

Décembre 2014
volume n° 4 / numéro n° 2
www.agronomie.asso.fr

Agronomie

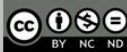
environnement & sociétés

La revue de l'association française d'agronomie



Variétés et systèmes de culture

Quelle co-évolution ? Quelles implications pour l'agronomie et la génétique ?



Agronomie, Environnement & Sociétés est une revue à comité de lecture et en accès libre éditée par l'Association Française d'Agronomie (AFA) sous le numéro ISSN 1775-4240. Plus d'informations www.agronomie.asso.fr/aes. L'AFA est une association à but non lucratif qui publie des travaux en accès libre.

Les articles sont publiés sous la licence Creative Commons 2.0. La citation ou la reproduction de tout article doit mentionner son titre, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue AE&S et de son URL, ainsi que la date de publication.

Élargissement des échelles spatiales, quelques exemples pour les espèces oléagineuses

Xavier PINOCHET*

* CETIOM - Campus Inra/AgroParisTech - Avenue Lucien Brétignières, 78850 THIVERVAL GRIGNON - E-mail: pinochet@cetiom.fr

Les Agronomes raisonnent le plus souvent à l'échelle de la parcelle. Le choix de la variété est un élément important de l'itinéraire technique qui répond principalement à des objectifs de productivité, de protection contre des bioagresseurs de différentes natures et de qualité du produit final. La prise en compte de la dimension spatiale à une échelle plus large que celle de la parcelle est beaucoup moins fréquente. Néanmoins, cet élargissement d'échelle est rendu nécessaire pour aborder certaines questions impliquant des organismes mobiles tels que les insectes, ou des flux à distance de pollen ou de spores. Les 20 dernières années offrent quelques exemples intéressants de la prise en compte de ces échelles plus larges qui s'accompagnent souvent également de la prise en compte d'une dimension temporelle plus longue. On a alors des choix d'espèces ou de variétés qui s'intègrent dans des systèmes de culture. Ces choix sont interconnectés et ne peuvent alors se faire indépendamment. Ils se heurtent néanmoins à des questions de maîtrise de l'espace où cohabitent des acteurs différents n'ayant pas forcément les mêmes objectifs. Ces échelles élargies nécessitent également des innovations méthodologiques importantes, les approches factorielles, toutes conditions égales par ailleurs ne pouvant plus être mises en œuvre. En particulier, le recours à la modélisation devient nécessaire.

Les plantes cultivées sur une parcelle sont à la fois des émetteurs et des récepteurs de différents flux interagissant avec l'environnement de la parcelle. Ces flux entrants ou sortants peuvent être de différentes natures :

- 1) Des flux de pollen, variables selon les morphologies florales, avec des conséquences plus ou moins fortes selon le caractère allogame ou autogame de la variété et de l'espèce cultivée.
- 2) Des flux de graines, avec des conséquences ayant une dimension temporelle avec les questions de repousses, ou

spatiale selon le mode de transport. Nombre et taille des graines produites sont alors des facteurs importants.

3) Des flux de bio-agresseurs. Il peut s'agir principalement de dissémination de spores de champignon, ou de mouvements d'insectes.

L'intervention lors de l'assemblée générale de l'Afa en Mars 2013 avait pour objectif d'illustrer ces questions à partir de quelques exemples relatifs aux cultures oléagineuses, colza principalement, et tournesol :

- La gestion durable des résistances variétales aux pathogènes : cas du Phoma du colza.
- Gestion des Repousses pour préserver une qualité en colza.
- Les flux de pollen en tournesol.
- La gestion spatiale des insectes et de leurs auxiliaires.

La gestion durable des résistances variétales aux pathogènes : cas du Phoma du colza

Les populations de pathogènes évoluent dans le temps et dans l'espace, qualitativement et quantitativement en fonction de différents facteurs de milieu. Elles évoluent en particulier sur leurs propriétés d'agressivité et de virulence en fonction des hôtes qu'elles rencontrent, et qui leur permettent ou pas de se multiplier. Le Phoma du colza, dû au champignon *Leptosphaeria maculans*, est l'une des principales maladies du colza. Une recrudescence importante des attaques s'est produite au début des années 90, après l'apparition des variétés à basses teneurs en glucosinolates. Assez rapidement, l'utilisation à grande échelle d'une résistance spécifique (Rlm1) a permis de contrôler la maladie. Cependant, quelques années après, cette résistance a été contournée (Rouxel *et al.*, 2003). Certaines variétés sont redevenues sensibles suite à une évolution rapide des populations (Balesdent *et al.*, 2006).

Le souci d'éviter de tels renversements de situation, la perspective de l'arrivée de nouvelles résistances spécifiques, et les progrès plus lents des travaux de génétique sur les résistances quantitatives, ont amené les acteurs de la recherche à s'intéresser aux moyens de gérer durablement l'utilisation des variétés et de leurs résistances au Phoma. Pour cela, différents leviers sont utilisables. À l'échelle de la parcelle, la nature des travaux du sol, le choix de la variété, de la date de semis, du calendrier de fertilisation azotée sont autant de facteurs permettant de moduler le risque de maladie (Aubertot *et al.*, 2004). Dans le temps, la fréquence de retour du colza dans la rotation constitue également un élément de gestion du risque.

Néanmoins, ces éléments sont insuffisants et rapidement est apparue la nécessité de considérer une échelle spatiale plus large. Si les cinétiques spatialisées de dispersion des spores d'un pathogène sont difficiles à établir expérimentalement, leur dispersion à plusieurs dizaines, voire centaines de mètres, ne fait pas de doute. Dans ces conditions, la fréquence et la répartition des parcelles de colza dans le paysage, la nature des résistances portées par les variétés utilisées, et les pratiques agronomiques réalisées sur chacune des parcelles, sont autant d'éléments à prendre en compte pour concevoir des stratégies de gestion. La

complexité des éléments à prendre en compte et les impossibilités matérielles d'expérimenter les stratégies envisagées dans des dispositifs de comparaison toutes conditions égales par ailleurs, nécessitent de disposer d'un outil permettant de balayer virtuellement différents scénarios. Les thèses d'Elise Pelzer puis de Laure Hossard ont permis de construire le modèle SIPPOM (Pelzer, 2008 ; Pelzer et al., 2010), de l'améliorer, puis de l'utiliser dans une démarche participative, pour construire, dans différents contextes, et avec les acteurs de terrain concernés, différents scénarios possibles de gestion (Hossard, 2012 ; Hossard et al., 2013). Si dans les quelques centaines de scénarios balayés, la fréquence de retour du colza sur une parcelle apparaît bien comme un facteur important déterminant la taille de la population du pathogène, la fréquence de la présence d'une variété portant une résistance spécifique efficace parmi les variétés cultivées dans le paysage considéré est un élément déterminant la fréquence d'individus virulents dans la population du champignon quelques années après. Malgré une communication technique régulière sur le sujet, les acteurs ont des difficultés à prendre en compte des échelles spatiales au-delà de leur propre parcelle ou exploitation. De nombreuses réticences s'expriment. Néanmoins, on notera l'intérêt grandissant des coopératives pour la caractérisation des populations de pathogène de leur secteur d'activité.

Gestion de la qualité en colza

Jusqu'au début des années 70, l'huile de colza était une huile majoritairement érucique (50 à 60% environ de C22-1). Après les mises en cause de cet acide gras dans certaines pathologies humaines, les améliorateurs des plantes ont fait évoluer le colza vers des colzas zéro érucique (ou 0), dans lesquels les longues chaînes de l'acide érucique ont été remplacées par l'acide oléique (C18-1). Néanmoins, l'acide érucique intéresse un marché non alimentaire dont les besoins portent sur plusieurs dizaines de milliers d'hectares (environ 15 000 ha en France ; entre 50 et 80 000 pour l'Union Européenne). La réforme de la politique agricole commune de 1992 a permis le développement sur jachère de ce type de production à usage industriel. Cependant, ces productions sous contrats doivent pouvoir coexister avec des parcelles de colza de commodité, sans que la qualité, teneur en acide érucique pour l'un et oléique pour l'autre, n'en soit affectée. À la même période, l'émergence des colzas OGM portant des caractères de résistance à un herbicide à large spectre a également posé cette même question de coexistence dans le paysage. Il fallait pouvoir garantir une qualité non OGM aux parcelles voisines. Malgré les travaux entrepris, ces OGM n'ont pas été développés en Europe essentiellement pour des raisons politiques.

Le colza est une espèce fortement autogame, avec néanmoins des variations selon les génotypes et les environnements. Par ailleurs les fleurs de colza constituent une ressource alimentaire précoce déterminante pour de nombreux insectes pollinisateurs, dont les abeilles. Même minoritaire, la part d'allogamie peut avoir des conséquences sur la qualité. Les insectes peuvent transporter le pollen sur des distances plus longues, bien que difficile à déterminer. Néanmoins, la moindre discontinuité de quelques mètres

dans l'espace, comme la présence d'un chemin, limite beaucoup les effets de pollinisation par les insectes. Le pollen se dissémine aussi par le vent mais sur des distances assez courtes, de l'ordre d'une trentaine de mètres (Klein et al., 2006). L'ensemble des études menées, en particulier pour répondre aux interrogations soulevées par l'arrivée des OGM, mettent en exergue le rôle clef des repousses comme facteur principal de dissémination d'un caractère particulier (OGM en l'occurrence). La graine de colza est petite (Poids de mille grains voisin de 4 grammes) et les pertes à la récolte relativement importantes (plusieurs milliers de graines par m², jusqu'à 5 quintaux par hectare selon les situations). Il y a donc un stock semencier à gérer ensuite dans la rotation, avec des plantes de colza qui peuvent repousser et réémettre du pollen si elles ne sont pas détruites, soit au sein d'une autre culture, soit lors du retour d'un colza sur la parcelle. Lorsque ce colza est différent (OGM, ou présentant un profil d'acides gras différents), la qualité de la culture peut être affectée. Par ailleurs, les transports liés aux récoltes amènent des pertes de graines le long des chemins et des routes, lieux également de développement de futures plantes, plus ou moins isolées, émettrices de pollen. On arrive donc rapidement à un ensemble complexe dans lequel interviennent à la fois des aspects spatiaux (parcellaire, routes et chemins) et des aspects temporels (rotations, nature des espèces cultivées), avec de fortes interactions avec les pratiques agronomiques de toutes natures.

Pour les mêmes raisons que pour l'exemple précédent (complexité des interactions, impossibilité d'expérimentations réelles de chaque facteur toutes conditions égales par ailleurs), le recours à la modélisation a permis aux agronomes d'imaginer et d'étudier des solutions de coexistence, OGM/non OGM, ou entre variétés présentant des profils d'acides gras différents. Ceci a conduit à la construction, à l'utilisation et à l'articulation de plusieurs modèles : GENESYS pour les processus biologiques ; LANDSFACTS pour l'allocation des cultures dans le temps et dans l'espace, et GENEXP pour la genèse de parcelles virtuelles de géométries diverses. Ces outils permettent de définir les conditions dans lesquelles il est possible ou non de respecter des seuils de contamination, et de déterminer les combinaisons de mesures agronomiques les plus efficaces pour arriver à l'objectif en prenant en considération un maximum d'éléments du contexte climatique et agronomique, y compris les caractéristiques variétales du colza (Fargue, 2003). Les pratiques à risque peuvent être identifiées virtuellement par des séries de combinaisons de paysages, de part de colza dans celui-ci, de part de culture OGM, sous différents systèmes de cultures. Les confrontations réalisées entre les sorties du modèle, et les différents sites expérimentaux se sont avérées dans l'ensemble très satisfaisantes. Néanmoins, des points d'amélioration du modèle restent à faire, en particulier sur la description des stades phénologiques et sur les devenir des repousses sur les bordures. Pour un bilan synthétique du travail effectué, on pourra se reporter à la synthèse présentée par Nathalie Colbach lors du congrès colza de 2011 à Prague. Les barrages politiques n'ont pas permis la valorisation de ces travaux pour les questions de coexistence OGM/non OGM, par contre des études ont été

menées à la fois pour des questions de gestion des repousses en production de semences et pour la définition de cahier des charges à respecter en production de colza érucique pour éviter la dégradation de la qualité de la collecte par des repousses trop abondantes. Néanmoins, pour ces productions de colza érucique ou de colza haut oléique et bas linoléique, des considérations de logistique amènent les opérateurs à définir des îlots de production spécialisés.

Les flux de pollen en tournesol

En tournesol, la présence de types variétaux différents amènent également à prendre en considération des aspects spatiaux à échelle plus grande que la parcelle. Le premier type variétal à poser cette question a été le tournesol oléique, à partir du milieu des années 90. Ce type variétal occupe la moitié des surfaces depuis le milieu des années 2000. Le deuxième type variétal est constitué par les variétés résistantes à un herbicide à large spectre. En matière de tournesol, les repousses sont plus facile à gérer, car facilement repérables par le caractère polyflore en F2. Par contre, l'espèce est *a priori* majoritairement allogame, bien que la recherche d'une stabilité du rendement ait pu conduire, au long des processus d'amélioration des plantes, à sélectionner indirectement des génotypes plus autogames. Néanmoins, les travaux entrepris ont donc surtout cherché à estimer les distances d'isolement nécessaires pour ne pas affecter la qualité ou minimiser le transfert de la mutation induisant la résistance à certains herbicides de la famille des inhibiteurs d'ALS. Pour les tournesols oléiques, plusieurs études ont été réalisées (Merrien *et al.*, 1993, Lagravère *et al.*, 1999). Elles montrent qu'à partir d'une cinquantaine de mètres, la pollinisation par du pollen linoléique de parcelles voisines n'affecte plus la teneur en C18-1 de la parcelle oléique.

L'émergence de variétés de tournesol dites VTH, résistantes à un herbicide de la famille des inhibiteurs d'ALS, a été l'occasion de poser la question d'un transfert du caractère vers d'autres tournesols ne possédant pas ce caractère ou vers des populations de tournesols sauvages polyflores. Une expérimentation a été conduite en 2008 au CETIOM avec une variété de Tournesol Clearfield (résistante à l'Imazamox) placée au milieu d'un champ de tournesol classique, contaminé avec des populations dénombrées de tournesols sauvages dans la parcelle ainsi qu'en bordure (4 plantes sauvages par m²). Les tournesols sauvages ont une floraison de type indéterminée avec dans cette situation 45% de leurs capitules synchrones en floraison avec le tournesol Clearfield cultivé. Des prélèvements ont été réalisés sur des capitules de Tournesols sauvages au sein du couvert de Tournesol Clearfield, sur des capitules de Tournesols sauvages voisins dans le couvert de la variété de tournesol classique, ainsi que plus loin dans les bordures du champ. La présence de la mutation responsable du caractère a été faite par PCR, ce qui permet de détecter sa présence à l'état hétérozygote, alors que le phénotype de résistance à l'herbicide ne s'observe qu'à l'état homozygote. Dans la parcelle, la fréquence variait de 15 à 28 % des graines testées, à une distance de 0.4 à 20 mètres autour de la parcelle, la fréquence parmi les graines de tournesols sauvages tombait

à 8%, et pour des distances allant de 50 à 60 m, elle n'était plus que de 0.2%. Ces effets spatiaux sont importants à courtes distances, mais peuvent néanmoins amener à considérer un espace plus large que la parcelle. La fréquence de transfert à 60 m est faible et se fait d'abord à l'état hétérozygote sur des individus n'exprimant pas le phénotype résistant qui ne pourra intervenir que dans des générations ultérieures lorsque le caractère apparaîtra à l'état homozygote. Moyennant quelques précautions agronomiques, ces disséminations du caractère dans l'environnement voisin de la parcelle restent contrôlables, par contre subsistent des interrogations sur des possibles transports de pollen à plus grandes distances par le vent ou les insectes, à des fréquences très faibles et donc difficilement mesurables. Des approches par modélisation peuvent alors être utiles pour en estimer les risques, avec néanmoins la limite de la capacité à tester la validité du modèle sur des données expérimentales, en général sur un paysage complexe où les sources de pollen diverses interfèrent.

La gestion spatiale des insectes et de leurs auxiliaires.

Parmi les bio-agresseurs du colza, les insectes tiennent une large place. Il s'agit principalement de coléoptères, adultes ou sous forme de larves. La moitié des applications de produits phytosanitaires sur colza sont des insecticides. Aujourd'hui, le contrôle de ces insectes est rendu plus difficile pour plusieurs raisons. La première est l'apparition de phénomènes de résistance des insectes aux insecticides de la famille des pyréthrinés, insecticides peu coûteux et très largement utilisés. Le phénomène a d'abord concerné les mélégièthes au début des années 2000 et semble depuis progresser pour les altises et les charançons. La seconde est réglementaire, avec le retrait de familles chimiques anciennes comme les organochlorés et les organophosphorés, ou plus récentes comme les néonicotinoïdes. La recherche de solutions alternatives aux insecticides est difficile. La sélection de génotypes résistants nécessite de bien définir les caractères à prendre en compte qui sont nécessairement variés, d'ordre chimique, morphologique, écophysologique. Il faut également disposer de méthodes de phénotypage directes ou indirectes performantes (signification, impacts, coûts, rapidité d'acquisition). Ceci renvoie à un développement des connaissances sur différents aspects de l'écologie des insectes. Ceux-ci sont des espèces mobiles qui ne passent qu'une partie de leur cycle sur une parcelle de colza. Les autres moments du cycle se déroulent souvent en milieux boisés ou non cultivés. Selon les espèces, les distances à considérer sont plus ou moins importantes. Par ailleurs, les populations d'insectes sont régulées par différents organismes, dont des insectes, eux-mêmes mobiles en dehors de la parcelle. La mise en place de stratégies de protection minimisant le recours aux insecticides nécessite là encore un approfondissement des connaissances sur l'écologie des insectes cibles et de leurs auxiliaires, y compris, et surtout, en dehors des parcelles de colza. Les aspects démographiques, et en particulier les phases de reproduction sont particulièrement importants à considérer,

dans la mesure où ils déterminent les dynamiques de population qui se projettent sur les parcelles de colza à protéger. Les travaux les plus avancés concernent les méligèthes. Les travaux de Rusch *et al.* (2011) ont permis de définir deux distances clef à prendre en compte au-delà de la parcelle : 250 et 1500 m, ainsi que différents éléments de paysage et/ou de pratiques intervenant à la fois sur les dynamiques de méligèthe et celles de ses principaux parasitoïdes, les genres *Tersylochus* et *Phradis*. Ces éléments ont permis de construire un modèle (Vinatier *et al.*, 2012) décrivant de façon connectée les dynamiques de population de Méligèthe, des parasitoïdes, le cycle de développement du colza, la structure du paysage et les pratiques agronomiques, avec en sortie une densité de méligèthes sur le paysage, associée à un taux de parasitisme. L'utilisation de MOSAIC-PEST a permis une première série de simulations testant des effets de paysage, de travail du sol, de rotations sur les dynamiques d'insectes.

Conclusion

Les exemples présentés ont pour point commun d'être travaillés avec un recours important à la modélisation. En quelques années, la modélisation est devenue l'outil indispensable aux agronomes, leur permettant de sortir de la seule échelle de la parcelle et des approches factorielles classiques qui, bien qu'utiles, montrent régulièrement leurs limites. Les modèles utilisés doivent être capables de décrire à la fois dans le temps et dans l'espace des phénomènes complexes, multifactoriels, avec une prise en compte suffisante des interactions. Pour un praticien, l'utilisation naturelle d'un modèle est de pouvoir expérimenter virtuellement par simulation des hypothèses, des scénarios de solutions potentielles. Les modèles construits, pour qu'ils soient effectivement utiles, ne doivent pas être qu'entre les mains des chercheurs qui les ont conçus, mais doivent pouvoir être utilisés par des agronomes de terrain. Pour arriver à un tel résultat, le cahier des charges à atteindre est loin d'être facile. La nécessaire simplification de la réalité doit être poussée jusqu'à un niveau suffisant pour permettre l'utilisation de l'outil par un non spécialiste, tout en la restituant sans la caricaturer à l'excès. Cet équilibre à trouver est important, et peut être travaillé au niveau de la conception du modèle ou au niveau de l'ergonomie des développements informatiques associés.

Un deuxième point doit être souligné. Les exemples présentés portent sur un caractère de qualité, ou un bioagresseur particulier. Cependant dans la pratique, un couvert, par exemple de colza, doit à la fois permettre de produire une qualité donnée, tout en subissant la présence, non pas d'un unique, mais de plusieurs bioagresseurs. Il faut donc aller vers des modèles multi-caractères et multi-bioagresseurs, forcément à la fois plus complexes et plus simplificateurs de la réalité. Ce dernier point venant donc renforcer encore la remarque précédente sur la nécessaire gestion d'un paradoxe : décrire simplement et avec pertinence une réalité complexe.

Bibliographie

Aubertot, J.N., Pinochet, X., Doré, T. 2004. The effects of sowing date and nitrogen availability during vegetative

stages on Phoma stem canker (*Leptosphaeria maculans*) development on two winter oilseed rape cultivars. *Crop Protection* Vol 23/7: 635-645.

Balesdent, M.H., Louvard, K., Pinochet, X., Rouxel, T., 2006. A large-scale survey of races of *Leptosphaeria maculans* occurring on oilseed rape in France. *Eur J.Plant Pathol* 114:53-65.

Colbach N. 2011 Evaluation of prospective cropping system scenarios for managing oilseed rape volunteers and harvest purity using the GENESYS model. Congrès GCIRC Prague 2011.

Fargue, A., 2003. Maîtrise des flux de gènes chez le colza: Etude ex-ante de l'impact de différentes innovations variétales (Doctoral dissertation, INAPG (AgroParisTech)).

Hossard, L., 2012. Conception participative et évaluation numérique de scénarios spatialisés de systèmes de culture. Cas de la gestion du phoma du colza et de la durabilité des résistances (Doctoral dissertation, AgroParisTech).

Hossard, L., Jeuffroy, M.H., Pelzer, E., Pinochet, X., Souchere, V., 2013 a. A participatory approach to design spatial scenarios of cropping systems and assess their effects on phoma stem canker management at a regional scale. *Soumis à Environmental Modelling and Software*. 48: 17-26.

Klein, E. K., Lavigne, C., Picault, H., Renard, M., & GOUYON, P. H., 2006. Pollen dispersal of oilseed rape: estimation of the dispersal function and effects of field dimension. *Journal of Applied Ecology*, 43(1), 141-151.

Lagravere, T., Kleiber, D., & Dayde, J., 1999. Conduites culturales et performances agronomiques du tournesol oléique: réalités et perspectives. *Oléagineux, Corps Gras, Lipides*, 5(6), 477-85.

Merrien, A., Champolivier, L., Raimbault, J., Evrard, J., 1993 Tournesol oléique : premiers facteurs de variation de la composition. *Oléoscope-Bulletin du CETIOM n°15 mai-juin 1993* p17-19.

Lô-Pelzer, E., 2008. Modélisation des effets des systèmes de culture et de leur répartition spatiale sur le phoma du colza et l'adaptation des populations pathogènes responsables de la maladie (*Leptosphaeria maculans*) aux résistances variétales (Doctoral dissertation, AgroParisTech).

Lô-Pelzer, E., Bousset, L., Jeuffroy, M.H., Salam, MU., Pinochet, X., Boillot, M., Aubertot, J.N., 2010. SIPPOM-WOSR: a Simulator for Integrated Pathogen POpulation Management of phoma stem canker on Winter OilSeed Rape. I. Description of the model. *Field crop research* vol 118: p 73-81.

Rouxel, T., Penaud, A., Pinochet, X., Brun, H., Gout, L., Delourme, R., Schmit, J., Balesdent, M.H., 2003. A ten Year survey of populations of *Leptosphaeria maculans* in France indicates a rapid adaptation towards the Rlm1 resistance gene of oilseed rape. *Eur J.Plant Pathol* 109: 871-881.

Rusch, A., Valantin-Morison, M., Sarthou, J. P., & Roger-Estrade, J., 2011. Multi-scale effects of landscape complexity

and crop management on pollen beetle parasitism rate. *Landscape ecology*, 26(4), 473-486.

Sausse, C., Colbach, N., Young, M. W., & Squire, G. R., 2012. How to manage the impact of gene flow on oilseed rape grain quality? Simulation case studies of three contrasted landscapes. *European Journal of Agronomy*, 38, 32-42.

Vinatier, F., Gosme, M., & Valantin-Morison, M., 2012. A tool for testing integrated pest management strategies on a tritrophic system involving pollen beetle, its parasitoid and oilseed rape at the landscape scale. *Landscape ecology*, 27(10), 1421-1433.