

## itinéraires techniques intégrés du colza d'hiver: comment concilier environnement et économie

**Christine Bouchard, Muriel Valantin-Morison, Gilles Grandeau**

INRA, unité d'agronomie UMR 211  
INRA-AgroParisTech, bâtiment EGER, 78850 Thiverval-Grignon

[c3r@orange.fr](mailto:c3r@orange.fr); [muriel.morison@grignon.inra.fr](mailto:muriel.morison@grignon.inra.fr); [gilles.grandeau@grignon.inra.fr](mailto:gilles.grandeau@grignon.inra.fr)

Alors que l'accroissement de la production agricole demeure une préoccupation majeure face aux défis démographiques, environnementaux et énergétiques, le modèle d'agriculture fondé sur l'utilisation intensive et massive de pesticides, d'engrais chimiques, d'eau et d'énergie fossile est aujourd'hui largement remis en cause (Tilman *et al.*, 2002). L'impact de l'utilisation des pesticides (van der Werf, 1996 ; Aubertot *et al.*, 2005) sur la santé et l'environnement (pollution des eaux), sur la durabilité agronomique de ces méthodes de lutttes (apparition de résistances) a conduit au renforcement des mesures réglementaires sur l'utilisation de ces produits et a initié des études de faisabilité de la réduction de la dépendance aux pesticides (Écophyto R&D, 2009). Par ailleurs un certain nombre de réflexions sur de nouvelles manières de produire, rentables et moins polluantes, ont été initiées depuis plus de dix ans.

L'agriculture française utilisait en 2008 un peu plus de 78 000 tonnes de matières actives de pesticides par an ce qui la place au premier rang des pays européens. À elles seules, les grandes cultures (fourrages cultivés compris) occupent 46% de la surface agricole utile (SAU) française (Écophyto R&D, 2009), alors que l'IFT moyen de la sole occupée par ces 9 cultures est de 3,9, ce qui représente une pression totale en pesticides, développée sur les surfaces concernées, d'environ 43,8 millions de doses homologuées par an. Parmi les grandes cultures (céréales, oléagineux, pomme de terre et betteraves), le colza (*Brassica napus* L.) est la culture particulièrement exposée à de nombreux bioagresseurs (Alford *et al.*, 2003). Elle consomme 19% des pesticides utilisés en grandes cultures, alors qu'elle n'occupe que 12% de la SAU cultivée en grandes cultures, ce qui se traduit par un indice de fréquence de traitement national (IFT) de 6,1 en 2006 (tabl. 1).

**Tableau 1. Indice de fréquence de traitement (IFT) et équivalent pleine dose (EDP) des principales cultures céréalières et oléagineuses en 2006. Le calcul est réalisé sur la base des enquêtes agricoles du SCEES.**

Espèce	IFT moyen, tous produits confondus	Part de la surface cultivée en « grandes cultures » (%)	Part de l'EDP <sup>(T)</sup> (%)	Part de l'EDP <sup>(H)</sup> (%)	Part de l'EDP <sup>(F)</sup> (%)	Part de l'EDP <sup>(I)</sup> (%)	Part de l'EDP <sup>(A)</sup> (%)
<b>Blé tendre</b>	4,0	43	44	40,6	52,1	20,8	64,1
<b>Colza</b>	6,1	12	19	15,1	10,4	52,8	11,8
<b>Orge</b>	3,2	15	12	13,3	14,0	3,8	14,9
<b>Pomme de terre</b>	16,6	1	6	2,0	13,7	1,7	2,8
<b>Betterave</b>	4,2	3	4	4,8	3,6	3,5	0,2

Indices EDP : (T) : tous produits confondus ; (H) : herbicides ; (I) : insecticides ; (F) : fongicides ; (A) : autres produits.

Sources : pour l'IFT, les données 2006 du SCEES pour la France entière (<http://www.agreste.agriculture.gouv.fr/page-d-accueil/article/donnees-en-ligne>). Les surfaces sont issues des données Agreste 2006. L'EDP (équivalent pleine dose) est l'IFT exprimé sur la surface développée.

L'intérêt agronomique de cette culture, son importance dans les zones de grandes cultures françaises et son bilan environnemental assez négatif, justifient très largement de travailler à l'adaptation des systèmes de culture de manière à améliorer ce bilan environnemental. Cette orientation nécessite de mettre au point des itinéraires techniques intégrés. La protection intégrée (El Titi *et al.*, 1993; Rolland *et al.*, 2003) fait appel à la fois à la lutte chimique, au contrôle génétique et cultural, et au contrôle des bio-agresseurs en favorisant les processus de régulations biologiques, sans dégrader la rentabilité économique. Les moyens chimiques sont utilisés « en dernier recours » quand les autres, déjà cités, ne suffisent pas à assurer un bon niveau de protection et de production. Le postulat de ces travaux repose sur le fait que l'on peut par une combinaison de pratiques culturales défavoriser le bio-agresseur et éviter ainsi qu'il n'entre en contact avec la culture.

Dans la littérature scientifique, un certain nombre d'études analytiques existent et examinent les relations plantes bio-agresseur en manipulant peu de pratiques culturales et en ne considérant qu'un seul ennemi des cultures (mauvaises herbes, phoma ou insectes). Or c'est en manipulant les interactions couvert-milieu-bio-agresseur que l'on peut influencer les niveaux d'attaque des bio-agresseurs (Meynard *et al.*, 2003 ; Doré *et al.*, 2006 ; Médiène *et al.*, 2011). C'est au travers de la gestion de ces interactions que l'on peut mettre en place une combinaison de pratiques culturales qui défavorise le bio-agresseur. La conception d'itinéraires techniques ne se réduit pas à la juxtaposition de l'ensemble des moyens de lutte (Sébillote, 1974) et repose alors sur la combinaison logique des différents leviers à effets partiels sur plusieurs bio-agresseurs. C'est pourquoi, en préambule à la conception de nouveaux itinéraires techniques intégrés, un schéma de fonctionnement du champ cultivé est indispensable (Valantin-Morison et Pinochet, 2010).

Dans ce schéma sont explicités les objectifs agronomiques et les moyens d'y parvenir. C'est alors l'ensemble combiné et logique de ces solutions agronomiques à effets partiels qui permettra d'atteindre l'objectif. Par exemple, on peut favoriser l'évitement en désynchronisant les cycles plante-bio-agresseur (Médiène *et al.*, 2010), en favorisant la résistance variétale qui évitera la contamination (Aubertot *et al.*, 2004). On peut également perturber le milieu, en défavorisant le micro-climat nécessaire au développement d'une maladie, ou en défavorisant la germination, la levée d'une mauvaise herbe par le travail du sol ou l'allélopathie ou en réduisant la probabilité qu'un insecte retrouve son

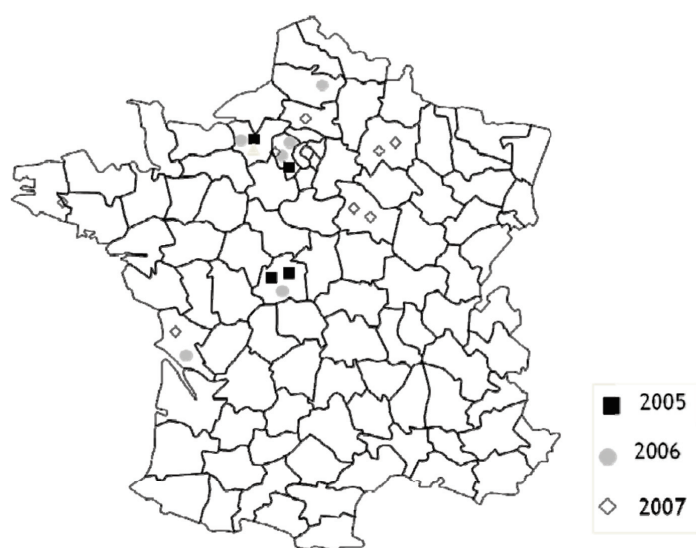


Figure 1. Le réseau d'essais

hôte en perturbant ses signaux olfactifs et visuels.

Enfin, on peut atténuer l'impact de l'attaque, ce qui revient à réduire l'amplitude des dégâts lorsqu'une attaque ou une contamination intervient. Le plus souvent, il s'agit de jouer sur la vigueur du couvert, comme, par exemple, de favoriser la compétition du couvert pour réduire l'enherbement, ou, sur colza, de favoriser la compensation de la plante pour réduire l'intensité des pertes de boutons floraux. Or ces différents objectifs peuvent être atteints par plusieurs moyens : modification de dates de semis, choix variétal, travail du sol, association d'espèces, densité de semis, fertilisation azotée (doses et dates).

Sur la base de ces acquis, des itinéraires techniques « intégrés » ont été construits et testés en parcelles agricoles ces 5 dernières années au sein d'un réseau d'essais auquel collaborent l'UMR d'agronomie de Grignon, le Centre technique des oléagineux (CETIOM) et certaines chambres d'agriculture. L'objectif de cet article est d'en présenter l'évaluation économique et environnementale.

## Un dispositif expérimental multi-local et pluriannuel

Le dispositif a duré 3 ans à partir de 2004 et la synthèse présentée dans cet article porte sur 32 essais répartis sur 17 sites. Pour chaque essai, au moins un itinéraire technique intégré et un itinéraire technique classique ont été implantés. Ces essais sont situés pour la majorité, dans un tiers nord ouest de la France (fig. 1) et sont soit disposés en bandes dans une parcelle agricole soit répétés plusieurs fois en bloc.

## Deux grandes stratégies de conduites culturales selon la disponibilité en azote du milieu au moment du semis

L'objectif de ces itinéraires techniques intégrés est, d'une part, de réduire l'utilisation des produits phytosanitaires et, d'autre part, de garder un optimum économique acceptant une éventuelle baisse de rendement de 10 % maximum (soit 3 quintaux en moyenne).

Les grandes lignes de ces itinéraires techniques intégrés sont basées sur des stratégies d'étouffement ou d'évitement et de piège (voir Valantin-Morison et Pinochet, 2010). Les leviers techniques utilisés pour favoriser l'étouffement et l'évitement sont une combinaison des interventions telles que la date de semis, la variété et les mélanges de variétés, l'écartement des lignes de semis, le travail du sol avant semis. L'utilisation du désherbage mécanique ne fait qu'accompagner et poursuivre la cohérence de l'itinéraire et bénéficie de l'expérience d'études spécifiques sur le désherbage mécanique (Lieven *et al.*, 2008). Un diagnostic en agriculture biologique avait permis d'identifier que la valeur seuil d'absorption d'azote par le couvert avant l'hiver pour favoriser l'étouffement des adventices et réduire leur nombre était de 98 kg/ha (Valantin-Morison et Meynard, 2008). Cela signifie que le milieu doit être en mesure de fournir 90 kg d'azote entre le semis et l'entrée de l'hiver, ce qui est possible derrière une légumineuse ou lorsque les épandages d'effluents d'élevage sont réguliers.

Tableau 2. Récapitulatif des différents itinéraires techniques testés.

	ITK intégré		ITK classique
	Stratégie A	Stratégie B	
<b>Contexte</b>	Forte réserve en eau et en azote	Faible réserve en eau et en azote	Préconisé par la chambre d'agriculture, cet itinéraire technique sert de référence
<b>Préparation du sol</b>		Plusieurs déchaumages pour faux semis	Déchaumage pour faux semis
<b>Labour</b>	De préférence un labour	Labour ou non-labour	labour ou non-labour
<b>Choix variétal</b>	Lignée ou hybride très peu sensible au phoma, avec une faible sensibilité à l'élongation, un repos hivernal marqué associé à une variété précoce ou à une bordure de navette	Lignée ou hybride	
<b>Date de semis</b>	15 jours avant celle préconisée par la région	Celle préconisée par la région	Celle préconisée par la région
<b>Densité de semis</b>	Densité normale à forte (50 pieds /m <sup>2</sup> )	Avec écartement fort (40 pieds /m <sup>2</sup> )	Densité normale (40 pieds /m <sup>2</sup> )
<b>Désherbage de pré-levée</b>	Impasse recommandée avec possibilité de rattrapage de post-levée précoce	Impasse recommandée	1 herbicide
<b>Désherbage de post-levée</b>	Si la densité de mauvaises herbes est supérieure à la densité de colza, entre les stades 3 feuilles et 5 voire 6 feuilles du colza et en conditions sèches, alors 1 désherbage mécanique en priorité sur le chimique	1 ou 2 passages d'herbicide	
	Passage de la herse étrille ou de la houe	Passage de la bineuse	
	Si le désherbage mécanique est impossible, un désherbage chimique anti-graminées de rattrapage est alors possible		
<b>Maîtrise des limaces</b>	Aucun molluscicide	Si la levée est hétérogène et la météo humide et si le seuil est dépassé, alors 1 molluscicide	Au moins un molluscicide
<b>Maîtrise des insectes d'automne</b>	Aucun insecticide	Si taux d'attaque de 40% pour le type d'insectes le plus problématique de la région, alors un insecticide	Règle de décision basée sur l'utilisation de la cuvette jaune : dès la présence d'insectes, appliquer 1 insecticide
<b>Maîtrise des insectes de printemps</b>	Méligèthes : si le seuil donné par la PV est atteint sur la bordure quand il y a une bordure plus précoce ou sur les plantes plus tardives quand elles sont en mélange, appliquer 1 insecticide. Une seule application, cesser toute application quand la floraison a commencé. Charançon de la tige : si cet insecte est problématique sur la région, dès les captures dans la cuvette jaune, appliquer 1 insecticide. Voir encadré 2	Jusqu'à la floraison, appliquer autant de fois l'insecticide que le seuil de nuisibilité indiqué par le CETIOM* est atteint (soit 1 à 3 insecticides)	
<b>Maîtrise du phoma</b>	Aucun fongicide d'automne		
<b>Maîtrise du sclérotinia</b>	Evaluer le niveau de risque et compléter avec le kit pétales (encadré 3) pour décider ou non d'intervenir (Makowski <i>et al.</i> , 2008)	1 à 2 traitements	
<b>Maîtrise de la verse</b>	Aucun régulateur	Un régulateur	

(\*) Voir : <http://www.cetiom.fr/=>ouest/=>publications/=>oleomail/>

**Encadré 1. Détermination de la dose d'azote à apporter**

Cette dose est déterminée grâce à la différence de la pesée de poids frais en entrée et en sortie de l'hiver qui intègre les éventuelles pertes de feuilles (et donc d'azote) sous l'effet du gel hivernal. Pour la pesée, 2 à 4 placettes représentatives de la parcelle sont prélevées. La moyenne entre les deux mesures de matière verte (kg/m<sup>2</sup>) est ensuite multipliée par 65 afin de déterminer la quantité d'azote absorbée. L'objectif de rendement, multiplié par 6,5, permet de connaître les besoins totaux de la culture. La dose à apporter est donc une différence entre, d'une part, les besoins et, d'autre part, la quantité absorbée calculée ci-dessus et la minéralisation de printemps. L'ensemble de ces étapes est résumé dans un outil d'aide à la décision nommé la « réglette azote » (Reau et Wagner, 1998 ; Makowski *et al.*, 2005 ; voir sur le site web du CETIOM, [www.cetiom.fr](http://www.cetiom.fr)).

De façon à prendre en compte la diversité des conditions pédo-climatiques des sites, en particulier la disponibilité en azote et en eau, deux stratégies sont proposées (voir ci-dessous et tabl. 2) et soit l'une des deux est choisie pour chaque site, soit les deux sont testées. En outre, nous avons été amenés à préciser, avec les acteurs du réseau (chambres d'agriculture), les règles de décision relatives à chaque choix technique. Ainsi, les niveaux d'intrants pour un même itinéraire peuvent varier d'une année à l'autre et entre lieux, mais les règles de décisions (RDD) établies sont communes (tabl. 2). Les fertilisations phospho-potassique et azotée sont identiques pour toutes les conduites et soumises à des outils d'aide à la décision communs (encadré 1).

Deux traitements expérimentaux sont mis en place par site correspondant à deux itinéraires techniques (ITK). Le premier est un itinéraire technique classique (ITK classique) dont les interventions sont celles préconisées par la chambre d'agriculture de la région (tabl. 2). Le second est un itinéraire technique intégré (ITK intégré) (tabl. 2) qui, selon les réserves en eau et en azote du sol, suivra :

– soit la stratégie A : sur sols profonds avec de fortes réserves en eau et surtout en azote (entre 80 et 100 kg/ha disponibles entre semis et entrée d'hiver). Le semis précoce (15 jours avant la date préconisée dans la région) avec de l'azote disponible permet d'étouffer les adventices autres que les repousses. Néanmoins, les faux semis<sup>1</sup> étant difficilement possibles, le labour sera favorisé afin d'éviter le problème des repousses et des graminées estivales. Le semis précoce aura aussi pour effet d'éviter la

concomitance du phoma, des limaces ou des insectes d'automne avec des stades sensibles du colza (du stade cotylédons à 3 feuilles), ce qui a été démontré sur colza biologique (Valantin-Morison *et al.*, 2007).

– soit la stratégie B : sur des sols superficiels sur lesquels la stratégie d'étouffement n'est pas possible, on favorise plutôt l'évitement de la levée des adventices avec la levée du colza par des faux semis répétés. Le semis de date normale sur sols superficiels permet d'éviter les stress hydriques et les carences azotées. En revanche pour éviter la concurrence avec des adventices automnales, la seule solution est le binage et par conséquent un semis avec un plus fort écartement entre les lignes est préconisé.

La combinaison logique de l'itinéraire intégré se construit sur l'ensemble des interventions réalisées pendant le cycle de la culture et se décide lors du choix de la stratégie adoptée.

Si on décide d'adopter une stratégie d'étouffement et d'évitement (stratégie A) en avançant la date de semis, ceci implique dans l'itinéraire technique de :

– laisser l'étouffement s'exprimer et ne pas traiter en prélevée. L'étouffement des adventices est envisageable, car la culture de colza présente une capacité de croissance automnale très importante, ce d'autant plus que le milieu est riche en azote et que la date de semis est avancée d'au moins 10 jours par rapport à la date régionale (Valantin-Morison et Ferré, 2004 ; Valantin-Morison *et al.*, 2007 ; Valantin-Morison et Pinochet, 2010). En conséquence, il est possible de limiter suffisamment la croissance des adventices pour qu'elles n'aient pas d'effet sur le rendement en graines du colza, et pour que leur production de semences n'augmente pas le stock de la parcelle. La réussite de cette stratégie d'étouffement dépend également du type d'adventices et du travail du sol. L'intervention par un désherbage chimique est utilisée en dernier recours et soumise à une règle de décision. Mais l'expérience montre que l'impasse totale d'herbicide est réalisable sur des parcelles dont les fournitures d'azote du sol sont importantes ;

1. La technique du faux semis consiste à préparer le sol comme pour un semis pour laisser germer les graines de mauvaises herbes contenues dans le sol. Dès qu'elles ont germé, on les détruit mécaniquement pour réaliser le semis.



### Encadré 2. Détermination des attaques d'insectes

Les charançons de la tige sont très difficiles à piéger sur les plantes elles-mêmes. Afin d'appréhender la pression des charançons de la tige à la parcelle, 1 ou 2 cuvettes jaunes sont mises en place par parcelle dès que les températures atteignent 12-14°C. Les contrôles se font jusqu'à début mai (selon les conditions climatiques) pour encadrer toute la période de floraison. La cuvette est vidée à chaque contrôle, deux fois par semaine, et de l'eau savonneuse y est remise, sans oublier de remonter la cuvette pour qu'elle se trouve le plus possible à hauteur de la culture de colza (le jaune de la cuvette doit se voir un peu en surface pour attirer les insectes). Il est préconisé de traiter dès la présence d'adultes dans les cuvettes. Le nombre de méligèthes se note sur les plantes elles-mêmes à deux stades du cycle (stade « boutons accolés » et « stade boutons séparés »), sur 25 plantes qui se suivent et cela répété deux fois. Le seuil de déclenchement du traitement est de 4 à 5 méligèthes par plante au stade « boutons accolés » et 8 à 10 par plante au stade « boutons séparés » (Pilorgé *et al.*, 1997). Pour les essais en mélange, faire les comptages très tôt tant que les différences se voient encore et sur 25 plantes mais qui ne se suivent pas nécessairement.

de la tige, que l'on pourrait craindre sur les semis précoces. Ce choix a aussi pour conséquence de ne pas traiter avec un régulateur. D'autre part, l'évitement d'une contamination par le phoma au travers d'une date de semis précoce est évidemment accentué par le choix d'une variété très peu sensible au phoma (TPS).

Enfin le choix variétal est aussi intervenu pour tenter de piéger des insectes de printemps. Le principe nommé « *push-pull* » (Cook *et al.*, 2006) et testé en essais au champ et en laboratoire consiste à, d'une part, attirer et retenir les insectes sur des plantes plus attractives que la culture parce que leur stade ou/et leurs propriétés olfactives et visuelles correspondent à ce que recherche l'insecte pour pondre ou se nourrir et, d'autre part, à repousser les insectes de la culture commerciale.

– ne pas traiter au molluscicide ni contre les insectes d'automne précoces (tenthredes et altises). En effet, un semis précoce permet d'éviter les attaques de limaces et de certains insectes d'automne (Valantin-Morison *et al.*, 2007).

– ne pas utiliser de fongicide contre le phoma. En effet, un semis précoce favorise l'évitement du phoma (Aubertot *et al.*, 2004, 2006, Valantin-Morison, 2007).

Selon la vigueur du colza et le site, ces règles de décision et de type d'implantation peuvent conduire à l'impasse totale d'herbicide, de fongicide et d'insecticides d'automne.

Si on décide d'adopter une stratégie plus préventive et de favoriser le piégeage des insectes de printemps (stratégie B), cela implique de :

- ne pas traiter en prélevée, puisque des faux semis (ou déchaumages) ont été réalisés, et favoriser le désherbage mécanique en post-levée. C'est la seule solution pour limiter la lutte chimique dans les situations où le colza ne peut pas exprimer sa capacité d'étouffement (concurrence avec de nombreuses céréales, semis tardif et/ou faible disponibilité en azote). Les passages de la bineuse ou de la herse étrille suivent une règle de décision donnée dans le tableau 3. Le passage d'herbicide est appliqué en dernier recours si le désherbage mécanique a été impossible ;
- ne traiter au molluscicide qu'en cas de levée problématique liée à des conditions climatiques exceptionnelles (si la levée est hétérogène et le climat humide) et si le seuil de 2 limaces par piège en moyenne est dépassé ;
- ne traiter contre les insectes d'automne précoces les plus problématiques de la région qu'après mesure des dégâts et sur un seuil d'intervention élevé.

Par ailleurs, pour les deux stratégies, le choix variétal est fondamental. D'une part, le choix d'une variété au repos végétatif marqué et peu sensible à l'élongation permet d'éviter l'élongation

### Encadré 3. Mesure du sclérotinia

Entre la chute des premiers pétales et l'apparition des premières siliques, on utilise un kit pétales pour assurer une démarche de diagnostic mais pas pour prendre une décision de traitement. Développé par le CETIOM, le kit pétales est un outil d'estimation du risque sclérotinia : des pétales sont mis en culture en boîtes de Pétri sur milieu nutritif sélectif de sclérotinia. On lit ensuite, par décoloration du milieu, si le champignon est présent ou absent. Si un fongicide est nécessaire, il se fera en une application unique qui peut être décalée selon le risque (voir Makowski *et al.*, 2005).

Il a été montré, en essais analytiques et en laboratoire, que la navette, crucifère fourragère, est très nettement plus attractive que d'autres crucifères pour les méligèthes, les altises et le charançon du bourgeon terminal ainsi que leurs ennemis naturels (Cook *et al.*, 2006 ; Barari *et al.*, 2005).

Ce principe de « *push-pull* » a été mis en place en proposant deux solutions :

- soit une variété tardive à floraison (Pollen, Grizzly, Kadore ont été les plus utilisées) mélangée à une variété précoce (par exemple Catalina ou Olphi) à raison de 5% à 10 % semée en mélange ;
- soit une bordure de navette autour de la parcelle.

On comprend bien alors que la construction de l'itinéraire technique intégré du colza sous-entend d'abord une très bonne connaissance des potentialités de sa parcelle, une prise de risque concernant la gestion du désherbage et des observations régulières sur sa parcelle pour déclencher ou non une intervention calée sur une règle de décision. La prise de risque lors de la gestion du désherbage est parfois difficile pour les agriculteurs car les molécules de rattrapage herbicides post-levée sont très rares et chères, et le désherbage mécanique est aléatoire et délicat car son efficacité dépend des conditions climatiques de fin d'été et d'automne.



## Conséquences sur le système de culture

Il va sans dire que la logique de protection intégrée sur une culture n'a de sens que si l'ensemble du système de culture (itinéraires techniques de chaque culture et succession) est construit selon cette même logique. Là encore, les interventions décidées sur une culture ont des conséquences sur le choix des cultures précédentes et suivantes et sur les interventions agronomiques réalisées sur ces cultures. Les itinéraires techniques proposés sur colza ont des conséquences sur les successions dans lesquelles ils pourraient s'insérer : lorsque l'on souhaite procéder à un semis précoce (stratégie A) ou réaliser pendant l'été des faux semis répétés (stratégie B), la parcelle doit être libérée en juillet, ce qui a des conséquences sur le choix du précédent cultural. Par ailleurs, la stratégie d'étouffement automnale n'est efficace que lorsqu'au moins 90 kg d'azote sont potentiellement disponibles pendant l'automne pour une parcelle implantée tôt (Valantin-Morison et Meynard, 2008). Favoriser la disponibilité en azote du milieu n'est pas possible partout. Néanmoins, le choix d'un précédent légumineuse pourrait favoriser cette disponibilité en azote sans pour autant nuire à l'environnement puisqu'un colza implanté tôt permet de piéger l'azote de manière très efficace. En outre, la gestion des mauvaises herbes par étouffement est réalisable si la flore n'est pas dominée par une seule espèce, en particulier une graminée, et si le stock semencier n'est pas trop important, ce qui ne peut se produire que dans des successions culturales diversifiées, alternant des cultures de printemps et d'automne (Chauvel *et al.*, 2001). Enfin, l'azote piégé par le colza pendant l'automne sera en partie restitué à la culture au printemps (30-40%) mais une partie restera au sol pour la culture suivante (Dejoux *et al.*, 2000), ce qui signifie qu'il ne faudra pas laisser le sol nu pendant l'interculture (juillet-novembre) après la récolte du colza.

## Une faible perte de rendement mais une marge brute maintenue

Nous avons procédé à une analyse de la production basée sur le rendement et à une évaluation économique de ces itinéraires techniques par le calcul de la marge brute et du coût de production.

L'évaluation économique repose sur le calcul de la marge brute (MB), selon la formule :

$$MB = p.R - CO$$

avec : p : prix de vente du colza (€/t) ; R : rendement (t/ha) ; CO : charges opérationnelles (€/ha).

Nous avons fait évoluer les prix de 15 €/q à 50 €/q afin de prendre en compte la gamme de prix de vente des années 1990 à nos jours. Les primes PAC ne sont pas prises en compte pour le calcul de marges.

Les charges opérationnelles sont calculées en prenant en compte l'ensemble des intrants apportés sur la culture. L'azote est valorisé à 1 € par kilo, les semences à 12 € le kilo et le coût des produits phytosanitaires sont ceux du guide *Cultures d'hiver 2004/2005* du groupe France Agricole. Tous les passages, de la préparation du sol à la récolte, ainsi que ceux relatifs aux applications de produits phytosanitaires et aux apports d'azote sont pris en compte aux valeurs indiquées au tabl. 3. En l'absence de description du matériel utilisé sur chaque parcelle, nous avons considéré qu'un même type de matériel avait été utilisé par intervention. Il n'y a pas de comptabilisation de la fumure de fond.

L'autre indicateur économique est l'efficacité économique, traduit par le coût de production relatif aux charges opérationnelles (CPop selon la formule : CPop = CO/R). On appelle coût de production le rapport entre les charges opérationnelles telles que définies ci-dessus et le rendement produit. Cet indicateur, qui permet d'approcher la charge en intrants par tonne produite, est l'inverse de l'efficacité économique des intrants.

## Rendements

Pour l'itinéraire technique classique, les rendements varient de 20,8 à 50,4 q/ha (fig. 2) avec une valeur moyenne sur les trois années de 32,4 q/ha, donc assez proche de celle rencontrée dans la réalité agricole (34,8 q/ha en 2004 selon le Réseau d'information comptable agricole ou RICA). Cette



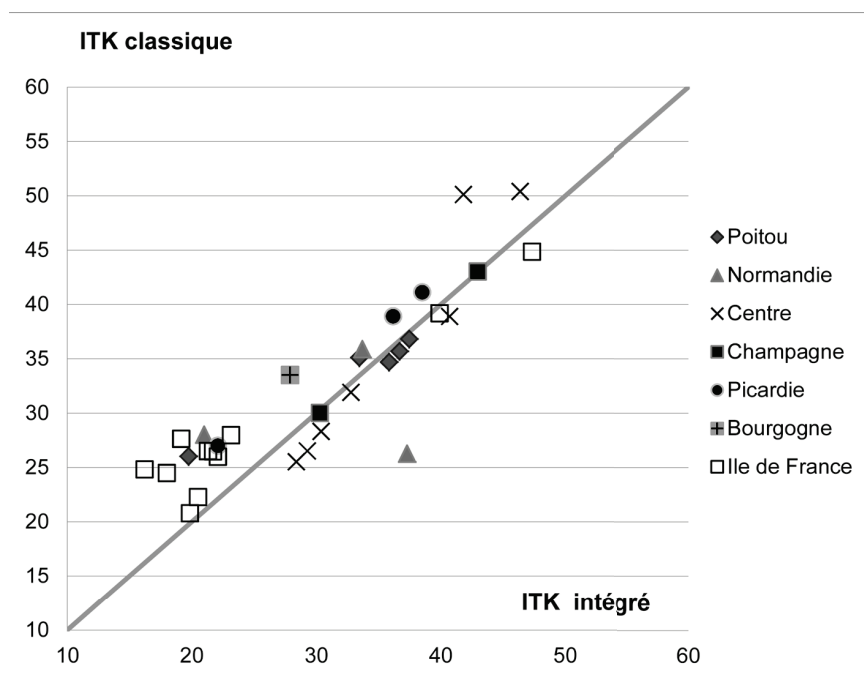


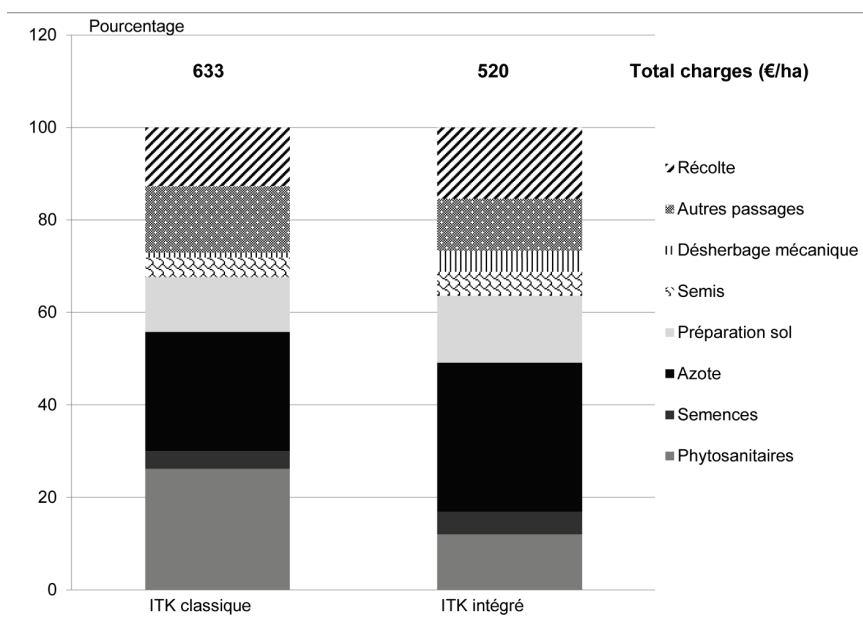
Figure 2. Comparaison des rendements (q/ha) à 9% d'humidité de la récolte entre les deux itinéraires techniques.

grande variabilité est souvent observée sur cette culture. Il faut noter aussi que même le recours à la protection phytosanitaire n'assure pas systématiquement un rendement élevé.

Pour l'itinéraire intégré, les rendements varient également de 16,2 à 47,4 q/ha avec une moyenne de 30,4, soit une baisse de rendement par rapport à l'itinéraire technique classique de 2 q/ha en moyenne, soit 6% du rendement de l'itinéraire classique (fig. 2). Cependant ce faible écart entre la conduite classique et l'intégrée s'accompagne d'une très grande variabilité et des écarts parfois très élevés entre les deux conduites. Pour la moitié d'entre eux, la baisse d'intrants a engendré une diminution des rendements supérieure à 2 q/ha (2 quintaux par hectare correspond à la valeur de l'écart type d'une mesure de rendement sur une même parcelle avec une trémie peseuse embarquée sur une moissonneuse batteuse agricole). Et si l'on ne tient pas compte de l'écart de 2q/ha lié à l'erreur de mesure du rendement, 20 essais sur 32 ont des rendements inférieurs à la conduite classique. Mais parmi ceux-ci 5 essais ont été considérablement mis en difficulté avec une perte de rendement de plus de 20% sur l'itinéraire technique intégré.

### Charges opérationnelles

Pour l'itinéraire technique classique, les niveaux de charges opérationnelles varient de 355,6 €/ha à près de 857 €/ha. Cela renvoie d'une part à la grande variabilité de rendement observée plus haut et à la difficulté marquée d'avoir une référence conventionnelle classique homogène. Ainsi en 2007, un des essais situé dans l'Oise (60), où la flore adventice est peu spécialisée et la pression maladie très faible, est peu consommateur d'herbicides et fongicides, ce qui a induit un faible recours aux fongicides et herbicides même sur la référence classique. À l'inverse, sur l'essai de Versailles en 2006, les charges opérationnelles s'élèvent à 582 €/ha en raison d'un fort recours aux fongicides et insecticides. Il en résulte que pour quelques sites, la différence de charges opérationnelles entre les deux ITK est très faible, voire nulle. Les dépenses sont majoritairement liées à l'utilisation des produits phytosanitaires qui représentent 26% des dépenses avec 159 €/ha (fig. 3). Ce résultat est en accord avec des chiffres relevés en 2004 (source RICA) qui présentent des dépenses de pesticides de 153 €/ha en 2004 soit 20% des dépenses. Ce poste est suivi de l'azote qui représente 25% des charges avec 162 €/ha pour une unité d'azote à 1 euro. Les enquêtes issues du RICA rapportent



**Figure 3. Détails des charges opérationnelles par poste dans les deux itinéraires techniques.**

également des valeurs identiques en 2005 et 2006 avec des dépenses respectives en fertilisation azotée de 172 et 160 €/ha.

Pour l'itinéraire technique intégré, les charges varient entre 274 €/ha et 662 €/ha avec une moyenne de 520 €/ha soit une diminution de charges opérationnelles de 113 €/ha (soit 18%) en moyenne entre les deux ITK (fig. 3). La diminution a en majorité porté sur l'utilisation des produits phytosanitaires dont le coût a été réduit de 103 €/ha et ne représente plus que 12% des charges en itinéraire intégré. Il est aussi à noter que la fertilisation azotée reste un poste important avec 32 % des charges (fig. 3).

### Efficiéce économique

Le coût de production varie de 187 à 210 €/t pour les itinéraires techniques intégrés alors qu'il se situe entre 110 et 373 €/t pour l'itinéraire classique. Le coût de production est significativement plus faible pour une conduite à bas niveau d'intrants, témoignant ainsi d'une meilleure efficacité économique des intrants d'environ 23 €/t.

### Marges brutes

Avec un prix de vente de 28 €/q qui est le prix du marché en 2009, la marge brute à l'hectare en itinéraire technique classique varie de moins 193 à 861 €/ha et se situe en moyenne autour de 272,0 €/ha.

Pour les itinéraires techniques intégrés, les marges brutes atteignent en moyenne 331 €/ha avec là aussi des situations pour lesquelles on perd de l'argent (sans les primes PAC) puisqu'elles varient de moins 191 à 817 €/ha. La différence moyenne entre les itinéraires techniques est de 59 €/ha. Si l'on comptabilise le nombre d'essais pour lesquels la marge brute est supérieure en itinéraire technique intégré par rapport à un itinéraire technique classique, pour le prix de vente de 2009 (28 €/q), dans 67% des cas, la marge brute est supérieure en itinéraire intégré.

### Et si les prix du marché s'envolaient ?

Avec l'envolée du prix du colza comme cela a été le cas en 2008 et 2010, on peut se poser la question de la robustesse de ce mode de production. Nous avons donc, par pas de 5 €/q, fait évoluer le prix du colza de 15 €/q (prix de vente du colza en 1999) à 50 €/q afin d'englober la gamme de

variation de ces 10 dernières années. Le principe de calcul de la marge brute reste le même et nous l'avons appliqué à tous les essais décrits plus hauts. Nous n'avons pas réalisé de simulation faisant varier le prix de l'azote puisque les quantités utilisées sont les mêmes sur les deux itinéraires.

Avec un prix de vente de 28 €/q, on gagne donc en moyenne 59 €/ha à réduire les intrants. Il faudrait que ce prix atteigne 54 €/q pour atteindre une égalité de marge brute moyenne entre les deux types d'itinéraires techniques. Et quel que soit le prix de vente du colza, l'égalité de marge brute moyenne entre les deux ITK se situe aux alentours de 48,5 q/ha.

Si l'on raisonne en termes de fréquence de dépassement des marges des conduites intégrées par rapport aux conduites classiques, entre un prix de 15€/q à 40 €/q dans plus de 60% des essais intégrés la marge brute dépasse celle des conduites classiques : à 40 €/q pour 63,6% des essais, la marge brute est supérieure à celle de l'itinéraire classique. Il faut atteindre 45€/q pour que à peine 50% des essais intégrés soient plus avantageux et de très peu.

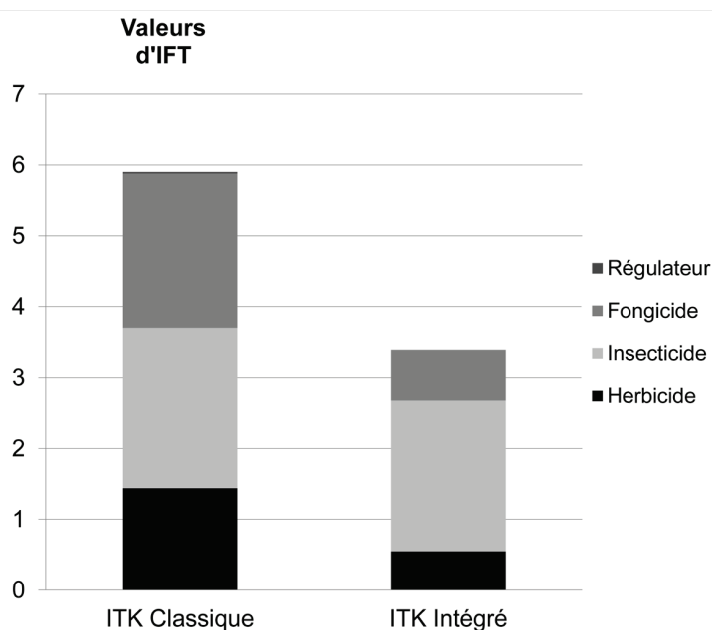
### Un intérêt environnemental certain sans pénaliser le bilan énergétique...

L'évaluation environnementale s'appuie sur un indicateur relatif à l'emploi des produits phytosanitaires. L'indicateur que nous avons adopté pour caractériser les conduites du point de vue de l'emploi des produits phytosanitaires est l'indicateur de fréquence de traitement (IFT) (Champeaux, 2006 ; Brunet *et al.*, 2008). Il est défini comme la somme des IFT par produit de traitement de l'ensemble des traitements phytosanitaires (traitements fongicides, herbicides, insecticides et applications de régulateurs) effectués sur la parcelle (fig. 4) :

$$\text{IFT} = \text{somme des « IFT produit »}$$

avec IFT Produit = doses appliquées par hectare/doses homologuées par hectare.

L'indice de fréquence de traitement (IFT) moyen de l'itinéraire technique classique sur l'ensemble des essais et tous produits phytosanitaires confondus (fongicide, insecticide, herbicide et régulateur de croissance) s'élève à 5,89 (fig. 4) avec une forte variabilité observée entre essais et entre années (écart type de 2,05). Ceci est très probablement dû au fait que l'itinéraire classique de référence est



**Figure 4. Évolution des IFT par poste entre les deux itinéraires techniques.** Dans les itinéraires techniques classiques, la valeur d'IFT pour le régulateur est très faible (0,02) et se devine à peine.

parfois difficile à mettre en place chez des agriculteurs ayant déjà fait évoluer leurs pratiques de protection phytosanitaire. La référence « de la conduite classique » peut parfois être considérée comme une conduite « réduite ». Néanmoins, cette valeur sur les conduites classiques est assez comparable aux IFT calculés à partir des pratiques culturales des agriculteurs, qui atteignent en moyenne 5,3 en 1994, 5,6 en 2001 (Champeaux, 2006) et 6,1 en 2006 (Schmidt *et al.*, 2010 ; Brunet *et al.*, 2008). Nos résultats montrent que les insecticides et fongicides sont les plus utilisés avec respectivement des indices de 2,26 et 2,18 ; viennent ensuite les herbicides avec un indice de 1,44 ; les régulateurs quant à eux sont très peu utilisés (0,02).

La valeur moyenne de l'IFT des ITK intégrés sur l'ensemble des essais est de 3,47 (écart type : 1,16) c'est-à-dire inférieur de 44 % par rapport à l'itinéraire technique classique. La baisse porte majoritairement sur les fongicides et herbicides qui diminuent respectivement de 1,47 et 0,89 points. Par contre, la volonté de réduire les produits phytosanitaires a peu d'impact sur l'utilisation des insecticides dont l'indice baisse de 0,13 point seulement. L'itinéraire technique intégré propose peu de solutions pour réduire le recours aux insecticides, sauf pour les insectes d'automne et les méligèthes. Or de nombreux insectes de printemps posent problème sur cette culture : le charançon de la tige, les pucerons.

Pour ce qui relève de l'évaluation énergétique, nous avons calculé trois indicateurs : la consommation d'énergie totale ( $E_t$ ), l'efficacité énergétique et le bilan énergétique.

Pour calculer la consommation d'énergie, nous avons tenu compte des consommations d'énergie directes (dues aux machines) et indirectes (dues à la production des engrais et des pesticides). La consommation d'énergie totale ( $E_t$ ), exprimée en MJ/ha, résulte de la somme de trois postes de consommation :

- le machinisme :  $E_{mach}$  est la somme des consommations de tous les outils (tabl. 3) utilisés sur la parcelle (Bockstaller *et al.*, 2008) ;
- la production d'engrais azoté (ammonitrate 33,5%) :  $E_{fert\ est}$  calculée à partir de la dose d'engrais appliquée sur la parcelle à laquelle on applique un coefficient de conversion de 16,15 MJ/kg ;
- la production des produits phytosanitaires :  $E_{phyto}$ .

Pour approcher l'efficacité énergétique, nous avons calculé le ratio énergétique (exprimé en MJ par tonne) en divisant  $E_t$  par le rendement de chaque itinéraire technique à la récolte. Enfin un bilan énergétique ( $E_{produite} - E_t$ ) a été calculé.

Pour l'itinéraire technique classique, la consommation d'énergie atteint en moyenne 10765 MJ/ha (fig. 5) avec une répartition entre les postes machinisme, azote et pesticides qui révèle la part dominante due aux engrais azotés (73% des consommations) et une variabilité assez importante (écart type de 2361,7). Cette hiérarchisation confirme une étude menée en 2008 par le CETIOM dans laquelle la fertilisation azotée occupe 66% de la consommation énergétique (CETIOM, 2009). Cela

**Tableau 3. Coûts des passages et consommation énergétique des interventions mécaniques.**

Type d'intervention	Coût d'un passage (en €/ha)	Consommation d'énergie (en MJ/ha)
Déchaumage	24,2	331
Labour	29,0	757
Préparation du semis	18,1	490
Semis	27	250
Désherbage mécanique	27,2	310
Passage de pulvérisateur	11,5	146
Passage d'épandeur	7,0	42
Récolte	80	591



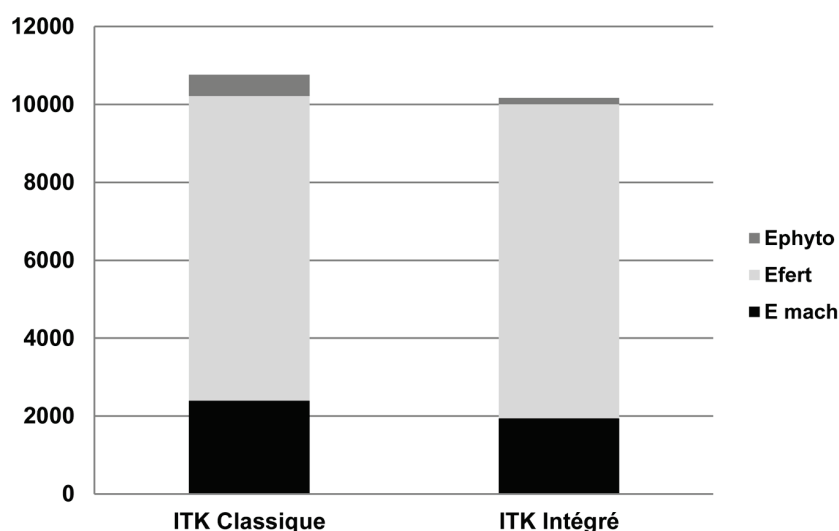


Figure 5. Consommation d'énergie (MJ/ha) sur les deux itinéraires techniques.

va également dans le même sens que les résultats obtenus sur blé tendre (Bouchard *et al.*, 2008). Pour l'itinéraire technique intégré cette consommation, de l'ordre de 10169 MJ/ha, baisse en moyenne de 6% et s'accompagne de la même variabilité (écart type de 2303,3). La quantité de produits phytosanitaires a diminué et avec elle le nombre de passages ; il en résulte alors que la part imputée à l'azote augmente en proportion (80% des consommations). Ainsi, malgré le recours au binage ou au hersage pour le désherbage mécanique, la consommation d'énergie de la conduite intégrée est sensiblement inférieure à celle de la conduite classique. Mais cette baisse modeste ne pourra s'intensifier que si les doses d'engrais azotés sont réduites.

Si l'on s'intéresse au bilan énergétique, on constate que les écarts moyens de consommation totale d'énergie entre les deux conduites sont compensés par les écarts de rendement (plus de 2q/ha) et donc d'énergie produite en sortie de parcelle. Le bilan énergétique à l'hectare est supérieur de près de 3717 MJ par hectare en conduite classique par rapport à la conduite intégrée (tabl. 3). En revanche, le ratio énergétique est similaire entre les deux conduites, ce qui dénote une efficacité énergétique identique.

### En conclusion : des performances intéressantes

Les itinéraires techniques intégrés permettent un gain environnemental certain (baisse de l'IFT de 40%) par une réduction de l'utilisation des herbicides et des fongicides. Dans un certain nombre de cas, la gestion des mauvaises herbes par étouffement ou désherbage mécanique a fonctionné et a réellement permis de réduire le recours aux herbicides. En outre, les itinéraires techniques intégrés testés en parcelles d'agriculteurs étaient implantés dans des systèmes de culture diversifiés, ce qui a permis d'obtenir une flore peu spécialisée et peu problématique. L'utilisation, d'une part, de variétés résistantes au phoma et, d'autre part, de variétés à précocité décalée ont contribué à une diminution de l'utilisation des fongicides et, de façon moins significative, des insecticides. La perte de rendement reste très modérée avec une marge brute améliorée dans plus de 65% des cas. Il n'en reste pas moins que les rendements et les valeurs économiques sont très variables d'un site à l'autre aussi bien sur l'intégré que le classique : cette culture est délicate et la chimie ne peut pas tout. Les nombreux facteurs limitants peuvent induire parfois de fortes pertes.

De plus, il n'a pas été réalisé, ici, de diagnostic de nutrition azotée sur les essais du réseau, ni de vérification sur le pilotage de la protection contre les maladies ou les ravageurs. Seules les

mauvaises herbes ont été comptabilisées. Ainsi, il n'est pas possible de vérifier dans tous les cas si la conduite de référence a systématiquement permis d'atteindre un parcours non limitant.

## Des difficultés et de nouvelles questions de recherche

Deux types de difficultés demeurent :

- le maintien d'une référence classique claire et fiable est l'une des premières. En effet, il est parfois difficile de maintenir une référence traitée homogène sur tous les sites, compte tenu des agriculteurs candidats à ce genre de tests ;
- la pertinence des outils d'aide à la décision (OAD) est parfois insatisfaisante. Les outils d'aide à la décision utilisés dans l'élaboration des règles de décision pour la conduite de référence existent pour la fertilisation azotée (calcul de dose d'azote par la méthode de la réglette azote du CETIOM), la lutte contre le sclérotinia (utilisation du kit pétale), le déclenchement des interventions sur les maladies du feuillage et les insectes (avertissements de la Protection des végétaux et cuvette jaune). L'intensité du dégât par le sclérotinia est dépendante du développement de la maladie après la contamination. Or le kit pétale détecte la maladie mais ne préjuge pas de l'intensité. Pour ne pas prendre de risque, il est fréquent d'observer un traitement fongicide dès que le kit pétale est positif, alors que la maladie ne s'est pas développée. La lutte contre les insectes s'affine avec la mise en place de la cuvette jaune et le piégeage, mais nombreux sont les insectes pour lesquels la règle est de déclencher le traitement dès la capture. Des études de nuisibilité de ces ravageurs manquent cruellement pour réduire le recours au traitement.

Des insatisfactions restent sur la gestion de certains postes de l'itinéraire technique, ce qui fait l'objet de nouvelles questions de recherche. En effet, une diminution de la dose d'azote n'a pas été testée et compte tenu des connaissances récentes acquises sur l'utilisation de l'azote par la culture (Gombert *et al.*, 2010), on pourrait revoir les besoins et les périodes d'apport pour réduire la dose. On peut aussi légitimement s'interroger sur l'existence d'interactions entre variétés et conduites et sur la pertinence à tester plusieurs variétés à chaque niveau de conduite. Le réseau « blé rustique » cité en introduction a mis en évidence des interactions entre variétés et conduites. Dans l'état actuel de nos connaissances, les résistances variétales vis-à-vis des maladies ou des insectes ne peuvent guère être repérées autrement qu'en testant la tolérance des variétés aux bioagresseurs cités en les mettant à l'épreuve de conduites intégrées, ce qui est en cours.

La gestion des insecticides pose encore un problème car il existe peu de leviers agronomiques à l'échelle de la parcelle sur ces ravageurs. Leurs cycles de vie et l'influence des pratiques culturales varient d'un insecte à l'autre et sont parfois méconnus. En outre, la plupart des insectes du colza ne sont pas inféodés à la parcelle et l'influence de l'environnement paysager autour des parcelles ainsi que des pratiques des parcelles alentour affectent l'intensité des attaques. La régulation biologique des insectes ravageurs par leurs auxiliaires des cultures est une piste intéressante (Bianchi *et al.*, 2006 ; Thies *et al.*, 2003 et Rusch *et al.*, 2010) pour réduire de manière durable le recours aux insecticides mais posent de nouvelles questions et obligent à changer d'échelle d'analyse. Ces questions constituent des fronts de recherche dans une agronomie qui se rapproche de l'écologie

La gestion des fongicides de printemps sur le sclérotinia se heurte au manque de connaissances quant aux interactions couvert-maladie-climat et quant à l'influence des pratiques culturales sur ces interactions. Des questions de recherche nouvelles sont posées autour de l'influence de l'architecture du couvert sur le développement du sclérotinia. Ces questionnements vont favoriser le rapprochement agronomie-écophysiologie et génétique.

Enfin ici encore se pose la question de l'acceptabilité de l'innovation : les conduites à bas niveaux d'intrants peuvent impliquer la modification des successions culturales, de l'organisation du travail (des semis plus précoces peuvent entrer en conflit avec d'autres activités) ou des équipements (désherbage mécanique). Une étude démarre actuellement sur ce sujet, en région Picardie, afin de préciser, cette fois, les atouts et les limites de ces conduites sur le colza d'hiver tels que perçus par les agriculteurs et les conseillers les ayant mis en œuvre.

## Remerciements

Les auteurs remercient les très nombreux contributeurs de ce projet, et tout particulièrement les expérimentateurs des chambres d'agriculture : Bertrand Omon pour la Normandie (27), Éric Bizot et Sébastien Piaud pour l'Île-de-France (77), Michael Geloën en Bourgogne (58), Olivier Guérin pour les Charentes (17), Sylvain Dutoit dans la Marne (51).

Bien sûr, un certain nombre d'agriculteurs ont accepté d'accueillir des essais, d'expliquer leurs pratiques, parfois de prendre des risques : nous leur en sommes également reconnaissants.

Enfin, nous remercions chaleureusement l'ensemble de l'équipe technique de l'unité mixte de recherche d'agronomie de Grignon pour le suivi des essais ainsi que les membres du personnel du CETIOM des stations de Surgères et du Magneraud pour les mesures réalisées. Nous remercions également le ministère de l'Écologie (MEDDEM entre 2005 et 2008) pour son soutien financier à ces travaux de recherche ■

## Références bibliographiques

- ALFORD D.V., NILSSON C., ULBER B., 2003. Insect pests of oilseed rape crops. In: Alford D.V. (Ed), *Biocontrol of oilseed rape pests*. Blackwell Science, Oxford, 9-41.
- AUBERTOT J.N., BARBIER J.M., CARPENTIER A., GRIL J.J., GUICHARD L., LUCAS P., SAVARY S., SAVINI I., VOLTZ M. (Eds.), 2005. *Pesticides, agriculture et environnement. Réduire l'utilisation des pesticides et limiter leurs impacts environnementaux*. Expertise scientifique collective, synthèse du rapport, INRA, CEMAGREF, Paris, 64 p.
- AUBERTOT J.N., PINOCHET X., DORÉ T., 2004. The effects of sowing date and nitrogen availability during vegetative stages on *Leptosphaeria maculans* development on winter oilseed rape. *Crop protection*, 23(7), 635-645.
- AUBERTOT J.N., WEST J.S., BOUSSET-VASLIN L., SALAM M.U., BARBETTI M.J., DIGGLE A.J., 2006. Improved resistance management for durable disease control: a case study of phoma stem canker of oilseed rape (*Brassica napus*). *European Journal of Plant Pathology*, 114, 91-106
- BARARI H., COOK S., CLARK S.J., WILLIAMS I.H., 2005. Effect of a turnip rape (*Brassica rapa*) trap crop on stem-mining pests and their parasitoids in winter oilseed rape (*Brassica napus*). *Biocontrol*, 50, 69-86.
- BIANCHI F.J.J.A., BOOIJ C.J.H., TSCHARNTKE T., 2006. Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: a review on landscape composition, biodiversity and natural pest control. *Proceedings of the Royal Society of London*, Ser. B 273, 1715-1727.
- BOCKSTALLER C., GUICHARD L., MAKOWSKI D., AVELINE A., GIRARDIN P., PLANTUREUX S., 2008. Agri-environmental indicators to assess cropping and farming systems. A review. *Agronomy for sustainable development*, 28, 139-149.
- BOUCHARD C., BERNICOT M.H., FÉLIX I., GUÉRIN O., LOYCE C., OMON B., ROLLAND B., 2008. Associer des itinéraires techniques de niveau d'intrants variés à des variétés rustiques de blé tendre : évaluation économique, environnementale et énergétique. *Le courrier de l'environnement de l'INRA*, 55, 53-77.
- BRUNET N., GUICHARD L., OMON B., PINGAULT N., PLEYBER E., SEILER A., 2008. L'indicateur de fréquence de traitements (IFT) : un indicateur pour une utilisation durable des pesticides. *Le courrier de l'environnement de l'INRA*, 56, 131-141.
- CETIOM, 2009. *Démarche de progrès du biodiesel*. CETIOM, Paris, 4 p.
- CHAMPEAUX C., 2006. *Recours à l'utilisation de pesticides en grandes cultures. Évolution de traitements à travers des enquêtes « Pratiques culturelles » du SCEES entre 1994 et 2001*. INRA-Ministère de l'Agriculture et de la pêche, 101 p.
- CHAUVEL B., GUILLEMIN J.P., COLBACH N., GASQUEZ J., 2001. Evaluation of cropping systems for management of herbicide-resistant populations of blackgrass (*Alopecurus myosuroides* Huds.). *Crop protection*, 20(2), 127-137
- COOK S.M., SMART L.E., MARTIN J.L., MURRAY D.A., WATTS N.P., WILLIAMS I.H., 2006. Exploitation of host plant preferences in pest management strategies for oilseed rape (*Brassica napus*). *Entomologia experimentalis et applicata*, 119, 3, 221-229.
- DEJOUX J.F., 1999. *Évaluation agronomique environnementale et économique d'itinéraires techniques du colza d'hiver en semis très précoces*. Thèse de doctorat de l'INA P-G, Paris, 243 p.
- DEJOUX J.F., MEYNARD J.M., REAU R., ROCHE R., SAULAS P., 2003. Evaluation of environmentally-friendly crop management systems based on very early sowing dates for winter oilseed rape in France. *Agronomie*, 23, 725-736.

- DEJOUX, J.F., RECOUS S., MEYNARD J.M., TRINSOUTROT I., LETERME P., 2000. The fate of nitrogen from winter-frozen rapeseed leaves: mineralization, fluxes to the environment and uptake by rapeseed crop in spring. *Plant and soil*, 218 (1/2), 257-272.
- DORÉ T., LE BAIL M., MARTIN P., NEY B., ROGER-ESTRADE J., 2006. *L'agronomie aujourd'hui*. Editions Quae, Paris, 365 p.
- ECOPHYTO R&D, 2009. *Vers des systèmes de culture économes en produits phytosanitaires. Tome II. Analyse comparative des différents systèmes en grandes cultures*. INRA, Paris, 218 p.
- EL TITI A., BOLLER E.F., GENDRIER J.P., 1993. Production intégrée : principes et directives techniques, *Bulletin OILB-SROP*, 16, 1-96.
- GOMBERT J., LE DILY F., LOTHIER J., ETIENNE P., ROSSATO L., ALLIRAND J. M., JULLIEN A., SAVIN A., OURREY A., 2010. Effect of nitrogen fertilization on nitrogen dynamics in oilseed rape using <sup>15</sup>N-labeling field experiment. *Journal of plant nutrition and soil science*, 173(6), 875-884.
- LIEVEN J., QUÉRÉ L., LUCAS J.L., 2008. Oilseed rape weed integrated management: concern of mechanical weed control. *International Endure Congress: diversifying crop protection*. 13-15 oct. 2008, La Grande Motte France, [www.endure-network.eu](http://www.endure-network.eu).
- MAKOWSKI D., MALTAS A., VALANTIN-MORISON M., REAU R., 2005. Interest of using plant and soil measurements to calculate nitrogen fertilizer doses for oil-seed rape. *Agronomie*, 25, 1-5.
- MAKOWSKI D., DENIS J.B., RUCK L., PENAUD A., 2008. A Bayesian approach to assess the accuracy of a diagnostic test based on plant disease measurement. *Crop protection*, 27(8), 1187-1193.
- MALÉZIEUX E., CROZAT Y., DUPRAZ C., LAURANS M., MAKOWSKI D., OZIER-LAFONTAINE H., RAPIDEL B., DE TOURDONNET S., VALANTIN-MORISON M., 2008. Mixing plant species in cropping systems: concepts, tools and models. A review. *Agronomy for sustainable development*, 29(1), 43-62.
- MÉDIÈNE S., VALANTIN-MORISON M., SARTHOU J.P., DE TOURDONNET S., GOSME M., BERTRAND M., ROGER-ESTRADE J., AUBERTOT J.N., RUSCH A., MOTISI N., PELOSI C., DORÉ T., 2011. Agroecosystem management and biotic interactions. A review. *Agronomy for sustainable development*, 31(3), 491-514.
- MEYNARD J.M., DORÉ T., LUCAS P., 2003. Plant biology and pathology. Agronomic approach: cropping systems and plant diseases. *Comptes-rendus de l'Académie des sciences, Biologie*, 326b (1), 37-46.
- PILORGÉ E., MAISONNEUVE C., BALLANGER Y., 1997. Les ravageurs du colza d'hiver. CETIOM, Paris, 129 p.
- REAU R., WAGNER D., 1998. Les préconisations du CETIOM. *Oléoscope*, 48, 10-13.
- ROLLAND B., BOUCHARD C., LOYCE C., MEYNARD J.M., GUYOMARD H., LONNET P., DOUSSINAULT G., 2003. Des itinéraires techniques à bas niveaux d'intrants pour des variétés rustiques de blé tendre : une alternative pour concilier économie et environnement. *Le courrier de l'environnement de l'INRA*, 49, 47-63.
- RUSCH A., VALANTIN-MORISON M., SARTHOU J.P., ROGER-ESTRADE J., 2010. Biological control of insect pests in agroecosystems: effects of crop management, farming systems and semi-natural habitats at the landscape scale. A review. *Advances in agronomy*, 109, 219-259.
- SCHMIDT A., REAU R., GUICHARD L., 2010. Le colza dépendant des pesticides en non-labour et rotations courtes. *Synthèses Agreste*, 121, 2010.
- SÉBILLOTE M., 1974. Agronomie et agriculture. Essai d'analyse des tâches de l'agronome. *Cahiers de l'ORSTOM*, série Biologie, 3(1), 3-25.
- THIES C., STEFFAN-DEWENTER I., TSCHARNTKE T., 2003. Effects of landscape context on herbivory and parasitism at different spatial scales. *Oikos*, 101, 18-25.
- TILMAN D., CASSMAN K.G., MATSON P.A., NAYLOR R., POLASKY S., 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418, 6898(8), 671-677.
- VALANTIN-MORISON M., FERRÉ F., 2004. Améliorer la compétitivité du colza d'hiver vis-à-vis des adventices et réduire l'utilisation d'herbicides. *Oléoscope*, 77, 17-19.
- VALANTIN-MORISON M., MEYNARD J.M., 2008. Yield variability of Organic Winter Oil Seed Rape (WOSR) in France: a diagnosis on a network of farmers fields. *Agronomy for sustainable development*, 28(4), 527-539.
- VALANTIN-MORISON M., MEYNARD J.M., DORÉ T., 2007. Crop management and environment effects on insects in organic winter oil seed rape (WOSR) in France. *Crop protection*, 26, 1108-1120.
- VALANTIN-MORISON M., PINOCHET X., 2010. Concevoir des itinéraires techniques intégrés pour le colza d'hiver : les acquis et les défis de demain. Carrefour de l'innovation agronomique, 6 mai 2010, Versailles. *Innovations agronomiques*, 8, 35-55.
- VAN DER WERF H.M.G., 1996. Assessing the impact of pesticides on the environment. *Agriculture, ecosystems and environment*, 60, 81-96.