

15.1 Procédure pour la mesure des émissions d'ammoniac utilisant l'inversion d'un modèle Lagrangien stochastique (*Guidelines for backwards Lagrangian stochastic dispersion technique (bLS) for measuring ammonia emissions*)

15.1.1 Introduction (*Introduction*)

15.1.1.1 Objectif (*Objective*)

La technique bLS (inversion d'un modèle Lagrangien stochastique), qui exige des mesures à une hauteur seulement à une certaine distance sous le vent de la source, et la mesure de la concentration de fond, peut s'avérer utile pour mesurer l'émission des sources complexes. L'existence d'un logiciel commercial facilite l'utilisation facile de la technique bLS (par exemple WindTrax mentionné ci-après).

Les chambres dynamiques ou les tunnels mobiles sont employés souvent pour estimer l'émission ammoniacale d'effluents d'élevage et des engrais (Bouwman et Boumans, 2001 ; Sommer et al., 2001). Ces chambres sont utiles pour comparer l'émission d' NH_3 de traitements différents dans des conditions environnementales identiques. Cependant, les mesures de chambre ne reflètent pas nécessairement l'émission de grands systèmes en raison des modifications de l'écoulement du vent et des flux d'énergie résultant du rayonnement solaire dans la chambre.

Les techniques alternatives sont des techniques micrométéorologiques, par exemple l'Intégration Horizontale des Flux (IHF ; Denmead et al., 1977), la méthode ZINST (Wilson et al., 1982) et la méthode ZINST à hauteur réduite (Gordon et al., 1988 ; McInnes et al., 1985). Les techniques IHF et ZINST sont simples à employer mais exigent de grandes parcelles de terrain. La méthode ZINST utilisant des mesures à hauteur réduite présentée par Gordon et al. (1988) et McInnes et al. (1985) demande un équipement instrumental significatif et une bonne compréhension de la micrométéorologie pour l'interprétation des données. La technique d'inversion d'un

The bLS technique (backwards Lagrangian stochastic), which requires measurements from only one height at a distance downwind from the source, and the measurement of the background concentration, may prove useful to measure the emission from complex sources. Commercial software exists that facilitates easy use of the bLS technique (e.g. WindTrax mentioned hereafter).

Dynamic chambers or movable wind tunnels are often used to estimate NH_3 emission from animal manure and fertilizers (Bouwman and Boumans, 2001; Sommer et al., 2001). These enclosures are useful for comparing relative NH_3 emission from treatments under identical environmental conditions. However, enclosure measurements do not necessarily reflect the emission from large systems due to modifications of the wind flow and of the energy fluxes resulting from solar radiation within the enclosure.

Alternative techniques are micrometeorological techniques, i.e., the Integrated Horizontal Flux (IHF; Denmead et al., 1977), the ZINST (Wilson et al., 1982) and the reduced height of ZINST (Gordon et al., 1988; McInnes et al., 1985). The IHF and ZINST techniques are simple to use but requires large plots. The method using measurements at reduced height presented by Gordon et al. (1988) and McInnes et al. (1985) have a significant demand for instrumentation and a comprehensive understanding of micrometeorology for data interpretation. The backward Lagrangian Stochastic (bLS) dispersion technique (Flesh et al. 1995), or techniques using similar principles (Kaharabata et al., 2000), may be an alternative. User-friendly commercial

modèle Lagrangien Stochastic (bLS) de Flesch et al. (1995), ou les techniques employant les principes semblables (Kaharabata et al., 2000), peut être une alternative. Un logiciel commercial facile à utiliser permet à des utilisateurs sans connaissance excessive en micrométéorologie d'estimer l'émission d' NH_3 de petites parcelles de terrain en utilisant le flux horizontal net à une seule hauteur sous le vent de la parcelle de terrain expérimentale, ainsi que l'information météorologique.

software allows users without excessive knowledge about micrometeorology to estimate NH_3 emission from small plots using net horizontal fluxes at one height up and downwind of the experimental plot, together with meteorological information.

15.1.1.2 Domaine d'application (Scope)

Ces recommandations sont adaptées au cas des systèmes de production animale, y compris les bâtiments, les parcs d'attente et les stockages d'effluents, où la rugosité du paysage n'est pas trop élevée (par exemple plusieurs éléments perturbant l'écoulement du vent autour de la source d'émission, par exemple, des arbres, des bâtiments, avec de fortes différences de disposition selon la direction de vent), où des positions claires de conditions au-vent et sous-le-vent peuvent être définies, et pour des gaz dont on peut clairement observer la différence de concentration entre ces deux positions.

These guidelines are adapted to cases of animal production systems, including house, free-range and manure storage, where the roughness of the landscape is not too high (e.g. several wind-disturbing elements around the emitting source, e.g., trees, houses, with strong differences in arrangement depending on the wind direction), where clear locations of upwind and downwind conditions can be defined, and for gases from which the concentration difference between these two locations can be clearly observed.

15.1.1.3 Principes (Principles)

La technique bLS est une méthode inverse d'un modèle de dispersion permettant de calculer les émissions d'un traceur d'une source surfacique (Flesch et al., 2004a). Le modèle de dispersion bLS simule le transport du traceur entre une source et un site de mesure (ML), et prévoit le rapport entre la concentration moyenne du traceur et la taux d'émission, $(C/F)_{sim}$. Le taux d'émission est déduit de :

The bLS technique is an inverse-dispersion method for calculating tracer emissions from a surface area source (Flesch et al., 2004a). The bLS dispersion model simulates the transport of tracer from a source to a measurement location (ML), and predicts the ratio of the average tracer concentration to the emission rate, $(C/F)_{sim}$. The emission rate is inferred as:

$$F_{bLS} = \frac{1}{(C/F)_{sim}} \overline{X_{obs}}$$

où X_{obs} est la concentration observée (au-dessus de la concentration au vent) à la position ML.

where X_{obs} is the observed concentration (above background) at ML.

Dans notre expérience nous avons utilisé un logiciel commercial pour calculer F_{bLS} (WindTrax, Thunder Beach Scientific, Halifax, Canada). Dans ce logiciel de cartographie l'utilisateur dessine une source extérieure et positionne ML. Puis le modèle de dispersion inclus calcule des milliers de trajectoires au vent de ML. Ces trajectoires dépendent du vent moyen et des conditions de turbulence. Le rapport $(C/F)_{sim}$ est déterminé par l'intersection de ces trajectoires avec la surface (« atterrissages ») :

In our experiment we have used commercial software to calculate F_{bLS} (WindTrax, Thunder Beach Scientific, Halifax, Canada). In this mapping software the user draws a surface source and identifies ML. Then the embedded bLS dispersion model calculates thousands of trajectories upwind of ML. These trajectories will depend on the average wind and the turbulence conditions. The $(C/F)_{sim}$ is determined by the intersection of these trajectories with the surface (“touchdowns”):

2

$$\frac{C}{F_{SIM}} \uparrow \frac{1}{N} \left| \frac{2}{w_0} \right|$$

où N est le nombre total de trajectoires modélisées, w_0 est la vitesse verticale de la trajectoire au point d'atterrissage, et l'addition couvre seulement les points d'atterrissages situés dans la source. Le modèle bLS est basé sur la théorie de similitude de Monin-Obukhov (MOST). Celui-ci considère que pendant des intervalles courts (par exemple, 30 minutes) les propriétés du vent dans l'atmosphère au voisinage du sol dépendent de quatre variables : la vitesse de frottement u^* , la longueur de stabilité d'Obukhov L, la hauteur de rugosité z_0 et la direction du vent β . Dans les études où la force du vent (u) et les concentrations en NH_3 sont mesurées au centre d'une parcelle de terrain circulaire, l'utilisateur de WindTrax doit spécifier z_0 et L ainsi que u à une hauteur arbitraire (u^* est une variable interne au modèle basée sur u , z_0 , et L). Si des parcelles de terrain circulaires sont employées et si NH_3 est mesuré au centre de la parcelle, il n'y a pas besoin de mesurer la direction du vent.

where N is the total number of model trajectories, w_0 is the vertical velocity of the trajectories at touchdown, and the summation covers only touchdowns within the source. The bLS model is based on Monin-Obukhov similarity theory (MOST). This states that over short-time intervals (e.g., 30 min) the wind properties in the lower atmosphere are known from four variables: the atmospheric friction velocity u_ , the Obukhov stability length L, the surface roughness length z_0 and wind direction β . In studies where windspeed (u) and NH_3 concentrations are measured in the centre of a circular plot the WindTrax user must specify the prevailing z_0 and L together with u taken at an arbitrary height (u_* is calculated internally based on u , z_0 , and L). If circular plots are used and NH_3 measured in the centre of the plot, there is no need of measuring wind direction.*

L'exactitude de la technique de bLS a été établie pour des surfaces horizontalement homogènes et des intervalles de prélèvement de 15 à 120 minutes (Flesch et al., 1995, 2004a). Dans ces conditions on prévoit que F_{bLS} est précis à mieux que 10%. Dans les situations non-idéales, où le vent s'éloigne des conditions de la théorie MOST, des niveaux voisins de précision sont possibles (Wilson et al., 2001 ; Flesch et al., 2004b).

The accuracy of the bLS technique has been firmly established for horizontally homogeneous terrain and sampling intervals of 15 to 120 minutes (Flesch et al., 1995, 2004a). In these conditions F_{bLS} is expected to be accurate to within 10%. Even in non-ideal terrain, where the wind departs from MOST, similar levels of accuracy are possible (Wilson et al., 2001; Flesch et al., 2004b).

Alors que la technique bLS a montré sa précision en utilisant des intervalles de

While the bLS technique has been proven precise when using sampling time of 15-120 minutes, there are many situations where

prélèvement de 15 à 120 minutes, il y a beaucoup de situations où les observations à pas de temps courts ne sont pas possibles, en raison des limitations dans les techniques de mesure ou d'un manque de financements. La concentration en ammoniac est alors souvent mesurée en employant le piégeage dans des flacons d'acide ou des échantillonneurs passifs de flux, dont la plus précision est meilleure pour des intervalles de temps longs. Cependant l'utilisation de longs intervalles crée plusieurs problèmes avec les techniques micrométéorologiques. Par exemple la stabilité atmosphérique est difficile à définir pour de longues périodes. Or la stabilité a un effet important sur l'efficacité du transport atmosphérique, et par conséquent sur la valeur du rapport $(C/F)_{sim}$. Typiquement, les flux de vent et d'énergie varient fortement au cours d'une période de quelques heures ce qui amène des changements de stabilité atmosphérique, entre les conditions instables usuelles pendant le jour (c.-à-d. turbulence augmentée) et des conditions stables la nuit (turbulence supprimée). Par conséquent, l'intervalle approprié pour évaluer Eq. (2) est habituellement une heure ou moins. En général les intervalles longs de mesure sont un problème dans les méthodes de modélisation inverse, parce que la relation entre l'état atmosphérique (u^* , L et z_0) et le rapport $(C/F)_{sim}$ peut être déterminée seulement pendant des périodes stationnaires (invariance temporelle de l'atmosphère). L'hypothèse de stationarité est à la base de la théorie MOST et du modèle de dispersion bLS. Néanmoins, Sommer et al. (2005) ont prouvé que des pas de temps jusqu'à 26 heures pouvaient être employés avec une incertitude de 16-24% par rapport à la méthode IHF considérée comme méthode de référence dans le cas de petites parcelles.

short-interval observations are not possible, either because of limitations in measurement techniques or a lack of resources. Ammonia concentration is often measured using gas-washing flasks or passive flux samplers, which is most precise over a longer span of time. But using long intervals with micrometeorological techniques creates several problems. One example is the practical problem of defining atmospheric stability over long periods. In fact, stability has a dramatic effect on the effectiveness of atmospheric transport, and consequently on the value of $(C/F)_{sim}$. Wind and surface energy fluxes typically vary strongly over a timescale of a few hours and lead to corresponding changes in atmospheric stability, with unstable conditions common during the day (i.e. enhanced turbulence) and stable conditions at night (suppressed turbulence). Therefore, the proper interval for evaluating Eq. (2) is usually an hour or less. In general long measuring intervals are a problem in inverse-dispersion methods, because the relationship between atmospheric state (u^ , L and z_0) and $(C/F)_{sim}$ can be determined only for periods of stationarity (time-invariance of the atmospheric). The assumption of stationarity underlies both MOST and the bLS dispersion model. Nevertheless, Sommer et al. (2005) showed that time steps up to 26 hours could be used with an uncertainty of 16-24% compared to IHF as reference method in the case of small fields.*

15.1.2 Identification des sites émetteurs (*Identification of emission site*)

Les éléments perturbant l'écoulement du vent autour de la source d'émission, par exemple, arbres, bâtiments ou autres éléments du paysage, doivent être inclus dans la description du site car ils affectent la rugosité du paysage.

The wind-disturbing elements around the emitting source, e.g., trees, houses or other protruding landscape elements, should be included in the description of the site as they affect the roughness of the landscape.

Other sources located around the observed

D'autres sources situées autour de la source observée doivent également être décrites.

Les données météorologiques peuvent être observées sur place ou être obtenues d'une station météorologique proche du site expérimental.

source should be described.

Meteorological data can be collected on-site or obtained a meteorological station close to the experimental sites.

15.1.3 Appareillage (*equipment*)

L'équipement devrait permettre la mesure des données météorologiques et de la concentration en gaz aux pas de temps qui sont homogènes du point de vue météorologique, c'est-à-dire si le changement climatique à un pas de temps horaire, les valeurs observées intègre la variabilité temporelle pendant une heure.

De ce fait, il est recommandé d'utiliser:

- des analyseurs en continu avec un temps de réponse de plus ou moins 1 minute: analyseur optique ou photoacoustique ponctuel, analyseur à long trajet optique (type DOAS, FTIR, TDLAS, etc.)
- des échantillonneurs passifs avec analyse horaire (si les concentrations le permettent),
- des capteurs électroniques où le signal peut être enregistré donnant des moyennes horaires ou une collection au moins de 5 valeurs dans un délai d'une heure.

Les sondes météorologiques devraient inclure au moins la température, l'humidité, la vitesse du vent et la direction.

Equipment should allow the measurement of meteorological data and gas concentration at time steps that are homogeneous from the meteorological point of view, i.e. if the climate change at a hourly time step, the observed values should integrate the temporal variability during one hour .

In this last case, it is recommended to use:

- *sensors with a response time less than 1 minute: optical or photoacoustic analyzers, open path remote sensing optical analyzers (DOAS, FTIR, TDLAS, etc;)*
- *passive samplers with hourly analysis (if concentration levels are high enough),*
- *electronic sensors where the signal can be recorded giving either hourly averages or a collection of at least 5 values within one hour.*

Meteorological sensors should include at least temperature, humidity, wind speed and direction.

15.1.4 Observations (*Observations*)

La température de l'air est mesurée à 2 m et la vitesse du vent à 10m.

La stabilité et la rugosité du champ peuvent être évaluées à l'aide de WindTrax, qui demandera seulement une observation visuelle de la nébulosité et la vitesse du vent.

Il n'y a aucun besoin d'enregistreur de données si des échantillonneurs passifs de flux et des anémomètres simples (instruments à piles ou mécaniques stockant le nombre de rotations) sont utilisés pour

Air temperature is measured at 2 m and wind speed at 10 m.

Stability and roughness of the field can be assessed using WindTrax, which will only need visual observation of cloudiness and wind speed.

There is no need of data loggers if passive flux samplers and simple anemometers (battery powered or mechanical instruments storing the number of rotation) are used to generate average concentration of NH₃ and

mesurer la concentration moyenne en NH₃ et la vitesse du vent.

Sommer et al. (2005) suggèrent que, pour des parcelles de terrain ayant des dimensions inférieures à 100 m, une hauteur de mesure proche de 1 m est appropriée pour la technique bLS. Pendant les périodes où l'émission est élevée ou quand elle varie rapidement, la concentration moyenne en NH₃ et la vitesse du vent devraient être mesurées pendant des intervalles de temps plus courts.

Le flux horizontal de NH₃ moyenné en fonction du profil de vent (\overline{F}_{hor} , µg m⁻² s⁻¹) peut être mesuré avec des échantillonneurs passifs de flux (Leuning et al., 1985) placés au-vent et sous-le-vent de la source d'émission. Le flux horizontal peut être déduit de :

wind speed.

Sommer et al. (2005) suggest that for plots with dimensions of 100 m or less, a measurement height near 1 m would be appropriate for use with the bLS technique. During events of high emission or when it is supposed to vary rapidly, the mean NH₃ concentration and wind speed should be measured over shorter time intervals.

The wind weighted average horizontal flux of NH₃ (\overline{F}_{hor} , µg m⁻² s⁻¹) can be measured with passive flux samplers (Leuning et al., 1985) located upwind and downwind the emitting source. The horizontal flux can be derived from :

3

$$\overline{F}_{hor} \uparrow \frac{M}{At}$$

où M est la masse de NH₃-N absorbée (µg) par l'acide oxalique enduisant l'intérieur de l'échantillonneur passif de flux au cours de la période de prélèvement t (s), A est la section efficace de l'échantillonneur (m²). Après exposition, le revêtement de l'échantillonneur est dissous dans 0.04 L d'eau désionisée et la teneur en NH₄-N (M) est déterminée par colorimétrie au bleu d'indophénol avec un spectrophotomètre (Milton Roy, Spectronic 601, Etats-Unis).

where M is the mass of NH₃-N collected (µg) by oxalic acid coating the interior of the passive flux sampler during sampling period t (s), A is the effective cross-sectional area of the sampler (m²). After exposure, the coating is dissolved in 0.04 L deionized water and the NH₄-N content (M) determined by the indophenol blue colorimetric method and a spectrophotometer (Milton Roy, Spectronic 601, USA).

15.1.5 Contrôles et vérifications (Control and checkout)

L'attention est attirée sur le fait que, quand la hauteur de mesure diffère de manière significative de H_{zinst} (hauteur à laquelle les effets de stabilité sont faibles), de grandes erreurs dans le flux calculé sont probables lorsque l'on utilise de longs intervalles de temps pour les moyennes des concentrations, en raison de la sensibilité des résultats à la stabilité, et de la difficulté à définir les conditions de stabilité sur une longue période.

Caution is suggested, as once the measurement height significantly differs from H_{zinst} (the height where the stability effects are small), large errors in the inferred fluxes are likely when using long averaging intervals due to the sensitivity of the results to stability, and the problem of defining long-term stability.

15.1.6 Expression des résultats, calcul d'incertitude et interprétation (*Expression of results, uncertainty estimate, and interpretation*)

La réalisation d'une telle campagne nécessite de bien étudier la météorologie locale afin de correctement positionner l'analyseur en continu. Si la mesure du gaz en elle-même est relativement bien maîtrisée et peu entachée d'incertitudes, différents facteurs peuvent influencer sur la pertinence des résultats:

- la hauteur de mesure du gaz d'intérêt: il serait intéressant de réaliser les mesures à différentes hauteurs pour bien vérifier que les résultats sont concordants,
- les incertitudes liées à l'utilisation d'un modèle de dispersion: si les modèles Lagrangiens sont plus réalistes sur des échelles de distance très courtes, ils restent cependant très sensibles aux différents paramètres décrivant la stabilité de l'atmosphère.

En effet, les résultats issus de modèles de dispersion sont très sensibles à différents paramètres que l'opérateur doit définir dans les conditions du modèle: stabilité de l'atmosphère, rugosité de la surface du sol, etc. Il existe malgré tout certaines classifications pour les déterminer, telle celle proposée par Pasquill par exemple.

De manière empirique, Pasquill a mis au point un système de classification de la stabilité. Les trois paramètres météorologiques indispensables à la détermination de la classe de stabilité de l'atmosphère selon les classes de Pasquill sont la vitesse du vent, la couverture nuageuse et le flux radiatif solaire.

Ce système suppose que la stabilité dans les couches près du sol dépend de la radiation nette, image de la convection verticale, et de la vitesse du vent, image des tourbillons mécaniques. Durant la journée, l'apport solaire est mesuré par la radiation (en W/m^2), qui est ensuite catégorisée en 4 classes (forte, moyenne, modérée et faible). Celle-ci dépend de la hauteur du soleil sur l'horizon, et donc de la date et de l'heure, ainsi que de la couverture nuageuse. Pasquill a également imaginé une situation particulière correspondant à un ciel totalement couvert, c'est-à-dire lorsque la

Good knowledge of local mean meteorological conditions (mainly wind directions) is imperative for setting up such a campaign, in order to implement the dynamic analyzer at the optimal location and/or height. Gas analyzers that are now commercially available are efficient and precise. Therefore, uncertainties on gas measurements are low and are more related to:

- *height of gas sampling line: measuring at different height (2,5 or 10 meters) could allow more precision on the results,*
- *uncertainties directly generated by the model itself. Lagrangian models are designed for short distance scales (< 1000 m). Results are more realistic than when using a Gaussian model. But results provided by those models are still sensitive to the different atmospheric stability parameters or surface roughness.*

Modeling results are indeed sensitive to the different parameters defined by the operator prior to modeling, such as atmospheric stability, surface roughness, etc. Based on observations or meteorological measurements, commercially available software help defining those parameters, with the help of different classifications like the one defined by Pasquill for example.

Pasquill classification is based on three different meteorological measurement or observations: wind speed, cloud cover and sun radiative flux.

Pasquill has considered that atmospheric stability close to the ground is depending on radiative flux (corresponding to the vertical convection) and wind speed (corresponding to eddies). During the day, radiative flux (in W/m^2) is scaled in four classes: strong, medium, moderate and weak. Radiative flux is correlated with the height of the sun above the horizon (i.e. with date and time) and cloud cover.

Pasquill has also defined a specific situation where the sky is completely covered by clouds ($N = 8/8$) and two night situations, defined by

proportion N de surface de ciel couverte par les nuages vaut 1, ainsi que deux situations de nuit, mesurées uniquement par la couverture nuageuse N. La vitesse du vent, elle, est catégorisée en 7 intervalles. A chaque couple de valeur insolation (ou couverture nuageuse)/vitesse du vent correspond une des 6 classes de stabilité notée par A, B, C, D, E ou F, allant de l'instabilité à la stabilité, selon la nomenclature suivante :

- A. Extrêmement instable
- B. Instable
- C. Légèrement instable
- D. Neutre
- E. Légèrement stable
- F. Stable à extrêmement stable

Le tableau 1 résume la classification de Pasquill.

the cloud cover. Wind speed is scaled in seven classes. Based on these parameters, Pasquill has defined six atmospheric stability classes:

- A. Very unstable
- B. Moderately unstable
- C. Slightly unstable
- D. Neutral
- E. Slightly stable
- F. Moderately to very stable

| Vitesse du vent à 10 m de hauteur (m/s) | Jour Radiation globale | | | | Jour + Nuit Ciel couvert (N=1) | Nuit Couverture Nuageuse | |
|---|---------------------------|---------|---------|--------|-----------------------------------|-----------------------------|---------------------|
| | forte | moyenne | modérée | faible | | Très nuageux (N>4/8) | Peu nuageux (N<4/8) |
| < 1.5 | A | A | B | C | D | F | F |
| 1.5 – 2.5 | A | B | C | C | D | E | F |
| 2.5 – 3.5 | B | B | C | D | D | E | E |
| 3.5 – 4.5 | B | C | C | D | D | D | E |
| 4.5 – 5.5 | C | C | D | D | D | D | D |
| 5.8 – 8.0 | C | D | D | D | D | D | D |
| > 8.0 | D | D | D | D | D | D | D |

Tableau 1: Définition des six classes de stabilité selon Pasquill

Dans ce tableau :

- La radiation forte correspond à un jour d'été ensoleillé, à midi, soit une radiation supérieure à 800 W/m² sans nuage.
- La radiation moyenne correspond à des conditions de demi-saison, soit une radiation

In the previous table:

- *strong radiative flux is corresponding to a sunny summer day at noon, i.e. a radiative flux > 800 W/m² without cloud,*
- *medium radiative flux is corresponding to mid-season conditions, i.e. a mean*

moyenne de l'ordre de 500 W/m².

- La radiation modérée correspond à des conditions hivernales, soit une radiation moyenne de l'ordre de 200 W/m².

- La radiation faible correspond à un ciel couvert et une radiation moyenne inférieure à 200 W/m².

- Le nombre N correspond à la fraction du ciel couverte par les nuages (entre 0 et 1)

- La période de nuit est définie de 1 h avant le coucher du soleil jusqu'à 1 heure après le lever du soleil.

Dans ce type de classification, la vitesse du vent est censée être mesurée à 10 m d'altitude. Si la mesure a été réalisée à une autre altitude, il est toujours possible d'utiliser une formule de correction).

D'après les éléments présentés ci-dessus (qui ne représentent qu'un exemple), il apparaît clairement que la définition des paramètres décrivant la stabilité de l'atmosphère n'est pas chose aisée.

En termes d'incertitudes, il est difficile d'évaluer celles directement générées par le modèle lui-même. L'une des méthodes consisterait à multiplier les modélisations à partir de mesures autour d'une source d'émission constante. La dispersion statistique des valeurs de flux modélisées fournirait dans ce cas une première approche des incertitudes sur les résultats de modélisation.

radiative flux of about 500 W/m²,

- *moderate radiative flux is corresponding to winter conditions, i.e. a mean radiative flux of about 200 W/m²,*

- *weak radiative flux is corresponding to a cloudy sky with a mean radiative flux < 200 W/m²,*

- *N is defined as the fraction of the sky covered by clouds (in octas): N=0/8 for a clear sky, N=8/8=1 for a cloudy sky,*

- *night period is defined from 1 hour prior to dawn to 1 hour after dusk,*

- *wind speed is supposed to be measured at 10 meters.*

According to these classification, it is clear that care as to be taken when defining the atmospheric stability class and that this last is changing during the day.

In terms of uncertainties, even if softwares provide an estimation of standard deviation (based on the results obtained with the number of particles modeled), it is difficult to really assess the uncertainties generated by the model.

One solution could be running the model around a emission source with stable flux. Statistical modeled results dispersion would represent a rough estimation of model uncertainties.