

Décembre 2017
volume n°7 / numéro n°2
www.agronomie.asso.fr

Agronomie

environnement & sociétés

La revue de l'association française d'agronomie



Les ateliers Terrain,
Pour une démarche participative
en agronomie clinique

ASSOCIATION FRANÇAISE
D'AGRONOMIE

Évolutions récentes des pratiques de grande culture en France métropolitaine : techniques de raisonnement et usages des intrants

Raymond REAU^{*} - Violaine DEYTIEUX² Laurence GUICHARD¹ - Catherine MIGNOLET³ Marie-Sophie PETIT⁴ - Céline SCHOTT³

¹UMR Agronomie - AgroParisTech, INRA - Université Paris-Saclay - F-78850 Thiverval-Grignon - Courriel : raymond.reau@inra.fr, laurence.guichard@inra.fr

²UE Domaine d'Epoisses - INRA Domaine expérimental d'Epoisses - F-21110 Bretenière - Courriel : violaine.deytieux@inra.fr

³UR ASTER - Domaine du Joly - 662, avenue Louis Buffet - F-88500 Mirecourt - Courriel : catherine.mignolet@inra.fr, celine.schott@inra.fr

⁴Chambre d'agriculture de Bourgogne - Franche-Comté - 1, rue des Coulots - F-21110 Bretenière - Courriel : marie-sophie.petit@bfc.chambagri.fr

*Auteur correspondant

Résumé

Les techniques de raisonnement et les outils d'aide à la décision proposés en grande culture à partir des années 1980 ont-ils permis aux agriculteurs de maîtriser et d'optimiser l'usage des intrants de synthèse ? Cette question est traitée pour le domaine de la grande culture en France métropolitaine. L'analyse porte sur les évolutions récentes des techniques de raisonnement, en lien avec les réglementations, comme des pratiques agricoles en matière de fertilisation et de protection phytosanitaire résituées dans leurs systèmes de culture et leurs exploitations agricoles. Dans cette étude, les enquêtes « pratiques culturales » de 1994, 2001, 2006 et 2011 du Ministère de l'Agriculture sont la principale source de données.

L'usage des engrais et pesticides de synthèse s'est développé après 1950 dans un contexte d'agrandissement et de spécialisation des exploitations agricoles, et plus récemment de simplification des assolements et des rotations, ainsi que du travail du sol. Différentes réglementations ont vu le jour à l'échelle nationale et européenne pour encadrer l'usage des engrais de synthèse (dès les années 1990), et des pesticides (dès les années 2000) de manière à limiter leurs impacts négatifs sur l'environnement notamment.

La forte hausse de la fertilisation azotée de synthèse s'est achevée dans les années 1980. Les baisses observées depuis s'expliquent par la substitution d'une partie des engrais de synthèse par de la fertilisation organique apportée avant ou sur la plupart des têtes de rotation. Au début des années 2010, les parcelles en grande culture recevaient environ un apport organique tous les quatre ans. Les raisonnements et les outils d'aide à la décision proposés pour la fertilisation azotée ont permis de réduire les engrais de synthèse dans les parcelles venant de recevoir un engrais organique.

Si la quantité de substances actives de pesticides appliquées stagne, cela cache une hausse continue du nombre d'applications, des indices de fréquence des traitements phytosanitaires des grandes cultures, comme du nombre de doses unitaires vendues en France (NODU). Les outils existants ne semblent pas suffisants pour contribuer à une baisse de l'usage des pesticides.

Pour faire face au défi de l'agroécologie et de l'injonction concernant la maîtrise de l'usage des intrants promu par les pouvoirs publics depuis les années 2010, les outils de raisonnement de demain devront aller au-delà de leurs logiques actuelles d'efficacité et de substitution, en permettant aux agriculteurs et à leurs conseillers de développer des démarches plus stratégiques et globales.

Mots-clés

Fertilisation azotée, protection phytosanitaire, grande culture, outil de raisonnement, analyse systémique.

Summary

Since 1980, many decision support systems have been proposed to farmers in order to manage and adapt their use of chemical inputs. Have they permitted to control the use of chemical fertilizers and pesticides? This issue has been addressed for arable crops in France. In connection with the regulation evolution, we have analysed the recent changes in the decision support systems and in the practices of fertilizer and pesticide applications, in the cropping systems and in the farms. Main data come from the surveys of "cultural practices" carried out in 1994, 2001, 2006 and 2011 by the French Ministry of Agriculture.

The use of chemical fertilizers and pesticides developed after the 1950's into the context of farms' enlargement and specialization, and into the context of short rotations and minimum tillage since 2000. Various regulations have emerged at national and European level to regulate the use of synthetic fertilizers (since the 1990's), and pesticides (since the 2000's) to reduce their negative impacts on the environment.

The strong increase in chemical nitrogen (N) fertilization finished in the 1980's. Then, the slight drop is explained by the substitution of part of the synthetic fertilizer by organic fertilizer brought before and on most of the rotation heads. In the beginning of the 2010's, the arable fields received approximately one organic fertilizer application every four years. The decision support systems proposed for the N fertilization lead to a drop of the N fertilization for fields that had just received some organic fertilizer. For pesticides, there was a continue increase of the application number, of the Treatment frequency index and of the number of unit doses (NODU); and they are still increasing since 2000. Here, the current tools do not seem to be sufficient to contribute to a real decrease of pesticide use.

To deal with the agroecology challenge and the public policy to control the input use, tomorrow, the decision support systems should get out the efficiency and substitution logic, in order to support farmers and advisors involved in strategic consulting and approach of cropping system management.

Key words

Nitrogen fertilization, crop protection, arable crops, decision support system, systemic analysis.

Dès le XX^{ème} siècle, la révolution agricole de l'agriculture européenne a été caractérisée par la généralisation de la mécanisation puis par la motorisation et l'arrivée des premiers robots. L'introduction et le développement des intrants comme les engrais de synthèse et les pesticides, et une forte mobilisation des énergies fossiles, ont accompagné ce mouvement. Cette agriculture est aujourd'hui qualifiée de « moderne et intensive », « moderne » au sens où elle conduit à une forte productivité physique par unité de main d'œuvre, et « intensive » avec une forte productivité physique et économique par unité de surface.

L'agriculture française s'inscrit dans cette dynamique d'intensification. Aujourd'hui, son agriculture dominante est dite « conventionnelle », dans un contexte où l'agriculture biologique décolle tout en concernant moins de 6% de la surface agricole utile en 2016 (Agence Bio, 2018). Au-delà de ce mouvement d'innovation technique, cette intensification s'est traduite par des changements dans les productions et dans le nombre et la taille des exploitations : entre 1955 et 2010, le nombre total d'exploitations a été divisé par presque 5 (passant de 2,3 à 0,5 millions), tandis que leur SAU moyenne a été multipliée par presque 4 (passant de 15 à 55 ha) (Piet, 2015). La spécialisation des exploitations agricoles s'est développée : en 1970, sur un total de 1,58 millions d'exploitations, les orientations dominantes sont la polyculture-élevage et les élevages bovins ; en 2010, les exploitations spécialisées en grandes cultures deviennent aussi fréquentes que les élevages bovins, qui représentent chacune près du quart des effectifs (Tab. 1). Dans les années 1980, on observe à la fois la croissance de la surface en blé, et une période de diversification des grandes cultures, avec le développement de nouvelles têtes de rotation comme le pois, le tournesol, et le colza au détriment de l'orge d'hiver, de l'escourgeon et des cultures fourragères. Suit alors une phase de simplification des assolements avec la poursuite de la croissance du blé et du colza au détriment du pois et du tournesol, ce qui se traduit par des successions de cultures simplifiées et des délais de retour de plus en plus courts des mêmes espèces végétales, dans les exploitations céréalières en particulier (Guichard *et al.*, 2017). Cette spécialisation dans les grandes cultures a notamment été permise par des investissements importants dans le drainage et l'irrigation au cours des années 1970 et 1980 (Thérond *et al.*, 2017) et par l'acquisition de matériel agricole qui suit la croissance régulière de la SAU depuis 1980. La puissance moyenne des tracteurs a ainsi doublé entre 1979 et 2013, les tracteurs étant particulièrement puissants dans les exploitations en grandes cultures de plus de 200 ha (Lerbourg et Dedieu, 2016). Ils ont ainsi permis de tracter des outils combinés de travail du sol limitant le nombre de passages et dont certains évitent d'avoir recours au labour. A partir des années 2000, le non labour s'est ainsi étendu rapidement : 46% des colzas, 44% des blés tendres et 28% des orges et escourgeons sont implantés sans labour en 2006 (Thérond *et al.*, 2017).

	1970	1979	1988	2000	2010
Nombre d'exploitations agricoles	1,58M	1,26M	1,02M	664000	490000
% d'EA Grandes cultures	6,6	14,2	18	19	24,3
% d'EA Polyculture / polyélevage / Polyculture-élevage	36,8	22,6	24,8	15,1	12,5
% d'EA Elevage bovin	33,7	32,2	26,6	26,2	24,6
% d'EA Autres élevages	4,5	11,5	12,8	18,4	17,6
% d'EA Autres	18,5	19,5	17,8	21,3	21

Tableau 1 : nombre d'exploitations agricoles et pourcentage de SAU exploitée par les grandes catégories d'OTEX en France entre 1970 et 2010

Source : Recensements Agricoles 1970, 1979, 1988, 2000 et 2010

Le choc pétrolier de 1973 a entraîné des coûts de carburant plus élevés pour cette agriculture déjà fortement mécanisée et motorisée, ainsi qu'une augmentation des coûts des engrais azotés fabriqués à partir de l'énergie fournie par le gaz naturel. Des acteurs du secteur agricole ont alors commencé à se préoccuper des conséquences économiques de la dé-

pendance de l'agriculture vis-à-vis du pétrole. A sa création en 1980, le Comité français d'étude et de développement de la fertilisation raisonnée (Comifer) s'est ainsi donné pour mission de contribuer à la maîtrise de la fertilisation, en développant des méthodes pour optimiser les apports d'engrais et pour contribuer à une fertilisation équilibrée. Par ailleurs, cette dépendance aux énergies fossiles a poussé des éleveurs de l'ouest à travailler à une agriculture plus économe et plus autonome (Pochon, 2008) selon des principes énoncés par Poly (1978).

Malgré ces initiatives, les impacts environnementaux de l'agriculture, en particulier en termes de contamination des ressources en eau par les nitrates et les produits phytosanitaires, ont conduit au développement de différentes réglementations nationales et européennes dès les années 1990. Suite à une série de scandales sanitaires démarrés en 1996 avec la crise de la vache folle, l'agriculture raisonnée a été certifiée en 2002 par les pouvoirs publics dans un décret, qui a inscrit dans son référentiel non seulement l'équilibre de la fertilisation des cultures et la maîtrise des intrants agricoles, mais aussi « l'usage justifié de moyens appropriés de protection des cultures et de santé des animaux, et la gestion économe et équilibrée des ressources en eau ». A cela s'est ajoutée la hausse des coûts des engrais depuis le début des années 2000 (+ 45% entre 2000 et 2012 d'après Houot *et al.*, 2014) et des carburants (+70%). Associée à de très fortes fluctuations interannuelles du prix des produits agricoles, cette hausse a incité les agriculteurs et leur environnement socio-technique à s'interroger sur l'adaptation et le raisonnement de leurs pratiques à cette nouvelle donne.

Dans ce contexte, la recherche agronomique et le développement agricole ont été marqués par la volonté de développer des services à destination des agriculteurs, afin de les aider à adapter leurs pratiques culturales, par un raisonnement adéquat. Cet article propose de dresser un premier bilan des quarante dernières années en posant la question suivante : les raisonnements et les outils d'aide à la décision proposés ont-ils permis aux agriculteurs de maîtriser et d'optimiser l'usage des engrais de synthèse et des produits phytosanitaires ? Ce bilan traite uniquement des grandes cultures.

L'article est conçu en trois parties. La première fait le point sur les réglementations qui ont été mises en place en matière de fertilisation azotée, d'usage de produits phytosanitaires et des outils d'aide à la décision qui les ont accompagnés. La seconde aborde l'évolution de la fertilisation azotée et de la protection sanitaire des cultures, du point de vue des innovations, dans les raisonnements et les outils proposés, et des pratiques agricoles dans les exploitations agricoles. L'analyse de ces évolutions et résultats est développée dans la troisième partie, qui aborde aussi des perspectives pour demain.

Évolution des réglementations environnementales et sanitaires, transformation des outils d'aide aux agriculteurs

Le cas de la fertilisation azotée et des nitrates

Évolution des réglementations

Le rapport Hénin (1980) rend compte du lien entre les problèmes de qualité de l'eau en matière de nitrates et les en-

grais azotés dès 1980. Cela conduit les ministères de l'agriculture et de l'environnement à créer en 1984 un comité d'experts (le futur Comité d'Orientation pour des Pratiques agricoles respectueuses de l'Environnement, ou CORPEN) chargé d'identifier les pratiques agricoles susceptibles de réduire la pollution de l'eau par les nitrates afin de les vulgariser.

La lutte contre la pollution par les nitrates s'organise également à l'échelle européenne. A partir de 1991, la Directive 91/676/CEE, dite « directive nitrates », vise à réduire la pollution des eaux provoquée par les nitrates utilisés à des fins agricoles. Des cartes doivent délimiter les « zones vulnérables » dans les secteurs où les eaux présentent une teneur en nitrates approchant ou dépassant le seuil de 50 mg/l et/ou ont tendance à l'eutrophisation (1993). Ces zones vulnérables s'étendent avant tout dans la grande moitié nord de la France et doivent faire l'objet de programmes d'actions afin de prévenir et de réduire cette pollution (1996). Les programmes d'action définissent un calendrier réglementaire des épandages de fertilisants azotés précisant les dates d'utilisation autorisées selon leur nature et les cultures. Ces calendriers réglementaires interdisent certains fertilisants en interculture longue (avant une culture d'été par exemple), hormis si une culture intermédiaire piège à nitrates (CIPAN) est implantée pour compenser l'absence de culture de production absorbant de l'azote en automne et en hiver. La mise en place de CIPAN pour éviter d'avoir des sols nus en période de lessivage est devenue obligatoire en interculture longue en 2012.

Pour résoudre les problèmes aigus de nitrates dans les régions d'élevage, un décret de la loi sur l'eau de 1993 prescrit des programmes de résorption dans les Zones à excédents structurels (ZES) correspondant aux cantons où la charge azotée ayant une origine animale est supérieure à 170 kg d'azote organique par hectare épandable et par an. Ces programmes passent par la réduction de la pollution à la source, un prétraitement des déjections, un traitement ou le transport et l'épandage d'effluents hors des ZES, vers des cantons non saturés (ayant moins de 140 unités d'azote organique par hectare épandable). En 2009, près de la moitié de la Bretagne était encore concernée avec 88 cantons classés en ZES. Les réglementations ont encouragé l'organisation des échanges paille-fumier, le recyclage des vinasses de sucrerie par les betteraviers (en local) et le transport des effluents d'élevage des régions d'élevage avec excédents structurels (Bretagne, Bénélux) vers les régions céréalières sous forme de compost. La gestion des flux d'effluents d'élevage change alors d'échelle, pour être organisée au niveau interrégional.

La directive nitrates impose aussi à chaque exploitation la tenue d'un cahier de fertilisation et d'un « plan de fumure » où sont enregistrées les quantités d'azote apportées par îlot cultural ou par parcelle. Au départ, la déclinaison française de cette directive recommande la méthode du bilan prévisionnel (présentée ci-dessous), dont elle rend l'application par les agriculteurs obligatoire en 2012 (Ministère de l'agriculture, 2015 in Ravier, 2017). Les documents d'enregistrement deviennent des outils faisant l'objet de contrôle, avec des sanctions financières à la clé, en cas de non-conformité.

Les pouvoirs publics constituent alors des groupes régionaux d'expertise nitrate (GREN) qui recherchent des consensus afin de fixer les valeurs à prendre par défaut dans la méthode du bilan prévisionnel. Il s'agit d'approuver des références qui seraient juridiquement opposables dans le cadre d'une mise en œuvre réglementaire (Ravier, 2017). Les outils de raisonnement de la fertilisation promus par le COMIFER depuis sa création en 1980 doivent dès lors permettre aux agriculteurs, en situation de contrôle réglementaire, de justifier leurs pratiques. Apparaît ainsi un nouveau service apporté aux agriculteurs par les conseillers agricoles et les technico-commerciaux. Il consiste à faire de l'« optimisation réglementaire » en aidant les agriculteurs à renseigner leurs plans de fertilisation et à réaliser leurs déclarations de pratiques. Ils s'appuient pour cela sur des outils d'enregistrement des pratiques (« Mes Parcelles » dans le réseau des Chambres d'agriculture, ou « Cassiopée » du groupe de coopératives In Vivo par exemple) en veillant à ce que les déclarations et les enregistrements finaux soient remplis en conformité avec la réglementation.

Évolution des outils d'aide à la décision proposés aux agriculteurs

Des méthodes de raisonnement comme celle du bilan prévisionnel, ont été proposées pour adapter la dose totale d'engrais azoté de synthèse à appliquer aux besoins des cultures selon les quantités d'azote présentes à la sortie de l'hiver dans le sol (Hébert, 1969 ; Thévenet, 2000 ; Comifer, 2013) ou suivant l'état azoté de la culture en sortie d'hiver ou au printemps (Reau *et al.*, 1995 ; Justes *et al.*, 1997 ; Makowski *et al.*, 2005 ; Ravier, 2017). Ces méthodes ont été informatisées au cours des années 1990, et depuis les années 2000 de nombreux logiciels de fertilisation raisonnée sont proposés aux agriculteurs et à leurs conseillers. Des cartes renseignées par satellite sont utilisées notamment dans certains outils de raisonnement de la fertilisation azotée ; elles ont permis de mettre en évidence l'hétérogénéité au sein des parcelles, en appelant à moduler les pratiques culturales (modulation des doses d'engrais azoté principalement).

Par ailleurs, les effluents d'élevage et les autres engrais organiques ont été caractérisés en termes de propriétés fertilisantes. Leur analyse a été encouragée pour permettre aux agriculteurs d'adapter leurs apports d'engrais azoté de synthèse aux apports organiques réalisés dans le champ cultivé.

A la demande des filières cherchant à se démarquer de la concurrence par des produits de qualité, les connaissances des effets des pratiques culturales sur les critères de qualité ont été intégrées. La filière de la betterave, attentive aux besoins des sucreries, a encouragé la production de betteraves riches en sucre avec des préconisations modérant les usages d'engrais azoté. De son côté, la filière du blé panifiable a encouragé la production de blé riche en protéine, en recommandant un apport d'engrais azoté supplémentaire appliqué tardivement, via des préconisations s'appuyant sur des outils de raisonnement de l'opportunité et/ou de la dose du dernier apport.

En résumé, dès 2012, les outils de raisonnement de la fertilisation azotée promus à partir des années 1980 pour le pilo-

tage tactique des engrais azotés de synthèse au printemps ont fait leur entrée dans la réglementation, comme outil permettant de justifier les pratiques de fertilisation azotée en cas de contrôle réglementaire. Ces outils ont intégré ce nouvel usage, ce qui a conduit à des adaptations de leur paramétrage dans le cadre des GREN.

Le cas de l'usage des pesticides

Évolution des réglementations

L'encadrement, réglementaire et technique, de l'utilisation des pesticides est ancien : ce sont surtout les années 2000 qui marquent un tournant dans la prise en compte des pesticides dans les relations agriculture/environnement. La Directive Cadre Eau (DCE 2000/60/CE) instaurée en Europe en 2000 fixe un objectif de « bon état » des rivières, lacs et eaux souterraines à atteindre en 2015. En 2009, la directive européenne « SUD » (directive 2009/128/CE) concernant l'utilisation durable des pesticides prévoit la mise en place par les États membres des plans d'action nationaux pour atteindre cet objectif. Le plan Ecophyto, lancé en France en 2008 à la suite du Grenelle de l'Environnement, en est la déclinaison. Pour 2018, il visait une réduction ambitieuse de l'usage des produits phytosanitaires de 50 % « si possible », par rapport à la référence de consommation de la campagne 2008.

La mise sur le marché, la distribution et l'utilisation des pesticides est aussi très encadrée par les pouvoirs publics et l'Union Européenne (Directive 91/414/CE pour les produits phytopharmaceutiques et Directive 98/8/CE pour les biocides). De façon simplifiée, l'évaluation et l'autorisation des substances actives (SA) relèvent du niveau européen, tandis que l'autorisation de mise sur le marché de produits commerciaux contenant ces SA autorisées est délivrée à un niveau national, pour une durée maximale de 10 ans. Depuis 1993, la procédure européenne de réexamen des substances chimiques entrant dans la composition des pesticides a conduit au retrait du marché de plus de la moitié des substances actives : notamment des substances largement utilisées comme le lindane en 1998, l'atrazine en 2003, la trifluraline en 2008, l'isoproturon en 2017... On annonce le retrait des néonicotinoïdes en 2018, et on débat de celui du glyphosate. On est ainsi passé d'environ 1000 SA autorisées en 1993 à 423 en 2017.

Évolution des outils d'aide à la décision proposés aux agriculteurs

Sur le plan technique, les pouvoirs publics ont très tôt accompagné le développement de l'usage des pesticides avec la création du « service phytopathologique » en 1911, devenu Service de la protection des végétaux en 1941 et de ses déclinaisons régionales. La mise en place de réseaux de surveillance de « parcelles représentatives », alimentant des « avertissements agricoles » (bulletins techniques hebdomadaires diffusés à grande échelle) ont permis d'alerter les agriculteurs en cas d'épidémie, et d'adapter des modalités d'usage des pesticides en fonction des situations. Lors du lancement du plan Ecophyto en 2008, cette mission historique de surveillance s'est vu déléguée aux acteurs parapublics (chambres d'agriculture) et privés (coopératives, négoce, organisation de producteurs...). Ceci a donné naissance aux « bulletins de santé du végétal » (BSV). La principale diffé-

rence avec les avertissements agricoles, que le BSV a remplacés, a porté sur l'interdiction de donner dans ces bulletins des recommandations en matière de traitements de protection phytosanitaire. Essentiellement descriptif de la présence des bioagresseurs et de leur évolution attendue dans les parcelles du réseau, le BSV consiste essentiellement en un système d'alerte « à chaud », relayé par les organismes de conseil et/ou d'approvisionnement via des messages à leurs adhérents (Guichard *et al.*, 2017).

En parallèle, lors du développement de l'agriculture raisonnée, des règles et outils d'aide à la décision ont été mis au point afin de promouvoir une utilisation raisonnée des pesticides. Cette période a vu l'usage accru des modèles épidémiologiques, cherchant à prévoir la période et l'intensité des épidémies, utiles afin de raisonner le positionnement des applications de produits phytosanitaires. Ils sont à l'origine de nombreux outils de raisonnement des dates d'intervention de lutte chimique contre les maladies et les insectes. L'arrivée de la télédétection agricole, via les satellites au début des années 2000 et via des drones depuis les années 2010, a permis de réaliser plus rapidement et à moindre coût des observations ou des mesures au champ nécessaires à ces règles de décision. Ils sont aujourd'hui mobilisés pour faire du conseil spécifique à la parcelle, et/ou établir des préconisations plus régionales.

Les BSV, intégrant peu les techniques alternatives à l'utilisation des pesticides, ne répondent que partiellement aux besoins relatifs aux objectifs de moindre dépendance aux produits phytosanitaires (Reboud *et al.*, 2017). Il en est de même de la plupart des outils d'aide à la décision développés pour raisonner l'utilisation de pesticides, qui sont en définitive centrés sur un meilleur usage des pesticides afin d'appliquer au bon moment à la juste dose en évitant les utilisations inutiles (Henry *et al.*, 2012). Les règles de décision et outils d'aide à la décision disponibles aujourd'hui ne couvrent pas la diversité des objectifs et résultats attendus des agriculteurs. Ils ne mobilisent encore que très rarement des informations sur les techniques alternatives aux pesticides utilisées ou des critères pertinents à l'échelle de la parcelle pour évaluer au mieux le risque sanitaire (état du peuplement végétal pour estimer sa capacité d'atténuer les dégâts dus aux bioagresseurs, présence d'auxiliaires par exemple).

Évolutions des pratiques de fertilisation azotée et de protection des cultures

Fertilisations organique et minérale

La fertilisation organique

Parmi les matières fertilisantes d'origine résiduaire (Mafor), agricole, urbaine et industrielle, les effluents d'élevage sont en pratique le gisement le plus conséquent et le plus utilisé : ils concernent 98% des surfaces qui reçoivent des Mafor en 2011. Ces effluents proviennent majoritairement d'élevages bovins (75 % des surfaces en 2001 (Chapelle, 2003), 70 % en 2006 (Agreste, 2010), 59 % en 2011 (Agreste, 2014)), et plus secondairement des fumiers issus des autres élevages et des fientes de volailles (Agreste, 2010 ; Agreste, 2014).

La fréquence interannuelle de fertilisation organique des parcelles concernées est faible. En 2006, seule 20 % de la surface était fertilisée tous les ans (en moyenne en France), et le quart de la sole en reçoit tous les 2 ou 3 ans. Avant 2011,

sur une durée de 5 années, les parcelles en rotation avec du maïs fourrage avaient reçu en moyenne 2,3 apports organiques alors que, toutes rotations confondues, les parcelles en grandes cultures avaient reçu 1,2 apports en 5 ans (Agreste, 2014, Théron et al., 2017).

Depuis 1994, une croissance de la proportion de la sole de chaque culture avec fertilisation organique, juste avant ou sur la culture, est observée (Théron et al., 2017). En 2011, les cultures les plus fertilisées par des apports organiques sont dans l'ordre : le maïs fourrage (81% de la sole), la betterave sucrière (56%), la pomme de terre (35%), le colza (34%) et le maïs grain (33%). Pour le colza, cette croissance de la fréquence de fertilisation organique a été très intense et générale à toute la moitié nord de la France. En effet en 1994, seule 7% de la sole est fertilisée ainsi ; cette fréquence a été multipliée par près de 5 en 17 ans (Fig.1).

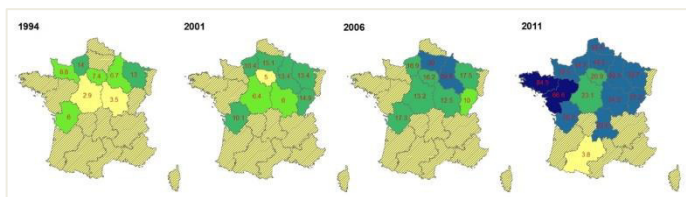


Figure 1 : évolution de la fertilisation azotée organique sur colza entre 1994 et 2011 en % de surface

Source : enquête « Pratiques Culturelles sur grandes cultures » 1994, 2001, 2006 et 2011. Légende : les couleurs traduisent visuellement les classes de surfaces ; en hachuré, non enquêté ou secret statistique.

La sole de céréales présente des fréquences d'apports organiques faibles en dehors des régions d'élevage (Théron et al., 2017). Les prairies, maïs, blé tendre représentent 80% des surfaces qui ont reçu des Mafor en 2011. Dans les régions d'élevage, les Mafor proviennent majoritairement de l'exploitation elle-même (Houot et al., 2014). Dans les régions plus céréalières situées autour du Bassin parisien (Île-de-France, Champagne-Ardenne, Picardie, Centre Val de Loire), environ 60 % de la fumure appliquée dans l'exploitation est importée, essentiellement en provenance des élevages de volailles, et pour un quart des industries

agroalimentaires ou des stations d'épuration des villes (Agreste, 2014 ; Théron et al., 2017). Ainsi, la betterave et la pomme de terre reçoivent majoritairement des Mafor non issues de l'exploitation (Houot et al., 2014). Elles proviennent d'exploitations voisines (achat ou échange paille-fumier), d'industries ou de stations d'épuration à proximité, mais aussi d'autres régions éloignées.

La fertilisation azotée de synthèse : la quantité totale d'azote minéral apporté

Depuis 1994, plus de 9 hectares sur 10 des cultures de maïs grain, blé, colza, pomme de terre, betterave, orge et escourgeon ont reçu de l'engrais de synthèse et cette fréquence est restée assez stable (Casagrande et Chapelle, 2001). D'autres cultures ne sont pas fertilisées aussi systématiquement : le maïs fourrage (fertilisé à 82% en 2011), le tournesol (fertilisé à 62% en 2011) et les légumineuses qui sont peu ou pas du tout fertilisées (Théron et al., 2017).

Les doses totales moyennes de fertilisant de synthèse ont baissé pour les cultures de colza, de maïs grain et fourrage et de betterave sucrière (Fig.2). Ces doses ont été plus stables pour la pomme de terre, le tournesol, l'orge et le triticale. Enfin, la fertilisation de synthèse du blé dur est à la hausse. Après une hausse entre 1994 et 2001, le blé tendre retrouve en 2011 le niveau de fertilisation de 1994.

Il y a une corrélation entre la fertilisation de synthèse et l'importance relative des parcelles avec apports organiques culture par culture (Fig. 2). Ainsi, maïs grain, maïs fourrage, colza, pomme de terre et betterave sucrière se situent dans la même tendance, avec une baisse de dose moyenne de la sole de l'ordre de 15 unités d'azote pour une augmentation de 10% de la sole recevant de l'organique. Le blé dur et le blé tendre s'écartent légèrement de cette tendance : les apports y sont plus faibles que pour les colzas avec une sole recevant de l'engrais organique aussi basse. Avec des besoins en azote à absorber à l'hectare plus faibles, l'orge et l'escourgeon, et le tournesol sont encore plus nettement au-dessous de la tendance ci-dessus.

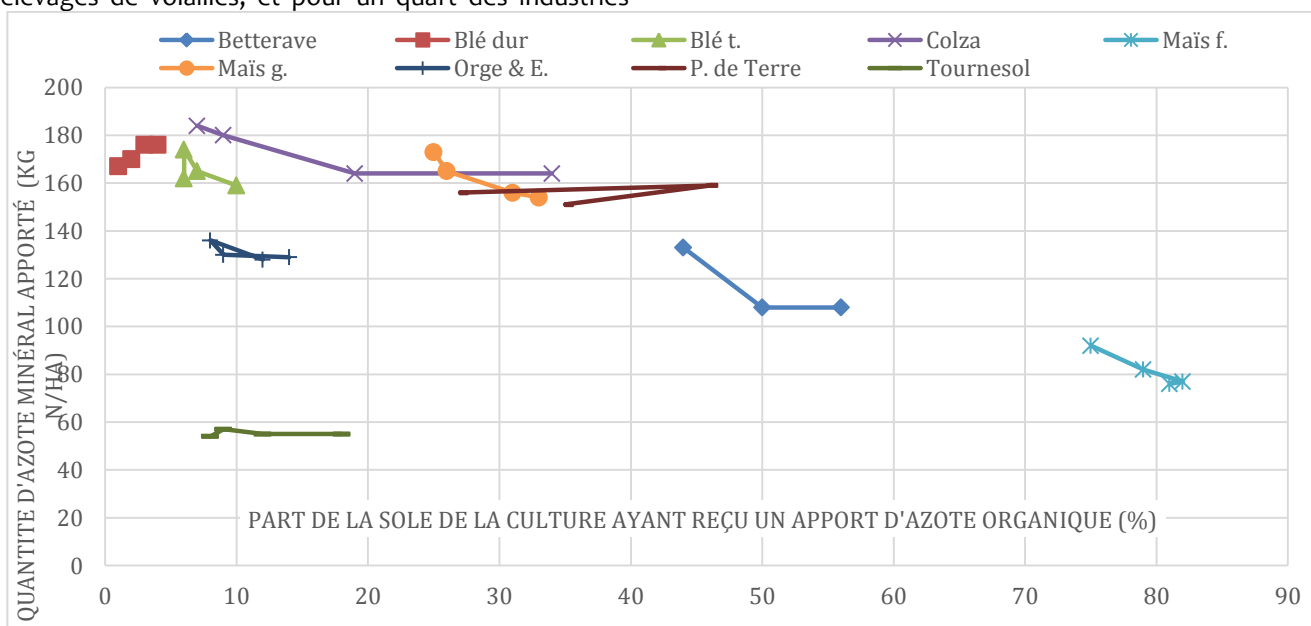


Figure 2 : quantité moyenne d'azote minéral apporté en fonction de la part de la sole de la culture ayant reçu un apport d'azote organique en 1994, 2001, 2006 et 2011

Source : enquête « Pratiques Culturelles sur grandes cultures » 1994, 2001, 2006 et 2011 issue de Théron et al., 2017.

La fertilisation azotée de synthèse : le fractionnement des apports

En 2011, pour les surfaces fertilisées exclusivement en azote de synthèse, les apports au champ sont le plus souvent réalisés en 3 passages pour le blé et le colza, 2 pour l'orge, le triticale, le maïs, la pomme de terre et la betterave, et 1 pour le tournesol. Le nombre d'apports était notamment plus faible pour les cultures dont le développement empêche les passages répétés (maïs) ou les cultures faiblement fertilisées en azote (tournesol) (Agreste, 2014).

Ces pratiques ont beaucoup évolué au cours du temps. Le fractionnement en 3 apports d'azote de synthèse devient majoritaire dès 2001 pour le blé tendre, et seulement à partir de 2011 pour le colza. Le fractionnement en 2 apports était déjà majoritaire pour le maïs grain dès 1994, mais c'est à partir de 2001 qu'il est devenu majoritaire pour la pomme de terre et la betterave (Rabaud, 2005).

Protection de la santé des cultures

Des innovations avant tout chimiques, avant le frémissement du biocontrôle

Depuis les années 1970, la protection de la santé des cultures en France repose principalement sur la protection chimique pour la maîtrise des adventices, des ravageurs comme des maladies (Aubertot et al., 2005).

La disponibilité en insecticides et herbicides, en particulier, s'est érodée cependant depuis le milieu des années 1990 sous le double effet de la réduction des homologations et du retrait de produits déjà homologués, comme cela a été développé ci-dessus. A ces évolutions réglementaires, sont venues s'ajouter les pertes d'efficacité de certains pesticides dont l'usage « large et fréquent » a conduit à l'apparition de résistances de la part des bioagresseurs : résistances aux herbicides à large spectre comme l'atrazine et le glyphosate, résistances des graminées adventices à l'isoproturon, des dicotylédones adventices aux sulfonilurées, résistance des maladies des céréales à la carbendazime et aux triazoles, résistance de coléoptères ravageurs du colza aux insecticides...

Face à cette « panoplie chimique », la lutte biologique reste encore peu pratiquée en grandes cultures, notamment par manque de produits. Le trichogramme, micro-lépidoptère parasitant les œufs de pyrale sur maïs, est certainement le plus connu en grandes cultures. Apparu au milieu des années 1980, il était utilisé sur plus de 120 000 ha de maïs en 2015 (Semences et progrès, 2015). A titre d'exemple, citons aussi le phosphate ferrique, un molluscicide d'origine naturelle, utilisé en grandes cultures en remplacement des produits de synthèse à base de métaldéhyde, qui est utilisé sur 500 000 ha (Semences et progrès, 2015). Des produits mixtes, associant un agent de biocontrôle (microorganisme type *Bacillus* par exemple) à une substance active fongicide de synthèse sont également apparus sur le marché au cours de ces dernières années.

Les pratiques de lutte chimique et leur évolution

Le nombre de doses unités (NODU) est l'indicateur « phare » du plan Ecophyto. Il additionne des quantités de substances actives vendues, pondérées par leur dose « de référence » (dose unité propre à chaque SA). Le NODU est calculé annuellement par les services de l'Etat, à l'échelle de la ferme

France, à partir des déclarations annuelles des ventes de pesticides par les distributeurs. Depuis 2009, le NODU montre une progression globale de près de 17% en France (Fig.3). Le calcul d'une moyenne glissante sur 3 ans permet de « lisser » la variabilité interannuelle des usages liées à des contextes particuliers (de climat, de pression de bioagresseurs...) ou à des reports de stocks d'une année à l'autre. Présentés ainsi, les résultats montrent clairement une augmentation tendancielle de l'usage des pesticides sur le territoire France depuis 2010 (Guichard et al., 2017), et ce malgré les travaux menés dans le cadre du plan Ecophyto et plus largement.

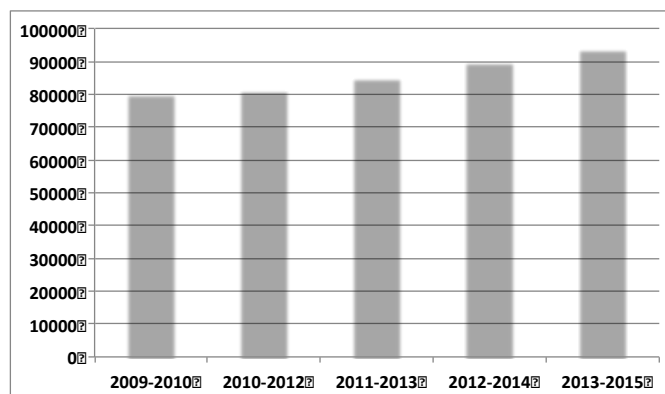


Figure 3 : évolution du NODU (moyenne glissante triennale en milliers de doses) pour les usages agricoles, hors biocontrôle et traitement de semences
Source : Ecophyto, notes de suivi 2015 et 2016 issu de Guichard et al., 2017.

L'analyse par culture au travers de l'indicateur de fréquence de traitement (IFT) (Pingault et al., 2009) permet d'étudier le recours aux produits phytosanitaires au sein des cultures. Il correspond au nombre de doses homologuées épandues à l'hectare entre la récolte de la culture précédente et la récolte de la culture en cours. L'IFT est calculé sur les pratiques déclarées par les agriculteurs. Fondé sur une normalisation des produits commerciaux par leur dose d'homologation, il s'affranchit de la variabilité des doses d'homologation et permet ainsi de sommer dans un même programme des produits aux caractéristiques très différentes.

Les résultats montrent une grande variabilité de l'IFT selon les cultures (Fig.4). Le colza apparaît ainsi comme la culture annuelle la plus dépendante des pesticides (IFT supérieur à 5), contrairement au maïs ou au tournesol qui ont des IFT autour de 2. Les cultures de betterave, blé tendre, blé dur, orge et pois ayant une position intermédiaire, avec un IFT entre 2,5 et 4,5. Entre 1994 et 2011, l'évolution de ces IFT par culture est restée faible (Guichard et al., 2017) : hormis une baisse de l'IFT du tournesol et du pois sur la dernière période d'enquête, l'IFT total des autres cultures est plutôt stable sur cette période de 17 ans. Pourtant, malgré des IFT faibles sur grandes cultures au regard de ceux de l'arboriculture ou de la vigne, les possibilités de réduction des usages existent sur ces cultures, comme l'ont montré l'expertise Ecophyto R&D en 2010, confirmée plus récemment par Lechenet et al. (2017).

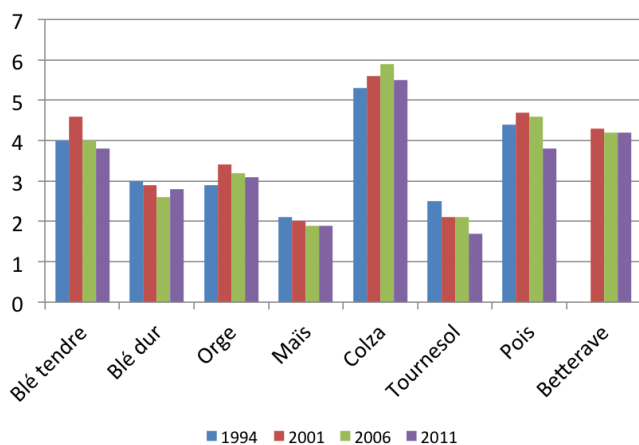


Figure 4 : évolution des IFT moyens totaux sur cultures annuelles
Source : enquête « Pratiques Culturelles sur grandes cultures » 1994, 2001, 2006 et 2011.

Les herbicides et les fongicides sont les produits les plus utilisés en grandes cultures, totalisant à eux deux 70% des utilisations en moyenne.

Les herbicides sont utilisés assez systématiquement pour chaque culture. Le nombre de produits appliqués est de l'ordre de 2 pour toutes les cultures, sauf pour la betterave qui a reçu entre 5 et 6,5 produits de 2001 à 2011. En dehors du blé dur, l'IFT herbicide des grandes cultures s'est généralement accru entre deux sondages, plus fortement entre 1994 et 2001, puis modérément ensuite. Quatre exceptions cependant : l'IFT herbicide du blé tendre s'est stabilisé à partir de 2001, celui du maïs a chuté entre 2001 et 2006, ceux du tournesol et du colza ont chuté entre 2006 et 2011.

Les produits fongicides sont utilisés assez systématiquement sur betterave, blé tendre, colza et pois. Depuis 1994, ce poste est en baisse pour le pois, assez stable pour la betterave ; il est en hausse pour les cultures de blé et de colza.

Les produits insecticides employés en végétation sont utilisés assez systématiquement pour le colza et le pois ; en tendance depuis 1994, le nombre de produits insecticides s'accroît sur le colza. Les produits molluscicides sont utilisés en 2011 dans moins d'une parcelle sur deux, le plus fréquemment pour le colza semé en fin d'été, et le tournesol semé au printemps, plus rarement pour le blé et le maïs. La fréquence d'usage des molluscicides semble en baisse depuis 2001 (Thérond et al., 2017).

Discussion et conséquences pour la R&D agricole

L'optimisation et/ou la réduction des intrants sur les cultures ont été historiquement mises en avant comme des solutions pour réussir la diminution de la dépendance économique des exploitations aux coûts des énergies fossiles et répondre à certains enjeux de filière et de société. Elles restent aujourd'hui encore largement d'actualité dans le contexte de la transition agroécologique soutenue par le ministère en charge de l'agriculture, qui élargit ses attendus à la résolution des problèmes posés par l'impact de ces intrants sur la qualité de l'eau, de l'air et des sols, comme sur la santé des travailleurs et des consommateurs. Des règles de décision et des outils ont été développés pour aider les agriculteurs à prendre leurs décisions d'usage de la fertilisation et de la protection phytosanitaire par lutte chimique, et contribuer aux raisonnements et à l'adaptation tactique des interventions culturales. Quel bilan faire en 2017 après deux dé-

cennies de promotion des techniques de raisonnement des intrants et de l'agriculture raisonnée en général sur l'évolution des pratiques de fertilisation et de protection de la santé des grandes cultures ?

Évolution des fertilisations azotées et difficultés pour obtenir des blés riches en protéines

L'analyse des pratiques de fertilisation azotée sur une période longue montre que l'évolution majeure est une baisse de la fertilisation de synthèse sur une partie des grandes cultures (betterave, colza, maïs grain et fourrage), et une stabilisation pour les autres cultures. A l'échelle de la France entière, cette baisse est corrélée à la croissance de l'usage de la fertilisation organique dans les exploitations et les régions d'élevage, comme dans les exploitations sans élevage des régions céréalières. Les baisses observées restent modestes en moyenne (30 kg N/ha au maximum pour des doses de départ comprises entre 90 et 190 kg N/ha) au regard de l'augmentation du recours à la fertilisation organique, et à l'augmentation du fractionnement sur plusieurs cultures, permettant en théorie une meilleure efficacité des engrais apportés.

L'enquête « pratiques culturales », à travers le questionnaire qualitatif du raisonnement de l'agriculteur, fournit quelques hypothèses sur la corrélation négative entre fertilisation organique et fertilisation de synthèse. Ainsi, l'agriculteur concerné affirme avoir réalisé un ajustement de la dose d'azote de synthèse en fonction de l'apport organique dans 60 et 70 % des surfaces de grandes cultures (hors tournesol) concernées par un apport organique en 1994 et 2001 respectivement. Cette prise en compte progresse ensuite : en 2001 et 2006 près de 90 % des surfaces ont une dose totale d'azote de synthèse ajustée en cas d'apport organique, avec peu de variabilité entre cultures (Thérond et al., 2017). La baisse des doses d'engrais de synthèse serait imputable à une meilleure prise en compte des apports organiques dans le raisonnement de la fertilisation azotée.

L'analyse de l'évolution des quantités apportées à l'échelle des régions apporte un autre éclairage sur la prise en compte de la fertilisation organique. Les doses d'engrais azoté de synthèse apportées sur le blé tendre connaissent une forte croissance de 1981 à 1987 dans l'ensemble des régions. Ensuite leurs évolutions divergent. Certaines régions ralentissent puis stabilisent leur fertilisation à un niveau élevé (Île-de-France, Champagne-Ardenne, Centre, Lorraine, Poitou-Charentes, Midi-Pyrénées, Auvergne) ; en revanche, d'autres régions connaissent une diminution des doses apportées à partir de 1987 et 1989, une tendance qui est très marquée dans les régions d'élevage du grand Ouest (Bretagne, Pays de Loire, Haute et Basse Normandie) et, dans une moindre mesure, en Bourgogne, Nord-Pas-de-Calais et Picardie (Thérond et al., 2017). Les régions d'élevage ont baissé leurs doses d'azote dès la fin des années 1980, tandis que les régions les plus céréalières ralentissent et stabilisent leur fertilisation. Cependant l'accroissement des soles de blé lié au raccourcissement des rotations dans ces régions où le blé est fortement fertilisé conduit à un maintien des doses d'engrais azoté de synthèse apporté en moyenne sur le blé en France, sans réelle baisse

dans un contexte où la part des blés recevant un engrais organique ne dépasse pas 10% en 2011.

A travers la présentation de ces résultats, on peut penser que le développement des outils de fertilisation raisonnée de l'azote a bien conduit à une baisse de la fertilisation azotée de synthèse de toutes les grandes cultures dont la fertilisation organique s'est développée depuis les années 1990, à l'exception des blés, de la pomme de terre et du tournesol. La fertilisation moyenne du blé tendre n'a pas baissé car sa sole s'est accrue dans les régions céréalières à haut potentiel, où elle reçoit rarement des engrais organiques. Cette évolution pourrait peut-être aussi trouver son fondement dans l'argument de la qualité et de la teneur en protéines des blés demandé par les organismes de collecte.

Plus forte dépendance aux pesticides et moindre maîtrise de certains bioagresseurs

L'évolution récente est ici marquée par une hausse du NO₂ en France, et en particulier pour les grandes cultures. Cette hausse s'explique majoritairement par :

- La croissance des surfaces cultivées avec des cultures ayant un IFT élevé comme le colza (herbicide, insecticide) et le blé (herbicide, fongicide) au détriment de cultures utilisant moins de pesticides (Théron *et al.*, 2017) ;

- La diminution du nombre d'espèces cultivées, la simplification des assolements, le raccourcissement des rotations observés depuis le milieu des années 1990 qui accroissent le risque d'adventices, de parasites et de maladies des cultures, et conduisent à un usage accru de produits phytosanitaires dans ces situations (Meynard *et al.*, 2013). A partir des données des enquêtes « pratiques culturales » de 2006, Schmidt *et al.* (2010) montrent par exemple que les situations de rotations courtes avec colza où le labour est rare sont les systèmes où la dépendance aux pesticides (et notamment aux herbicides) est la plus forte ;

- La suppression du labour, réalisée dans les assolements simplifiés et les rotations courtes de grandes exploitations, qui conduit à une augmentation de la consommation d'herbicides, dans une logique de substitution où l'herbicide supplémentaire remplace une fonction du labour qui est de diminuer le stock de semences d'adventices dans le sol. L'enquête « pratiques culturales » de 2011 montre que les cultures de colza, de blé, d'orge et de maïs conduites sans labour ont un IFT supérieur de 0,2 à 0,5 points à l'IFT avec labour (ANSES, 2016) ;

- Des difficultés de maîtrise des bioagresseurs dans certaines situations liées à l'apparition de résistances aux pesticides employés largement depuis longtemps. En effet, une réponse des agriculteurs à ces difficultés a été d'appliquer des mélanges de produits à chaque passage pour gagner en efficacité et essayer de venir à bout des résistances comme celles des maladies du blé par exemple (Cassagne, 2009).

Face à ces évolutions des bioagresseurs et des exploitations, l'usage des pesticides semble avoir été peu influencé à la baisse par les outils d'aide à la décision mobilisés pour la protection des cultures qui sont pourtant nombreux et variés (Henry *et al.*, 2012). Un recueil des règles de décision par couple culture-bioagresseur a montré que les décisions qu'ils visent à aider consistent le plus souvent soit à choisir la date de l'application, soit à adapter les substances actives

et/ou leur dose. En grandes cultures, on a recensé 441 règles de décision permettant de juger de l'opportunité d'une intervention chimique ou de la date de son déclenchement. Cependant cette profusion cache une disparité dans les couples cultures-bioagresseurs pourvus et une disparité dans la qualité et la pertinence des règles de décision aujourd'hui disponibles pour répondre aux attentes fortes de réduction d'usage des pesticides et de dépendance de systèmes de culture aux pesticides. Des travaux sont nécessaires pour pouvoir bénéficier de règles pour raisonner l'opportunité des traitements herbicides, molluscicides en végétation comme des traitements insecticides et fongicides des semences (Henry *et al.*, 2012).

Ainsi, l'influence de ces outils sur la réduction d'usage des pesticides semble moins forte que celle portant sur l'interdiction des substances actives (SA). En effet, les fortes baisses d'IFT herbicide observées entre 2001 et 2006 pour le maïs et entre 2006 et 2011 pour le colza et le tournesol correspondent respectivement aux calendriers de retrait de l'atrazine en 2003, puis de la trifluraline en 2008. Tout se passe comme si les pesticides arrivés dans le domaine public, donc peu onéreux pour les agriculteurs, sont utilisés en associations avec d'autres SA afin de pallier leur baisse d'efficacité avec le temps ; après leur retrait, les agriculteurs passeraient à des produits commerciaux plus onéreux avec des SA plus récentes et plus efficaces.

Agrandissement des exploitations agricoles, simplification des assolements, raccourcissement des rotations et suppression du labour : cette quadruple évolution majeure de l'agriculture française a limité l'impact des raisonnements sur la maîtrise et la réduction des intrants. En effet, malgré la substitution des engrais de synthèse par des engrais organiques, cette agriculture reste dépendante des engrais azotés apportés pour l'alimentation des cultures principales, comme elle est de plus en plus dépendante de la lutte chimique pour la maîtrise des bioagresseurs. Les engrais azotés (de synthèse ou organique) et les produits phytosanitaires restent actuellement la clef de voûte des systèmes agricoles dominants. Ils ont permis le développement de systèmes techniques intensifs et simplifiés conduisant à une augmentation des risques de développement de bioagresseurs, des besoins en azote pour leur alimentation et les rendant largement dépendants de l'utilisation des engrais azotés et des pesticides (Guichard *et al.*, 2017).

Conclusion

La forte hausse de la fertilisation azotée de synthèse initiée après la seconde guerre s'est achevée dans les années 1980. Son usage s'est ensuite stabilisé pour les céréales à paille, la pomme de terre, et le tournesol et a baissé pour le colza, les maïs et la betterave sucrière. Cette baisse de la fertilisation de synthèse en France s'explique par la substitution d'une partie des engrais de synthèse par des apports organiques apportés avant ou sur la plupart des têtes de rotation. Les raisonnements et les outils d'aide à la décision proposés pour la fertilisation azotée des cultures ont été basés sur l'adaptation des doses apportées. Ils semblent avoir ainsi permis aux agriculteurs d'apprendre à réduire leur fertilisation de synthèse dans les parcelles venant de recevoir un engrais organique. Malgré la substitution partielle des en-

grais de synthèse par des engrais organiques, l'agriculture actuellement dominante reste très dépendante des engrais azotés apportés pour l'alimentation des cultures principales, du fait de leur besoin intrinsèque en azote et de la faible part des légumineuses fixatrices d'azote dans les rotations pour le satisfaire. En outre, les exploitations céréalières restent dépendantes d'autres exploitations pour leur approvisionnement en engrais organique, ce qui relativise leur autonomie en matière de sources d'azote, et augmente leur coût énergétique en liaison avec le transport sur de longues distances de ces engrais organiques pondéreux.

Du point de vue des produits phytosanitaires, ni les pratiques agricoles au travers des indices de fréquence des traitements des grandes cultures, ni les ventes au travers du NODU en croissance globale de 17% sur la période 2009-2015 depuis le démarrage du plan d'action national Ecophyto en 2008 ne montrent de tendances baissières affirmées. Les raisonnements et les outils d'aide à la décision proposés pour la protection phytosanitaire ont été surtout orientés sur le choix des matières actives et des produits commerciaux, des dates et des conditions d'intervention, dans une logique d'efficacité. Dans un contexte de simplification des assolements, des rotations et du travail du sol, globalement favorable à l'augmentation de la pression de bioagresseurs, l'impact de ces raisonnements sur la maîtrise et la réduction de l'utilisation des produits phytosanitaires est forcément limité.

Les problèmes posés aujourd'hui par l'impact de ces intrants sur la qualité de l'eau, de l'air et des sols, sur les bilans énergétiques et sur la santé des travailleurs et des consommateurs ne sont plus compatibles avec des solutions techniques fondées sur des stratégies d'efficacité visant à limiter les utilisations superflues, ou des stratégies de substitution par de l'engrais organique. On peut aussi se poser légitimement la question du bilan de cette substitution sur la qualité de l'eau : l'effet de la baisse modérée de la fertilisation azotée de synthèse en grandes cultures n'est-elle pas compensée par l'effet de l'apport de l'engrais organique quand il est apporté en été ou en automne juste avant la période de lessivage ? Par ailleurs, le défi que représente l'objectif de réduction d'usage des produits phytosanitaires porté par le plan Ecophyto, même revu temporairement à la baisse suite à sa 2^{ème} version (-25% en 2020) ne peut se satisfaire des raisonnements tactiques outillés jusqu'à présent. Les investissements des firmes phytopharmaceutiques dans le domaine du biocontrôle au cours des années 2010, largement soutenu par le plan Ecophyto dans sa 2^{ème} version, laissent présager que ce type de moyen de lutte pourrait décoller demain dans le cadre des politiques de réduction d'usage des pesticides, en conduisant à une substitution partielle de la lutte chimique par du biocontrôle. Mais l'efficacité de telles stratégies nécessite une approche systémique de la protection visant à mettre en œuvre sur le terrain les conditions d'un faible développement des bioagresseurs. Les évolutions des successions de cultures et des pratiques agricoles décrites dans cet article montrent qu'aujourd'hui ces conditions ne sont pas remplies par les systèmes de culture dominants.

Les outils de raisonnement sauront-ils se transformer assez rapidement pour relever ce défi de la baisse de la dépendance vis-à-vis des pesticides inscrite dans le plan Ecophyto,

ou de la maîtrise de la dépendance aux engrais de synthèse coûteux en énergie, en émission de gaz à effet de serre et en pollution par les nitrates ? Il est d'abord urgent d'arrêter de chercher à avoir des outils de raisonnement de la fertilisation azotée à double fin d'aide à la décision et d'apprentissage des agriculteurs d'une part, et de justifications réglementaires de leurs pratiques d'autre part, pour avoir des outils dédiés spécifiques. Ensuite, devant l'insuffisance des outils d'aide à la décision actuels pour raisonner l'opportunité des interventions tactiques de lutte chimique et de fertilisation de synthèse, il serait probablement judicieux de les transformer et de les renouveler pour répondre aux enjeux de la transition agroécologique. Il est également important de développer des outils d'aide à la décision stratégique (Pissonnier *et al.*, 2016) permettant d'aider les agriculteurs à faire leurs choix dans le cadre d'approches plus globales, en allant au-delà des approches par efficacité et par substitution des intrants chimiques et en intégrant des échelles de temps plus longues que l'année culturale et des espaces plus larges que l'intérieur de la parcelle agricole.

L'analyse statistique des pratiques agricoles perçues par les enquêtes « pratiques culturales » révèle avant tout les évolutions des systèmes dominants et masque en partie aussi des pratiques innovantes capables de contribuer aux enjeux ci-dessus. Comment développer l'usage de combinaisons de pratiques innovantes, mises en œuvre en réunissant les conditions de réussite nécessaire, dans la ferme France ? Il est important que les conseillers puissent développer des démarches comme la traque d'innovation (Salembier et Meynard, 2013) permettant de mettre en avant des agriculteurs qui réussissent dans la maîtrise des intrants en expliquant comment fonctionnent leurs systèmes de culture (Petit *et al.*, 2012). Le réseau DEPHY du plan Ecophyto comme d'autres réseaux et programmes pourraient contribuer à ce mouvement d'ensemble. Enfin, dans la perspective de la séparation du conseil de la vente engagée en France en 2018, il est essentiel que les conseillers ne s'enferment pas dans la vente d'outils et de services dont on a mis en évidence les limites ci-dessus. Ensuite, il s'agit de veiller à développer leurs compétences afin qu'ils soient en mesure d'accompagner les agriculteurs (Cerf *et al.*, 2012) à concevoir des projets dans leurs propres exploitations et de relever le défi de la transition agroécologique.

Bibliographie

ANSES, 2016. *Expositions professionnelles aux pesticides en agriculture*. Rapport d'expertise collective, Autosaisine 2011-SA-0192, 215p.

<http://www.agencebio.org/la-bio-en-france>.

Agreste, 2010. Enquête Pratiques culturales 2006. *Agreste Dossiers*, 8.

http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/dossier8_integral.pdf.

Agreste, 2014. Enquête Pratiques culturales 2011 : principaux résultats. *Agreste Dossiers*, 21.

http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/dossier21_integral.pdf.

- Aubertot, J. N., Barbier, J. M., Carpentier, A., Gril, J. J., Guichard, L., Lucas, P., Voltz, M., 2005. Pesticides, agriculture et environnement. Réduire l'utilisation des pesticides et en limiter les impacts environnementaux. Rapport d'expertise scientifique collective, INRA et Cemagref, Paris. <http://institut.inra.fr/Missions/Eclairer-les-decisions/Expertises/Toutes-les-actualites/Pesticides-agriculture-et-environnement>.
- Cassagne, J.-P., 2010. Pratiques phytosanitaires du colza en 2006 - Pression phytosanitaire sur le colza. *Agreste Primeur*, 237. http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf_primeur237.pdf.
- Casagrande, P., Chapelle, C., 2001. Fertilisation azotée minérale: assagissement à la fin des années 80. *Agreste cahiers*, 2, 3-10. <http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/articles01062A1.pdf>.
- Cerf, M., Omon, B., Barbier, C., David, O., Delbos, C., Gagneur, C.A., Guillot, M.N., Lussou, J.M., Minas, A., Mischler, P., Olry, P., Petit, M.S., 2012, Les métiers d'agent de développement agricole en débat : Comment accompagner des agriculteurs qui changent leur façon de cultiver ? *Innovations Agronomiques*, 20, 101-121.
- Chapelle, C., 2003. Des nitrates agricoles à l'Ouest et dans les plaines céréalières. *Ministère de l'Alimentation de l'Agriculture et de la Pêche, Agreste Primeur*, 123. <http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/PRIMEUR123.pdf>.
- Comifer, 2013. *Calcul de la fertilisation azotée. Guide méthodologique pour l'établissement des prescriptions locales. Cultures annuelles et prairies*. Ed. Comifer, groupe azote, 159 p. http://www.comifer.asso.fr/images/publications/brochures/BROCHURE_AZOTE_20130705web.pdf.
- DGAI, 2012. Le NODU, Nombre de Doses Unités. http://agriculture.gouv.fr/sites/minagri/files/documents//Methode_Le_NODU_cleoc4d14.pdf.
- Guichard, L., Dedieu, F., Jeuffroy, M-H, Meynard, J-M, Reau, R, Savini, I. 2017. Le plan Ecophyto de réduction d'usage des pesticides en France : décryptage d'un échec et raisons d'espérer. *Cah. Agric.*, 26, 14002. DOI: 10.1051/cagri/2017004.
- Guichard, L., Mignolet, C., Schott, C., 2017. Utilisation des produits phytosanitaires en France : bilan synthétique des pratiques et de leurs évolutions. «Exposition des populations aux produits phytosanitaires et risques sanitaires». *Colloque Académie d'Agriculture de France, École des Hautes Études en Santé Publique et Institut de Recherche en Santé Environnement et Travail*, 14 mars 2017.
- Hébert, J., 1969. La fumure azotée du blé tendre d'hiver. *Bull Tech Inf Minist Agr Fr (BTI)*, 224, 755-766.
- Hélin, S., 1980. *Rapport du groupe de travail Activités Agricoles et Qualité des Eaux*. Rapport préparé pour le ministère de l'Agriculture et le ministère de l'Environnement, Paris, 2 tomes.
- Henry, A., Toupet, A.L., Deytieux, V., Reau, R., 2012. *Recueil et analyse critique des règles de décision pour la protection des cultures. Rapport de préfiguration du dispositif DECI Ecophyto*, 490 p.
- Houot, S., Pons, M.N., Pradel, M., Savini, I., Tibi, A., 2014. *Valorisation des matières fertilisantes d'origine résiduaire sur les sols à usage agricole et forestier. Impacts agronomiques, environnementaux, socio-économiques. Synthèse de l'expertise scientifique collective*. INRA, CNRS, IRSTEA, 105 p.
- Justes, E., Meynard, J.M., Mary, B., Plenet, D., 1997. *Diagnosis using stem base extract: JUBIL method*. In Lemaire, G. (Ed.) « *Diagnosis of the nitrogen status in crops* », Springer-Verlag, Berlin, 163-187.
- Léchenet, M., Dessaint, F., Py, G., Makowski, D., Munier-Jolain, N., 2017. *Reducing pesticide use while preserving crop productivity and profitability on arable farms*. *Nature Plants*, 3. doi:10.1038/nplants.2017.8.
- Lerbourg, J., Dedieu, M.S., 2016. L'équipement des exploitations agricoles. Un recours à la propriété moins marqué pour les machines spécialisées. *Agreste Primeur*, 334, 8 p. <http://agreste.agriculture.gouv.fr/publications/primeurs/article/l-equipement-des-exploitations>.
- Makowski, D., Maltas, A., Morison, M., Reau, R., 2005. Calculating N fertilizer doses for oil-seed rape using plant and soil data. *Agronomy for Sustainable Development*, Vol. 25, 1, 159-161.
- Meynard, J.M., Messéan, A, Charlier, A., Charrier, F., Fares, M., Le Bail, M., Magrini M.B., Savini, I., 2013. *Freins et leviers à la diversification des cultures. Etude au niveau des exploitations agricoles et des filières. Synthèse du rapport d'étude*, INRA, 52 p. <http://inra.dam.front.pad.brainsonic.com/ressources/afile/223799-6afe9-resource-etude-diversification-des-cultures-synthese.html>.
- Petit, M.-S., Reau, R., Dumas, M., Moraine, M., Omon, B., Josse, S., 2012, Mise au point de systèmes de culture innovants par un réseau d'agriculteurs et production de ressources pour le conseil. *Innovations Agronomiques*, 20, 79-100.
- Piet, L., 2015. Évolution des structures agricoles en France et dans l'UE. *Congrès des SAFER*, La Rochelle, 3 décembre 2015.
- Pingault, N., Pleyber, E., Champeaux, C., Guichard, L., Omon, B., 2009. Produits phytosanitaires et protection intégrée des cultures : l'indicateur de fréquence de traitement. *Notes et études socio-économiques*, Ministère de l'agriculture et de la pêche, 32, 61-94.
- Pissonnier, S., Lavigne, C., Toubon, J.F., Le Gal P.Y., 2016. Factors driving growers' selection and implementation of an apple crop protection strategy at the farm level. *Crop protection*, 88, 109-117.
- Pochon, A., 2008. *Agronomes et paysans : un dialogue fructueux*. Paris, Éditions Quae.
- Poly, J., 1978. *Pour une agriculture plus économe et plus autonome*. Rapport INRA, 65 p.
- Rabaud, V., 2005. Gestion de l'azote sur le blé: une affaire de spécialistes. *Agreste Primeur*, 159. <http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/primeur159.pdf>.

Ravier, C., 2017. *Conception innovante d'une méthode de fertilisation azotée du blé: Articulation entre diagnostic des usages, ateliers participatifs et modélisation*. Thèse Univ. Paris Saclay, AgroParisTech, 210 p.

Reau, R., Sauzet, G., Wagner, D., 1995. A previsional nitrogen balance method for winter rapeseed spring fertilization. *9ème Congrès International sur le Colza*, 04-07 juillet 1995, Vol. 1, 317-319.

Reboud, X., Carpentier, A., Aubertot, J.-N., Lemarié, S., Dubois Peyrard, N., Turenne, N., Roussey, C., Couture, S., Cellier, V., Gaba, S., Sabbadin, R., Cros, M.-J., Toquebeuf, P., Bonroy, O., Barbier, M., Charbonnier, E., 2017. Ce que l'épidémiosurveillance apporte ou n'apporte pas encore à la moindre dépendance aux produits phytopharmaceutiques. *Innovations Agronomiques*, 59, 81-91.
<https://prodinra.inra.fr/?locale=fr#!ConsultNotice:408680>.

Salembier C., Meynard J.-M., 2013, Evaluation de systèmes de culture innovants conçus par des agriculteurs: un exemple dans la Pampa Argentine, *Innovations Agronomiques* 31, 27-44.

Semences et Progrès, 2015. Biocontrôle. Les solutions déjà sur le marché. *Semences et progrès*, 173, 118-119.
<http://www.jade-international.fr/wp-content/uploads/151204-Semences-et-progres.pdf>.

Schmidt, A., Guichard, L., Reau, R., 2010. Le colza est très dépendant des pesticides dans les rotations courtes sans labour. *Agreste Synthèses*, 121.
http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf_synthese1211008.pdf.

Thévenet, G., 2000. L'utilisation et la maîtrise des intrants en céréaliculture. De l'âge de pierre à l'âge de raison. *Comptes Rendus de l'Académie d'Agriculture de France*, Séances an 2000, 86 (3), 139-159.

Thérond, O., Tichit, M., Tibi, A. (coord, 2017. Volet "écosystèmes agricoles" de l'Evaluation Française des Ecosystèmes et des Services Ecosystémiques. Rapport d'étude, Inra (France), 966 p. <http://prodinra.inra.fr/record/421319>.