

EFFET D'UNE DISCONTINUITÉ DU COUVERT VÉGÉTAL SUR LA DISPERSION DU POLLEN DE MAÏS

IMPACT OF A DISCONTINUITY IN THE CANOPY ON THE DISPERSAL OF CORN POLLEN

E. KLEIN⁽¹⁻²⁾, C. LAVIGNE⁽²⁾, X. FOUPELLASSAR⁽³⁾, C. LAREDO⁽⁴⁾, P.H. GOUYON⁽²⁾

(1) UMR 518 INRA INA P-G, 16, rue Claude Bernard, 75231 Paris cedex 05

(2) Laboratoire ESE, CNRS/Université Paris-Sud, UMR 8079, Bât 362, 91405 Orsay cedex

(3) AGPM, route de Pau, 64121 Montardon

(4) INRA, Unité de Biométrie, Domaine de Vilvert, 78352 Jouy-en-Josas cedex

RESUME

Des expérimentations réalisées en 1998 par l'AGPM ont permis de mesurer la dispersion efficace du pollen de maïs en conditions climatiques réelles en utilisant une parcelle de plantes contenant un marqueur dominant (ici une coloration en bleu du grain) située au sein d'un champ de plantes ne contenant pas le marqueur. Ces expérimentations, accompagnées d'une modélisation mécaniste de la fonction de dispersion du pollen, avaient permis d'ajuster des modèles de dispersion sur les données observées (Klein, 2000 ; Klein et al., 2003). Il est alors possible de réaliser des prédictions de taux de pollinisations croisées entre deux parcelles de maïs sur la base de ces résultats (Angevin et al., 2001). Cependant, tout ce travail a été réalisé en milieu continu (c'est-à-dire pour un champ entièrement couvert de maïs) et il est très probable qu'une discontinuité du couvert végétal implique une modification de la fonction de dispersion pour cette espèce. La

dispersion est en effet anémophile et la structure des écoulements d'air est fondamentalement différente à l'intérieur d'une parcelle de maïs et en dehors de celle-ci. Des expérimentations ont donc été réalisées en 1999 et 2000 pour mesurer la dispersion du pollen de maïs en présence d'une discontinuité du couvert végétal et pour vérifier dans quelle mesure celle-ci est effectivement différente de la dispersion en milieu continu.

Nous présentons, dans une première partie, les résultats des expérimentations de 2000, conduites dans deux champs de maïs avec deux types de discontinuités du couvert végétal (tournesol ou trèfle). Dans une seconde partie, nous présentons quelques prédictions réalisées pour ces expérimentations en utilisant les modèles ajustés sur des données de dispersion en milieu continu ainsi que des données météorologiques acquises indépendamment.

SUMMARY

Modelling of pollen dispersal appears necessary to assess the impact of transgenic crops in agro-ecosystems. Indeed pollen dispersal is a major component of gene flow and will therefore determine both cross-pollination levels between fields and from fields to potential related species. Numerous pollen dispersal experiments have therefore been published in the last ten years.

Published pollen dispersal experiments on corn are seldom (Bateman (1947) reanalysed by Tufto et al. (1997), Klein et al. (2003)). For our part, the AGPM (a French technical institute of corn) performed a first experiment on corn in 1998 to measure its efficient pollen dispersal. The experimental design was a central plot of blue grain corn surrounded by classical yellow corn. The development of quasi-mechanistic dispersal models made it possible to derive individual dispersal functions

from the results of these experiments (Klein et al. 2003). The knowledge of such a function makes it possible to predict cross-pollination rates between two adjacent corn fields (Angevin et al. 2001; Lavigne et al. 1996, Lavigne et al. 1998; Tufto et al. 1997). However, these models were developed for a continuous corn canopy (the all area modelled is covered with corn plants) and it is probable that discontinuities in the canopy will result in modifications of the individual dispersal function. Indeed, corn is wind pollinated and air movement differs within and outside fields (McCartney 1997; Wilson et al. 1982).

Two experiments were therefore performed in 2000 to measure pollen dispersal over a discontinuity in the canopy and results were compared to expected dispersal patterns over a continuous canopy to estimate the impact of such a discontinuity on efficient dispersal.

EXPERIMENTATION

Matériel et méthode

Deux champs de 180 m x 120 m ont servi de base pour les expérimentations dans la région de Montargis. Au sein de chacun de ces champs, il a été semé une parcelle de 20 m x 20 m de maïs homozygote pour la coloration du grain en bleu (*Figure 2*). Ce marqueur se comporte comme un allèle dominant et s'exprime dans le grain après la fécondation. Autour de ces parcelles, un espace sans maïs (d'une profondeur de 50 m dans le sens du vent et de 30 m dans le sens contraire) a été mis en place et semé en trèfle dans la première expérimentation et en tournesol dans la seconde. Le reste du champ a été semé avec un maïs à grains jaunes de la même variété.

Au moment de la récolte du maïs, un échantillonnage d'épis a été réalisé dans le maïs jaune des deux champs et la proportion de grains bleus sur chacun de ces épis a été mesurée. Chaque grain bleu sur un épi atteste d'une fécondation par du pollen issu de la parcelle centrale. Les épis ont été échantillonnés sur un maillage régulier de pas 2 m x 1,6 m, représentant 8195 épis (approximativement 3,5 millions de grains) sur le premier champ et 5351 épis (approximativement 2 millions de grains) sur le second. Pour avoir une image plus fine de la pénétration du pollen de maïs dans les premiers mètres d'un champ, un second échantillonnage avec un pas de 0.45 m x 1.6 m a été réalisé dans la bordure face à la parcelle de maïs bleu (990 épis dans les 5 premiers mètres de bordure pour le premier champ et 1216 épis dans les 7 premiers mètres pour le deuxième champ).

Une équipe de bioclimatologie (Loubet *et al.*, dans ce document) ayant mis en œuvre des expérimentations dans le premier champ (trèfle), nous disposons également de données météorologiques et en particulier des vitesses et directions du vent sur la base d'une mesure tous les quarts d'heure entre le 6 juillet et le 2 août (*Figure 1*).

La dynamique de floraison a été suivie tout au long de la saison de dispersion dans les deux champs en mesurant, à la fois, les proportions de panicules émettant du pollen chaque jour (par comptage direct d'un échantillon de plantes choisies dans la parcelle) et les quantités de pollen émises par chaque panicule au cours de sa floraison (par pochage quotidien d'un échantillon de panicules et comptage des grains de pollen recueillis dans les poches).

RESULTATS

Les données de dynamique de floraison ont montré que l'essentiel de la dispersion du pollen s'est déroulé entre le 26 juillet et le 2 août dans le champ contenant une discontinuité en trèfle, et entre le 1 et le 12 août dans le champ contenant une discontinuité en tournesol (données non présentées). Les

données de météo se rapportant à cette période montrent qu'un vent de SW/W a prédominé entre le 23 juillet et le 2/ août. Un vent plus fort (1,3 m/s en moyenne) a soufflé pendant la période du 17 au 22 juillet par rapport à celui de la période du 23 juillet au 2/ août (0.53 m/s en moyenne). Les données n'ont pas été relevées pour le champ contenant du tournesol.

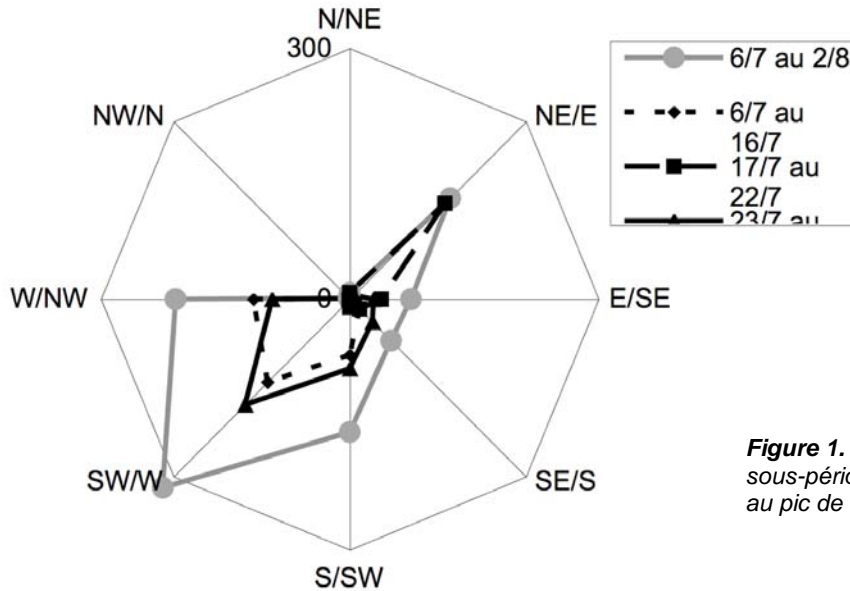


Figure 1. Directions du vent pour trois sous-périodes, la dernière correspondant au pic de floraison (champ avec trèfle)

Le motif de dispersion observé dans les champs contenant du trèfle (*Figure 2*) confirme la direction principale du vent avec des zones plus "contaminées" au nord-est de la parcelle source du pollen contenant le marqueur de coloration. On observe une "contamination" au sud-ouest de la parcelle source dans le champ contenant du tournesol ; il est probable, de toute façon, que les données météorologiques disponibles ne sont pas valables pour ce champ. On constate que la plupart des grains bleus ont été observés dans les bordures de la discontinuité et essentiellement dans les quelques premiers mètres (*Figure 3*) avec des taux de pollinisations croisées de l'ordre de quelques pour-cents dans le premier mètre et dans la direction du vent. Des événements de dispersion de pollen contenant le marqueur ont néanmoins été observés à toutes les distances et dans toutes les directions : on observe des grains bleus en bordure de dispositif, c'est-à-dire à plus de 130 m de la parcelle de maïs bleu. Globalement, la zone rectangulaire de 80 x 120 m face à la parcelle bleue présente un "taux de pollution" de l'ordre de 0,2 % (0,17 % pour le premier champ et 0,19 % pour le second, voir *Tableau 1*). Les "taux de pollution" semblent donc assez peu différents entre les deux types de discontinuités (trèfle et tournesol) dans cette zone. En revanche, la bordure de la discontinuité est plus polluée dans le cas d'une discontinuité emplie de trèfle par rapport au cas du tournesol (0.77 % contre 0.55 % dans les 5 premiers mètres de bordure, *Tableau 1*).

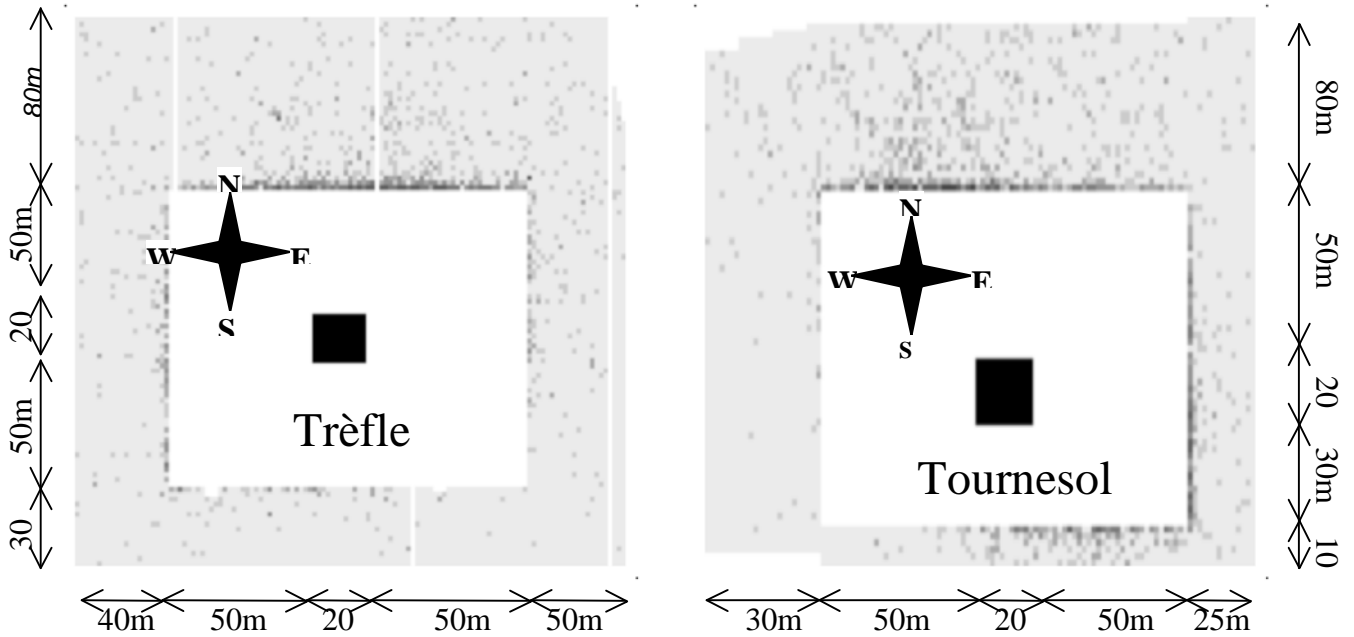


Figure 2. Proportions de grains bleus observés sur les épis échantillonnés dans les deux champs expérimentaux. La parcelle de maïs bleu est représentée en noir au centre du dispositif, la discontinuité couverte de tournesol ou de trèfle est représentée en blanc. L'échelle de couleur utilisée est la même que celle de la Figure 3.

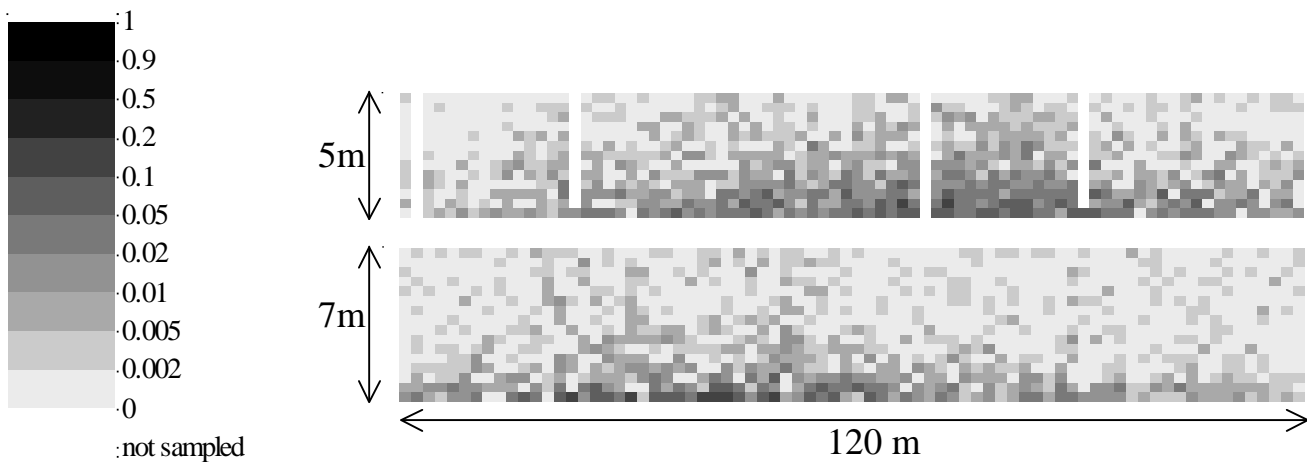


Figure 3. Proportions de grains bleus observés sur les épis échantillonnés dans la bordure face à la parcelle de maïs bleu pour les deux champs (en haut : champ contenant une discontinuité de trèfle ; en bas : champ contenant une discontinuité de tournesol).

Proportion de grains bleus	1 ^{er} champ (trèfle)	2 ^{ème} champ (tournesol)	Prédiction (vent de SW/W)	Prédiction (vents de SW/W puis d'E/NE)
Dans les 80 x 120 m face à la parcelle bleue	0,17 %	0,19 %	0,10 %	0,05 %
Dans les 5 x 120 m face à la parcelle bleue	0,77 %	0,53 %	0,19 %	0,10 %

Tableau 1. Proportions de grains bleus observées et prédites pour deux zones similaires dans les deux champs.

PREDICTIONS

Simulations réalisées

Dans un premier temps, des prédictions des taux de pollinisations croisées ont été réalisées en utilisant la fonction de dispersion individuelle de pollen ajustée sur les données de l'expérimentation de 1998 réalisée en milieu continu, avec la même variété de maïs et dans la même commune (Klein *et al.*, 2003). Nous avons prédit les proportions de grains bleus en chaque point du dispositif en prenant en compte la position de l'ensemble des plantes émettrices de pollen contenant ou non le marqueur. Deux prédictions ont été réalisées : la première en considérant que l'ensemble des grains de pollen ont été dispersés dans un vent de Ouest/Sud-Ouest conformément aux données météorologiques relevées ; la seconde en considérant que la moitié des grains de pollen ont été dispersés dans un vent de Ouest/Sud-Ouest (et la moitié des fécondations ont eu lieu dans ce contexte) et que l'autre moitié des grains de pollen ont été dispersés dans un vent d'Est/Nord-Est (un certain vent d'Est/Nord-Est étant nécessaire pour expliquer la dispersion observée dans le tournesol).

Dans un second temps, des prédictions ont été réalisées en réduisant progressivement la taille de la discontinuité (dans la direction du vent uniquement) afin de chercher quel dispositif continu aurait conduit à des taux de pollution équivalents à ceux observés. Les prédictions réalisées correspondent donc effectivement à des dispositifs dans lesquels les discontinuités sont semées en plantes mâles-stériles.

RESULTATS

Les prédictions sont nettement en dessous des taux de pollinisations croisées effectivement observés (*Tableau 1*) tout en étant globalement dans les mêmes ordres de grandeur sur l'ensemble de la parcelle. Les taux de pollution dans la bordure en face de la parcelle marquée mettent particulièrement en évidence la sous-estimation du modèle.

Les modifications progressives du dispositif simulé conduisent à conclure que 10 m de discontinuité (en particulier emplie de tournesol) équivalent à 2,4 m de plantes mâles-stériles. En effet, avec une distance de 12 m de plantes mâles-stériles (au lieu de 50 m de tournesol ou trèfle) entre la parcelle de maïs bleu et la parcelle de maïs jaune, le modèle prédit des taux de pollution sous le vent de 0.19 % et 0.54 % dans les 80 x 120 m et 5 x 120 m face à la parcelle, valeurs proches de celles observées (*Tableau 1*). Cependant, bien que les taux de pollution soient comparables, la répartition spatiale de cette pollution reste relativement mal prédite (*Figure 4*). En particulier, cette manière de modéliser la discontinuité ne permet pas de prédire la "forte" pollution dans les tout premiers mètres de bordure et le grand "étalement" spatial de la dispersion à plus longue distance.

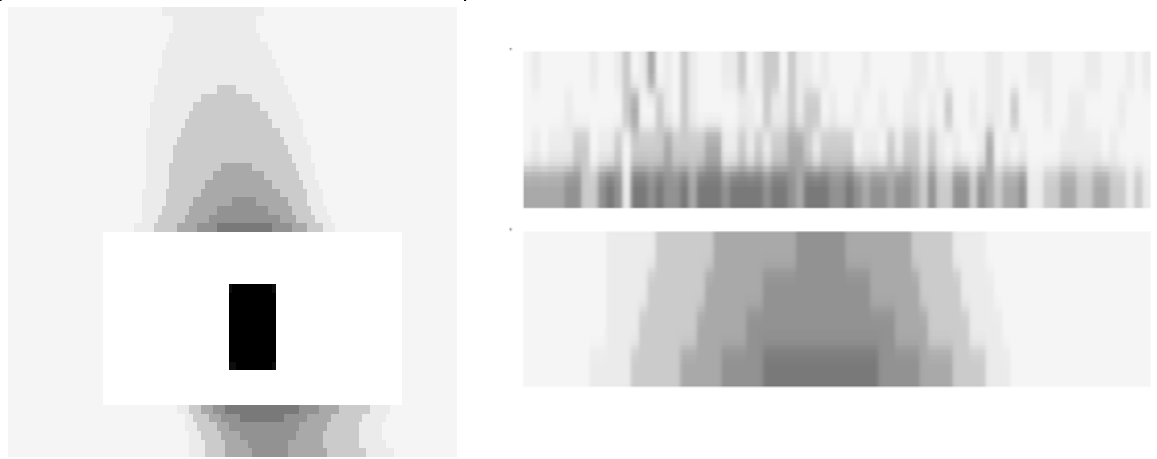


Figure 4. Prédictions réalisées en remplaçant 10 m de vide par 2,4 m de plantes qui ne produisent pas de pollen (figure de gauche). Observations (haut/droite) et prédictions (bas/droite) pour les 6 premiers mètres de bordure face à la parcelle bleue. La distribution spatiale est très différente.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Angevin F., Klein E., Choimet C., Meynard J.M., de Rouw A., Sohbi Y., 2001. *Modélisation des effets des systèmes de culture et du climat sur les pollinisations croisées chez le maïs*. Rapport du Groupe 3 du programme de recherche "Pertinence économique et faisabilité d'une filière 'sans utilisation d'OGM' ". INRA - FNSEA, pp 21-36
- 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
- Klein E., 2000. *Estimation de la fonction de dispersion du pollen. Application à la dissémination de transgènes dans l'environnement*. Thèse de l'Université Paris XI – Orsay, 80 p + annexes.