

UTILISATION DES MODELES GENESYS-COLZA ET MAPOD-MAÏS POUR RAISONNER DES STRATEGIES DE SEGREGATION DE FILIERES ET EVALUER LA FAISABILITE DE CERTAINS SEUILS DE PURETE DANS DIFFERENTS SYSTEMES DE CULTURE ET DE PRODUCTION

USE OF AGRONOMIC MODELS TO DESIGN RULES FOR CO-EXISTENCE OF GENETICALLY MODIFIED, CONVENTIONAL AND ORGANIC CROPS

F. ANGEVIN⁽¹⁾, N. COLBACH⁽²⁾, J. M. MEYNARD⁽³⁾, C. ROTURIER⁽⁴⁾

(1) INRA-DGAP, GEVES, La Minière, 78285 Guyancourt cedex

(2) Unité de Malherbologie-Agronomie, INRA, BP 86510, 17 rue Sully, 21065 Dijon cedex

(3) UMR d'Agronomie, INRA INA P-G, BP 01, 78850 Thiverval-Grignon

(4) INRA DSPPV, 147 rue de l'Université, 75338 Paris cedex 07

RESUME

La perspective de la culture de variétés transgéniques pose, pour de multiples raisons, le problème de la ségrégation de filières de production basées sur la même espèce dans les paysages agricoles : demande d'une filière "sans OGM" ; coexistence avec les cultures biologiques, de productions alimentaires et non alimentaires... Les cahiers des charges appliqués actuellement dans les filières ségréguées ne sont pas suffisants pour assurer le respect de seuils très stricts. Pour le maïs et le colza, l'utilisation des modèles MAPOD et GENESYS de dissémination de

(trans)gènes dans un paysage a permis d'évaluer, à l'échelle de la parcelle, la faisabilité technique de certains seuils de pureté dans divers systèmes de production et de proposer les techniques culturales ou caractéristiques variétales les plus efficaces pour en assurer le respect. Ces modèles ayant, par ailleurs, un bonne qualité prédictive pour classer les systèmes de culture en fonction des risques de dissémination qui y sont associés, ce sont des stratégies plus globales de gestion des cultures au sein d'un bassin de collecte qui ont aussi été étudiées.

SUMMARY

New concerns about crop co-existence in agricultural landscapes are being expressed over the prospect of introducing transgenic crops: consumer demand for non-GM products, threshold levels required for organic farming labels as well as the difference that must be maintained between food cultures and

those for the pharmaceutical and energy industries. Segregation rules defined for existing separated productions (HEAR rapeseed and Waxy maize, for example) are not sufficient to ensure that the very strict thresholds required for non-GM or organic products are met. Two spatially explicit gene

flow models, MAPOD maize and GeneSys-rape, were used in prospective studies to evaluate, on the field scale in an agricultural landscape, the technical feasibility of several thresholds in various production systems. Changes in agricultural practices and in variety

choice were simulated to identify those limiting gene flow and making the co-existence of different varieties feasible. Based on this work, global strategies of crop management in collecting basins were designed to meet different thresholds from sowing to silo.

INTRODUCTION

La coexistence de filières séparées basées sur une même espèce est une réalité dans les paysages agricoles (filières agriculture biologique/conventionnelle, colza érucique, maïs waxy et, d'une manière plus générale, productions de semences). La perspective du développement de cultures transgéniques à grande échelle amène à reconsidérer les possibilités de ségrégation sur des marchés de masse alors qu'aujourd'hui sont surtout concernés des marchés de niche. La mise en culture de variétés d'une même espèce exprimant différents transgènes conduira les agriculteurs et les collecteurs à une nécessaire maîtrise des contaminations génétiques qui peuvent affecter la qualité (par exemple : plantes à usages non-alimentaires voisinant avec des champs de cette même espèce à destination alimentaire). Dans le cas du colza, qui peut présenter plusieurs tolérances à différents herbicides, il s'agira ainsi d'éviter l'apparition de repousses multi-résistantes. Par ailleurs, la réticence de certains consommateurs devant les OGM a soulevé la question d'une quantification des flux de gènes entre champs transgéniques et conventionnels et celle de la coexistence de filières avec OGM, conventionnelle sans OGM et biologique et ce, à des seuils bien inférieurs à ceux habituellement exigés dans les filières séparées. Pour apporter des éléments de réponse à certains aspects de cette problématique, deux modèles ont été utilisés : GENESYS-Colza et MAPOD-Maïs, dont la construction a été partiellement financée par l'AIP "OGM et Environnement".

MODELES UTILISES

La détermination des stratégies d'isolement des cultures et de respect des seuils selon différents systèmes de culture et de production s'est faite en employant deux modèles simulant la dissémination d'un gène dans un espace.

Pour le maïs, le modèle MAPOD-Maïs (Angevin *et al.*, 2001b) a permis de calculer les taux d'impuretés des récoltes non transgéniques en fonction de la disposition des parcelles, de la phénologie du maïs et de caractéristiques climatiques (vent, température...).

Dans ce modèle, un premier module (Cf. *Figure 1*) détermine les dates de floraison femelle des variétés transgéniques et conventionnelles en fonction de la date de semis et du climat (sommées de degrés-jours). La protandrie¹ permet de connaître les dates de la floraison mâle des différentes variétés. Les facteurs jouant sur ce décalage (densité de semis, stress hydrique) sont pris en compte. Le modèle simule ensuite les dynamiques des floraisons mâles et femelles des différentes variétés. Ceci permet de connaître, à un pas de temps journalier, les quantités de pollen émises par chaque type de plantes ainsi que, dans chaque champ, le nombre de soies réceptives. Les effets des conditions climatiques affectant la viabilité du pollen et la réceptivité des soies sont intégrés dans l'algorithme.

Le second module calcule la dispersion du pollen plante à plante selon l'équation de Klein (2000). Celle-ci a pour paramètres la direction et l'intensité moyenne du vent ainsi que la différence de hauteur entre panicule émetteur et soies réceptrices. À un point donné d'un champ récepteur, la composition du nuage pollinique sera ainsi simulée en fonction des courbes de dispersion de toutes les plantes du voisinage, proches ou lointaines, et des quantités de pollen que respectivement elles émettent.

Chaque jour, cette composition définit le pourcentage de grains ayant différents génotypes : le taux de grains OGM est estimé en fonction d'ovules non-OGM fécondés par du pollen OGM rapporté au nombre total d'ovules fécondés. Ces résultats journaliers sont agrégés pour donner le taux d'impuretés variétales dans la récolte.

Compte tenu de la structure de MAPOD, il est possible de tester les effets de distances d'isolement, de techniques culturales et des caractéristiques biologiques des variétés (précocité de floraison, par exemple) dans des conditions agronomiques et climatiques réalistes et variables.

¹ décalage entre le début de la floraison mâle et celui de la floraison femelle

Ce modèle est actuellement en cours de validation et, dans l'état actuel de la modélisation, les discontinuités du paysage sont figurées par des rangs de maïs totalement stériles.

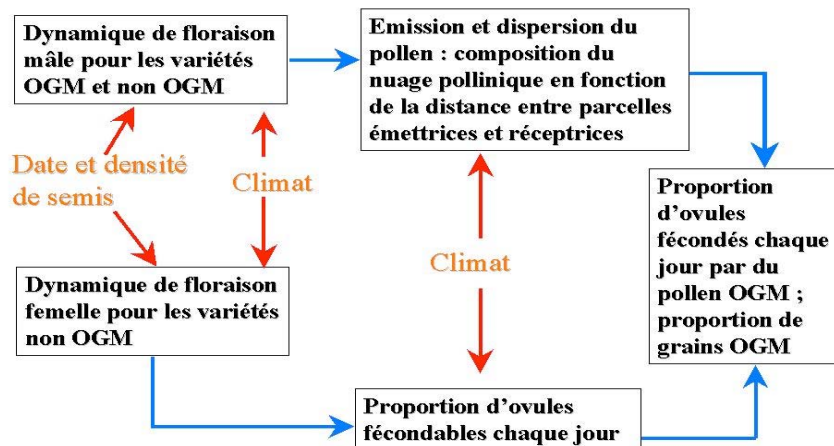


Figure 1. Organigramme simplifié du modèle MAPOD-Maïs

Pour le colza, c'est le modèle GENESYS (Colbach *et al.*, 2001a et b) qui a été utilisé. Sa structure et ses caractéristiques sont décrites dans l'article précédant celui-ci dans ce recueil (Fargue *et al.*, 2002). L'algorithme a été adapté pour la prise en compte des situations de production de semences hybrides.

ÉTUDES REALISEES

Les simulations ont été réalisées dans le cadre de deux études. Dans la première, à la demande de la Commission Européenne, il s'agissait de déterminer la possibilité de respecter des seuils de 0.3 % et 0.1 % dans des lots de semences de colza dans deux cas distincts : production de semences hybrides et production de semences de ferme dans des systèmes de production : conventionnel avec OGM, conventionnel sans OGM et biologique, ceci étant croisé avec deux niveaux d'intensification et deux pressions de cultures OGM dans l'environnement (10 et 50 %) (Angevin *et al.*, 2001a). Pour le maïs de consommation (hypothèses de travail : seuils de 1 % et 0.1 % à respecter), plusieurs systèmes de production à différents niveaux d'intensification et plusieurs pressions d'OGM dans le paysage ont également été analysés.

Dans les deux cas, cette démarche prenait en compte l'ensemble des risques de contamination du semis jusqu'à la livraison à la coopérative ou à l'acheteur (Angevin *et al.*, *ibidem*).

Par ailleurs, dans le cadre du programme de recherche INRA "Pertinence économique et faisabilité d'une filière 'sans utilisation d'OGM'" (Le Bail & Meynard, 2001), le modèle MAPOD a été employé pour simuler les effets d'un détournage, de distances d'isolement variables, de décalages de floraisons entre variétés maïs aussi l'effet de la combinaison de plusieurs de ces pratiques.

RESULTATS

Respects de seuils de pureté en production de semences de colza

Les différentes simulations réalisées ont montré, ou confirmé, que les niveaux de contamination au champ dépendent (1) du type de variété considéré (les hybrides et les associations variétales étant les plus sensibles) ; (2) de la taille des champs, de leur agencement les uns par rapport aux autres (imbrication ou isolement des parcelles de production de semences au sein de l'exploitation) et de la possibilité de respecter (ou non) des distances d'isolement suivant la structure du parcellaire ; (3) de la qualité de la gestion des repousses et du taux de puretés initial des semences utilisées.

Les différentes situations ont été classées en fonction du niveau de risque initial. Aucune des exploitations définies par les hypothèses de travail ne pourrait produire des semences au seuil de 0.3 % et ce, même lorsque la pression de colza OGM dans les exploitations environnantes est faible (10 %). Des modifications de pratiques ont donc été testées pour savoir s'il était possible d'abaisser le taux d'impuretés en dessous des seuils requis.

Il peut être utile, par exemple, pour diminuer ces risques :

- d'allonger les rotations en y ajoutant une culture de printemps de façon à contrôler les repousses ;
- de généraliser la pratique des jachères semées, en lieu et place des jachères comportant des repousses pour réduire les capacités de survie et de grenaison de celles-ci ;
- d'avoir des parcelles ayant des rotations sans colza autour des champs de production de semences.

Ces pratiques sont à moduler suivant le diagnostic initial du risque de contamination au champ et se révèlent plus ou moins coûteuses à appliquer. Certaines peuvent être favorisées par l'établissement de contrats avec les établissements collecteurs.

Dans tous les cas, les sources de contamination post-récolte sont à considérer car, dans certains des scénarios testés, c'est ce poste qui est responsable de la majeure partie du taux d'impuretés présentes dans les lots avant la collecte. Ce n'est pas uniquement la structure parcellaire de l'exploitation et les pratiques qui sont à prendre en compte dans le diagnostic, mais aussi son organisation et le matériel disponible.

Par ailleurs, dans les situations étudiées, le respect des seuils requiert une bonne coopération entre agriculteurs d'une même zone de production, notamment par l'application globale, sur l'ensemble du parcellaire, de certaines "bonnes pratiques", comme, par exemple, la gestion des jachères et des bordures.

Respect de seuils de pureté pour le maïs de consommation

Comme indiqué plus haut, MAPOD-maïs a été utilisé pour tester l'effet de différentes techniques sur les taux d'impuretés des récoltes (Le Bail & Meynard, 2001). L'hypothèse de travail est une proportion de 50 % d'OGM dans la sole de maïs (situation à risque) et des semences sans impuretés. Le tableau 1 présente certaines solutions retenues.

Seuil de pureté requis (maïs non-OGM de consommation)	Stratégies d'isolement proposées
5 %	Possible en parcelle adjacente d'un champ OGM de même précocité à condition de pratiquer un détournement de 15 m de la parcelle non-OGM
1% (seuil d'étiquetage obligatoire)	<ul style="list-style-type: none"> - En parcelles adjacentes : au moins 4 jours de décalage de floraison (variétés de précocité différente) entre variétés OGM et non-OGM - Si variétés de même précocité, 100 m de distance entre bordures de parcelles
0.1 % (seuil de quantification)	<ul style="list-style-type: none"> - En parcelles adjacentes : au moins 6 jours de décalage de floraison (variétés de précocité différente) - Si variétés de même précocité, 400 m de distance entre bordures de parcelles
0.01 % (seuil de détection)	- Floraison totalement décalée (variétés OGM et non-OGM de précocités très différentes)

Tableau 1. Proposition de stratégies d'isolement d'un maïs non-OGM dans un parcellaire comprenant des variétés OGM, en vue de respecter différents seuils de pureté de la récolte non-OGM

Plusieurs types de solutions techniques sont proposées car pour chacune, la mise en œuvre dépend du parcellaire, de la proportion de maïs (OGM ou non) dans le paysage. Les cahiers des charges différeront entre une région avec des petites parcelles en monoculture de maïs intriquées les unes dans les autres et une autre où le maïs assolé est cultivé sur de grandes parcelles. Dans le premier cas, les distances d'isolement sont difficiles à mettre en place et des décalages de floraison pourront être envisagés (groupement de parcelles d'un type de précocité de floraison autour d'un silo, par exemple). Dans le second cas, les distances d'isolement entre champs sont souvent déjà suffisantes pour assurer le respect des seuils de 5 et 1%.

En considérant la faisabilité des mesures présentées dans le *Tableau 1*, on peut voir que le taux de 5 % est aisément réalisable, que le seuil 1% peut l'être moyennant une coordination entre agriculteurs voisins. Pour le seuil de 0.1%, des contrats seraient nécessaires pour compenser les pertes potentielles de rendement des variétés les plus précoces et assurer une coordination entre agriculteurs à l'échelle d'un bassin de collecte. Quant au seuil de détection, les conditions très contraignantes de sa réalisation le rendent difficilement envisageable.

Ce type de résultats a aussi été établi pour les productions de semences ; en raison de la faible quantité de pollen produite en champ de semences, les conditions d'isolement sont encore plus drastiques que pour le maïs de consommation ; si des surfaces importantes d'OGM sont cultivées, les seuils de 0.1 % et 0.01 % seront quasiment impossibles à garantir.

Comme pour le colza, les étapes post-récolte peuvent présenter des risques de mélange. Ceux-ci ont été estimés (Angevin *et al.*, 2001a). Pour le maïs, l'étude a aussi abordé les risques de contamination fortuite des récoltes au stade collecte et les moyens de les maîtriser (Le Bail & Meynard, 2001).

CONCLUSION

Les seuils requis pour l'isolement de filières coexistant avec des cultures d'OGM sont beaucoup plus bas que ceux actuellement exigés pour les productions qui sont ségréguées (le plus souvent entre 1 et 5 %) ; les consommateurs considèrent qu'un seuil de contamination fortuite de 1 % est trop élevé, et qu'un seuil de 0.1 % serait plus acceptable. En cas de culture d'OGM à grande échelle, les cahiers des charges pour les cultures de maïs et de colza "sans OGM" devront être plus drastiques que ceux appliqués actuellement aussi bien pour les semences que pour les filières déjà identifiées, telles le maïs waxy ou le colza érucique. Le respect des seuils pourra nécessiter la coordination entre agriculteurs voire des contrats pour s'assurer de l'agencement spatial et temporel des variétés dans un bassin de production. Des études se poursuivent avec les deux modèles afin de définir des règles génériques de ségrégation en fonction des grands types de paysages agricoles.

Ces outils permettent aussi de travailler "en relatif" et de classer les systèmes de culture et de productions en fonction des risques de propagation des (trans)gènes. Ils pourront donc aussi être utilisés dans le cadre des réseaux de biovigilance pour déterminer les situations à risques.

REFERENCES

- Angevin, F., Colbach, N., Meynard, J.M. & Roturier, C. (2001) - Analysis of necessary adjustments of farming practices. In: Bock, A.-K. et al. (2002) "Scenarios for co-existence of genetically modified, conventional and organic crops in European agriculture", Technical Report Series of the Joint Research Center of the European Commission, EUR 20394 EN, 133 p.
- 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.
- Colbach N., Clermont-Dauphin C., Meynard J.M., 2001a. GENESYS: A model of the influence of cropping system on gene escape from herbicide tolerant rapeseed crops to rape volunteers. I. Temporal evolution of a population of rapeseed volunteers in a field. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 83, 235-253.
- Colbach N., Clermont-Dauphin C., Meynard, J.M., 2001b. GENESYS-RAPE: A model of the influence of cropping system on gene escape from herbicide tolerant rapeseed crops to rape volunteers. II. Genetic exchanges among volunteer and cropped populations in a small region. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 83, 255-270.
- Fargue A., Colbach N., Meynard J. M., Renard M., Pierre J., Angevin F., Champolivier J., 2002. *Modélisation des effets des systèmes de culture sur les flux géniques hors de nouvelles*

variétés de colza vers les repousses. Intégration et évaluation des effets variétaux. *Séminaire de restitution AIP "OGM et environnement", 30 avril 2002 (dans ce recueil).*

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.

Le Bail M., Meynard J.M., 2001. Isolement des collectes et maîtrise des disséminations au champ, Rapport du Groupe 3 du programme de recherche "*Pertinence économique et faisabilité d'une filière 'sans utilisation d'OGM'*". INRA - FNSEA, 56 p.