

Agroécologie : transition, révolution, ou saut dans le vide ?

Le cas des méligèthes du colza

La Cour des Comptes l'a rappelé récemment dans un rapport cinglant¹ : la transition agroécologique, dans laquelle la France a choisi de s'engager il y a plus de 10 ans, est encore loin de produire des résultats visibles, au moins pour ce qui concerne l'utilisation de pesticides. Alors que le Gouvernement et même le Président affichent un objectif de « sortie des pesticides », la Cour rappelle que l'objectif plus modeste du plan Ecophyto (une réduction de 50% « seulement ») est loin d'être atteint, malgré un investissement public de l'ordre de 400 millions d'euros par an.

Pourquoi cet investissement dans la recherche agroécologique produit-il si peu de résultats sur le terrain, malgré les résultats apparemment encourageants souvent évoqués dans la presse ? Dans les deux numéros précédents d'Agriculture & Environnement², nous avons vu deux exemples de publications scientifiques dont les promesses agroécologiques paraissaient très illusoires (dans le 1^{er} cas), ou très prématurées (dans le second). Mais dans certains cas, les difficultés sont plus profondes. Elles questionnent même la possibilité d'une transition écologique, malgré les qualités des travaux agroécologiques entrepris pour quantifier les services écosystémiques censés suppléer aux intrants utilisés. Nous étudierons ici un cas particulièrement emblématique : les études sur le contrôle biologique des méligèthes du colza. Les travaux dont nous allons parler sont souvent présentés comme un bon exemple de pistes nouvelles ouvertes par l'agroécologie, dont les agriculteurs peinent à s'emparer³. Nous verrons pourquoi leurs réticences sont compréhensibles... surtout pour les agriculteurs qui maîtrisent bien les concepts de l'agriculture raisonnée !

Un cas emblématique de l'agroécologie

Le colza a fait l'objet de beaucoup de travaux en agroécologie, car c'est une des grandes cultures sur laquelle les traitements phytosanitaires sont les plus fréquents, en particulier les insecticides. En effet, il peut être attaqué, tout au long de son cycle, par 6 à 8 espèces successives d'insectes ravageurs⁴. Parmi ceux-ci, le méligèthe du colza est le plus étudié, car c'est celui pour lequel les enjeux économiques et environnementaux sont les plus importants :

- C'est le plus fréquent, et donc celui qui motive le plus souvent des traitements insecticides
- En raison de la fréquence de ces traitements, des phénomènes de résistance aux insecticides sont apparus
- Comme il attaque le colza pendant la floraison, les traitements appliqués contre cette espèce sont potentiellement dangereux pour les abeilles, s'ils sont appliqués sans précaution

Le méligèthe est un petit coléoptère, dont les adultes hivernent sur le sol des parcelles cultivées ou des espaces naturels environnants, et gagnent les parcelles de colza au moment de la floraison. Ils se nourrissent du pollen des fleurs, puis y pondent leurs œufs. Les larves se nourrissent également du pollen des fleurs de colza, puis tombent au sol au moment de leur nymphose. La deuxième génération qui en résulte doit se disperser pour se nourrir sur d'autres plantes, car à ce stade la floraison du colza est terminée. C'est cette deuxième génération qui hiberne dans le sol et recontamine le colza au printemps suivant.

Le méligèthe est surtout nuisible quand il s'installe sur le colza en début de floraison. En effet, quand les fleurs sont ouvertes, il peut se nourrir sans les abimer. C'est si les fleurs sont encore en bouton que

les adultes les détruisent pour atteindre le pollen, et peuvent alors provoquer des pertes de rendement importantes. Les larves ne font des dégâts significatifs que si l'infestation est très forte.

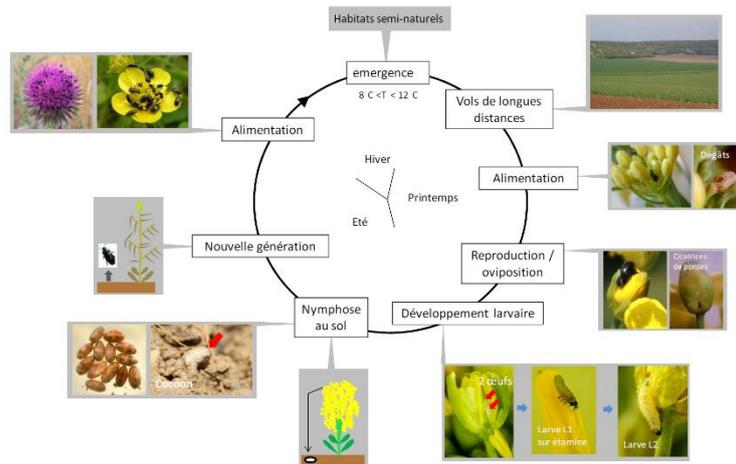


Figure 1. 7: Cycle de vie de *Meligethes aeneus* (Fabricius) et dégâts causés par les attaques sur la culture de colza (Photos : Y. Ballanger ; A. Rusch).

Cycle de vie du mélégièthe (Source : thèse A. Rusch)

La lutte contre les mélégièthes en agriculture raisonnée

Les fondements de la lutte raisonnée sont la définition des stades de la culture pendant lesquels elle est sensible à un ravageur, et des seuils de nuisibilité, c'est-à-dire des densités de population à partir desquels le ravageur provoque des pertes de rendement significatives (et supérieures au coût du traitement). Dans le cas du mélégièthe, sa biologie étant bien connue, il a été possible de définir des seuils de traitement assez sophistiqués. Les règles recommandées pour la France ont été définies par Terres Inovia, l'institut technique des Oléagineux et Protéagineux :

| Stade sensible | Piégeage | Vol | Seuil | |
|--|--|---------------------|---|--|
| | | | colza vigoureux | colza peu vigoureux |
| Du stade boutons accolés D1 ou BBCH 50 au stade boutons séparés E ou BBCH 57 | Cuvette jaune uniquement indicateur de présence. Dénombrement sur plante nécessaire. | Températures >14° C | Stade D1 Pas d'intervention | Stade D1 50% de plantes infestées ou 1 mélégièthe par plante ** |
| | | | Stade E 6 à 9 mélégièthes par plante ** Régions SUD : 4 à 6 mélégièthes par plante | Stade E 65 à 75% de plantes infestées ou 2 à 3 mélégièthes par plante ** |

**ou conditions peu favorables aux compensations (températures faibles, plantes stressées en eau à floraison, dégâts parasitaires antérieurs...)*

***Les comptages en bordure ou sur les plantes les plus hautes ne sont pas représentatifs de la situation. Il est conseillé de compter sur 5 x 5 plantes consécutives; puis de calculer une moyenne ou un % par plante à rapprocher des seuils mentionnés dans le tableau. De plus il faut tenir compte des capacités de compensation des cultures.*

Règles de traitement raisonné contre les mélégièthes du colza (<https://www.terresinovia.fr/-/colza-surveillance-et-lutte-contre-le-meligethe-tres-frequent-peu-nuisible>).

On voit que les seuils de traitement sont adaptés en fonction du stade de la culture, de son état physiologique et de la région. Cela permet de prendre en compte la capacité de récupération du colza

après l'attaque de méligèthes : une culture en bon état, dans un sol profond, et sous un climat pas trop sec en début d'été, pourra compenser les siliques perdues à cause des méligèthes, avec un poids de 1000 grains plus élevé. Ce ne sera pas le cas d'un colza mal enraciné et exposé à la sécheresse dès la fin du printemps. C'est pourquoi les seuils de nuisibilité sont plus bas pour un colza peu vigoureux, et dans le Sud de la France. **Ces règles classiques d'agriculture raisonnée intégraient donc déjà de l'agroécologie avant la lettre.** Notons toutefois une limite à ces travaux, sur laquelle nous reviendrons dans la suite : si les seuils de nuisibilité sont bien identifiés, les travaux n'ont pas été poussés au point de vérifier comment cette nuisibilité évolue en fonction de la densité de population des ravageurs, une fois ce seuil dépassé.

Les hyménoptères parasitoïdes du colza : un modèle de biocontrôle naturel ?

Mais les travaux dont nous allons parler ont étudié une autre piste agroécologique : celle du biocontrôle naturel du méligèthe, grâce à ses ennemis naturels. Comme beaucoup d'insectes ravageurs, il est fréquemment attaqué par de petits hyménoptères parasitoïdes, dont les larves se nourrissent de celles du méligèthe. Ces petites guêpes se répandent dans les champs de colza quand les adultes de méligèthes y arrivent, et pondent dans leurs œufs et jeunes larves. La larve d'hyménoptère se développe en dévorant son hôte, jusqu'à ce que celui-ci meure et tombe au sol. L'hyménoptère reste au sol durant l'été jusqu'au printemps suivant, puis les adultes émergent au moment de la floraison du colza pour reprendre leur cycle de développement.

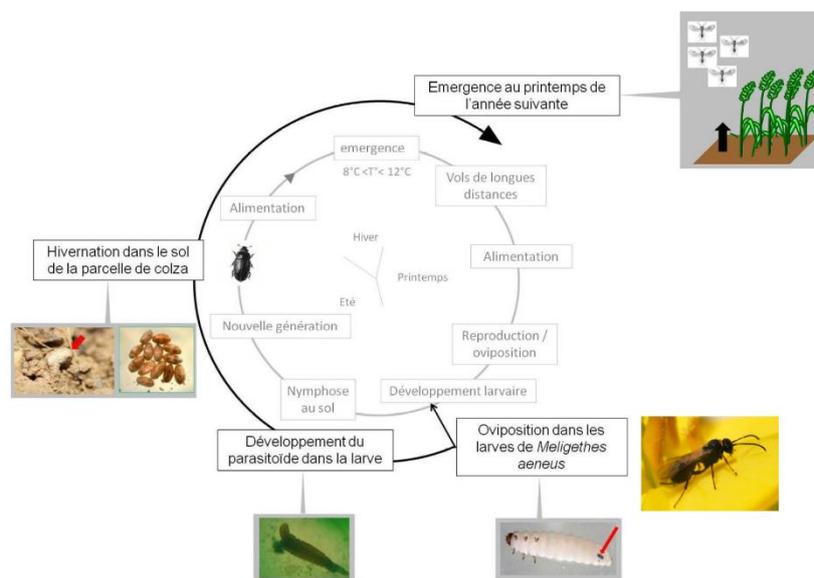


Figure 1. 8: Cycle de vie des parasitoïdes univoltins (cycle en noir) par rapport au cycle de vie de son hôte (cycle gris) (Photos : Y. Ballanger ; A. Rusch ; Springer, *Biocontrol-Based Integrated Management of Oilseed Rape Pests*, 2010. Ed: Williams, I.H. with kind permission of Springer Science and Business Media).

Cycle de vie des parasitoïdes du méligèthe (Source : thèse A. Rusch)

Le taux de parasitisme est potentiellement important, mais très variable (typiquement de 30 à 90%). Favoriser le développement de ces parasitoïdes pourrait donc être un bon moyen de contrôler naturellement les populations de méligèthes, sans utilisation d'insecticides. Il s'agirait d'un bel exemple agroécologique d'exploitation d'un service écosystémique rendu par la biodiversité. Des recherches intensives ont eu lieu sur ce sujet, depuis plus de 10 ans, en particulier en Haute-Normandie, dans des travaux impliquant des équipes de l'INRA et d'AgroParisTech. Ces travaux sont

trop longs et complexes pour être détaillés ici, mais les résultats majeurs sont disponibles dans deux thèses (Rusch, A, 2010⁵ et Juhel A., 2017⁶).

Pour résumer les résultats essentiels, les auteurs ont d'abord quantifié les populations de méligèthes 2 années de suite dans leur région d'étude (Eure et Seine-Maritime). Ils ont observé que la population de méligèthes observée chaque printemps était proche en moyenne du seuil de nuisibilité, mais avec de grandes variations :

| | Eure | | | Seine Maritime | | |
|---|---------------|-------|--------|----------------|------|--------|
| | Moyenne | Mini | Maxi | Moyenne | Mini | Maxi |
| Densité de méligèthes (individus/m ²) | 252,51 | 11,45 | 627,84 | 186,03 | 45,3 | 502,93 |
| Densité de méligèthes (individus/plante)* | 6,31 | 0,29 | 15,70 | 4,65 | 1,13 | 12,57 |

Populations de méligèthes observées dans les deux départements d'étude (d'après la Fig. 2.1 de Rutsch 2012). Pour faciliter la comparaison avec les seuils de nuisibilité de Terres Inovia, nous avons estimé la population/plante en nous basant sur la densité de pieds moyenne des cultures de colza (40 pieds/m²).

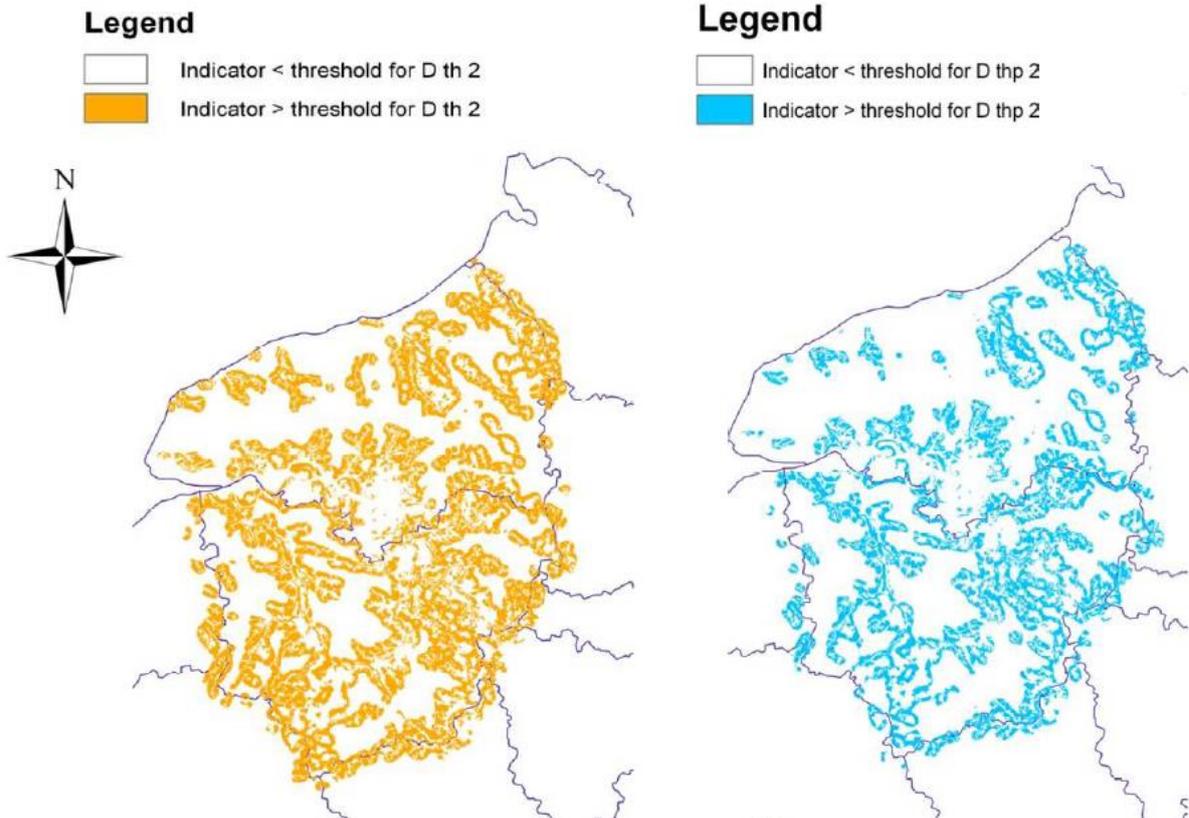
Ils ont ensuite mesuré le taux de parasitisme des larves de méligèthes de la 1^{ère} génération (celle qui naît sur le colza). Ce taux de parasitisme est important, mais avec là aussi de grandes hétérogénéités :

| | Eure | | | Seine Maritime | | |
|------------------------|--------------|-------|-------|----------------|------|-------|
| | Moyenne | Mini | Maxi | Moyenne | Mini | Maxi |
| % de larves parasitées | 65,20 | 22,66 | 98,00 | 33,58 | 0,00 | 80,66 |

Il est impressionnant de constater que le taux de parasitisme peut atteindre naturellement 80 à 98%, et il est tentant de chercher les facteurs environnementaux ou cultureux qui permettent d'obtenir de tels résultats, afin de les favoriser pour augmenter l'efficacité naturelle des parasitoïdes.

Pour cela, les chercheurs ont étudié deux pistes, assez classiques en agroécologie : l'effet du travail du sol, et celui de l'environnement paysager des parcelles. Nous passerons rapidement sur les travaux concernant le travail du sol, qui ont donné rapidement des résultats clairs, et logiques compte tenu des connaissances sur la biologie des parasitoïdes. En effet, **A Rusch a constaté dans sa thèse que l'absence de labour après le colza améliore sensiblement le taux de survie hivernal des parasitoïdes, et donc leur capacité à infester les méligèthes l'année suivante.**

La deuxième piste, celle des variables environnementales, s'est avérée beaucoup plus difficile à suivre. **On sait que la complexité du paysage, c'est-à-dire le degré d'imbrication des éléments naturels ou semi-naturels (haies, bois) avec les parcelles, est souvent favorable au maintien d'une forte population d'insectes auxiliaires. Toutefois, dans ce cas précis, l'effet de cette complexité du paysage est plus ambigu, car elle est favorable à la fois au méligèthe et à ses parasitoïdes, mais avec des effets d'échelle géographique différents.** Pour tous, la présence de bois ou de haies est un facteur favorable, mais les facteurs liés aux parcelles cultivées diffèrent. Nous avons vu que la deuxième génération annuelle de méligèthes se disperse dans le paysage à la fin du printemps, le colza n'étant plus en fleur quand elle émerge. Par contre, les parasitoïdes n'ont qu'une génération par an, et restent donc inféodés à la parcelle de colza où ils sont nés... mais qui porte une autre culture (généralement du blé) quand ils émergent l'année suivante. C'est au printemps suivant qu'ils doivent se disperser, pour retrouver des parcelles de colza hébergeant des méligèthes. Il a donc fallu de nombreuses mesures de terrain, suivies de traitements statistiques complexes, pour hiérarchiser l'effet des éléments du paysage, à différentes échelles géographiques. Les auteurs ont pu modéliser l'effet des éléments du paysage sur les populations de méligèthes et leur taux de parasitisme. En croisant ces modèles avec une analyse des images satellite de la zone d'étude, ils ont même réussi à quantifier et cartographier les zones où la proximité des bois expose les parcelles de colza à un risque de méligèthe supérieur au seuil de nuisibilité, et à estimer le taux de parasitisme associé à ces zones :



Extrait de la Fig. 6.5 de Rusch et al : en orange, portions de la zone d'étude où le modèle basé sur la proximité des terrains boisés prédit des infestations de méligèthes supérieures au seuil de nuisibilité de 6 adultes/plante au stade 55 (Boutons séparés). En bleu, portions de la zone d'étude où le taux de parasitisme attendu est supérieur ou égal à 80%. On voit que ces zones se recoupent très largement, ce qui signifie que, là où les méligèthes ont un coût économique significatif, le taux de parasitisme qu'ils subissent est généralement supérieur à 80%. A l'inverse, dans les zones blanches de la carte bleue, le taux de parasitisme est plus faible, mais il s'agit le plus souvent de zones où les méligèthes n'ont pas d'impact économique, puisque la grande majorité d'entre elles sont également blanches dans la carte de gauche (ce qui veut dire que le méligèthe y est en-dessous du seuil de nuisibilité).

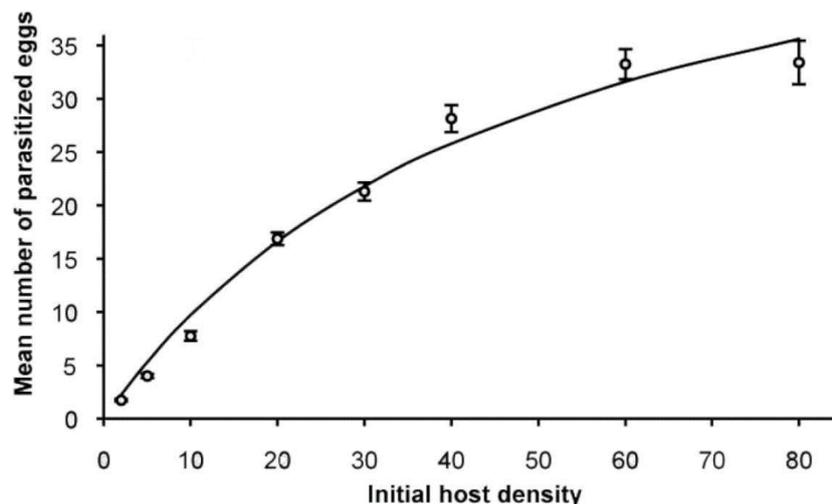
D'après ce modèle, l'efficacité du parasitisme atteindrait 90% sur à peu près la moitié des parcelles atteignant le seuil de nuisibilité :

| Densité de population des méligèthes | Taux de parasitisme | | |
|--------------------------------------|---------------------|------|------|
| | 70% | 80% | 90% |
| 2 adultes par plante au stade 51 | 100% | 68% | 51% |
| 6 adultes par plante au stade 55 | 100% | 62% | 46% |
| 15 adultes par plante au stade 55 | 100% | 100% | 100% |

Taux de parasitisme prévu sur les secteurs où les parcelles de colza sont exposées à un risque de méligèthes supérieur au seuil de nuisibilité (adapté du Tableau 6.5 de Rusch, 2010). Exemple de lecture : sur les parcelles exposées à 6 méligèthes/plante au stade 55 (« Boutons séparés fermés », un stade précédant de peu la floraison du colza), le taux de parasitisme attendu est supérieur ou égal à 70% sur l'ensemble des surfaces, supérieur ou égal à 80% sur 62% des surfaces, et supérieur ou égal à 90% sur 46% des surfaces.

Méligèthes et parasitoïdes : qui contrôle qui ?

Ces résultats sont passionnants sur le plan scientifique, mais quelles sont leurs applications pratiques potentielles ? Les auteurs ont démontré que les taux de parasitisme obtenus par les parasitoïdes du méligèthe peuvent être élevés (plus de 90%), mais cela ne garantit pas un effet suffisant pour que leur proie n'atteigne pas le seuil de nuisibilité. **En effet, le biocontrôle par des auxiliaires prédateurs ou parasitoïdes présente une différence de mode d'action très importante par rapport aux traitements chimiques : leur efficacité est le plus souvent très dépendante de la densité de population de leur proie.** Cela tient au fait que, si les proies sont peu nombreuses et dispersées, les prédateurs ont plus de mal à les trouver, ce qui réduit leur succès reproductif et donc leur efficacité. Ce phénomène est caractérisé par ce qu'on appelle la courbe de réponse fonctionnelle du parasitoïde, c'est-à-dire la façon dont le taux de parasitisme varie avec la densité de population de son hôte. **Cette courbe de réponse fonctionnelle est essentielle pour évaluer l'intérêt d'un prédateur ou d'un parasite en tant qu'agent de biocontrôle.** En effet, c'est elle qui établit l'équilibre biologique vers lequel tendent les populations respectives du ravageur et de son parasite : si la courbe de réponse fonctionnelle a une forte pente, cela veut dire que le parasite n'aura un effet intéressant que quand la population du ravageur est assez forte. Dans ce cas, il risque de réguler ses populations à un niveau supérieur au seuil de nuisibilité, et a donc peu d'intérêt en biocontrôle. Bien souvent, l'établissement de ces courbes de réponse fonctionnelle est l'étape fatidique, pour déterminer si un insecte prédateur ou parasite d'un ravageur a un bon potentiel en tant qu'agent de biocontrôle d'un ravageur d'un insecte ravageur.



*Exemple de réponse fonctionnelle d'un insecte auxiliaire (*Trichogramma brassicae*, un hyménoptère parasitoïde utilisé en biocontrôle contre la Pyrale du Maïs, avec comme proie les œufs du lépidoptère *Sitotroga cerealella*). On voit que l'efficacité du parasitoïde diminue fortement quand la densité de sa proie tombe en dessous d'un certain seuil (ici la densité de 50 œufs par unité de surface d'étude). Si ce seuil est supérieur au seuil de nuisibilité de l'insecte ravageur visé, l'insecte auxiliaire ne suffira pas pour contrôler efficacement le ravageur, à moins d'en renforcer massivement les populations naturelles (ce que l'on fait pour *T. brassicae*, avec des « produits » de biocontrôle comme Pyratip de BASF).*

Les courbes de réponse fonctionnelle des parasitoïdes du méligèthe ne sont pas connues, mais les résultats des études menées en France suggèrent fortement que ce seuil est pour eux nettement supérieur au seuil de nuisibilité du méligèthe. Les auteurs affirment pourtant que le taux de parasitisme des méligèthes est peu influencé par la densité de population, mais ce résultat vient de statistiques observationnelles, probablement biaisées par les interactions avec l'environnement (cf Fig 2.4a et 4.4a plus bas).

Réf : Farrokhi et al, 2010⁷

Ces courbes de réponse fonctionnelle sont classiquement mesurées par des expérimentations en conditions contrôlées, où l'on fait varier artificiellement les populations du ravageur et du parasite. Ces courbes ne sont pas connues pour les parasitoïdes du méligèthe. Toutefois, **les auteurs se sont bien sûr intéressés à la relation entre densité de méligèthes et taux de parasitisme, et ils ont trouvé un faible effet de la population de méligèthes sur le taux de parasitisme, ce qui normalement devrait être plutôt rassurant sur l'efficacité des parasitoïdes comme agent de biocontrôle. Mais ce résultat n'a pas été obtenu par des expérimentations dédiées à ce sujet : il résulte simplement des traitements statistiques pratiqués pour hiérarchiser les éléments influents sur le taux de parasitisme.** Or cette méthode, purement observationnelle, peut conduire à des biais statistiques, si ces deux populations sont fortement influencées par des facteurs extérieurs communs. Et il semble bien que ce soit le cas, quand on examine les résultats :

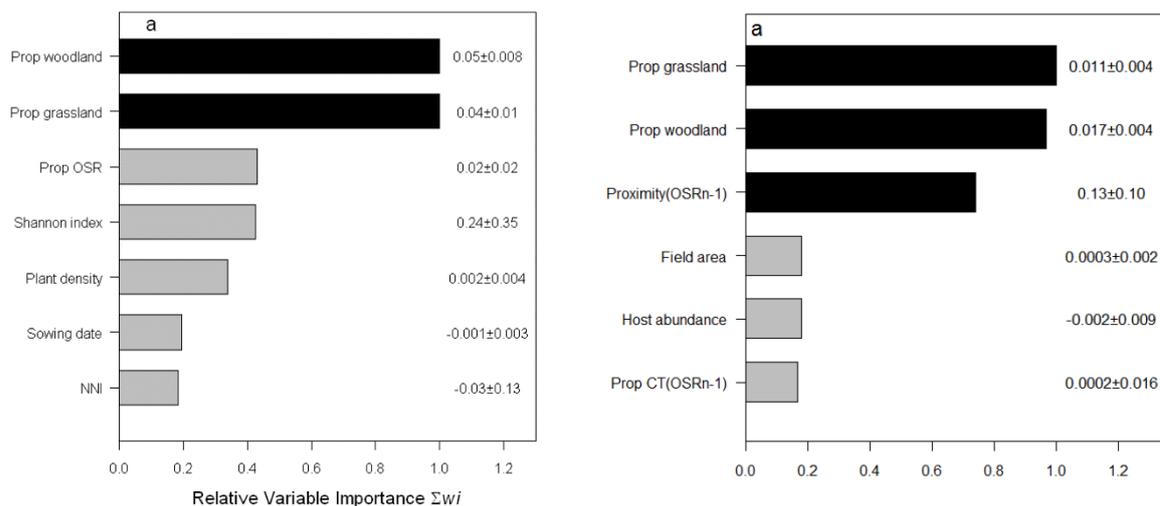


Fig 2.4.a (à gauche) et Fig. 4.4.a (à droite) de Rusch 2010 : facteurs influençant respectivement les populations de méligèthes, et leur taux de parasitisme total. Plus la valeur associée à un facteur est élevée, plus ce facteur est influent sur le taux de parasitisme.

Pour les méligèthes, les résultats sont parfaitement cohérents avec les connaissances sur la biologie de ce ravageur. En effet, alors que la 1^{ère} génération annuelle de méligèthes se reproduit sur les parcelles de colza, la 2^{ème} génération se disperse dans les bois et prairies environnantes, avant de recoloniser les parcelles de colza l'année suivante. Il est donc logique que la proportion de bois (Prop Woodland) ou de prairies (Prop grassland) dans le paysage soient les facteurs les plus favorables aux attaques de méligèthes. Par contre, les parasitoïdes du colza n'ont qu'une génération par an, qui se reproduit et hiverne dans la parcelle de colza où ils sont nés. Il est donc logique que la proximité des parcelles à précédent colza (Proximity(OSRn-1)) soit un facteur assez favorable à un fort taux de parasitisme. Mais rien dans leur biologie n'explique que la proximité de bois ou de prairies soient les facteurs les plus liés à un taux de parasitisme élevé. Il est probable que cet effet apparemment favorable des espaces semi-naturels (qui n'est qu'une simple corrélation positive) soit simplement dû au fait que le taux de parasitisme soit très dépendant de la densité de population de méligèthes.

Dans la figure 4.4 de Rusch 2012, on voit effectivement que l'abondance de l'hôte (le méligèthe), n'a qu'un faible « effet » (ou plutôt qu'une faible corrélation statistique) sur le taux de parasitisme. En soi, ce résultat serait plutôt rassurant, mais il est surprenant : comment se fait-il que l'on trouve un si faible effet de la population de l'hôte sur le taux de parasitisme, alors que les cartes vues ci-dessus montrent bien qu'en pratique le parasitisme n'est élevé que là où les populations de méligèthes sont élevées ? La clé de cette énigme est manifestement dans la figure 4.4 a : on y voit que la présence de prairies et de bois dans un rayon de 250m sont les facteurs les plus influents sur le taux de parasitisme, devant la proximité de parcelles ayant porté du colza l'année précédente. Pourtant, rien dans la biologie connue des parasitoïdes ne peut expliquer cet effet favorable des prairies et des bois, puisqu'ils n'y séjournent

pas : les parasitoïdes émergeant l'année N sont nés sur les parcelles de colza de l'année N-1, et y ont hiberné. Dans sa thèse, A. Rusch avait observé que les parasitoïdes adultes émergents s'alimentent activement les fleurs de colza. Cela laissait penser que ceux qui émergent le plus tôt pourraient avoir besoin de fréquenter les bois et les prairies pour y trouver d'autres fleurs, en attendant que le colza florisse. Mais cette hypothèse n'a pas été confirmée par A. Juhel, qui a conclu que le déterminant majeur de la densité de population des parasitoïdes et du taux de parasitisme est bien le niveau de population des méligèthes, et non la présence des bois en elle-même. L'hypothèse la plus probable reste donc que, si le taux de parasitisme est plus élevé à proximité des bois et des prairies, c'est tout simplement... parce que c'est là que les méligèthes sont les plus nombreux ! **Tous les résultats d'observations, et même les modèles développés par les auteurs, vont donc dans le sens où l'efficacité du parasitisme serait très dépendante de la densité de population des méligèthes, et ne deviendrait significative que quand cette densité est supérieure au seuil de nuisibilité.**

Si c'est le cas, on peut se demander pourquoi la densité de population des méligèthes (Host abundance) n'arrive qu'au 5^{ème} rang des facteurs « influençant » ce taux de parasitisme. **En fait, ce n'est pas si surprenant : n'oublions jamais qu'un modèle statistique ne mesure jamais une causalité, il indique simplement quelles sont les variables les mieux corrélées à la variable étudiée.** Ce qui peut influencer sur l'efficacité du parasitisme est la densité moyenne de méligèthes, à l'échelle de la distance que peut parcourir facilement un hyménoptère parasitoïde, soit quelques centaines de mètres. Les mesures d'«host abundance» sont au contraire des comptages très ponctuels, qui peuvent présenter d'importantes fluctuations aléatoires par rapport à leur densité moyenne à une échelle géographique de quelques hectomètres. Il n'y aurait donc rien d'étonnant à ce que la proximité de bois, qui est fortement associée à la population de méligèthes à cette échelle géographique, soit mieux corrélée avec le taux de parasitisme que les comptages de méligèthes plus ponctuels, et donc soumis à plus de fluctuations aléatoires.

Quoiqu'il en soit, le modèle d'A. Rusch montre bien que les taux de parasitisme ne sont importants que là où les populations de méligèthes sont au-dessus du seuil de nuisibilité : ce sont les populations de méligèthes qui semblent réguler les populations de parasitoïdes, plutôt que le contraire... En tout cas, il est clair que dans les modes de culture actuels, les populations naturelles de parasitoïdes ne peuvent assurer une régulation satisfaisante du méligèthe.

Quelles applications pour les agriculteurs ?

Ces travaux permettent-ils d'envisager une réduction du recours aux pesticides, et si oui, par quels changements de pratique ? De ce point de vue, les résultats présentés sont beaucoup moins clairs :

- L'enseignement qui devrait être le plus simple d'application, est que les secteurs géographiques où les méligèthes peuvent dépasser leur seuil de nuisibilité seraient nettement minoritaires (zones oranges dans la Fig 6.5 ci-dessus). Si c'est le cas, les traitements méligèthes sont donc inutiles sur la majeure partie du territoire haut-normand (« zones blanches » de la carte). Il faut toutefois noter que les cartes de la figure 6.5 représentent les résultats du modèle, et non une cartographie des observations réelles. Avant de recommander l'arrêt des traitements dans les « zones blanches », il faudrait donc s'assurer que cette règle ne connaît pas trop d'exceptions. Ce qui nous ramène à un problème récurrent dans les publications d'agroécologie : nous n'avons aucune comparaison quantitative entre les prédictions de ce modèle et la réalité des observations (ce que l'on appelle classiquement la validation d'un modèle⁸). Nous ne savons donc pas quelle est la proportion de parcelles en zones blanches,

parmi celles suivies par les chercheurs, qui divergent du modèle au point qu'un traitement méligèthe pourrait y être nécessaire. **Notons toutefois que ce problème est sans importance pratique, puisque l'application des méthodes d'agriculture raisonnée (piégeages des insectes dans des pièges jaunes) suffit à supprimer les traitements dans ces régions, si le modèle est valide.**

- Pour les régions bleues (à proximité de bois), le taux de parasitisme est de l'ordre de 80%, voire plus, ce que les agroécologistes considèrent comme un niveau satisfaisant pour contrôler les méligèthes. C'est effectivement une « efficacité » du même ordre de grandeur que celle d'un insecticide chimique, mais les conséquences sur la culture sont loin d'être les mêmes. Nous avons vu que ce sont les adultes de méligèthes qui provoquent l'essentiel de pertes de rendement, alors que les parasitoïdes n'attaquent que les larves. **Le parasitisme permet donc seulement de réduire les populations de méligèthes qui pourront attaquer la culture l'année suivante, mais n'a aucun impact sur la perte de rendement de l'année en cours.** Par contre, les traitements insecticides visent bien les adultes, ils ont donc une double action : ils évitent les pertes de rendement de l'année en cours ; de plus, comme ils sont pratiqués dès l'arrivée des adultes dans le champ de colza, la plupart d'entre eux n'ont pas le temps de pondre. Le traitement chimique a donc un effet retardé sur les populations de méligèthes de l'année suivante, au moins équivalent à celui du parasitisme...en plus de préserver le rendement de l'année N, ce que le parasitisme ne permet pas. Ce constat est d'ailleurs confirmé par le fait que ces zones bleues sont entièrement incluses dans les zones oranges, et donc que la densité de population des méligèthes y est structurellement supérieure au seuil de nuisibilité.

En fait, les résultats de ces travaux montrent bien que les populations naturelles de parasitoïdes ne permettent pas de contenir les méligèthes à un niveau acceptable sans perte de rendement pour les agriculteurs. Ce n'est d'ailleurs pas très étonnant, vu les données connues sur la reproduction du méligèthe. A. Rusch rappelle qu'une femelle pond une centaine d'œufs, et que le sex ratio du méligèthe est proche de 1 (c'est-à-dire qu'il y a autant de mâles que de femelles). On peut donc considérer qu'un adulte observé à la floraison donne naissance en moyenne à une cinquantaine de larves de 1^{ère} génération. Un taux de parasitisme de 90% peut paraître impressionnant, mais il signifie en fait que, pour 1 adulte à l'émergence, on obtiendra environ 5 larves viables en 1^{ère} génération... qui pourront elles-mêmes se multiplier généreusement pendant la 2^{ème} génération, qui n'est pas exposée aux parasitoïdes : ceux-ci n'ont qu'une génération par an.

Puisque les populations naturelles de parasitoïdes ne suffisent pas, dans le cadre des pratiques culturales actuelles, il faut donc réfléchir aux techniques culturales qui permettraient d'augmenter ces populations. On peut bien sûr envisager des introductions artificielles d'hyménoptères d'élevage, comme on le fait depuis longtemps pour *Trichogramma brassicae* afin de lutter contre la pyrale du maïs (*Pyrausta nivalis*, de BASF). Mais il faudrait pour cela qu'un acteur du biocontrôle s'en empare (ce qui sera l'occasion de déterminer enfin la courbe de réponse fonctionnelle des hyménoptères parasites des méligèthes...). Mais, en attendant, que peut-on recommander aux agriculteurs pour renforcer les populations naturelles de parasitoïdes ?

Malgré tout le travail remarquable d'agroécologie réalisée, aucune piste pratique ne se dégage encore : nous avons vu qu'aucun élément du paysage ne permet de favoriser les parasitoïdes plus que les méligèthes. Pour les pratiques culturales A. Rusch a bien observé dans sa thèse que l'absence de labour après le colza favorisait la survie des cocons de parasitoïdes. Toutefois, cet effet n'a pas été retrouvé dans toutes les études suivantes⁹. De plus, même d'autres publications de la même équipe rappellent que le non-labour peut par contre favoriser d'autres ravageurs du colza, ainsi que le

développement d'adventices¹⁰. Le rapport bénéfice/coût de l'arrêt du labour pour la protection du colza contre les insectes reste donc à établir, avant de conseiller cette mesure aux agriculteurs.

En fin de compte, la seule mesure envisagée pour faire remonter les populations de parasitoïdes est simple... mais assez radicale : il s'agirait d'arrêter les traitements insecticides, sur le colza, mais aussi sur les parcelles de céréales ayant porté du colza l'année précédente ! **Cela signifie donc que les agriculteurs devraient renoncer à toute protection contre les nombreux ravageurs potentiels de leurs parcelles de colza, afin de favoriser un biocontrôle qui ne fonctionne que sur un seul d'entre eux, et qui n'a pas encore montré sa capacité à maintenir les populations en-dessous du seuil de nuisibilité !** Il y a là un sérieux obstacle psychologique (et économique...) à la mise en application de cette pratique agroécologique sur le terrain. C'est d'autant plus regrettable que la nécessité de supprimer tout traitement insecticide est en fait loin d'être démontrée. L'équipe française n'a pas travaillé directement sur ce sujet, mais cite plusieurs références indiquant une forte sensibilité des parasitoïdes aux traitements insecticides. Toutefois, les résultats de la bibliographie sur ce sujet sont loin d'être unanimes. Une thèse allemande récente¹¹, portant sur l'effet de 3 insecticides couramment utilisés sur les méligèthes (un néonicotinoïde et deux pyréthriinoïdes), n'a observé aucun impact significatif des traitements insecticides sur le taux de parasitisme des méligèthes. De plus, son analyse de la bibliographie existante montre que les résultats sont contradictoires, et que les études concluant à un effet des insecticides sur les parasitoïdes ne permettent pas d'exclure un effet indirect, dû simplement au fait que les insecticides font baisser la population de larves de méligèthes, et du même coup la population de leurs parasites. D'ailleurs, une des publications citées par les auteurs français¹², pour justifier l'éviction des insecticides, a en fait des résultats nettement plus nuancés : elle a certes observé une baisse de la population des parasitoïdes sur les parcelles recevant une protection insecticide systématique, mais aucune sur les parcelles où ces traitements étaient raisonnés. Même les travaux d'A. Rusch laissent plutôt penser que la suppression des traitements ne changerait pas grand-chose : dans les perspectives de sa thèse (p. 149), il signale qu'il n'a pas pu étudier lui-même l'effet des insecticides sur les parasitoïdes, car pendant les deux années d'études sur le terrain qu'il a réalisées, la pression d'insectes autres que les méligèthes avait été faible, aussi bien sur colza que sur céréales, et qu'en conséquence peu de traitements avaient été réalisés. Cela montre bien que ses résultats, peu encourageants sur la capacité des parasitoïdes à contrôler les méligèthes, ne sont pas dus à un effet néfaste des traitements chimiques qui aurait inhibé le biocontrôle. **Incidentement, cela rappelle par ailleurs que les agriculteurs ne sont pas les pollueurs systématiques que l'on imagine trop souvent, puisqu'ils se sont majoritairement abstenus de traiter deux années consécutives, en absence d'insectes : l'agriculture raisonnée ne marche pas si mal que ça...**

Méthodologie : science observationnelle contre interventionnelle

Sur le plan méthodologique, nous avons retrouvé ici un problème déjà rencontré dans nos articles précédents sur l'agroécologie : la difficulté à identifier des liens de causalité dans les études observationnelles et systémiques pratiquées en écologie. Dans les exemples précédents, de simples corrélations entre variables étaient interprétées comme démontrant des services écosystémiques forts (effet positif des abeilles sur le rendement du colza, ou atténuation de la nuisibilité des adventices par leur biodiversité). Mais ces résultats paraissaient peu vraisemblables, quand on les comparait aux connaissances accumulées par des méthodes scientifiques réductionnistes en agriculture raisonnée. Ici, nous avons le problème inverse : une absence de corrélation qui laisse croire par erreur à une absence de causalité (la densité de population des méligèthes n'aurait pas d'effet sur le taux de parasitisme).

Il n'est pas question de nier la qualité et l'intérêt écologique de ces travaux, qui ont permis d'approfondir grandement les connaissances sur un couple ravageur/parasite particulièrement

important. Mais il est clairement temps de s'interroger sur leurs possibilités d'application. Plus de 10 ans après le début des travaux, la seule conclusion claire est que, dans le contexte agricole actuel, les populations naturelles des Hyménoptères parasitoïdes ne suffisent pas pour réguler les populations de méligèthes en dessous du seuil de nuisibilité. Pour exploiter un jour ce biocontrôle naturel, il serait donc nécessaire d'augmenter les populations de parasitoïdes, mais à ce jour les travaux n'ont permis d'identifier aucune piste qui le permettrait, sans faire remonter en même temps les populations de méligèthes (si on plante des haies), ou sans aggraver les risques encourus avec les autres ravageurs (suppression du labour, ou suppression des traitements insecticides).

De plus, pour les deux mesures agronomiques qui restent envisageables (suppression du labour et/ou des traitements insecticides) :

- le rapport coût/bénéfice de ces mesures n'a pas été établi : quelle perte de rendement induite par les ravageurs autres que le méligèthe ?
- même le bénéfice n'est pas clairement démontré : pour la suppression du labour, A. Juhel a rappelé que tous les auteurs qui ont travaillé sur ce sujet n'ont pas obtenu un effet positif significatif sur les parasitoïdes. Et nous avons vu que même un effet direct négatif des insecticides sur les parasitoïdes reste à démontrer (il va de soi que ces traitements ont un effet indirect, puisqu'ils font chuter les populations de méligèthes ; mais cet effet indirect ne perturbe pas les équilibres écologiques : au contraire, il en est la conséquence).

Une dernière méthode alternative serait d'introduire des parasitoïdes au champ lors de l'arrivée de l'arrivée des méligèthes, comme on le fait déjà pour le couple Pyrale du maïs/*Trichogramma brassicae*. Mais à notre connaissance aucune équipe de recherche publique ou privée n'annonce de travaux dans ce sens.

Il reste donc beaucoup de recherches à prévoir, simplement pour s'assurer que les parasitoïdes du méligèthe ont réellement un potentiel de biocontrôle intéressant. **Pour cela, un changement de méthode s'impose, car il devient clair que les méthodes issues de l'écologie, observationnelles et statistiques, sont arrivées à leurs limites sur ce sujet.** Pour débloquer cette situation, nous avons vu que la courbe de réponse fonctionnelle de ces Hyménoptères est la clé de voute de toutes les questions en suspens : c'est cette courbe qui permettra de savoir quelle densité de population d'Hyménoptères serait nécessaire pour cela, et par là-même de savoir si on peut espérer de façon réaliste attendre cette densité de population par des mesures agronomiques, ou si des introductions d'Hyménoptères dans le milieu sont nécessaires. **Tout cela nécessite des expérimentations scientifiques au sens classique, c'est-à-dire interventionnistes et réductionnistes (où l'on ne fait varier que les densités de peuplement du ravageur et de l'insecte auxiliaire, toutes choses égales par ailleurs).** Cela sans doute en milieu artificiel, car de telles expériences seraient très difficiles à réaliser sur le terrain.

Nous retrouvons donc le problème déjà observé dans nos articles précédents sur l'agroécologie : le manque d'expérimentations interventionnistes permettant de valider la véracité des services écosystémiques suggérés par les études observationnelles d'agroécologie, et de définir les mesures agronomiques que devraient prendre les agriculteurs pour bénéficier de ces services écosystémiques. **Cet exemple particulier du méligèthe est aussi très révélateur du paradoxe profond de l'approche actuelle de l'agroécologie « forte », qui se fixe comme objectif une transformation profonde des modes de production agricoles. Elle prétend le plus souvent identifier les pistes de transformation à mettre en œuvre, à partir d'études observationnelles de terrain, qui par définition ne permettent d'analyser que les pratiques existant actuellement.** Des études interventionnistes seraient pourtant nécessaires pour valider les hypothèses issues des études observationnelles, mais ces études sont très difficiles à réaliser sur le terrain et dans des exploitations agricoles réelles, si on envisage des

changements systémiques des pratiques. C'est bien le problème que nous rencontrons ici : les données rassemblées par les auteurs arrivent à la conclusion que seule la suppression des insecticides permettrait (peut-être) d'obtenir une régulation satisfaisante des méligèthes par les parasitoïdes. On comprend facilement que les agriculteurs, surtout ceux qui connaissent bien les règles de décision de l'agriculture raisonnée, hésitent à tester cette solution radicale :

- sans démonstration préalable de l'efficacité réelle des parasitoïdes
- sans solution alternative pour faire face aux autres ravageurs que la suppression des insecticides laissera prospérer
- ni même sans savoir quelle serait la nuisibilité moyenne des insectes du colza, dans le nouveau système agricole sans insecticide proposé par les chercheurs.

Ce dernier point est particulièrement crucial, si l'on propose de renoncer à la protection insecticide pour favoriser les insectes auxiliaires, comme le font les promoteurs de l'agroécologie. Les règles actuelles de l'agriculture raisonnée se sont construites progressivement par l'accumulation de références expérimentales de laboratoire et de terrain, qui ont permis de mesurer de façon différenciée la nuisibilité individuelle de chaque espèce de ravageur, mais aussi parfois les interactions entre eux.

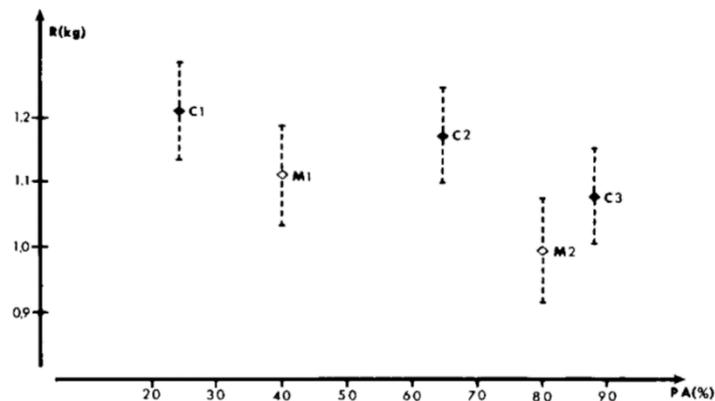


Figure 1

Relation entre les rendements (R) — ajustés par le nombre d'inflorescences — et le pourcentage de plantes attaquées par C. napi (PA). Les intervalles de confiance de chaque moyenne sont indiqués pour $t_{0,05}$ (test bilatéral).

Relationships between adjusted yields — the covariable is the number of racemes — and the percentage of plants attacked by C. napi. Confidence intervals of the means are given for $t_{0,05}$ (bilateral test).

Exemple d'expérimentation ayant participé à la définition de seuils de nuisibilité des insectes au colza (Lerin et Rivault 1988¹³). Il s'agit d'un protocole expérimental réductionniste et interventionniste, c'est-à-dire que l'on a fait varier au champ, dans des cages grillagées, la densité de peuplement d'un ravageur du colza (le charançon de la tige), seul (modalités C1, C2 et C3), ou suivi d'attaques de méligèthes (modalités M1 et M2). C'est ce type d'expérimentation qui a permis d'établir de façon fiable les seuils de nuisibilité de chaque espèce de ravageur, et parfois, comme dans cet exemple, de démontrer les interactions qui existent entre elles : on observe ici que la nuisibilité du charançon de la tige est aggravée quand il est suivi d'une attaque de méligèthes, qui empêche de compenser par le nombre de fleurs les dégâts sur tige créés par le charançon. Ce type d'expérimentation permet d'identifier sans ambiguïtés et avec précision l'effet des facteurs environnementaux sur le rendement des cultures, contrairement aux études observationnelles pratiquées en écologie.

Sans cette dialectique entre les études observationnelles et l'expérimentation interventionniste, l'agroécologie ne peut proposer aux agriculteurs des changements de pratiques validés scientifiquement, comme l'agriculture raisonnée a su le faire en son temps. C'est d'autant plus vrai quand elle propose des solutions radicales comme la suppression des traitements sur plusieurs ravageurs simultanément, afin de favoriser des insectes auxiliaires, qui n'ont montré qu'une efficacité

médiocre sur un seul de ces ravageurs. **Dans ces conditions, il est illusoire de mettre les difficultés de déploiement de l'agroécologie sur le compte de blocages mentaux ou institutionnels du monde agricole de terrain. La solution agroécologique proposée ici n'est pas seulement risquée : elle paraît, dans l'état actuel des connaissances, contradictoire avec trente ans de travail scientifique, réalisé par les mêmes Instituts que ceux qui recommandent maintenant cette nouvelle approche.**

La contradiction n'est peut-être pas si forte qu'elle en a l'air : comme nous l'avions évoqué en introduction, l'agriculture raisonnée classique ne s'est pas beaucoup préoccupée de quantifier la relation entre nuisibilité de densité de population des ravageurs, quand le seuil de nuisibilité est dépassé. Elle a ainsi un peu trop « sacralisé » ces seuils, alors que leurs dépassements modérés et ponctuels de ces seuils n'ont pas forcément un impact économique majeur. La voie radicale proposée par les chercheurs n'est donc pas forcément absurde, mais il faudrait un minimum de démonstration de sa crédibilité sur le terrain. A défaut, il sera toujours plus facile de faire passer des innovations incrémentales sur le terrain. Cela n'exclut d'ailleurs pas l'agroécologie : de son côté, l'Institut Technique Terres Inovia a proposé une méthode de lutte, basée sur des mélanges de semences incluant une variété précoce, qui sert de « piège » pour les méligèthes, et épargne ainsi la variété principale destinée à être récoltée. Même si cette méthode a aussi ses contraintes pour l'agriculteur, elle offre ainsi une alternative accessible aux traitements chimiques contre le méligèthe, sans mettre en péril toute la protection du colza. En agroécologie aussi, le pragmatisme et la politique des « petits pas » peuvent être plus efficaces que les « changements de paradigme » !

Philippe STOOP

¹ <https://www.ccomptes.fr/fr/publications/le-bilan-des-plans-ecophyto>

² <https://www.agriculture-environnement.fr/2020/01/23/agroecologie-attention-aux-promesses-prematurees> et <https://www.agriculture-environnement.fr/2020/03/10/agroecologie-attention-aux-promesses-prematurees-biodiversite-adventices>

³ https://www.academie-agriculture.fr/system/files_force/seances-colloques/20190130presentation1.pdf?download=1, diapos 9 et 10.

⁴ Réf EcophytoPIC

⁵ https://pastel.archives-ouvertes.fr/file/index/docid/589802/filename/These_ARusch.pdf

⁶

https://www.researchgate.net/publication/336132311_Dynamique_des_populations_de_meligethes_Brassicogethes_aeneus_Fabr_Coleoptera_Nitidulidae_et_de_son_principal_parasitoide_Tersilochus_heterocerus_Thomson_Hymenoptera_Ichneumonidae_en_fonction_de

⁷ <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3016869/>

⁸ Pour d'autres exemples de modèles non validés, voir par exemple <http://labs.itk.fr/2020/06/08/mildiou-de-la-vigne-la-viticulture-raisonnee-a-t-elle-vraiment-tout-faux/>, <http://www.forumphyto.fr/2016/09/26/les-nuisances-virtuelles-des-neonicotinoides-episode-2-le-retour-des-abeilles-a-puce/> et <http://www.forumphyto.fr/2016/09/15/les-nuisances-virtuelles-des-neonicotinoides-episode-1-les-abeilles-sauvages/>

⁹

https://www.researchgate.net/publication/273790136_Agricultural_management_reduces_emergence_of_pollen_beetle_parasitoids

¹⁰ https://www.ocl-journal.org/fr/articles/ocl/full_html/2012/03/ocl2012193p169/ocl2012193p169.html

¹¹

https://www.researchgate.net/publication/320932777_Effects_of_insecticide_application_on_parasitism_rates_of_pollen_beetle_larvae_Brassicogethes_aeneus_Fabricius_by_tersilochine_parasitoids

¹²

https://www.researchgate.net/publication/237440605_Integrating_parasitoids_into_management_of_pollen_beetle_on_oilseed rape

¹³ <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00885096/document>