



HAL
open science

Flux de surface en parcellaire hétérogène : test de la méthode des scintillations

Jean-Pierre Lagouarde, John Mcaneney

► **To cite this version:**

Jean-Pierre Lagouarde, John Mcaneney. Flux de surface en parcellaire hétérogène : test de la méthode des scintillations. Atelier de Modélisation de l'Atmosphère, Météo France, Nov 1994, Toulouse, France. hal-02773012

HAL Id: hal-02773012

<https://hal.inrae.fr/hal-02773012>

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.

FLUX DE SURFACE EN PARCELLAIRE HETEROGENE: TEST DE LA METHODE DES SCINTILLATIONS

J.P. Lagouarde ⁽¹⁾, K.J. McAneney ⁽²⁾

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

(2) HFRI, Kerikeri Research Centre, PO Box 23, Kerikeri, bay of Islands, Nouvelle-Zélande.

1 INTRODUCTION

La mise au point de méthodes -basées en particulier sur les données de télédétection- destinées à évaluer les flux de surface à l'échelle régionale requiert, à des fins de validation, des mesures fiables de flux à la même échelle. A l'heure actuelle, les méthodes expérimentales d'intégration spatiale reposent principalement sur deux démarches. La première consiste à multiplier sur un même site les mesures micrométéorologiques classiques de flux et d'en réaliser une pondération tenant compte de l'occupation du sol. Mais le grand nombre de stations de mesures nécessaire, ainsi que leur suivi, rend difficile la mise en oeuvre pratique de la méthode, et la limite à des expériences de durée limitée, telles que les périodes d'observations intensives (POI) des campagnes HAPEX ou EFEDA. La seconde méthode réside dans l'utilisation des mesures directes fournies par les avions instrumentés pour la technique des fluctuations (King Air / NCAR et ARAT pour les expériences HAPEX-MOBILHY et HAPEX-SAHÉL, Falcon 20/DLR lors de l'expérience EFEDA...). Bien adaptée à des échelles de quelques dizaines à quelques centaines de kilomètres, cette méthode ne permet pas d'obtenir des mesures à une échelle inférieure à 5 km (en raison des temps d'intégration imposés par l'analyse de la turbulence). De plus la mise en oeuvre de moyens aéroportés (et leur coût d'opération) est incompatible avec des objectifs de suivi temporel continu sur de longues périodes.

La mise en oeuvre de la méthode des scintillations -encore peu utilisée- est susceptible d'offrir une alternative intéressante pour mesurer le flux de chaleur sensible et en réaliser une intégration directe sur des distances allant de quelques centaines de mètres à quelques kilomètres. Le nombre d'instruments existant à l'heure actuelle est très réduit. On peut citer les travaux du Wave Propagation Laboratory de la NOAA à Boulder, Colorado (Ting-i et al., 1978; Ochs et Cartwright, 1980). Plus récemment, Thiermann et Grassl (1992) ont développé un instrument. Tunick et al. (1994) font également référence à un scintillomètre. A notre connaissance, un seul instrument est commercialisé en Europe (SCINTEC). Enfin le laboratoire de Kérikéri du HFRI (Horticultural and Food Research Institute, Nouvelle-Zélande) vient de développer successivement 2 appareils (Green et al., 1994; McAneney et al., 1995).

Nous avons réalisé au cours de l'été 1994 une campagne de mesures destinée à évaluer l'intérêt de cette méthode. Ce travail a été soutenu par le programme ATOM et s'est déroulé en collaboration avec le laboratoire du HFRI précité.

2 PRINCIPE DE LA METHODE

2.1 L'appareil utilisé

A la suite d'un scintillomètre à diode laser (Green et al., 1994), l'équipe du HFRI à Kerikeri vient de développer un appareil dit "à faisceau large". Le faisceau provient de l'émission d'une diode photo-émettrice GaAs réfléchiée par un miroir concave de 15 cm de diamètre. Le maximum d'émission se situe autour de 0.93 μm . L'émission est modulée à une fréquence de 7 kHz, ce qui permet de la différencier

du rayonnement ambiant. Le signal est capté au niveau du récepteur par un dispositif symétrique (miroir et diode photo réceptrice). Un filtre étroit (60 nm) permet de sélectionner la fréquence de 0.95 μm . Enfin des lunettes de visée solidaires de l'émetteur et du récepteur facilitent l'alignement. Par rapport au scintillomètre à diode laser, le nouvel instrument présente l'avantage de pouvoir fonctionner sur des distances beaucoup plus longues (plusieurs kilomètres) et d'être moins sensible aux problèmes d'alignement. L'appareil a subi des tests de validation en Nouvelle-Zélande sur une surface homogène (prairie naturelle). Les caractéristiques de l'instrument, ainsi que les résultats de la validation sont présentés dans McAneney et al. (1995).

2.2 Equations utilisées en vue d'estimer le flux de chaleur sensible

La méthode est basée sur l'analyse des fluctuations que subit un faisceau lumineux (et qui apparaissent pour un observateur comme des scintillations de la source) sous l'effet des fluctuations de l'indice de réfraction de l'air le long du trajet optique. La variance du logarithme de l'intensité des perturbations ($\sigma^2_{\ln I}$) subies par une onde sphérique émise à partir d'un point source (émetteur) est reliée à un paramètre de structure de l'indice de réfraction C^2_N (Tatarskii, 1993).

La mesure de ce paramètre par scintillométrie permet d'estimer le paramètre de structure de température C^2_T . D'après Weseley (1976):

$$C^2_T = C^2_N (T_a^2 / \gamma p_a)^2 (1 + 0.03 / \beta)^2 \quad (1)$$

où T_a et p_a désignent la température moyenne et la pression de l'air. γ est l'indice de réfraction de l'air ($7.9 \times 10^{-7} \text{ kPa}^{-1}$), β est le rapport de Bowen, rapport entre le flux de chaleur sensible H et le flux de chaleur latente LE . β n'intervient qu'en tant que terme correctif dans (1). Une estimation de LE suffisante consiste à prendre $LE = R_n - S - H$. Ceci requiert donc une mesure complémentaire du rayonnement net R_n et du flux de conduction S .

C^2_T est relié à l'échelle de température T_* par (Panofsky et Dutton, 1984; Hill et al., 1992):

$$T_*^2 = C^2_T z^{2/3} / f(z/L) \quad (2)$$

où z est la hauteur corrigée de la hauteur de déplacement, et L la longueur de Monin-Obukhov:

$$L = \rho c_p T_a u_*^3 / k g H \quad (3)$$

k est la constante de Von Karman ($k=0.4$), g l'accélération de la pesanteur (9.81 m s^{-2}), et u_* la vitesse de frottement. Dans notre cas cette dernière est calculée à partir de la vitesse du vent U mesurée au niveau du scintillomètre et d'une estimation de la rugosité z_0 de la surface:

$$u_* = k U / [\text{Log}(z/z_0) - \Psi_m(z/L)] \quad (4)$$

Ψ_m est la fonction classique de stabilité atmosphérique. Le flux de chaleur sensible H est enfin fourni par:

$$H = \rho c_p u_* T_* \quad (5)$$

H figurant implicitement dans l'équation (2) par le biais de la longueur de Monin-Obukhov, un calcul itératif est nécessaire. La convergence est rapide et le test peut se faire sur L .

3 DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Le but visé était d'abord d'effectuer des mesures complémentaires de validation sur une surface homogène, puis d'évaluer les possibilités d'intégration spatiale du flux de chaleur sensible dans le cas simple d'une surface composite de 2 couverts végétaux. Le site choisi se situe à Saucats, à environ 25 km au Sud de Bordeaux, au milieu d'une clairière de très grandes dimensions (5 x 5 km) ouverte au milieu de la forêt landaise. Nous avons choisi une zone composée uniquement de maïs (cultivé sur des champs circulaires de 400 à 650 m de rayon irrigués par pivot) voisinant avec des surfaces non irriguées laissées en jachère. Ce choix devait nous garantir des contrastes hydriques importants: malheureusement un nappe phréatique anormalement haute (liée à la forte pluviométrie de l'hiver et du printemps précédents) et de nombreux orages ont réduit le contraste attendu. L'expérience s'est déroulée en 3 phases:

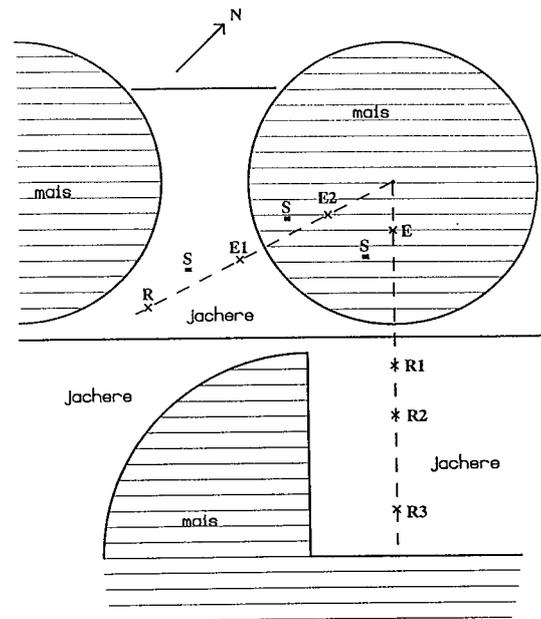


Figure 1: Implantation du dispositif expérimental. E et R désignent les positions de l'émetteur et du récepteur dans les différentes configurations de mesure, et S l'emplacement des stations de référence. R-E₁-E₂: phases 1 et 2 de l'expérience. E-R₁-R₂-R₃: phase 3 (Juillet- Août)

- **phase 1:** 3 journées de mesure (28, 30 et 31 Mai 1994) ont été faites sur jachère, sur une distance émetteur-récepteur de 260 m, dans un but de validation. La jachère est couverte d'une fétuque cultivée. Celle-ci présente une végétation assez couvrante (taux de couverture de 70% estimé à l'oeil) et dense jusqu'à une trentaine de cm de hauteur. Les tiges des graminées présentent une densité faible et atteignent une hauteur oscillant entre 0.8 et 1.1 m. Le scintillomètre est placé à 2.5 m de hauteur.

- **phase 2:** 6 journées de mesure (5, 6, 7, 9, 10 et 13 Juin 1994) sur une surface composite incluant 300 m de jachère et 300 m de maïs. Les rangs de maïs sont orientés NE-SO, et leur espacement est de 80 cm. Pendant la période considérée, la hauteur du maïs est passée de 45 à 80 cm environ, et est donc restée voisine de celle de la jachère. Là encore, le scintillomètre est à 2.5 m de hauteur. L'irrigation du pivot a débuté le 12 Juin, ce qui n'a permis d'avoir un bon contraste hydrique que pour cette date.

- **phase 3:** elle s'est déroulée en Juillet - Août 1994 sur une surface composite maïs - jachère. Les 2 couverts présentaient alors des caractéristiques très différentes, le maïs atteignant une hauteur de 3.3 m. La hauteur de mesure est ici de 5.6 m. Plusieurs configurations de mesure ont été testées sur des trajets comportant 300 m de maïs et une portion variable de jachère (de 150m à 600m). De plus 2 journées ont

été consacrées à tester certaines caractéristiques de l'instrument (en particulier les fonctions de pondération des flux le long du trajet optique).

L'interprétation des ces mesures est actuellement en cours. Nous ne présenterons ici que les résultats préliminaires obtenus à l'issue des phases 1 et 2.

La figure 1 présente l'implantation du dispositif expérimental. Les mesures de référence de flux étaient faites en même temps sur chaque surface par la méthode des fluctuations (en mettant en oeuvre un anémomètre sonore Campbell 1D CA27, et un hygromètre krypton KH_2O Campbell), ainsi que par la méthode aérodynamique (au moyen de stations micrométéorologiques à 2 niveaux de mesure). Le rayonnement net était mesuré sur chacun des sites (pyrradiomètres Swissteco), ainsi que la température de l'air et la vitesse du vent à la hauteur du scintillomètre. Enfin, des spectres de vitesse verticale du vent ont été acquis dans le but d'obtenir des valeurs indépendantes de u^* par la méthode dissipative, permettant une estimation des longueurs de rugosité.

4 RESULTATS PRELIMINAIRES

La figure 2 présente un exemple de comparaison entre le flux de chaleur sensible mesuré par la méthode des scintillations, H_{scin} , et la méthode aérodynamique, $H_{\text{aéro}}$, sur jachère, sur un trajet optique de 257 m. Une hauteur de déplacement de 45 cm a été introduite; cette valeur a été déterminée par calage du flux de chaleur sensible issu de la méthode aérodynamique sur le flux mesuré par la méthode des fluctuations. Les mesures de spectres n'ayant pas encore été dépouillées, diverses hypothèses de valeurs de rugosité ont été testées. Le meilleur accord est obtenu pour $z_0 = 5$ cm.

Avant l'irrigation du 12 juin, les flux sur le maïs et la jachère restent du même ordre de grandeur (voir figure 3). Dans ces conditions, et puisque les caractéristiques de hauteur des 2 types de végétation diffèrent peu, on peut considérer les 5 premiers jours de la phase 2 (5 - 10 Juin) comme faisant partie de l'étape de validation de l'instrument. La hauteur de déplacement nécessaire aux calculs est la moyenne de celle des 2 surfaces (45 cm pour la jachère comme précédemment, et 0.7 fois la hauteur moyenne de la végétation pour le maïs): elle varie ainsi de 39 cm (le 5 Juin) à 51 cm (le 10 Juin).

Les figures 4 à 8 présentent la comparaison entre H_{scin} et $H_{\text{aéro}}$ pour les données disponibles du 5 au 10 Juin, pour différentes valeurs de la rugosité. Les calculs ont été faits sur une gamme de rugosité allant de 2 à 11 cm. Sur chaque figure, on présente les résultats correspondant aux 3 valeurs de rugosité qui permettent sur cette gamme le meilleur accord. Ce dernier est globalement satisfaisant. Une analyse plus poussée des données est nécessaire (ré-examen des données pour élimination éventuelle de pas de temps affectés par des problèmes instrumentaux, comparaison des valeurs de rugosité assurant le meilleur accord avec les valeurs tirées de l'analyse des spectres...). Les valeurs de rugosité qui assurent la meilleure concordance sont d'un ordre de grandeur cohérent avec les valeurs des hauteurs de déplacement: si l'on s'en tient aux relations classiques $d \approx 0.7 h_c$ et $z_0 \approx 0.13 h_c$ (h_c étant la hauteur du couvert), on obtient $z_0 = 8$ cm pour une hauteur moyenne de déplacement $d = 45$ cm. Les variations temporelles de z_0 restent pour le moment inexplicables (effet de l'orientation du vent par rapport aux rangs de maïs?).

La figure 9 rassemble l'ensemble des 5 journées précédentes, les calculs étant cette fois effectués avec une valeur de z_0 imposée par l'évolution de la hauteur du couvert, selon les formules précédentes. Si l'on excepte la journée du 7 Juin, l'accord est tout à fait satisfaisant. Le manque de mesures en conditions de stress hydrique important ne permet pas à l'heure actuelle d'évaluer la validité et précision de la méthode des scintillations, par manque de fortes valeurs du flux de chaleur sensible, mais aussi de contrastes marqués entre les deux surfaces.

La figure 10 correspond à la même configuration (600 m de trajet optique, avec une égale proportion de maïs et de jachère), mais après une irrigation du maïs permettant d'obtenir un contraste hydrique entre les 2 surfaces. La différence maximum de flux de chaleur sensible atteint 150 w m^{-2} en milieu d'après-midi. L'accord là aussi est bon et illustre les potentialités de la méthode des scintillations dans le cas d'une surface composite présentant des contrastes d'état hydrique sans différences trop marquées de structure.

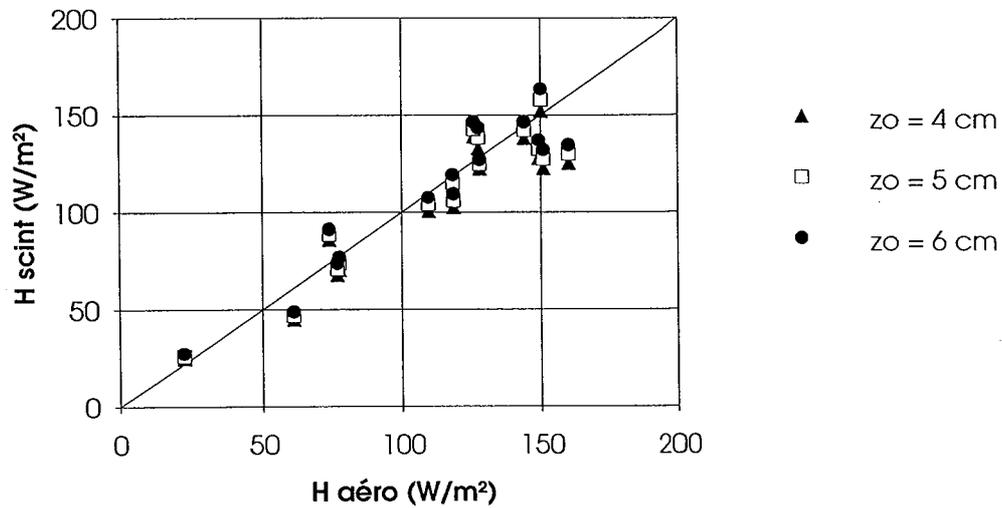


Figure 2: Comparaison du flux H obtenu par la méthode des scintillations et par la méthode aérodynamique (mesure sur 257 m de jachère), 31 Mai 1994.

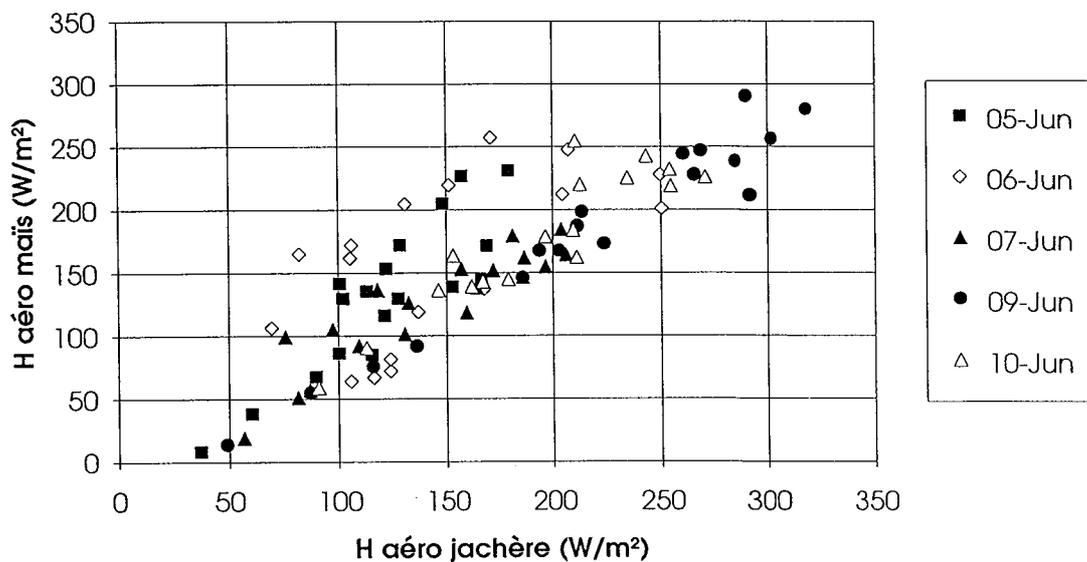


Figure 3: Comparaison des flux de chaleur sensible obtenus par la méthode aérodynamique sur jachère et maïs pour la période du 5 au 10 Juin 1994.

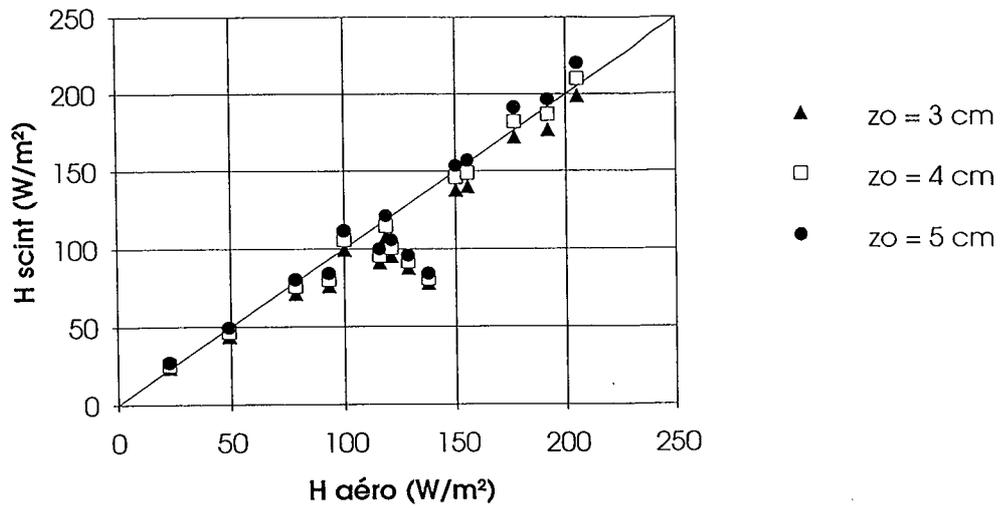


Figure 4: Comparaison du flux H obtenu par la méthode des scintillations et par la méthode aérodynamique (mesure sur surface composite de 300 m de jachère et 300 de maïs), le 5 Juin 1994.

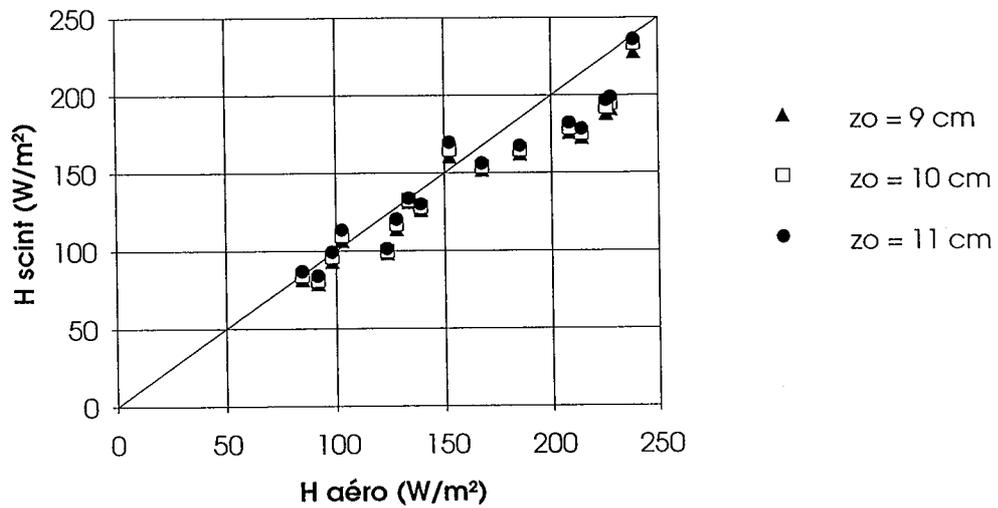


Figure 5: idem fig.4, le 6 Juin 1994

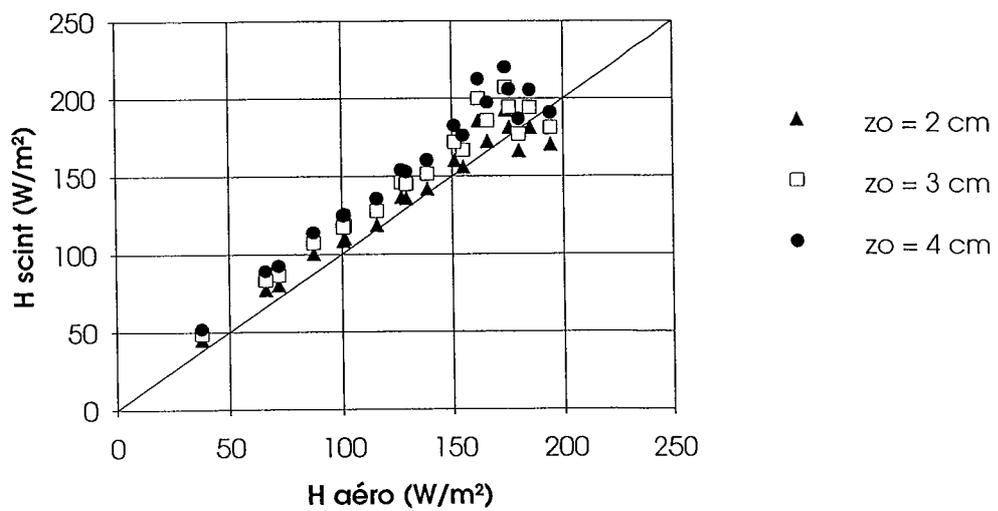


Figure 6: idem fig.4, le 7 Juin 1994

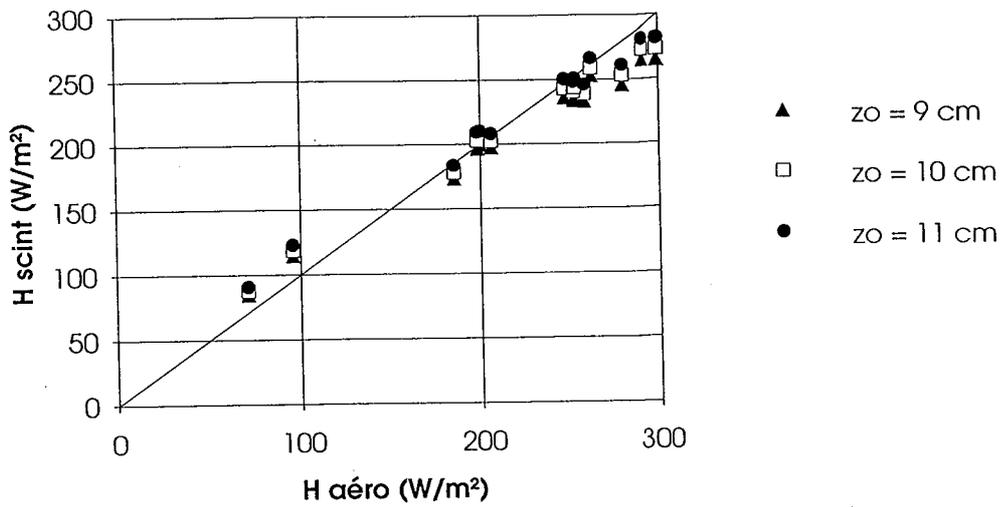


Figure 7: idem fig.4, le 9 Juin 1994

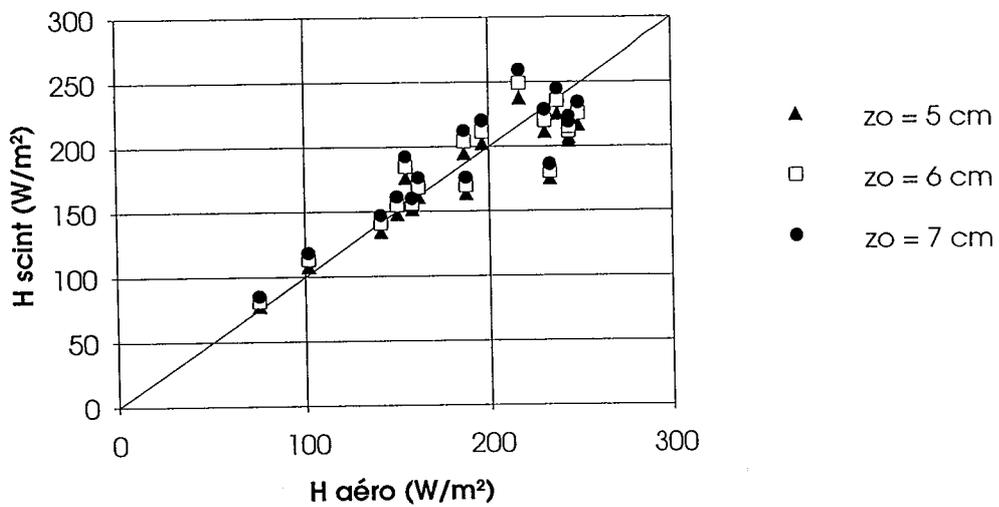


Figure 8: idem fig.4, le 10 Juin 1994

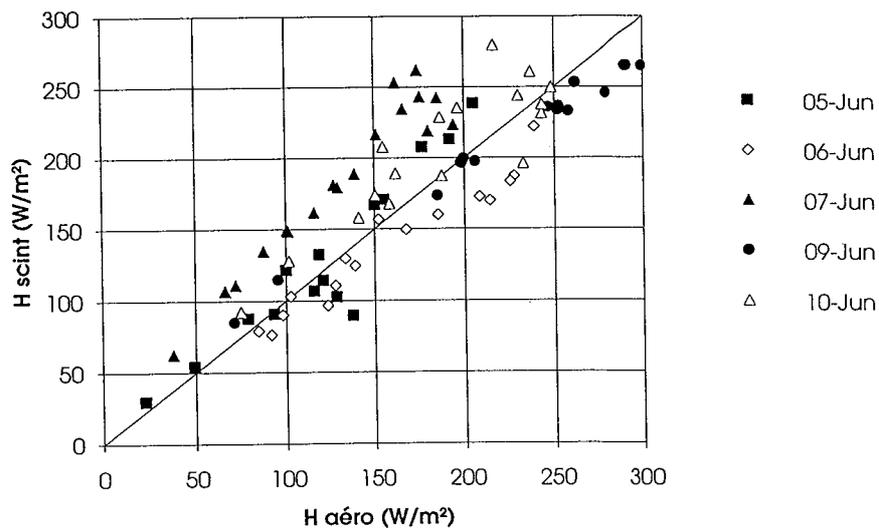


Figure 9: idem fig.4, pour la période du 5 au 10 Juin. La rugosité et la hauteur de déplacement varient chaque jour pour tenir compte de la croissance du maïs. Les calculs sont faits avec les valeurs (7, 39 cm), (8, 41 cm), (8, 43 cm), (9, 47 cm) et (9, 49 cm) de z_0 et d respectivement pour les 5 journées.

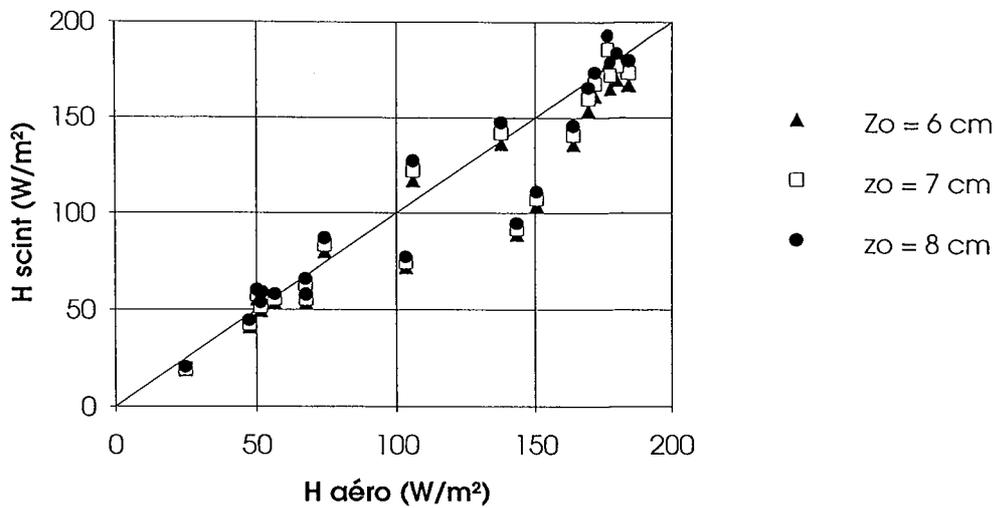


Figure 10: idem fig.4, le 13 Juin 1994

5 CONCLUSION

Ces premiers résultats confirment l'intérêt de la méthode des scintillations dans les cas relativement homogènes. Les deux couverts de maïs et jachère avaient en effet approximativement la même hauteur: la détermination a priori des caractéristiques aérodynamiques moyennes ne pose pas ici de problème majeur. L'interprétation des données acquises en Juillet-Août sur des surfaces composites présentant de très grosses différences de hauteur -et d'état hydrique- nous confrontera au problème crucial de cette détermination. Cette étude est un préalable indispensable à la mise en oeuvre opérationnelle de la méthode des scintillations.

Remerciements:

Ce travail est soutenu par le PATOM. Nous remercions Mrs Marsaux (Domaine de la Jalousie) et Cottavoz (Domaine de la Lagune Vinatière) qui ont mis à notre disposition leurs terrains pour la réalisation de l'expérience. Les auteurs remercient également J.M. Bonnefond et A. Kruszewski (INRA) pour leur appui, ainsi que A. Green (HFRI).

6 REFERENCES

- Green A.E., McAnaney K.J., Astill M.S., 1994: Surface-layer scintillation measurements of daytime sensible heat and momentum fluxes. *Boundary-Layer Meteor.* (à paraître).
- Hill R.J., Ochs G.R., Wilson J.J., 1992: Measuring surface-layer fluxes of heat and momentum using optical scintillation. *Boundary-layer Meteor.*, 58, 391-408.
- McAnaney K.J., Green A.E., Astill M.S., 1995: A large-aperture scintillometer: theory of operation and field test. *Soumis à Agric. For. Meteor.*
- Ochs G.R., Cartwright W.D., 1980: Optical system model IV for space-averaging wind and C_n^2 measurements. NOAA Technical Memorandum ERL WPL-52. 31p.
- Ting-i W., Ochs G.R., Clifford S.F., 1978: A saturation-resistant optical scintillometer to measure C_n^2 . *J. Opt. Soc. Am.*, 68, 3, 334-338.
- Thiermann V., Grassl H., 1992: The measurement of turbulent surface-layer fluxes by use of bichromatic scintillation. *Boundary-layer Meteor.*, 58, 367-389.
- Tunick A., Rachele H., Hansen F.V., Howell T.A., Steiner J.L., Schneider A.D., Evett S.R., 1994: REBAL'92 - A cooperative radiation and energy balance fields study for imagery and electromagnetic propagation. *Bull. Am. Meteor. Soc.*, 75, 3, 421-430.
- Panofsky H.A., Dutton J.A., 1984: Atmospheric turbulence, models and methods for engineering applications. John Wiley & Sons, New York. 397p.
- Tatarskii V.I., Ishimaru A., Zavorotny V.U., 1993: Wave propagation in random media (scintillation). Co-publié par SPIE-The International Soc. for Optical Engineering, et Institute of Physics Publishing.
- Wesely M.L., 1976: The combined effect of temperature and humidity fluctuations on refractive index. *J. Appl. Meteor.*, 15, 43-49.