à une erreur dans la densité d'air augmente quand le gradient de concentration est diminué par rapport à la concentration extérieure, et quand la différence de densité d'air est plus élevée.

Then, the CO₂ production is converted into a ventilation rate (V_{CO₂} in m³.h⁻¹ at the air density of inside air) using the measurements of CO₂ concentrations (C_{in} et C_{out} are inside and outside concentrations in CO₂ in ppmv, Blanes & Pedersen, 2005).

When measurements of temperature and humidity are achieved, they should be used to calculate the air density. As a matter of fact, the relative error on the concentration gradient due to an error in air density increases when the concentration gradient is lower compared to the outside concentration, and when the outside air density (ρ_{out} in kg dry air. m⁻³ moist air) is higher than the inside air density (ρ_{in}).

$$[1] \quad C_{\text{prod}} = C_{\text{hpu}} * H_{\text{house}}$$

$$[2] \quad V_{\text{CO}_2} = \frac{C_{\text{prod}}}{(C_{\text{in}} - C_{\text{out}} * \frac{\rho_{\text{in}}}{\rho_{\text{out}}}) * 10^{-6}}$$

11.1.5 Contrôles et vérifications (*Control and checkout*)

Lorsque des mesures de température et d'humidité de l'air sont effectuées, les mesures de débit d'air devraient être utilisées pour calculer des émissions de vapeur d'eau et de chaleur sensible.

Ces valeurs devraient être comparées à des estimations des pertes de vapeur d'eau dues à la respiration des animaux, et à des estimations des productions de chaleur sensible dans le bâtiment.

Lorsque les animaux sont élevés sur litière et que celle-ci est âgée (plus de trois semaines), il est nécessaire d'ajouter les productions de chaleur sensible et de vapeur d'eau de la litière.

When measurements of air temperature and humidity are achieved, the ventilation rate should be used to estimate the loss of water vapor and sensible heat.

These values should be compared to estimates of the respiration losses of the animals and to estimates of sensible heat produced inside the building.

When the animals are reared on litter and when it is old (over three weeks), the sensible heat production of the litter and its production of water vapor should be added.