

Intérêt des mesures de scintillométrie à deux niveaux pour l'estimation des flux de chaleur sensible

Jean-Pierre Lagouarde, Jean-Marc Bonnefond, Yann Kerr, John Mcaneney,
Mark Rankin Irvine

► **To cite this version:**

Jean-Pierre Lagouarde, Jean-Marc Bonnefond, Yann Kerr, John Mcaneney, Mark Rankin Irvine. Intérêt des mesures de scintillométrie à deux niveaux pour l'estimation des flux de chaleur sensible. Atelier Expérimentation et Instrumentation, Météo France. FRA., Oct 1997, Toulouse, France. hal-02770463

HAL Id: hal-02770463

<https://hal.inrae.fr/hal-02770463>

Submitted on 4 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

INTERET DES MESURES DE SCINTILLOMETRIE A DEUX NIVEAUX POUR L'ESTIMATION DES FLUX DE CHALEUR SENSIBLE

Jean-Pierre Lagouarde (1), Jean-Marc Bonnefond (1), Yann Kerr (2), John McAneney (3), Mark Irvine (1)

(1) Unité INRA de Bioclimatologie, Domaine de la Grande Ferrade BP 81, 33883 Villenave d'Ornon

(2) CESBIO, 18 av. E. Belin, 31401 Toulouse Cedex 4

(3) Horticultural Research Institute, Purerua road, PO Box 23, Kerikeri (Nouvelle-Zélande)

INTRODUCTION

Un des intérêts majeurs des techniques de scintillométrie réside dans les perspectives d'estimation directe du flux de chaleur sensible sur des parcelles composites, à l'échelle de quelques kilomètres. Il s'agit d'une méthode optique qui fournit par le biais de l'analyse des scintillations d'une source lumineuse observée à distance une information sur le paramètre de structure de l'atmosphère pour l'indice de réfraction C_N^2 . Celui-ci est directement relié au paramètre de structure pour la température C_T^2 , d'où l'on tire ensuite l'échelle de température T^* . La détermination du flux de chaleur sensible H exige de plus la connaissance de la vitesse de frottement u^* , ce qui nécessite la mise en œuvre de mesures complémentaires à celles du scintillomètre.

Plusieurs auteurs ont obtenu des résultats probants sur surface homogène en déterminant u^* à partir d'une mesure de la vitesse du vent et d'une estimation préalable de la rugosité de la surface (McAneney et al., 1995 ; De Bruin et al., 1995). Dans le but de s'affranchir des mesures locales, et de mesurer H uniquement de façon optique, Hill et al. (1992) ont utilisé deux scintillomètres placés à des hauteurs différentes. Les deux mesures de C_N^2 permettent alors de calculer u^* et T^* simultanément et d'en déduire H directement.

Dans le cas des surfaces composites, une telle méthode apparaît séduisante sur le plan pratique pour sa facilité de mise en œuvre. Elle se heurte cependant sur le plan théorique à la question non résolue à l'heure actuelle de la validité de la similitude dans ce cas : la signification de valeurs de u^* et T^* résultant de la contribution de plusieurs surfaces reste en effet à éclaircir.

Plusieurs campagnes de mesures ont été réalisées au cours de 1997 dans le but de tester l'intérêt de la combinaison de mesures de scintillométrie à deux niveaux, tant sur surfaces homogènes qu'hétérogènes. Leur dépouillement n'est pas achevé, et nous ne présenterons ici que les premiers résultats dans le cas d'une surface homogène en insistant sur leur caractère encore préliminaire.

CALCUL DU FLUX DE CHALEUR SENSIBLE

Le paramètre de structure pour la température C_T^2 est estimé à partir de la mesure du paramètre de structure pour l'indice de réfraction C_N^2 effectué par le scintillomètre selon :

$$C_T^2 = C_N^2 \left(\frac{T_a^2}{\gamma P} \right)^2 (1 + 0.03 / \beta)^2 \quad (1)$$

On négligera ici la correction parfois introduite sur le rapport de Bowen β . P désigne la pression atmosphérique, T_a la température de l'air, et $\gamma = 7.9 \cdot 10^{-7} \text{ KPa}^{-1}$

C_T^2 et T^* sont liés par la relation suivante (où z est la hauteur corrigée de la hauteur de déplacement) :

$$C_T^2 = T_*^2 z^{-2/3} f\left(\frac{z}{L}\right) \quad (2)$$

Les formulations de la fonction adimensionnelle f diffèrent selon les auteurs (De Bruin et al., 1995). Les plus utilisées sont celles de Wyngaard (1973) :

$$f\left(\frac{z}{L}\right) = 4.9 \left(1 + 7 \left|\frac{z}{L}\right|\right)^{-2/3} \quad \text{en conditions instables } (z/L \leq 0) \quad (3)$$

$$f\left(\frac{z}{L}\right) = 4.9 \left(1 + 2.4 \left|\frac{z}{L}\right|^{2/3}\right) \quad \text{en conditions stables } (z/L \geq 0) \quad (4)$$

L est la longueur de Monin-Obhukov définie par :

$$L = -\frac{T_a u_*^2}{k g T_*} \quad \text{avec } k = 0.4 \text{ et } g = 9.81 \text{ ms}^{-2} \quad (5)$$

Dans la suite, les niveaux bas et haut seront référencés 1 et 2 respectivement. La mesure des C_T^2 à ces deux niveaux permet de calculer un rapport r (d'après l'éq. 2), puis L en résolvant l'équation (7) :

$$r = \frac{f(z_1/L)}{f(z_2/L)} \quad (6) \quad \text{avec} \quad r = \frac{C_{T1}^2}{C_{T2}^2} \left(\frac{z_1}{z_2}\right)^{2/3} \quad (7)$$

Compte tenu de (3), ceci conduit en conditions instables à :

$$L = 7 \frac{z_1 r^{3/2} - z_2}{r^{3/2} - 1} \quad (8)$$

On remarque qu'étant défini par (3) et (7), r est alors supérieur à 1. Un test sur r permet ainsi de distinguer les situations de stabilité atmosphérique et d'orienter les calculs dans les programmes de dépouillement. Pour rester en cohérence avec le signe de L ($L < 0$), le numérateur de (8) doit de plus être négatif. On doit donc avoir $1 < r < (z_2/z_1)^{2/3}$

En conditions stables (4) implique:

$$L = \left[2.4 \frac{r z_2^{2/3} - z_1^{2/3}}{1 - r} \right]^{3/2} \quad \text{avec } (z_1/z_2)^{2/3} < r < 1 \quad (9)$$

L'application de (2) à l'un quelconque des niveaux permet ensuite dans tous les cas de calculer T_* . Puis u_* est tiré de l'expression (5) de L . H est enfin donné par $H = \rho c_p u_* T_*$

En conditions de convection libre, à la suite de Kohsiek (1982), De Bruin et al. (1995) proposent d'utiliser la formulation suivante avec $b = 0.57$:

$$H = \rho c_p b z \left(\frac{g}{T_a}\right)^{1/2} (C_T^2)^{3/4} \quad (10)$$

DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Les mesures ont été menées à Audenge (Gironde) sur une portion de 25 ha environ d'un champ circulaire irrigué par pivot central, laissée en jachère. La végétation était constituée de trèfle et de quelques

graminées d'une hauteur de l'ordre de 15 cm. La parcelle était bordée de cultures basses du côté des vents dominants (haricots au Nord, maïs jeune à l'Est) et d'une forêt de pins ailleurs (voir figure 1). La longueur du trajet optique était de 262 m.

Les scintillomètres utilisés ont été construits par l'équipe néo-zélandaise du Hort Research Institute de Kerikeri. Il s'agit de scintillomètres à large ouverture (15 cm) fonctionnant à $0.93 \mu\text{m}$ (avec une modulation de 7 kHz). On en trouvera une description détaillée dans McAneney et al. (1994). Ils délivrent une tension de sortie U (en volts, $U < 0$) reliée au paramètre de structure par $C_N^2 = 10^{(-12+U)}$ et ne nécessitent en théorie aucun étalonnage. Une précaution destinée à éviter les interférences entre les scintillomètres sur le terrain a consisté à placer un récepteur de chaque côté du trajet. Un mât de mesures de référence situé à mi-trajet rassemblait un anémomètre sonique 3D Gill R3, un hygromètre rapide krypton Campbell CA 27 (tous deux placés à 1.92 m de hauteur) ainsi qu'un pyrromètre fournissant le rayonnement net.

L'anémomètre sonique 3D permet de calculer C_N^2 de la façon suivante : les mesures directes de la vitesse de frottement et du flux de chaleur sensible permettent de calculer l'échelle de température T^* . Le paramètre de structure pour la température est fourni par les équations (2), (3) et (4). On passe enfin à C_N^2 par la formule (1) dans laquelle la correction (minime) liée au rapport de Bowen est ici prise en compte, le flux de chaleur latente étant fourni l'hygromètre krypton. Toutes les mesures ont été intégrées sur des pas de temps de 15 minutes.

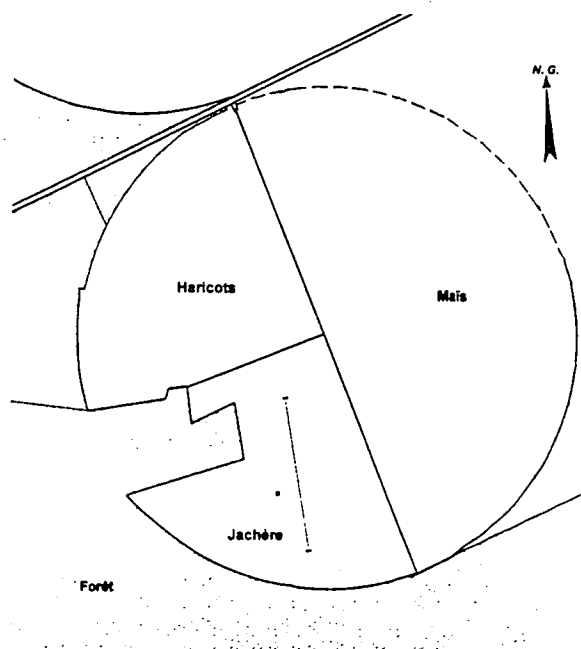


Figure 1 : schéma du site expérimental (le trait au milieu de la jachère figure approximativement la position des scintillomètres, la croix celle de la station micrométéorologique de référence).

Dans un premier temps les deux scintillomètres ont été placés à une même hauteur de 1.92 m pour être inter-comparés et étalonnés par rapport au sonique 3D. Les résultats de l'inter-comparaison sont très satisfaisants (figure 2) malgré une légère dispersion et un très léger biais pour les valeurs les plus élevées de C_N^2 (correspondant aux flux les plus forts en milieu de journée). La comparaison avec les valeurs de C_N^2 mesurées par l'anémomètre sonique fait en revanche apparaître une sous-estimation systématique des scintillomètres d'un facteur voisin de 2.2 (figure 3). Cet écart reste inexpliqué pour le moment ; on peut simplement mentionner qu'une comparaison avec un autre jeu d'instruments (provenant du Département de Météorologie de l'Université de Wageningen) effectuée ultérieurement semble confirmer le fait. Ce point devra être éclairci en procédant à un étalonnage de l'électronique du système. Il n'affecte cependant pas notre démarche, les C_N^2 aux deux niveaux intervenant par leur rapport (voir équations 1 et 7).

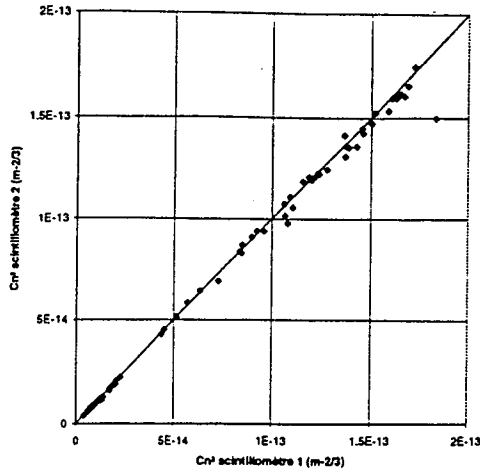


Figure 2 : intercomparaison des 2 scintillomètres utilisés.

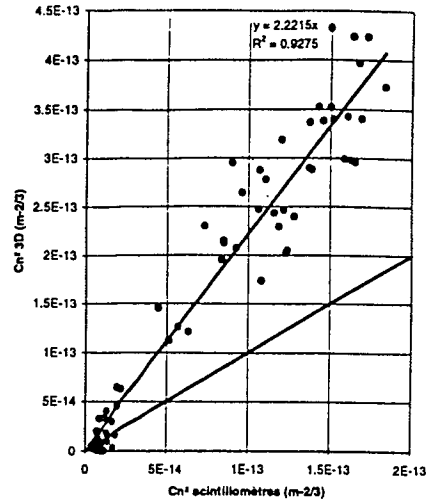


Figure 3 : Comparaison des C_N^2 mesurés par les scintillomètres et au moyen de l'anémomètre sonique 3D.

RESULTATS

La campagne de mesures s'étant terminée très récemment (fin septembre 1997), seules deux journées (les 27 et 28 mai 1997, jours 147 et 148) ont été partiellement analysées. Les scintillomètres étaient alors placés à 1.55 et 3.45 m de hauteur, le niveau de référence restant inchangé. On trouvera sur la figure 4 une comparaison entre les valeurs de z/L issues de la scintillométrie et des mesures 3D de référence. Les comparaisons entre les valeurs de u^* et T^* sont présentées sur les figures 5 et 6. Dans tous les cas malgré une tendance à se rassembler autour de la droite 1:1, certains points présentent une dispersion parfois très importante. Signalons que certains d'entre eux sont hors des échelles retenues et ne sont pas représentés. La journée 147 semble la plus affectée par ces problèmes. Pour celle-ci le calcul de H s'est même révélé impossible pour plusieurs pas de temps, les valeurs de r mesurées (voir équation 7) dépassant le seuil limite de $(z_2/z_1)^{2/3}$ évoqué ci-dessus. Les deux journées présentent la plupart du temps des conditions d'instabilité modérée ($-1 < z/L < 0$), avec des vitesses de vent comprises entre 1.5 et 4 ms^{-1} , mais se différencient par la direction du vent (W-SW pour la première, N-NE pour la seconde). Ces difficultés peuvent être attribuées à des problèmes conjoints de précision des mesures et de sensibilité des équations mises en jeu. En effet en conditions proches de la stabilité, r est voisin de 1, L devient très grand, entraînant en cela des valeurs aberrantes de u^* (cf. eq. 5). En conditions très instables, r est proche de $(z_2/z_1)^{2/3}$ et L tend vers 0 (eq. 8) de même que $f(z/L)$ (eq. 3), d'où des estimations excessives de T^* (eq.2).

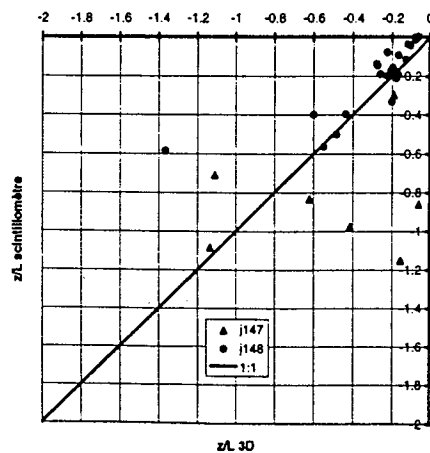


Figure 4 : Comparaison des valeurs de z/L issues de la scintillométrie et des mesures 3D

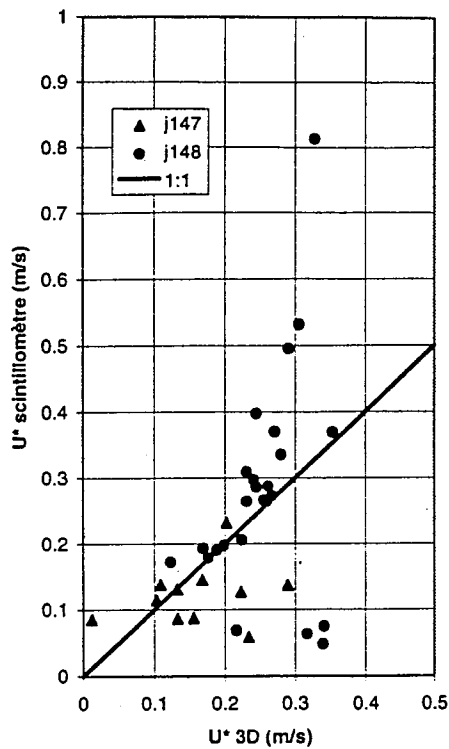


Figure 5 : idem figure 4 pour u^*

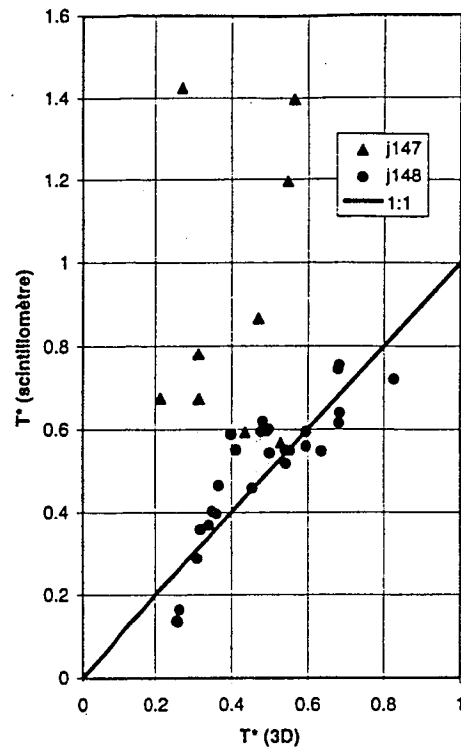


Figure 6 : idem figure 4 pour T^*

Les résultats sont plus satisfaisants pour le flux H calculé à partir des mesures de scintillométrie aux deux niveaux (figure 7). Les points erronés s'expliquent par l'incertitude sur la détermination de u^* et T^* évoquée ci-dessus : c'est en particulier le cas des trois points figurant en bas de la figure 7 qui correspondent à des conditions proches de la neutralité ($r = 1$). De plus, bien que les conditions ne correspondent pas à des cas de convection libre pure, nous avons testé la formulation (10) pour chacun des niveaux indépendamment (figure 8). Tous les pas de temps sont ici exploitables, et malgré une dispersion importante des résultats (avec un écart systématique entre les niveaux haut et bas le jour 148) un accord global peut être observé.

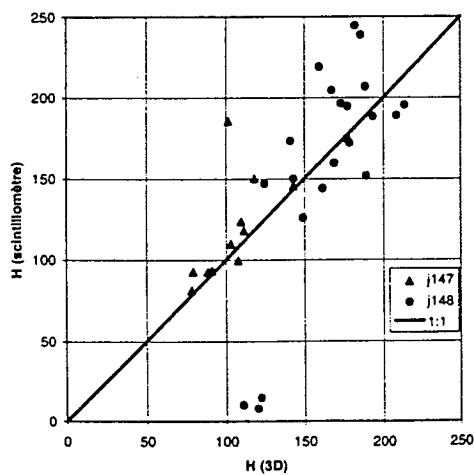


Figure 7 : Comparaison du flux H calculé à partir des mesures de scintillométrie à 2 niveaux et du flux H issu des mesures soniques 3D.

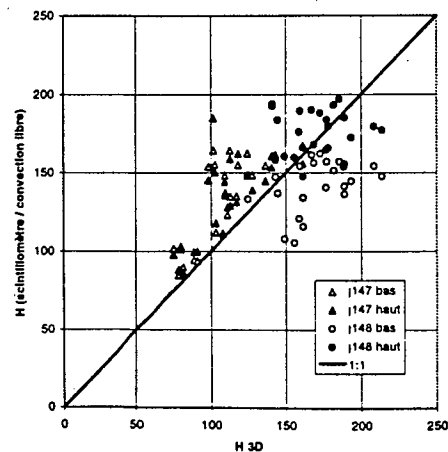


Figure 8 : Comparaison du flux H estimé par scintillométrie à partir de l'éq. (10) et du flux H issu des mesures soniques 3D.

La qualité de ces premiers résultats partiels diffère donc considérablement selon que l'on s'intéresse à u^* et T^* ou au flux H . Hill et al. (1992) mentionnent le même type de problèmes qu'ils attribuent dans leur cas à des configurations de direction de vent et à des 'fetch' plus ou moins favorables. Ils évoquent également une précision insuffisante des mesures par scintillométrie. Green et al. (1997) ont combiné des mesures optiques effectuées avec deux scintillomètres, l'un à laser, l'autre à large ouverture et aboutissent à des conclusions analogues : si la méthode leur paraît robuste pour l'estimation de H , elle se révèle encore à l'heure actuelle de qualité assez médiocre pour celle de u^* .

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Des problèmes expérimentaux pourraient expliquer en partie les difficultés rencontrées dans l'interprétation des premiers résultats : calibration des instruments utilisés, problèmes de 'fetch'. C'est ainsi que les mesures du jour 147 avec un vent de dominante S pourraient être affectées par la forêt présente autour de la parcelle - voir figure 1. Malgré une distance aux bords de la parcelle toujours supérieure à 150 m, la hauteur du niveau supérieur de mesure pourrait aussi s'avérer critique en certaines occasions. Ces points seront très prochainement analysés en détail sur le jeu de données complet acquis au cours de l'été 1997 (une quinzaine de journées disponibles au total), et dans des conditions plus favorables et mieux contrôlées. En particulier l'utilisation d'un second jeu de scintillomètres (provenant du Département de Météorologie de l'Université de Wageningen / Pays Bas) devrait lever les doutes sur les incertitudes liées à l'étalonnage des appareils précédemment mis en œuvre. Par ailleurs, les mesures ont été effectuées avec un niveau supérieur abaissé à 2.5 m et en procédant à des mesures simultanées au moyen d'anémomètres soniques 3D à chacun des niveaux, ceci devant permettre de vérifier que l'on se place bien dans la couche limite de surface.

Remerciements : Les auteurs remercient M. Alain Le Neillon qui a mis à leur disposition la parcelle expérimentale.

REFERENCES

- De Bruin H.A.R., Van Den Hurk B.J.J.M., Kohsiek W., 1995 : The scintillation method tested over a dry wineyard area. *Boundary-Layer Meteorol.*, 76, 25-40.
- Green A.E., McAneney K.J., Lagouarde J.P., 1997 : Sensible heat and momentum flux measurement with an optical inner scale meter. *Agric. For. Meteorol.*, 85, 259-267.
- Hill R.J., Ochs G.R., Wilson J.J., 1992 : Surface-layer fluxes measured using the C_T^2 -profile method. *J. of Atmospheric and Oceanic Technology*, 9, 5, 526-537.
- Kohsiek W., 1982 : Measuring C_T^2 , C_Q^2 and C_{TQ} in the unstable surface layer, and relations to the vertical fluxes of heat and moisture. *Boundary-Layer Meteorol.*, 24, 89-107.
- McAneney K.J., Green A.E., Astill M.S., 1995 : Large-aperture scintillometry : the homogeneous case. *Agric. For. Meteorol.*, 76, 149-162.
- Wyngaard J.C., 1973 : On surface-layer turbulence. Workshop on Micrometeorology, Denver, Colorado, Amer. Meteor. Soc., 101-149.