

## 13.1 Procédure pour la mesure du débit d'air par traçage au SF<sub>6</sub> dans les bâtiments d'élevage (*Guidelines for the measurement of air flow rate with a tracing gas such as SF<sub>6</sub> in animal houses*)

### 13.1.1 Introduction (*Introduction*)

#### 13.1.1.1 Objectif (*Objective*)

Le dégagement d'une quantité connue d'un gaz traceur est une méthode souvent considérée comme référence comparée à d'autres techniques. Le SF<sub>6</sub> est un gaz fréquemment utilisé comme traceur en raison de sa détection facile et de sa grande inertie chimique.

Cependant, le SF<sub>6</sub> présente deux inconvénients importants qui obligent à l'employer avec parcimonie :

- son pouvoir réchauffant est très haut (approximativement 22200 kilogrammes d'eq. CO<sub>2</sub> par kilogramme SF<sub>6</sub> ; IPCC, 2001) ; son utilisation ne devrait pas polluer plus que la réduction d'émission prévue ; une évaluation de son intérêt est ainsi essentielle avant de décider de son utilisation,

- sa densité est élevée, il faut donc veiller que sa distribution soit homogène et proche de celle des gaz étudiés.

La méthode présentée ici convient aux bâtiments d'élevage qui sont au moins un peu confinés (présence d'un filet brise-vent ou d'une fermeture sur trois côtés). Elle peut être mise en application avec d'autres gaz traceur à condition que ceux-ci ne soient pas transformés ou ne soient pas absorbés au cours de la période de la mesure.

*The release of a known quantity of a tracer gas is a method often considered as a reference compared to other techniques. The SF<sub>6</sub> is a gas frequently used as tracer because of its easy detection and its great chemical inertia.*

*However, the SF<sub>6</sub> presents two major disadvantages which oblige to use it with prudence:*

- *its global warming potential is very high (approximately 22200 kg eq. CO<sub>2</sub> per kg SF<sub>6</sub>; IPCC, 2001); its use should not pollute more than the expected emission reduction; an evaluation of its interest is thus essential before deciding on its use,*

- *its density is high, it should therefore be made sure that its distribution is homogeneous and close to that of the studied gases.*

*The method presented here is suitable for animal houses that are at least a little confined. It can be implemented with other tracer gases provided that those are not transformed or are not absorbed during the period of measurement.*

#### 13.1.1.2 Domaine d'application (*Scope*)

Ce protocole décrit une méthode pour mesurer les émissions gazeuses d'un bâtiment d'élevage clos. Il utilise la mesure d'un gradient de concentration entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment, qui doit être à peu près stable à un pas de temps horaire.

C'est le cas de tous les bâtiments dont le climat est régulé, que ce soit ceux à ventilation naturelle ou ceux à ventilation mécanique, que la régulation soit manuelle ou automatisée.

*This protocol specifies a method to measure the gaseous emissions from confined animal house. It requires the measurement of a concentration gradient between inside and outside the building, that is more or less stable at a hourly time step.*

*This is the case of all buildings with controlled climate inside the house, whatever the ventilation is natural or mechanical, manually or automatically regulated.*

Cependant, quand le bâtiment d'élevage est peu confiné (par exemple des bâtiments bovin avec un libre accès le long du bâtiment), la variabilité spatiale de la concentration de traceur à l'intérieur du bâtiment pourrait être semblable au gradient de concentration entre intérieur et extérieur pour deux raisons principales :

- les échanges d'air sont turbulents, quand un large tourbillon entre dans le bâtiment, les concentrations chutent soudainement à cet endroit, les gradients sont proches de zéro, puis ils monteront progressivement comme l'air est souillé par les gaz libérés dans le bâtiment ;

- quand un large tourbillon sort du bâtiment, il contamine l'air extérieur, la concentration augmente dans l'air extérieur et les gradients peuvent être nuls ou même négatifs (concentrations en dehors plus hautes que les concentrations à l'intérieur du bâtiment).

Quand le gradient de concentration entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment ne peut pas être défini à chaque pas de temps horaire, d'autres méthodes devraient être employées, avec des mesures plus fréquentes et une résolution plus élevées des gradients de concentration (méthodes basées sur l'analyse de turbulence), ou la méthode basée sur un grand nombre d'échantillonneurs passifs de flux (par exemple tubes de Ferm).

Pendant ces expériences dans le bâtiment, le dégagement connu du traceur peut également servir de référence à d'autres techniques de mesure à évaluer (modélisation inverse).

*However, when the animal house is nearly not confined (e.g. dairy houses with free access to an area along the building), the spatial variability of the tracer concentration inside the house might be similar to the concentration gradient between inside and outside for two main reasons:*

- as the air exchanges are turbulent, when a large eddy enters the house, the concentrations suddenly drop at this place, the gradients are close to zero, then they will progressively rise as the air is contaminated by the gases released within the house;*

- when a large eddy goes out of the house, it contaminates the air outside, so the concentrations outside rise and the gradients can be null or even negative (concentrations outside higher than the concentrations inside the building).*

*When the concentration gradient between inside and outside the house can not be defined at a hourly time step, other methods should be used, either with more frequent and higher resolution measurements of the concentration gradients (methods based on turbulence analysis), or method based on a large number of passive flux samplers (e.g. Ferm tubes).*

*During these experiments, the known release of the tracer can also serve as a reference for other measurement techniques to be evaluated (reverse modeling).*

### 13.1.1.3 Principes (Principles)

La méthode de traçage est basée sur le dégagement d'une quantité connue d'un gaz, qui diffuse comme les autres gaz à mesurer.

Il y a fondamentalement deux manières de définir le flux de gaz de traceur dans un environnement fermé :

- l'approche par dose constante, où le flux de traceur est mesuré directement à chaque pas de temps ;

- l'approche par décroissance où une quantité élevée de traceur est libérée dans le volume à mesurer ; quand la concentration est homogène, la diminution de la concentration reflétera le taux de ventilation à l'endroit observé.

*The tracing method is based on the release of a known quantity of a gas, that is emitted in the same way as the other gases to be measured.*

*There are basically two ways of defining the flux of tracer gas in a closed environment:*

- the constant dosing approach, where the tracer flux is measured directly at each time step;*

- the decreasing approach where a high quantity of tracer is released in the volume to be measured; when the concentration is homogeneous, the decrease in concentration will reflect the ventilation rate at the observed place.*

*There are two approaches to deduce the emission rate from the measurements of gas*

<p>Il y a deux approches pour déduire l'émission à partir des mesures des concentrations en gaz :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- l'une où la concentration du traceur est employée indirectement ; d'abord le débit de ventilation du bâtiment est calculé, puis le débit de ventilation est employé pour calculer l'émission ;</li> <li>- l'autre où la concentration du traceur est employée directement ; le flux des gaz est déduit des rapports des gradients de concentration entre le traceur et les autres gaz.</li> </ul>	<p><i>concentrations:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>either the concentration of tracer is used indirectly; at first the ventilation rate of the house is calculated, then the ventilation rate is used to calculate the emission;</i></li> <li>- <i>or the concentration of tracer is used directly; the fluxes of gases are deduced from the ratios of concentration gradients between the tracer and the other gases.</i></li> </ul>
--	--

### 13.1.2 Appareillage (equipment)

<p>Tous les détails d'un exemple pratique sont fournis dans l'annexe correspondante. Les équipements les plus importants sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- l'équipement pour le dosage du gaz traceur et l'analyse des gaz,</li> <li>- un équipement de mélange qui forcera l'homogénéité de concentration sans perturber les animaux ce qui implique une vitesse d'air en-dessous de 0.2 m.s<sup>-1</sup>,</li> <li>- les capteurs climatiques à l'intérieur et à l'extérieur du bâtiment,</li> <li>- des capteurs manuels permettant de contrôler l'homogénéité des valeurs des différents capteurs avec enregistrement.</li> </ul> <p>En outre, selon la situation, les tubes de prélèvement devront être isolés et chauffés pour éviter la condensation à l'intérieur, l'équipement devra être protégé contre la chaleur ou la poussière ou même vis à vis des animaux s'il est situé dans le bâtiment d'élevage.</p>	<p><i>All details of a practical example are given in the corresponding appendix. The most important equipments are:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>the equipment for tracer dosing and gas analyzing,</i></li> <li>- <i>a mixing equipment that will force the concentration homogeneity without disturbing the animals, which implies to have air speed below 0,2 m.s<sup>-1</sup>,</i></li> <li>- <i>the climate sensors inside and outside the building,</i></li> <li>- <i>manual sensors to check the homogeneity of the sensors with measurement recording.</i></li> </ul> <p><i>In addition, depending on the situation, the sampling tubes might be isolated and heated to avoid condensation inside, the equipment might be protected against heat or dust or even animals if it is located within the animal house.</i></p>
---	--

### 13.1.3 Observations (Observations)

<p>Les observations comportent des mesures de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- température et humidité de l'air ;</li> <li>- concentrations en gaz intérieures et extérieures ;</li> <li>- caractéristiques du cheptel (nombre, poids) ;</li> <li>- caractéristiques du bâtiment (dimensions, volume).</li> </ul>	<p><i>The observations comprise measurements of:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>temperature and moisture of the air;</i></li> <li>- <i>gas concentrations inside and outside the house;</i></li> <li>- <i>characteristics of the livestock (number, weight);</i></li> <li>- <i>characteristics of the house (dimensions, volume).</i></li> </ul>
--	---

### 13.1.4 Calculs (Calculations)

<p>L'équation de calcul du débit d'air par traçage est</p>	<p><i>The equation of calculation of the ventilation with</i></p>
--	---

la suivante :

a tracing is the following one:

1

$$Q_{air, trac}(t_n) \uparrow \left[ \frac{F(t_n)}{C_{SF_6,i}^v(t_n) - C_{SF_6,e}^v(t_n)} \right] \sim \left[ \frac{V_{bat} \cdot \frac{C_{SF_6,i}^v(t_n) - C_{SF_6,i}^v(t_{n-1})}{t_n - t_{n-1}}}{C_{SF_6,i}^v(t_n) - C_{SF_6,e}^v(t_n)} \right]$$

où  $Q_{air, trac}(t_n)$  est le débit d'air mesuré par traçage au temps  $t_n$  (en  $m^3$ /heure.bâtiment),  $F(t_n)$  est le débit de gaz traceur injecté (en ml/s), il est calculé sur trois pas de temps consécutifs (7 minutes environ) de façon à réduire l'impact de légères variations d'injection sur des fluctuations d'estimation,  $C_{SF_6,i}^v(t_n)$  et  $C_{SF_6,e}^v(t_n)$  sont les concentrations volumiques en gaz traceur de l'air intérieur et extérieur au temps  $t_n$  (en ppm, ou plus précisément en  $ml SF_6/m^3$  air humide, valeur indiquée par l'analyseur de gaz),  $C_{SF_6,i}^v(t_{n-1})$  est la concentration au pas de temps précédent, l'intervalle  $(t_n - t_{n-1})$  est fixé à 10 minutes en sorte de réduire l'effet de l'incertitude de mesure des concentrations en gaz traceur sur l'écart de concentration durant la période de décroissance des concentrations,  $V_{bat}$  est le volume d'air intérieur du bâtiment (en  $m^3$ /bâtiment).

Le premier terme de l'équation correspond à la phase de dosage et on vérifie qu'il s'annule lors de la phase de décroissance ( $F(t_n)=0$ ), le second terme correspond à la phase de décroissance, il devient négligeable lorsque la concentration en gaz traceur est stable (second terme inférieur à 5% du premier terme quand dosage et ventilation sont constant). Il est utile de combiner les deux termes et de tenir compte des concentrations extérieures en gaz traceur car la grande dimension du bâtiment d'élevage et sa forte ventilation entraînent des changements de concentration dans l'air entrant dans le bâtiment. Il est également utile de calculer les débits après des tests sur les concentrations, et d'introduire le traitement des données manquantes, et l'agrégation des résultats sur une période.

Les deux termes de l'équation sont calculés séparément puis additionnés afin de pouvoir visualiser simplement d'éventuelles incohérences de mesure. Les calculs sont réalisés pour chaque phase (" dosage " ou " décroissance "). Deux voies intérieures sont considérées (l'une à l'aspiration du ventilateur de brassage, l'autre

where  $Q_{air, trac}(t_n)$  is the air flow measured by tracing at time  $t_n$  (in  $m^3$ /heure.bâtiment),  $F(t_n)$  is the tracer gas output injected (in ml/s), it is calculated on three steps of consecutive times (approximately 7 minutes) in order to reduce the impact of light variations of injection on fluctuations of estimate,  $C_{SF_6,i}^v(t_n)$  and  $C_{SF_6,e}^v(t_n)$  are tracer gas volumic concentrations of the air inside and outside at time  $t_n$  (in ppm, or more precisely in  $ml SF_6/m^3$  humid air, value indicated by the gas analyzer),  $C_{SF_6,i}^v(t_{n-1})$  is the concentration of the previous time step, the chosen interval  $(t_n - t_{n-1})$  is 10 minutes in order to reduce the effect of uncertainty on the measurement of the tracer gas concentrations on the variation of concentration during the period of concentration decrease,  $V_{bat}$  is the volume of air inside of the house (in  $m^3$ /bâtiment).

The first term corresponds to the phase of dosing the tracing gas and it can be checked that it is cancelled during the phase of concentration decrease ( $F(t_n)=0$ ), the second term corresponds to the phase of decrease, it becomes negligible when the tracer gas concentration is stable (second term lower than 5% of the first term when ventilation and dosing are constant). It is useful to combine the two terms and to take account of the tracer gas concentrations outside the house because the high size of the animal house and its high ventilation induce modification of the concentration in the inlet air of the animal house. It is also useful to calculate the ventilation after checking the concentrations, introducing a treatment of the missing concentrations, and to aggregate the results during a time sequence.

The two terms of the equation are calculated separately then added in order to be able to simply visualize possible inconsistencies of measurements. Calculations are carried out for each phase ("dosing" or "decreasing"). Two inside sampling are considered (one close to the inlet of the ventilator of mixing, the other in the middle of the house) and using one sampling

dans l'ambiance du bâtiment) en utilisant une même voie extérieure. Les valeurs instantanées sont regroupées par heure de mesure et affectées à l'heure hh30, nous retenons la médiane, l'écart-type et le nombre de valeurs utilisées. Les valeurs instantanées des deux méthodes ainsi que les médianes et écart-types sont affichées sur un même graphique afin de détecter visuellement d'éventuelles anomalies dans les résultats pour la période de calcul.

*position outside. The instantaneous values are gathered per hour of measurement and are assigned to the hour hh30, the median, the standard deviation and the number of values used are displayed. The instantaneous values of the two methods as well as the medians and standard deviations are plotted on the same graph in order to visually detect possible anomalies in the results for the period of calculation.*

### 13.1.5 Contrôles et vérifications (*Control and checkout*)

Le débit d'air estimé par traçage doit être calculé sur plusieurs points d'échantillonnage pour vérifier la validité de l'hypothèse d'homogénéité.

Pour contrôler la validité de l'hypothèse de régime permanent, le calcul par traçage doit soit être comparé à une estimation du débit d'air par les productions de chaleur ou de CO<sub>2</sub> des animaux, soit être utilisé pour calculer les productions de chaleur et de vapeur d'eau des animaux pour vérifier que l'on n'obtient pas des grandeurs aberrantes.

En cas de mesure du débit de gaz traceur, la dose totale injectée peut être comparée à la perte de poids de la bouteille de gaz traceur.

En cas de données manquantes on doit comparer les quantités cumulées calculées soit en interpolant les débits de ventilation, soit en interpolant les émissions calculées aux pas de temps non manquants.

*The air flow estimated with tracing must be calculated on several sampling points to check the validity of the assumption of homogeneity.*

*To control the validity of the assumption of steady-state flow, calculation by tracing must either be compared with an estimate of the air flow by the heat or CO<sub>2</sub> productions of the animals, or be used to calculate the heat and steam productions of the animals to check that no outliers are calculated.*

*When the flux of the tracer gas is measured, the total amount injected can be compared with the weight loss of the bottle of tracer gas.*

*When there are missing data two cumulated quantities have to be compared, calculated either by interpolating the ventilation rate, or by interpolating the emissions calculated for the steps without missing data.*