

MESURE DE LA DYNAMIQUE DE LIBERATION, DE LA DISPERSION ET DU DEPOT DE POLLEN DE MAÏS EN AVAL D'UNE PARCELLE DE MAÏS PAR DES METHODES MICROMETEOROLOGIQUES

MEASUREMENT OF THE DYNAMICS OF RELEASE, DISPERSAL AND DEPOSITION OF MAIZE POLLEN DOWNWIND FROM A FIELD BY MICROMETEOROLOGICAL METHODS

B. LOUBET⁽¹⁾, N. JAROSZ⁽¹⁾, B. DURAND⁽¹⁾, X. FOUILLASSAR⁽²⁾, L. HUBER⁽¹⁾

(1) INRA, UMR-EGC, équipe atmosphère, BP 01, 78850 Thiverval-Grignon

(2) AGPM, route de Pau, 64121 Montardon

RESUME

Le transport atmosphérique du pollen est un mécanisme important de la dispersion de gènes dans l'environnement, en particulier pour des plantes comme le maïs. Les mécanismes physiques sous-jacents à la libération, la dispersion par le vent et le dépôt du pollen de maïs ont été peu étudiés par le passé. Dans cette étude, nous présentons les résultats d'une expérimentation menée par l'INRA (UMR-EGC) et l'AGPM en juillet 2000 à proximité de Montargis, au sud de Paris. Les concentrations dans l'air, les flux horizontaux ainsi que les dépôts de pollen ont été mesurés à plusieurs distances (x) en aval d'une parcelle expérimentale de maïs de 20 m × 20 m, située au milieu d'une parcelle de sol nu de 120 m de coté. En parallèle, les conditions micrométéorologiques (vent, température, humidité, rayonnement,...), ainsi que la production de pollen par les plantes ont été mesurées, afin d'interpréter les flux et concentrations et d'avoir les données nécessaires pour valider le modèle SMOP-2D. La concentration en pollen dans l'air mesurée avec des « rotorods » variait entre 1 et

210 grains m⁻³. En utilisant une méthode de bilan de masse, qui combine la concentration en pollen et la vitesse du vent, nous avons estimé le flux horizontal de pollen entre 0 et 5 m de hauteur. Ce flux variait entre 10 et 480 grains m⁻² s⁻¹ à x = 3 m et 3 et 210 grains m⁻² s⁻¹ à x = 10 m. Le flux total de pollen émis par la parcelle a été estimé à partir du flux à 3 m comme étant compris entre 2×10⁷ et 8×10⁸ grains jours⁻¹, ce qui est à peu près d'un ordre de grandeur plus petit que la production de pollen par les plantes. Le dépôt de pollen estimé comme la différence entre les flux horizontaux entre x = 3 m et x = 10 m (défaut de bilan) variait de 10 à 270 grains m⁻¹ s⁻¹. Le dépôt estimé à partir de pièges placés sur le sol est très comparable aux estimations par défaut de bilan. Nos estimations indiquent que la quantité de pollen déposée entre x = 1 m et x = 32 m varie entre 28% et 90% de la quantité émise. Le jeu de données recueilli servira, avec d'autres jeux de données similaires obtenues en 2001, à la validation du modèle SMOP-2D).

SUMMARY

The atmospheric transport of pollen is an important mechanism of gene dispersal in the environment, especially for plants such as maize. The physical mechanisms underlying the release, the wind-dispersal and the deposition of maize pollen were little studied in the past. In this study, we present the results of an experimentation carried out by the INRA and the AGPM in July 2000 near Montargis, in the south of Paris, France. The airborne concentrations, the horizontal fluxes as well as the deposition rates of pollen were measured at several distances (x) downstream from a 20 m × 20 m experimental maize plot, located in the middle of a bare soil field of 120 m. The micrometeorological conditions (wind, temperature, moisture, radiation...), as well as the production of pollen by the plants were measured, in order to interpret the fluxes and concentrations and to have the necessary data to validate the SMOP-2D model. The airborne pollen concentration measured with "rotorods" (rotating impactors) varied between 1 and 210 grains m⁻³. By using a mass-balance method,

which combines the concentration in pollen and the wind-speed, we have evaluated the horizontal flux of pollen between 0 and 5 m high. This flux varied between 10 and 480 grains m⁻² s⁻¹ at x = 3 m and 3 and 210 grains m⁻² s⁻¹ at x = 10 m. The total flux of pollen emitted by the maize field was evaluated at x = 3 m as lying between 2×10⁷ and 8×10⁸ grains days⁻¹, which is smaller than the production of pollen by the plants. The deposition of pollen evaluated as the difference between the horizontal fluxes at x = 3 m and x = 10 m () varied from 10 to 270 grains m⁻² s⁻¹. The deposition evaluated from cups placed on the ground is very comparable to these estimations by mass balance. Our evaluations indicate that the quantity of pollen deposited between x = 1 m and x = 32 m varies between 28% and 90% of the emitted quantity. The data file collected has been used, along with other similar data files obtained in 2001, for the validation of the SMOP-2D model.

INTRODUCTION

Les études expérimentales et de modélisation sur la dispersion de pollen de maïs se sont principalement basées jusqu'à aujourd'hui sur la mesure de la fécondation de plantes cibles par des plantes « contaminatrices » (Lavigne *et al.*, 1998). Ces études sont d'un grand intérêt car elles permettent de réaliser des modèles opérationnels donnant la contamination de parcelles entières en intégrant plus ou moins de paramètres de l'environnement (Klein *et al.*, 2003). Ces modèles ont notamment vocation à être utilisés comme outils d'aide à la décision dans le choix de distances d'isolement. Toutefois, ces modèles statistiques ont des capacités prédictives limitées aux conditions expérimentales rencontrées lors des essais de validation (climat, hétérogénéité du paysage). Par ailleurs, le fait qu'ils soient basés sur des données intégrées dans le temps sur un cycle végétatif rend difficile la prise en compte de cette variabilité, et notamment d'évènements rares (coups de vent, ...). Afin de mieux appréhender les effets de la variabilité climatique et de l'hétérogénéité du paysage sur la dispersion de pollen de maïs, nous avons développé une approche alternative basée sur la modélisation mécaniste des processus de libération, dispersion et dépôt du pollen. Le modèle SMOP-2D (Stochastic lagrangian MOdel for Pollen dispersion and deposition in two dimensions) a été développé dans ce but. Il permet de déterminer la quantité de pollen émis d'une plante source qui se dépose sur les soies d'une plante cible, à partir de données météorologiques standard (pas de temps d'une heure), et dans des conditions hétérogènes (Jarosz *et al.*, 2004, Loubet *et al.*, 2006). Le modèle devrait permettre, une fois validé sur un jeu de donnée réduit, d'extrapoler les simulations à des situations plus complexes avec un certain degré de confiance. Dans cet exposé, nous présentons les résultats d'une expérimentation, où la concentration atmosphérique et le dépôt de pollen ont été mesurés en aval d'une parcelle de maïs de 20 m × 20 m sur des périodes de 2 h. Les conditions micrométéorologiques (vent, température, humidité, rayonnement, ...) ont également été mesurées afin d'interpréter les résultats et d'acquérir les données nécessaires à la validation du modèle SMOP-2D. Des systèmes de mesure spécifique ont été développés et testés à l'occasion de cette expérimentation.

MATERIEL ET METHODES

Le dispositif expérimental schématisé sur la *Figure 1* a été mis en place près de Montargis (prox. Paris) en juillet 2000. Une parcelle de maïs de 20 m × 20 m (source) était entourée d'une bande de sol nu de 50 m de large, elle-même au centre d'une parcelle de maïs d'à peu près six hectares.

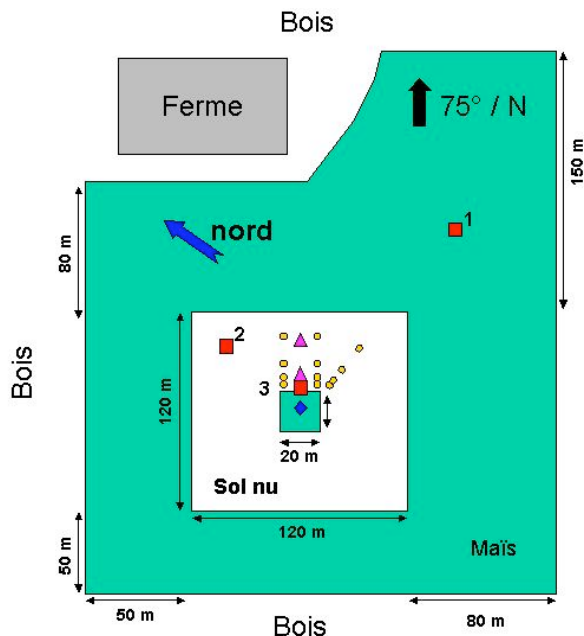


Figure 1. Schéma du dispositif expérimental. Les carrés indiquent les anémomètres soniques (turbulence), le losange les mesures météorologiques (humidité, température, vent, humectation) et la mesure de dynamique de concentration (Burkard), les triangles indiquent les mâts de bilan-masse (mesure de concentration et de vitesse du vent), les cercles indiquent les mesures de dépôt de pollen. Les mâts de bilan-masse et les mesures de dépôts ont été déplacés afin de les maintenir en aval de la source (d'après Jarosz et al., 2003).

Des mesures météorologiques standard (température, humidité de l'air, rayonnement) étaient réalisées au sein de la parcelle source, ainsi que la mesure de la concentration en pollen dans l'air sur un pas de temps de 15 à 30 min à l'aide d'un Burkard. En aval de la source, dans la bande de sol nu, le dépôt de pollen était mesuré entre 1 m et 32 m à l'aide de pots remplis d'isoton. Deux mâts de « bilan de masse », étaient placés à 3 et 10 m en aval de la source et permettaient de mesurer la concentration en pollen (rotorods) et la vitesse de l'air à 5 hauteurs. Les mesures de dépôt et de bilan de masse étaient réalisées sur un pas de temps de 2 heures.

RESULTATS

La *Figure 2* montre la dynamique journalière de la concentration moyenne dans l'air au sein de la source, mesurée à l'aide d'un Burkard. Ce graphique met en évidence la variabilité journalière des émissions qui, d'une manière générale, démarrent vers 8h, et se finissent vers 16h (heure solaire). Cette dynamique journalière semble être en partie corrélée à la présence de rosée sur les feuilles, qui expliquerait notamment l'anomalie observée le trois août.

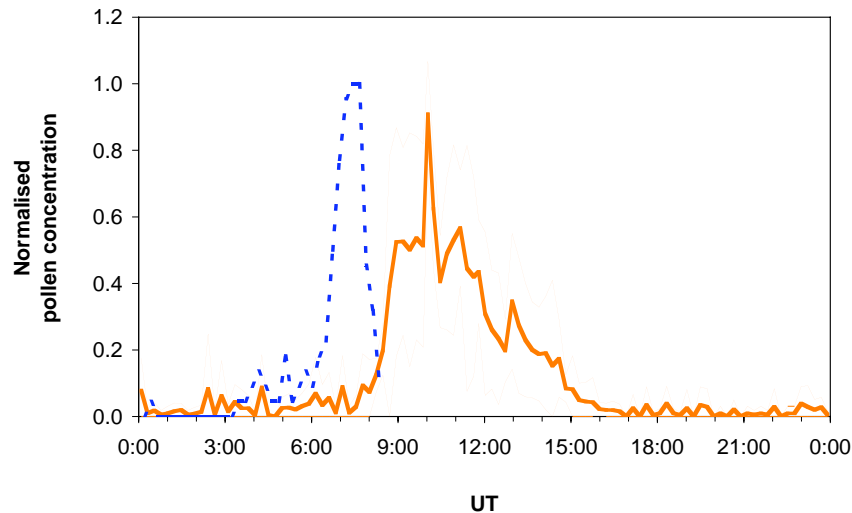


Figure 2. Évolution journalière de la moyenne quart-horaire de concentration en pollen dans l'air au-dessus de la parcelle source, normalisée par la concentration journalière maximale. La courbe en gras représente la moyenne calculée sur 5 jours (29/07, 30/07, 1/08 2/08), et la courbe en trait fin représente l'écart type. La courbe en trait pointillé indique quant à elle la concentration mesurée le 3/08, qui présente un pic d'émission plus tôt le matin. Noter que les heures sont données en heure solaire.

La Figure 3 montre les profils verticaux de concentration de pollen dans l'air mesurés à $x = 3$ m et $x = 10$ m en aval de la source. On voit que la concentration à $x = 10$ m est de l'ordre de 2 à 4 fois plus faible qu'à $x = 3$ m, et que les profils présentent un maximum toujours en dessous de 2 m de hauteur.

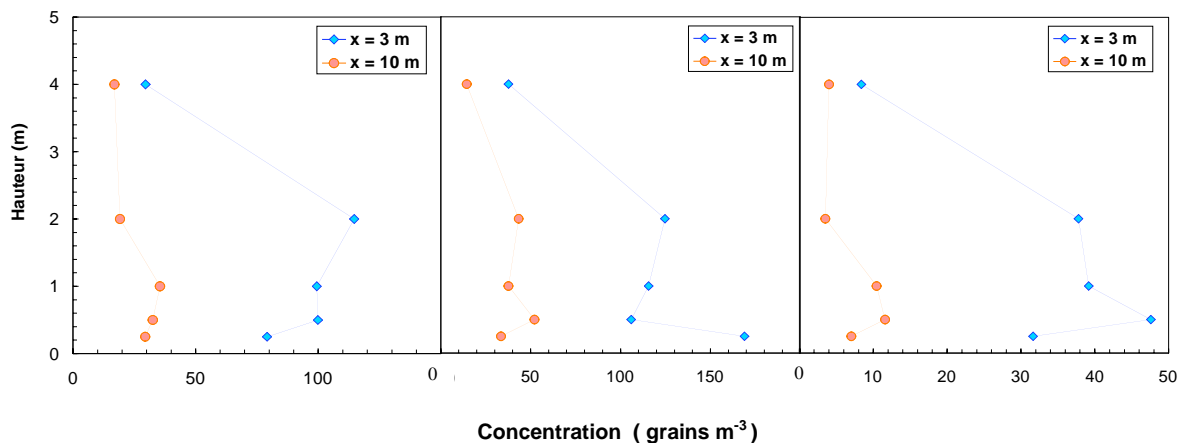


Figure 3. Profils verticaux de concentration en pollen dans l'air mesurés à $x = 3$ m et $x = 10$ m en aval de la source à l'aide de rotorods. Trois séries de mesures sur 2 heures chacune sont représentées. (D'après Jarosz et al., 2003).

En multipliant la concentration (Figure 3), par la vitesse du vent, il est possible d'estimer le flux de grains de pollen à travers le plan de chaque échelle. Pour les séries de la Figure 3, celui-ci varie entre 5 et 100 grains $m^{-2} s^{-1}$. En intégrant ces flux sur la hauteur des mâts, on obtient une estimation de l'émission de grains par la parcelle source qui varie entre 2×10^7 et 8×10^8 grains jours $^{-1}$.

La Figure 4 montre le dépôt de grains de pollen en fonction de la distance à la parcelle source. Ce dépôt est maximum dans les 5 premiers mètres en aval de la source et diminue fortement pour se stabiliser entre 16 et 32 m. Les quantités déposées varient entre quelques grains $m^{-2} s^{-1}$ et plus de 100 grains $m^{-2} s^{-1}$. Les quantités déposées entre $x = 3$ m et $x = 10$ m, en aval de la source sont cohérentes avec les estimations obtenues par défaut de bilan masse.

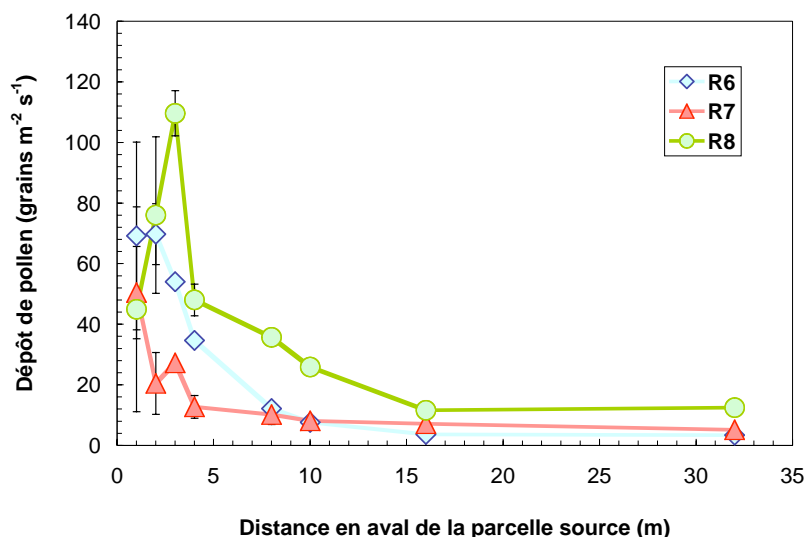


Figure 4. Dépôts de pollen de maïs en fonction de la distance à la source pour les trois mêmes périodes que la Figure 3. Les barres d'erreur représentent l'écart type sur trois répétitions. Les dépôts sont mesurés à l'aide de pots remplis d'isoton placés à 25 cm du sol.

CONCLUSIONS - PERSPECTIVES

Les mesures obtenues lors de cette campagne expérimentale ont démontré la faisabilité et l'intérêt des méthodes micrométéorologiques dans l'étude de la dispersion du pollen de maïs et de sa dynamique d'émission. Ces méthodes ont permis d'estimer les quantités émises par la parcelle expérimentale et celles déposées entre 1 et 32 m en aval qui varient entre 28% et 90% des premières. Toutefois, ces estimations sont à relativiser, étant donné la taille de la source (20 m × 20 m). Une expérimentation similaire a été réalisée en 2001 sur une parcelle identique permettant l'acquisition d'un jeu de données plus complet qui permettra de valider le modèle SMOP-2D. Après avoir étudié sa sensibilité, des études de scénarios pourront être réalisées, qui permettront notamment d'étudier la contamination de parcelles de maïs semence par du maïs consommation dans des paysages hétérogènes. En parallèle, la vitesse de sédimentation de différents pollens et leur viabilité seront étudiées expérimentalement afin de compléter le paramétrage du modèle SMOP-2D.

REFERENCES

- Klein, E. K., Lavigne, C., Foueillassar, X., Gouyon, P. H., Laredo, C. 2003. Corn pollen dispersal: Quasi-mechanistic models and field experiments. *Ecol. Mon.* 73, 1, 131-150
- Jarosz, N., Loubet, B., Huber, L. 2004. Modelling airborne concentration and deposition rate of maize pollen. *Atmos. Environ.* 38, 33, 5555-5566
- Jarosz, N., Loubet, B., Durand, B., McCartney, A., Foueillassar, X., Huber, L. 2003. Field measurements of airborne concentration and deposition rate of maize pollen. *Agric. Forest Meteorol.* 119, 37-51.
- Lavigne C., Klein E., Vallée P., Pierre J., Godelle B., Renard M., 1998. A pollen dispersal experiment with transgenic oilseed rape. Estimation of the average pollen dispersal of an individual plant within a field. *Theor. appl. Gen.*, 96, 886-896.
- Loubet, B., P. Cellier, C. Milford, and S. M. A. 2006. A coupled dispersion and exchange model for short-range dry deposition of atmospheric ammonia. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 132:1733-1763.