

La réduction des pesticides en grandes cultures par l'adoption de systèmes de production économes en intrants : une modélisation au niveau de la France¹

Florence Jacquet*, Jean-Pierre Butault*, Laurence Guichard**

* UMR Economie Publique, INRA-AgroParisTech, Grignon

**UMR Agronomie, INRA-AgroParisTech, Grignon

Même si la connaissance des effets des pesticides sur la santé et sur l'environnement est encore loin d'être complète, on s'accorde maintenant à dire qu'il est nécessaire d'en réduire l'usage.

Peu de pays en Europe ont mis en place de véritables politiques de réduction des pesticides. Le Danemark fait figure d'exception avec la mise en place dès 1986 d'une politique combinant des taxes à un niveau incitatif et des dispositifs de conseil aux agriculteurs pour le développement de techniques alternatives. Actuellement la politique européenne sur les pesticides passe par un contrôle sur les autorisations de mise en marché et le retrait d'un certain nombre de produits jugés trop toxiques. Par ailleurs, fin 2009, l'Union Européenne s'est dotée un cadre d'action communautaire pour parvenir à une réduction globale de l'utilisation des pesticides en agriculture. Ainsi, la directive 2009/128/CE du 21 octobre 2009 invite les états membres à mettre en place des programmes de réduction de l'usage des pesticides, programmes qui devront être présentés d'ici 2012. La France, par le plan Ecophyto 2018 élaboré à la suite du « Grenelle de l'environnement », s'est déjà donné des objectifs ambitieux en la matière. L'objectif de réduction de 50% l'usage des pesticides a été fixé comme devant être si possible atteint pour l'horizon 2018, et des actions sont actuellement mises en place en ce sens.

Le travail présenté ici vise d'une part à étudier du point de vue agronomique et économique les possibilités de réduire les pesticides dans la production française de grandes cultures et d'autre part à discuter des incitations économiques nécessaires.

Le travail a été conduit sur l'ensemble de la production française de grandes cultures. Si l'utilisation des pesticides par hectare de culture y est moins élevée que dans d'autres productions (fruits, légumes, viticulture), l'emprise territoriale des productions de grandes cultures est telle que réduire globalement les pesticides en France passe nécessairement par une réduction dans le secteur des grandes cultures. La production de grandes cultures représente en France en 2006, 80% de la superficie cultivée et utilise 68% des pesticides utilisés en agriculture (RICA, 2006).

Notre analyse utilise un modèle de programmation mathématique. L'avantage de cette approche de modélisation est qu'elle permet d'analyser les incitations économiques pouvant induire un changement de technologie ou plus généralement une modification des choix de productions des agriculteurs en dehors de ce qui a été observé dans le passé. Par ailleurs, elle permet une d'intégrer

¹ Le travail présenté ici a été effectué dans le cadre de l'étude « EcophytoR&D » réalisée par l'INRA pour le compte des ministères français en charge de l'agriculture et de l'environnement.

des fonctions de production tenant compte des productions jointes à la production agricole en représentant de manière détaillée les technologies de production. Elle est donc souvent utilisée dans les analyses économiques des politiques visant à modifier les impacts environnementaux de l'activité agricole (voir par exemple Peerlings et Polman, 2008, Buysse et al. 2007, Van Calker et al. 2005, Havlik et al. 2005)

Les pesticides ne sont pas un facteur de production direct (tel que l'eau ou l'azote) mais interviennent indirectement sur le niveau de production, en évitant des pertes de production liées aux aléas du climat et des bio-agresseurs. L'usage des pesticides est très dépendant de l'objectif de rendement et donc de l'utilisation des autres inputs. Ainsi, dans l'élaboration par les agronomes de solutions techniques ayant pour but de réduire l'utilisation des pesticides, c'est l'ensemble de l'itinéraire technique qui est modifié, voir les rotations de culture. Cette spécificité des pesticides, comme input réduisant les dommages, a été soulignée par plusieurs économistes. Elle a des conséquences dans le choix des approches économiques retenues pour les analyser (Lichtenberg et Zilberman 1986, Chambers et Lichtenberg 1994, Serra et al 2005).

Dans les modèles économiques, en particulier ceux utilisant la programmation mathématique, l'utilisation de données issues de modèles agronomiques est souvent une solution intéressante pour combler le manque de données relatives à des techniques différentes de celles observées dans la réalité. (Flichman et Jacquet 2003, Janssen et Van Ittersum 2007). Mais, les pesticides, du fait qu'ils ne sont pas un facteur de production comme les autres, sont mal pris en compte dans les modèles agronomiques, la modélisation se heurtant à la double complexité de la représentation de l'effet des bioagresseurs sur les rendements et de celui des produits phytosanitaires sur les bioagresseurs. Pour certaines maladies des plantes, on peut envisager d'utiliser des modèles épidémiologiques qui prédisent l'effet de pratiques culturales sur l'intensité de la maladie de la plante et la perte de rendement qui en découle (De Cara et al. 2009) mais ceci n'est pas applicable pour la plupart des problèmes sanitaires des cultures.

De ce fait, les études basées sur la programmation mathématique qui traitent de la réduction des pesticides sont le plus souvent menées à partir de données observées sur quelques exploitations « innovantes » (de type agriculture biologique), ou à partir de données issues d'expérimentations agronomiques (Falconer et Hodge 2000, Falconer et Hodge 2001, Kersalears, 2005, Van Calker 2006).

Une question difficile à résoudre est celle du calibrage du modèle. On dispose rarement de suffisamment de connaissances sur les déterminants et les freins de l'adoption de nouvelles techniques pour pouvoir les modéliser explicitement. S'il est envisageable de réaliser ce travail au niveau d'une exploitation (Ridier et Ghali 2009), les modèles agrégés ou sur une exploitation représentative sont le plus souvent normatifs (Falconer et Hodge 2000, 2001, Kersalears, 2005, Van Calker 2006, Buysse et al. 2007). Le terme « normatif » fait alors référence à l'absence de calibrage, au fait que le modèle ne reproduit pas exactement la situation observée. Dans ce sens, un modèle normatif n'est pas destiné à prescrire ce qui devrait être fait, mais permet d'explorer les performances des nouvelles technologies et d'éclairer sur les conséquences de leurs généralisations. Ce type de modèle est généralement utilisé lorsque les données observées sont insuffisantes pour permettre un calibrage avec des méthodes économétriques ou de programmation mathématique positive qui peuvent s'avérer hasardeuses dans ce cas (pour une discussion des avantages et inconvénients des différentes méthodes voir Buysse et al. 2007).

La spécificité de notre travail est d'avoir construit un modèle normatif sur la France entière en mobilisant de nombreuses sources d'information sur des itinéraires techniques économes en pesticides. Ces données ont été utilisées par un groupe d'experts (agronomes) afin de générer par région pédoclimatique et pour la plupart des grandes cultures plusieurs itinéraires alternatifs, allant de la production intensive à l'agriculture biologique. Les données du RICA ont été mobilisées pour assurer la représentativité par rapport à la production française et par rapport à la production des exploitations en agriculture biologique. Le modèle est construit pour la France désagrégée en huit régions.

Dans une première partie nous présentons la méthode, en distinguant premièrement la phase d'élaboration par les agronomes des itinéraires techniques économes en intrants, deuxièmement le travail de quantification des résultats économiques et l'agrégation réalisés à partir du RICA et troisièmement le modèle. Dans la seconde partie nous présentons les résultats du modèle, en trois sous parties : i) la comparaison des résultats avec la situation observée, ii) les résultats du modèle pour atteindre différents niveaux de réduction des pesticides iii) l'effet d'une taxation et d'une subvention à l'agriculture biologique. L'avant dernière partie est consacrée à la discussion des résultats et la dernière aux conclusions.

1. Méthode

1.1. Caractérisations des techniques et données agronomiques mobilisées

L'enquête « pratiques culturales » du SSP du Ministère de l'agriculture a été utilisée pour caractériser les pratiques actuelles. Cette enquête a été réalisée en 2006 (la précédente date de 2001). Pour cette raison, l'année 2006 a été retenue dans l'ensemble du travail. C'est une année qui du point de vue des rendements et des prix est très proche de la moyenne de période 2000-2006.

A partir de cette enquête, les pratiques actuelles moyennes des agriculteurs ont été décrites. Ces données ont également servi à caractériser une technique intensive (T0) comme étant celle des 30% de parcelles qui pour chaque culture recevaient en 2006 le plus de pesticides. L'enquête « pratiques culturales » est menée sur 12900 parcelles représentatives de la production française de grandes cultures. Neuf cultures sont renseignées dans cette base (blé tendre, blé dur, orge, maïs, colza, tournesol, betterave, pomme de terre, pois). Ces cultures représentent près de 90% de la surface occupée par les grandes cultures françaises.

A partir de la technique T0 ont été construites des techniques allant de l'agriculture raisonnée à l'agriculture biologique, chacune d'entre elles reposant sur une logique agronomique cohérente. (Tableau 1).

La technique T1 s'inspire des principes de l'« agriculture raisonnée », les interventions chimiques sont déclenchées sur la base de l'observation des bioagresseurs, et des outils d'aide à la décision sont en général mobilisés par les agriculteurs pour déterminer la quantité d'intrants à utiliser.

Les techniques T2 et T3 s'inspirent des principes de la protection intégrée (OILB, 1973). La technique 2 correspond à la mise en œuvre de principes relevant de la protection intégrée à l'échelle de la culture, elle repose sur des méthodes agronomiques non chimiques (modification des dates et densité de semis, désherbage mécanique, etc..) complétés par les méthodes de lutte chimique (pesticides). La technique 3 permet d'aller plus loin dans la réduction des pesticides, elle s'inspire des mêmes principes que la technique 2, mais modifie également la rotation des cultures. Enfin la technique 4 correspond aux pratiques de l'agriculture biologique.

Tableau 1 Principes des techniques et sources utilisées

	Qualificatif / Stratégie mise en œuvre	Sources de données
Pratique actuelle	Pratiques actuelles "moyennes"	Enquête "Pratiques culturales" 2006 du SSP (moyennes et variabilités des pratiques) : 12900 parcelles en 2006, dont 3500 en blé tendre. Confrontation avec résultats d'enquêtes des instituts techniques (enquêtes biennales colza et tournesol du Cetiom)
Technique 0	Pratiques "intensives" : Pas de stratégie de réduction des pesticides, logique d'"assurance"	Enquête "Pratiques culturales" 2006 du SSP ; sous-population des 30% de parcelles ayant les pratiques les plus consommatrices de pesticides
Technique 1	Agriculture "raisonnée" : Raisonnement de chaque intervention sur la base d'observations et déclenchement des traitements sur la base de seuils	Conseils des Chambres d'agriculture (régions Normandie, Poitou-Charentes, Bourgogne, Ile de France) enrichis de l'expertise locale de l'occurrence des principaux bioagresseurs, bulletins techniques des instituts techniques (Arvalis et Cetiom), données du réseau Farre (enquêtes auprès de 20 agriculteurs, 340 parcelles), expertise collective
Technique 2	Itinéraire technique intégré : mise en œuvre sur une culture d'une stratégie s'appuyant sur une combinaison cohérente de méthodes de lutte agronomique non chimique et de moyens chimiques afin de limiter le recours aux pesticides	Réseaux expérimentaux : réseau "Blé rustique" 2003 à 2007 (plus de 100 sites x années sur Ouest, Centre et Poitou-Charentes), Réseau "Colza intégré" INRA-Cetiom (40 sites x années de 2004 à 2007 sur Nord, ouest et centre). Essai longue durée "La Cage" INRA (1997-2007) pour colza, pois et blé. Suivi de 8 fermes Agrotransfert Ressources et Territoires 2004-2007. Expertise collective
Technique 3	"Système de culture intégré" : chaque culture de la succession est conduite selon les principes du niveau 2a et le choix des cultures de la succession fait partie de la panoplie de mesures prophylactiques	Expertise collective, réseaux de fermes (Bourgogne, Eure, Picardie), essai longue durée "PIC gestion des adventices" INRA Epoisses, travaux des groupes "bioagresseurs" ADAR et RMT "Systèmes de culture innovants"
Technique 4	Agriculture biologique	Arvalis (essai Villarceaux), données statistiques Agence Bio 2006, expertise CasDAR RotAB, réseau de parcelles blé sous contrat en Rhône Alpes (enregistrements coop de 2002 à 2007), expertise collective

Source : Guichard 2009 (rapport du groupe grandes cultures Ecophyto Volet 1)

Un groupe d'experts a utilisé les différentes données disponibles pour caractériser les performances des différentes techniques appliquées (tableau 1). Ce travail a permis de construire une matrice des

performances (techniques, environnementales et économiques) des différentes cultures.

Pour mesurer la pression phytosanitaire l'indicateur retenu est l'indice de fréquence des traitements (IFT). Celui-ci est défini par la somme des traitements appliqués, pondérés chacun par le rapport entre la dose utilisée par hectare et la dose d'homologation. Il est calculé à partir des enregistrements des traitements effectués à la parcelle et des doses homologuées ; il prend donc en compte l'intensité du traitement, qui peut être réalisé à dose réduite ou sur une partie seulement de la surface (désherbage chimique sur le rang uniquement, par exemple). L'IFT est calculé par classe de produits : herbicides, fongicides, insecticides et "autres"² pesticides, les traitements de semences ne sont en revanche pas comptabilisés. L'intérêt de l'IFT est de permettre d'agrèger des substances très différentes et ainsi de mesurer une pression phytosanitaire globale. (OECD 2001, Pingault et al. 2009). C'est cet indicateur qui a été retenu dans la mise en œuvre de la politique de réduction des pesticides au Danemark, il est également utilisé dans le programme français mis en place actuellement.

D'autres indicateurs ont été utilisés, notamment le nombre de passages de produits phytosanitaires (afin d'approcher le temps de travail), le coût énergétique, le bilan azoté. Le bilan azoté (en kg d'azote par hectare et par an) est défini comme la quantité totale d'azote apportée sur la parcelle moins les exportations d'azote, celles-ci étant estimées à partir du rendement de la culture et des coefficients d'exportation d'azote par culture (Comifer, 2006). Le coût énergétique (en Giga joule par hectare et par an) prend en compte la consommation en énergie directe par le matériel agricole et la consommation en énergie indirecte utilisée pour la fabrication des fertilisants.

La construction de l'itinéraire technique 1 s'est largement inspirée des conseils et préconisations écrites des organismes de développement (Chambres et Instituts techniques). Cette analyse a été enrichie d'un travail d'inventaire et de caractérisation des principaux bioagresseurs des cultures en termes d'occurrence (probabilité du risque) et de magnitude de la perte occasionnée (Delos M., 2009). Elle a permis d'appréhender une certaine variabilité de la pression de bioagresseurs et de proposer des valeurs d'IFT intégrant cette variabilité au travers des fréquences d'occurrence. Par rapport à la technique 0 assez systématique, la technique 1 conduit donc à une adaptation des pratiques au contexte de l'année et donc en moyenne à des valeurs d'IFT inférieures.

Pour renseigner les performances des cultures conduites avec la technique 2, les agronomes se sont appuyés sur les données expérimentales acquises dans le cadre de réseaux d'essais multiloaux et pluriannuels qui existent pour le blé (Bouchard et al., 2008) et pour le colza (CETIOM). Pour les cultures ne disposant pas de ces références, l'expertise du groupe, enrichie de celle de personnes "ressources" sollicitées plus ponctuellement (conseillers techniques des services déconcentrés du ministère de l'agriculture et des Chambres d'Agriculture, ingénieurs des Instituts Techniques, d'Agro-Transfert ou d'organismes de recherche tels que l'INRA) a été mobilisée. Elle a conduit, à partir de données expérimentales ponctuelles (non organisées en réseau) et de formulation d'hypothèses sur les fondements agronomiques de l'efficacité des techniques prophylactiques mises en œuvre, à proposer les caractéristiques de cette conduite « technique 2 » et les performances techniques attendues.

² Cette dernière classe regroupe des produits utilisés contre des ravageurs tels que les mollusques, et des substances qui ne sont pas à proprement parler des pesticides mais ont une action de contrôle du développement de la culture (régulateurs de croissance des céréales).

La technique 3 introduit par rapport à la technique 2 le raisonnement des précédents cultureux et des successions de cultures et conduit donc à des évolutions d'assolement (le blé sur blé par exemple, possible en technique 2, est exclu de la technique 3 pour des raisons de pression biotique qu'il engendre). Le développement de ce type de technique est aujourd'hui, en France, trop limité pour fournir des données statistiques ou expérimentales comparables à celles mobilisées pour les autres techniques décrites précédemment. Autrement dit, ces systèmes de culture sont encore à concevoir et à imaginer, ce qui justifie le recours quasi exclusif à l'expertise pour les renseigner. D'un point de vue méthodes, le groupe s'est appuyé sur des démarches de prototypage (Rossing et al. 1997, Lançon et al, 2007 et 2008 ; Vereijken, 1997). Elles consistent à proposer, par expertise, des systèmes de culture économes en pesticides dans le cadre d'une réflexion collective menée hors de toute contrainte technique, économique, ou socio-économique préalable. L'évaluation multicritère des systèmes proposés permet ensuite d'en mesurer les conséquences, en termes techniques et socio-économiques pour l'agriculteur (temps de travail, besoin d'acquisition de nouveau matériel...), et en termes économiques pour la filière. En pratique, et afin de favoriser des systèmes très "en rupture" par rapport aux systèmes actuels, les experts sont partis de la description de systèmes connus en agriculture biologique. L'hypothèse sous-jacente est que ces systèmes en agriculture biologique sont ceux qui, compte tenu de l'interdiction des pesticides de synthèse, utilisent l'ensemble des leviers agronomiques. Les experts identifient les risques principaux de défaut de maîtrise des bioagresseurs dans ces systèmes (et milieux), puis imaginent/proposent de nouveaux systèmes incorporant tous les éléments stratégiques et techniques de maîtrise des bioagresseurs envisageables, dont le recours aux pesticides, limité aux situations à risque élevé de pertes de rendement liées aux bioagresseurs. Cette technique 3 permet une utilisation très réduite de pesticides.

Enfin, la technique 4 correspond au cahier des charges de l'agriculture biologique. Il n'existe aujourd'hui aucune statistique sur les performances de tels systèmes. Ont donc été mobilisées des données issues de contrats de collecte sur le bassin Rhône Alpes pour décrire les principales caractéristiques des conduites sur blé tendre. Pour les autres cultures et les autres régions, les agronomes ont proposé une estimation de la productivité en agriculture biologique par rapport à une stratégie conventionnelle en s'appuyant sur leur expertise. La comparaison à quelques données ponctuelles a permis de corroborer cette estimation.

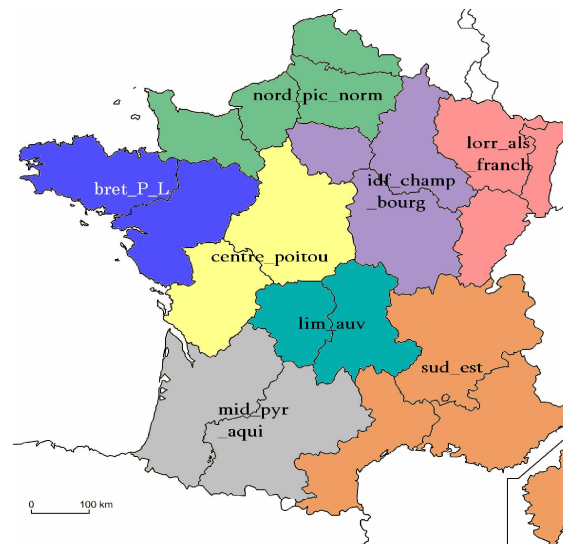
Au final, les connaissances mobilisées, d'origine très diverse (données statistiques, dispositifs expérimentaux pluriannuels, observations répétées de terrain auprès d'agriculteurs ou lors d'expérimentations, hypothèses agronomiques...) ont été progressivement construites, consolidées et formalisées, débouchant sur des matrices techniques largement discutées et débattues au sein du groupe d'agronomes. La validation de ces matrices a pris différentes formes, s'appuyant en cela sur des démarches proposées par Bockstaller (Bockstaller et al, 2003) La validation quantitative de l'ensemble des chiffres par des mesures de terrain n'a évidemment pas pu être menée compte tenu des carences en données expérimentales. En revanche, les données proposées ont été soumises, lors des discussions et débats du groupe, à une validation des fondements scientifiques et agronomiques à l'origine de l'efficacité des techniques proposées (on s'est interrogé par exemple sur les raisons de l'effet d'une technique sur la réduction des populations de bioagresseurs ou de leur nuisance). En ce sens, si la fiabilité des données quantitatives n'est pas équivalente pour toutes les techniques (et diminue de la technique 2 à la technique 4), leur pertinence est cependant assurée par les discussions et débats au sein du groupe de travail.

1.2. Données économiques et représentativité au niveau national

Les données du RICA ont été utilisées pour caractériser la situation initiale de l'ensemble du secteur des grandes cultures en termes de surfaces et de volumes de production. Pour les données qu'il était possible d'extraire ou de calculer à partir des deux bases de données (rendement, charges pesticides, charges opérationnelles), les données du RICA à celle de l'enquête pratiques culturales ont été préférées pour des raisons de représentativité (l'enquête « pratiques culturales » n'étant pas représentative du point de vue des volumes de productions et d'intrants utilisés au niveau national). Les prix sont également issus du RICA. Enfin, les données du RICA ont également été utilisées pour la caractérisation de la technique 4 (agriculture biologique).

Un découpage de la France en huit grandes régions (voir figure 1) a été retenu afin de valoriser au mieux la désagrégation (pédoclimatique et de pressions de bioagresseurs) réalisée par le groupe d'agronomes pour certaines cultures.

Figure 1- Découpage de la France en huit régions



Dans un premier temps, la caractérisation de la situation actuelle pour chacune des cultures et des régions a été effectuée. Le RICA s'appuie sur des comptabilités des exploitations où sont relevées les charges et les productions. Ce ne sont pas des comptabilités analytiques et les charges ne sont pas ventilées entre les différentes productions. Pour obtenir des coûts par production, on a utilisé un modèle économétrique classique (Pollet, Butault 1998) qui relie, par régression linéaire multiple, la valeur des charges aux surfaces des différentes cultures. Sur un échantillon donné, pour un nombre d'exploitation n , cette méthode consiste donc à estimer, pour un input X_i exprimé en valeur, des dépenses par hectare s_{ij} , pour les surfaces S_j , affectées aux différentes cultures j :

$$X_{in} = \sum_j s_{ij} S_{jn} + u_{in}$$

u_{in} correspondant à une perturbation aléatoire prenant en compte les spécificités de l'exploitation n .

Les coefficients sij ont été estimés par la méthode des moindres carrés ordinaires.

Les charges qui ont donné lieu à cette estimation, outre les produits phytosanitaires, sont les semences, les engrais et les carburants. Les cultures prises en compte sont le blé tendre, le blé dur, l'orge d'hiver et de printemps, le maïs, les autres céréales, la betterave, la pomme de terre, le pois, le colza, le tournesol, les autres oléagineux, les fourrages artificiels et les autres grandes cultures.

Ces estimations conduisent à des résultats sur les charges par hectare qui sont cohérentes avec celles calculées par le groupe d'experts même si les valeurs absolues peuvent différer pour certaines cultures.

L'IFT retenu est celui des données de l'enquête sur les pratiques culturales (comme dans le groupe des experts). Pour les produits dont l'IFT n'est pas connu, on s'est servi pour le générer des valeurs estimées des pesticides par hectare. On peut en effet montrer qu'il existe un lien très étroit entre IFT et valeur des pesticides par hectares.(tableau 2)

Tableau 2 –IFT (données enquête pratiques culturales) et charges en pesticides (estimations économétriques sur données RICA) pour chaque culture.

	IFT	Pesticides Charges €/ha	"Prix" de l'IFT
Blé tendre	4,1	133	32,9
Blé dur	2,8	112	40,6
Orge	3,1	100	31,9
Maïs	2,0	88	43,7
Pomme de terre	16,7	489	29,3
Betterave	4,2	251	59,8
Pois	4,6	216	46,8
Tournesol	2,1	87	42,4
Colza	6,1	203	33,1
Ensemble	3,9	136	35,0

Source : Enquête Pratiques Culturales et RICA

Ces estimations conduisent donc, par produit et par région, à l'établissement de la pression phytosanitaire (IFT) et de marges brutes pour chaque culture.

A partir de ces données sur la situation actuelle, les données correspondant aux techniques 0, 1, 2 et 3 ont été générées en en appliquant à l'IFT, aux rendements et aux charges, les variations relatives données par le groupe d'expert.

Pour la technique 4 (agriculture biologique), les données du groupe d'experts étaient insuffisantes pour pouvoir les extrapoler. Le RICA repère l'agriculture biologique depuis 2002 mais avec des échantillons annuels restreints (300 exploitations). On a utilisé les résultats de ces échantillons entre

2002 et 2006, pour caractériser l'agriculture biologique. Le RICA semble surestimer le rendement des cultures dans l'agriculture biologique : pour le blé, par exemple, le rendement retenu est, au niveau national, de 49 quintaux par hectare (contre 69 quintaux dans l'agriculture conventionnelle) alors que le groupe d'experts l'évalue plutôt entre 40 et 45 quintaux.

Les techniques 0,1 et 2 ne supposent pas de modification de rotations, l'assolement actuel par région a donc été utilisé pour agréger les résultats au niveau national. En revanche les techniques 3 et 4 reposent sur des modifications des rotations et donc d'assolement. Pour la technique 4, on a utilisé l'assolement actuel des exploitations du sous-échantillon agriculture biologique du RICA.

Pour la technique 3, le groupe d'experts a suggéré des systèmes de rotation possibles, mais ces données étaient également difficilement extrapolables à l'échelon national. Après consultation du groupe d'expert, on a considéré que la technique 3 renvoyait à des systèmes à mi-chemin entre l'agriculture conventionnelle et l'agriculture biologique. On a ainsi considéré que leur assolement était, dans chaque région, une moyenne de celui de ces deux modes de production.

Les assolements correspondants aux différentes techniques ont été établis pour chacune des huit régions. A titre indicatif, la répartition des cultures au niveau France est donné dans le tableau 3.

Tableau 3 Part des cultures dans l'assolement France

Culture	Actuel, T0,T1, T2	T3	T4
Blé tendre	39,3	37,2	35,1
Blé dur	3,8	2,2	0,6
Orge P	4,4	3,7	3,1
Orge H	9,7	7,8	6,0
Mais	11,1	10,8	10,5
Autres céréales	5,4	12,4	19,4
Pomme de terre	1,3	0,8	0,4
Betteraves	2,8	1,9	1,0
Pois et fèves	2,6	5,4	8,2
Tournesol	4,9	4,5	4,0
Colza	11,7	7,9	4,1
Autres oléagineux	0,5	1,4	2,4
Autres grandes cultures	1,5	1,7	1,8
Fourrages artificiels	1,1	2,3	3,4
Total	100,0	100,0	100,0

Source : RICA 2006

Les marges par technique ont été calculées par région et par culture. Dans un premier temps, l'agrégation au niveau France entière a été réalisée pour une seule technique à la fois, les résultats sont donnés dans le tableau 4 ci-dessous.

Tableau 4 Marge brute et IFT en moyenne France en 2006, et en appliquant à toutes les cultures les techniques considérées. (en italique, les résultats observés)

	Marge Brute	IFT
	€/ha	
Actuel	482	3,8
T0	455	5,4
T1	498	4,0
T2	480	2,5
T3	460	1,9
T4-prix bio	341	0,2
T4 prix courant	272	0,2

Source : enquête Pratiques Culturelles et RICA

Ce calcul nous donne une première appréciation de l'intérêt relatif des différentes techniques. On constate que la technique intensive (celle des 30% « les plus intensifs ») dégage en moyenne une marge inférieure à celle observée au niveau France en 2006³. La technique T1 qui suppose une utilisation plus « raisonnée » des intrants dégage une marge plus élevée que la technique 0, et se situe proche de la moyenne nationale, aussi bien au niveau de la marge que de l'IFT. Les techniques économes en pesticides : T2 et T3, permettent une baisse de l'IFT (jusqu'à -50% pour la technique 3) qui s'accompagne d'une baisse de marge. La marge de l'agriculture biologique a été calculée, d'une part avec les prix actuellement observés dans les exploitations en agriculture biologique, d'autre part avec les prix des produits d'agriculture biologique. On voit que dans les deux cas, les marges dégagées sont nettement inférieures aux autres techniques.

A partir de ce premier constat, nous avons cherché à analyser la manière dont une combinaison de ces techniques qui peuvent en fait être choisies différemment selon les régions et les cultures (ce que l'analyse précédente ne prend pas en compte) pouvait permettre d'atteindre une baisse de l'IFT avec une baisse de marge aussi faible que possible. Nous souhaitons également observer les résultats sur les autres indicateurs (volumes de production, autres indicateurs environnementaux) et étudier les effets de taxes et de subventions qui pourraient être mises en place pour atteindre cet objectif. Un modèle a été construit dans ce but.

13. Présentation du modèle

Le modèle construit est un modèle d'optimisation sous contraintes en programmation mathématique.

La superficie de chaque région est donnée. Les parts des différentes cultures dans l'assolement régional sont fixes et seul le changement de technique vers des techniques supposant des modifications d'assolement (T3 et T4) entraîne une modification de la superficie des cultures. Ainsi le

³ Ce résultat se maintient avec les prix de 2007, on obtient alors 829€ pour T0, contre 837 €/ha pour la moyenne.

modèle détermine simultanément la technique dans laquelle est conduite chaque culture dans chaque région et la part de l'assolement régional conduite avec des techniques sans modifications d'assolement (T0, T1 et T2), avec la technique T3 et en agriculture biologique (technique T4).

Le modèle a été utilisé en trois temps. Dans un premier temps, il nous a permis de déterminer, de manière normative, le choix de techniques pour chaque culture et dans chaque région ainsi les assolements correspondants, permettant de maximiser la marge brute. (équations 1 à 4). La solution du modèle a été comparée avec la situation actuelle.

Dans un second temps une contrainte sur le niveau de réduction visé en moyenne au niveau national a été introduite et le niveau à atteindre fixé de manière croissante entre 10 et 50% . (équations 1 à 5).

Enfin, le modèle a été utilisé pour déterminer les niveaux d'incitations publiques permettant d'atteindre les niveaux de réduction des pesticides souhaités. Un système de taxation avec redistribution uniforme aux agriculteurs des recettes de la taxe a été analysé, seul ou en combinaison avec une subvention à l'agriculture biologique. (équations 1 à 3 et équation 6).

Ainsi, par région, on a:

$\sum_{SA} [X_{C, SA, R}] = \sum_{C, SA} [X_{C, SA, R}] \cdot A_{C, R}$ (1) Pour les techniques T0,T1,T2, les parts de chaque culture (en superficie) dans l'assolement restent les mêmes que celles observées dans l'assolement initial.

$X_{C, SM, R} = \sum_C X_{C, SM, R} \cdot ASM_{C, SM, R}$ (2) Pour les techniques T3 et T4, les parts de chaque culture (en superficie) respectent l'assolement construit pour T3 et observé pour T4

$\sum_{C, S} [X_{C, S, R}] = SAU_R$ (3) Dans chaque région, la somme des superficies cultivées est égale la superficie régionale.

Avec :

S : {T0,T1,T2,T3,T4} ensemble des techniques,

SA={T0,T1,T2} techniques sans changements de rotations,

SM = {T3,T4} techniques supposant des modifications des rotations

R = ensemble des régions (huit régions)

C = ensemble cultures (15 cultures)

$A_{C, R}$: Part de chaque culture dans la superficie actuelle (assolement observé)

$ASM_{C, SM, R}$: Part de chaque culture dans la superficie en en agriculture biologique(T4) et en T3.

SAU_R : superficie agricole de chaque région en grandes cultures (y compris fourrages artificiels)

Modèle normatif :

Le modèle maximise $\sum_{c,s,r} [X_{c,s,r} \cdot MB_{c,s,r}]$, (4)

sous les contraintes (1) (2) et (3) puis également sous contrainte que

$$\sum_{c,s,r} [X_{c,s,r} \cdot IFT_{c,s,r}] \leq IFTMax, \quad (5)$$

avec $MB_{c,s,r}$ marge brute par culture, technique, région

et $IFTMax$ donné comme étant égal à 10%, 20% etc.. 50% de l'IFT actuel au niveau national.

Simulations de politiques publiques

Dans ce cas, le modèle maximise

$$\sum_{c,s,r} [X_{c,s,r} \cdot PB_{c,s,r} - X_{c,s,r} \cdot (1+t) \cdot CPest_{c,s,r} - X_{c,s,r} \cdot COHP_{c,s,r} + X_{c,s,r} \cdot AideComp + X_{c, 'N3', R} \cdot AideBio] \quad (6)$$

Sous contraintes (1), (2) et (3)

Avec :

$PB_{c,s,r}$: produit brut par culture, technique, région

$CPest_{c,s,r}$ charges en pesticides par culture, technique, région

$COHP_{c,s,r}$ charges opérationnelles hors pesticides par culture, technique, région

t : taxe sur le prix des pesticides (en %)

AideBio : aide à l'hectare d'agriculture biologique

AideComp : aide à l'hectare compensatrice de la baisse de taxation (égale aux recettes de la taxation et distribuée par hectare mis en culture.)

2. Résultats

2.1 La comparaison entre la situation observée et la situation optimisée

Le premier résultat du modèle est une situation obtenue avec un objectif de maximisation de la marge brute nationale, sans contrainte sur l'utilisation des pesticides. Cette situation optimisée est calculée d'une part avec les prix de 2006 et d'autre part avec les prix de 2007. Elle est présentée dans le tableau n° 5 en comparaison avec la situation actuelle.

Tableau 5 : Situation actuelle et situation optimisée aux prix de 2006 et aux prix de 2007

	Situation aux prix 2006		Situation aux prix 2007	
	Actuelle	Optimisée	Actuelle	Optimisée
Production (euros/ha)	891	900	1244	1282
Marge (euros/ha)	485	511	837	876
% de l'assolement				
T0	(30%)	6%		6%
T1		59%		81%
T2		36%		13%
T3				
T4	(1%)			
IFT	3,79	3,44	3,79	3,79
IFTHerbicides	1,4	1,36	1,4	1,46
IFTFongicides	1,29	1,12	1,29	1,23
IFTInsecticides	0,64	0,58	0,64	0,63
BilanN (kg/ha)	26,5	24,4	26,5	25,65
CoutEnergetique (GJ/ha)	11,7	11,8	11,7	11,92

Sur la base des prix de 2006, le modèle donne une solution dans laquelle la pression phytosanitaire (IFT) baisse de 9% par rapport à la situation initiale, malgré une progression de la production totale de 1% et une hausse des marges de 26 euros par hectare (soit 5%).

Aux prix de 2007, la situation optimisée conduit au même IFT que la situation initiale mais avec une hausse de la production de 3% et une hausse des marges de 4,6%.

Plusieurs éléments expliquent ces résultats.

Tout d'abord on constate que les surfaces consacrées aux techniques intensives (T0) ne représentent que 6% des superficies dans la solution du modèle (aussi bien avec des prix de 2007 qu'avec des prix de 2006) alors que par construction elles représentent 30% des surfaces actuelles. Ceci reflète le fait que pour la plupart des cultures et des régions, les techniques économes sont plus efficaces que les techniques « intensives », elles permettent le plus souvent d'atteindre des rendements de même ordre avec moins d'intrants.

Par ailleurs, on constate une différence significative sur la répartition entre techniques T1 et T2 entre les deux scénarios de prix. Avec les prix de 2006, une part importante (36%) des surfaces seraient cultivées en T2 tandis que cette proportion ne serait que de 13% avec des prix de 2007. Dans ce dernier cas, c'est la technique T1 qui domine largement. L'explication réside cette fois ci dans les différences d'efficacité économique entre techniques, en T2 le rendement est souvent légèrement plus faible qu'en T1 et la réduction des coûts de production ne compense pas la baisse de produit brut si les prix sont élevés, en revanche dans le cas de prix comme ceux observés en 2006, la technique T2 est la plus rentable pour beaucoup de cultures. Enfin, on constate que dans les deux scénarios de prix, le modèle ne fait pas apparaître de superficies cultivées dans les systèmes les plus économes en intrants (T3 et T4). Même en considérant la différence de prix entre produits issus de

Au prix de 2006, la solution optimisée permet déjà, comme nous l'avons vu, une réduction de 9% de l'emploi des pesticides. Jusqu'à 30% de réduction, les objectifs de réduction peuvent être atteints sans bouleversement complet des systèmes de production : leur réalisation nécessite surtout un basculement de la production raisonnée (T1) vers les itinéraires techniques en production intégrés (T2). Au delà, les changements nécessaires sont plus conséquents. Pour un objectif de 50% de réduction, la production raisonnée disparaît presque totalement et la part de la production intégrée avec modification de rotation (T3, 68%) ou sans (T2, 18%) représente le mode de culture majoritaire. La production biologique (T4) se développe sur 13% des surfaces..

Au prix de 2007, pour l'objectif de 50%, la production raisonnée (15%) se maintient mieux. La part de l'agriculture biologique tombe à 8%.

On constate que pour un objectif de réduction de 50% de l'emploi des pesticides, la production baisse de 12% par rapport à la situation initiale, les marges ne diminuent que de 5%. Ceci tient à la quasi-absence des techniques intensives dans la situation optimisée. Par rapport à la solution optimisée, les marges diminuent de 9%.

2.3 Les niveaux de taxation nécessaires pour atteindre les objectifs de réduction des pesticides

On présente ici l'effet d'une taxe dont le produit est reversé de façon uniforme selon la surface des exploitations : cette mesure est ainsi neutre sur le plan budgétaire et le produit de la taxation revient entièrement aux agriculteurs. Elle permet de compenser la baisse de revenu due à la taxation.

Tableau 7 : Effets, aux prix de 2006, d'un système de taxation avec redistribution uniforme.

	Situation		Taux de réduction de l'emploi de pesticides				
	Actuelle	Optimisée	-10%	-20%	-30%	-40%	-50%
Taux de taxe associé	0%	0%	0%	16%	101%	138%	182%
Recette taxe (millions d'euros)	0	0	0	199	1086	1280	1378
Redistribution: euros /ha				17	94	110	119
Production	100	101,0	101,0	99,2	95,8	92,7	88,2
Marge avant redistribution	100	105,3	105,3	101,7	84,2	77,4	70,6
Marge après redistribution	100	105,3	105,3	105,2	103,4	100,1	95,0
% Niveau de rupture							
T0		6%	6%	5%	2%	2%	0%
T1		59%	59%	39%	15%	4%	1%
T2		36%	36%	57%	70%	38%	18%
T3					8%	52%	66%
T4					5%	5%	15%

Le tableau 7 donne le niveau de taxe qui est associée à chaque objectif de réduction des pesticides. On constate que ce taux est très vite croissant. Avec des prix 2006, une réduction de près de 10% est obtenue pour un taux nul, du fait de la résorption d'inefficacité analysée précédemment. Un taux de 16% est suffisant pour atteindre une réduction de 20%. Mais le taux atteint 100% pour un objectif de réduction de 30% et 180% pour un objectif de réduction de 50%⁴.

Du fait de l'importance du taux de la taxe, les marges avant redistribution chutent fortement, de 16% pour un objectif de réduction de l'utilisation des pesticides de 30%, de 30% pour un objectif de 50%. Après redistribution, la chute des marges pour un objectif de 50% n'est que de 5% par rapport à la situation actuelle, de 9% par rapport à la situation optimisée.

En fait, les résultats de cette taxation avec redistribution sont très proches des résultats obtenus par le modèle précédent (tableau 6) qui donnait la solution optimale pour respecter les contraintes de réduction de l'utilisation des produits phytosanitaires. Ceci montre que les distorsions induites par ce système de taxation sont faibles. Par rapport à la solution obtenue sous contrainte de réduction des pesticides de moitié, la taxation favorise un peu plus systèmes économes en pesticides : la part de l'agriculture biologique est ici de 15% (contre 13% dans le précédent modèle). La baisse de la production est donc légèrement plus forte et les marges légèrement plus faibles que le modèle qui d'optimisation sous contrainte de réduction.

Les taxes ne pèsent pas de la même manière sur les différents systèmes. Pour un objectif de réduction des pesticides de 30%, l'effet conjoint de la taxe et de la redistribution serait neutre sur la marge des itinéraires économes (T2) tandis qu'elle se traduirait par une perte de marge pour l'agriculture intensive (T0) et gain pour les systèmes de production intégrée (T3) et l'agriculture biologique (T4). Mais il faut signaler qu'avec un objectif de 50% de réduction, les taxes seraient surtout payées par la production économe (T2) tandis que les systèmes de production intégrée et l'agriculture biologique seraient indirectement subventionnés.

2.4 Les effets d'une taxe combinée avec une subvention à l'agriculture biologique

Plutôt que de reverser de façon uniforme la totalité de la taxe, il est possible de cibler pour ce reversement un groupe particulier de systèmes de production. On peut juger, par exemple, que dans le dispositif précédent, le poids de l'agriculture biologique n'est pas suffisant pour assurer la protection des zones les plus sensibles. Le tableau 8 donne les résultats d'une subvention à l'agriculture biologique, dans un scénario où 140 euros par hectare sont versés à l'agriculture biologique. Dans un premier temps, afin de comparer avec le système précédent on suppose que les recettes de la taxe sont utilisées à la fois pour financer les subventions à l'agriculture biologique et une aide complémentaire distribuée uniformément sur tous les hectares. Les données sont toujours présentées en fonction des objectifs de réduction de l'emploi de pesticides.

On constate que la part de l'agriculture biologique augmente dans toutes les situations pour atteindre 24% lorsqu'elle est associée à l'objectif de réduire de moitié l'emploi des pesticides. Ceci a comme effet de diminuer le taux de taxe. Ainsi, avec les prix de 2006, ce taux n'est que de 60% pour un objectif de réduction de 40% et de 138% pour un objectif de 50%.

⁴ Aux prix de 2007, le taux de taxe pour atteindre une réduction de 50% monte jusqu'à 250%..

Pour des taux de taxe faibles, il n'est pas possible de financer avec les recettes de la taxe, la subvention à l'agriculture biologique, ce que montre le fait que le montant marge après redistribution soit plus faible qu'avant redistribution. Pour un objectif de 30% de réduction des pesticides, une taxe de 31% permet de dégager des recettes permettant à la fois de subventionner l'agriculture biologique à hauteur de 140€/ha et de distribuer une compensation forfaitaire. On voit que pour les objectifs de 30 à 50% le niveau de la marge après redistribution est à peine plus faible que dans le système avec taxe seul, ainsi les deux systèmes sont très proches du point de vue équilibre budgétaire.

Si la taxe seule représente un mécanisme intéressant parce que non distorsif, le système avec subvention à l'agriculture biologique peut être préféré si on juge que l'objectif d'atteindre un certain niveau d'agriculture biologique est prioritaire, pour des raisons telles que la protection de certaines zones sensibles. . Rappelons qu'un objectif de 20% des surfaces en agriculture biologique a été fixé dans le Grenelle de l'environnement

Tableau 8 : Effets, aux prix de 2006, d'un système de taxation avec redistribution uniforme et subvention à l'agriculture biologique.

	Situation		Subv. AgriBio	Taux de réduction de l'emploi de			
	Actuelle	Optimisée		-20%	-30%	-40%	-50%
Subvention Agri Bio (€/ha)			140	140	140	140	140
Taux de taxe associé	0%	0%	0%	5%	31%	60%	138%
Recette taxe (millions)	0	0		59	339	555	1047
Redistribution: euros /ha					17	18	56
IFT	100	91	86	80	70	60	50
Production	100	101.0	99.0	97.7	96.3	92.6	88.9
Marge avant redistribution	100	105.3	106.0	104.8	99.6	94.8	82.5
Marge après redistribution	100	105.3	103.5	103.4	103.2	98.5	94.1
% Niveau de rupture (dans l'assolement)							
T0		6%	5%	5%	5%	2%	1%
T1		59%	53%	39%	23%	20%	3%
T2		36%	33%	57%	64%	57%	32%
T3							40%
T4			8%	8%	8%	21%	24%

L'équilibre budgétaire n'est pas non plus une nécessité. Il a été ici choisi comme cadre dans la mesure où il permet de bien isoler le problème des incitations à la réduction des pesticides. Mais, les dans le cadre de la renégociation sur la PAC après 2013, les subventions vers l'agriculture biologique pourraient être financées par ailleurs (rééquilibrage premier/second pilier). Le choix du niveau de la subvention à l'agriculture biologique et de la taxe associée dépend donc surtout du niveau de développement de l'agriculture biologique qu'on souhaite atteindre.

Tableau 9 :Taxe nécessaire pour atteindre une réduction de l'IFT de 40%, associée à différents niveaux de subvention à l'agriculture biologique.

	Situation		Montant de la subvention à l'Agriculture Biologique(€/ha)					
	Actuel	Optimisé	0	100	140	180	220	260
Taux de taxe associé	0%	0%	138%	101%	60%	42%	30%	21%
Production	100	101	93	93	93	93	92	92
T0			2%	2%	2%	4%	4%	4%
T1			4%	19%	20%	20%	21%	22%
T2			38%	58%	57%	55%	52%	50%
T3			52%	0%	0%	0%	0%	0%
T4			5%	21%	21%	21%	24%	24%

(*) les niveaux de marge indiqués ici incluent la subvention à l'agriculture biologique qui ne se trouve pas être financée par les recettes de la taxe, lorsqu'elle celle-ci procure des recettes insuffisantes.

Le tableau 9 donne les résultats concernant le niveau de la taxe qui associé à différents niveaux de subventions à l'agriculture biologique permettrait d'atteindre un objectif de réduction de 40% des pesticides. On voit ainsi que le même résultat, en termes de réduction des pesticides, peut être atteint pour différentes combinaisons taxe/subventions à l'agriculture biologique. Pour une subvention de 220 €/ha d'agriculture biologique, le montant de la taxe nécessaire pour atteindre une réduction de 40% serait de 30%.

3. Discussion

Notre travail s'est attaché à étudier les modalités de la réduction des pesticides en grandes cultures en France. Nous avons dégagé plusieurs résultats, qui appellent des commentaires.

Une des premières observations est que, en moyenne, la technique intensive (celle des 30% des parcelles les plus intensives de l'enquête pratique culturales) dégage une marge brute inférieure (avec les prix de 2006, comme avec ceux de 2007) par rapport l'ensemble des parcelles. Ce résultat pour 2006 rejoint celui obtenu par Butault sur les données du centre de gestion de la Meuse (Butault, Zardet 2008), qui montre que les exploitations les plus intensives ont eu sur la période 1993-2003 des résultats économiques plus faibles que les exploitations économes.

La technique « raisonnée » élaborée par les agronomes permet d'obtenir un rendement très proche à la technique intensive pour des charges plus faibles. C'est ce qui explique qu'elle apparaît comme majoritairement retenue dans la solution de base du modèle que ce soit avec des prix de 2006 ou de 2007 traduisant les gains d'efficacité technique qu'elle permet de réaliser par rapport à la technique intensive.

Réduire les pesticides en modifiant l'ensemble de l'itinéraire technique de la culture selon des principes de la protection intégrée (T2) permet également dans beaucoup de cas d'obtenir la plus marge brute la plus élevée. Ce résultat est très sensible aux prix agricoles. Il est vrai pour 36% de la superficie totale si les prix sont ceux de 2006, mais pour seulement 13% de la superficie de 2007.

Ce résultat provient des hypothèses de l'ampleur de la baisse de rendement relativement à celle des inputs qui ont été effectuées par les agronomes. Sur le blé, elles s'inspirent largement des résultats d'expérimentation de longue durée (Bouchard et al.2008). Le résultat que nous obtenons rejoint ainsi celui de Meynard et al. (2009) qui étudie les performances économiques de ces itinéraires dans différents scénarios de prix des produits agricoles et de l'énergie, et montre la grande sensibilité aux prix agricoles de la performance des itinéraires à bas niveau d'intrants.

La différence entre les résultats obtenus par le modèle et la situation observée à partir des données 2006 amène à s'interroger sur la raison sur l'utilisation intensive de pesticides pour une partie des exploitations actuelles, sachant que les prix de la période 1998-2006 ont été semblables ou plus faibles que ceux retenus pour 2006. Des résultats comparables sur la non-adoption de techniques économes en pesticides ou sur la faible élasticité prix de la demande en pesticides ont été obtenus par d'autres auteurs (voir pour une approche semblable à la notre Falconer et Hodge 2000, et pour une revue plus générale Carpentier 2005). L'aversion au risque des agriculteurs est souvent évoquée comme raison pour expliquer cette situation. Les études pour quantifier cet effet sont pour le moment peu nombreuses et ne permettent pas de conclure dans ce sens (Carpentier 2005). Une autre raison, analysé par certains auteurs, pourrait être les des freins mis par les entreprises d'amont (agrofourniture) et d'aval dans la diffusion de techniques permettant de réduire les pesticides (Wilson et al.2001, Vanloqueren et al.2008).

Nos résultats sur le niveau de taxe nécessaire pour atteindre un niveau significatif de réduction des pesticides montrent qu'elle devrait être très élevée. Elle serait supérieure à 100% pour une réduction de 30%. Ce résultat rejoint là aussi plusieurs études sur cette question qui obtiennent également des niveaux de taxe élevés (voir Carpentier et al.2005)

4. Conclusion

Nos résultats montrent qu'il existe des possibilités de réduire l'emploi des pesticides en grandes cultures sans que cela se traduise par des pertes importantes de revenu pour les producteurs. La résorption des inefficacités techniques des itinéraires techniques les plus intensifs apparaît comme le premier élément pouvant permettre une réduction des pesticides. Nos résultats montrent qu'on pourrait ainsi diminuer l'emploi de pesticides de 10% environ. L'adoption plus large des techniques d'agriculture raisonnée mais aussi de production intégrée (au niveau de l'itinéraire technique) pourrait permettre d'aller plus loin, et permettre une réduction de 30% sans diminution de marge globale au niveau national par rapport à la situation de 2006, dans un même contexte de prix.

Une réduction de moitié de l'usage des pesticides passe par des changements profonds des systèmes de cultures vers des itinéraires de production intégrée avec allongement des rotations et un développement de l'agriculture biologique. Ceci se traduirait par une réduction du volume global

de production, mais aussi par une modification de la nature des productions, certaines diminuant plus que d'autres du fait de la modification des assolements. Ainsi les productions de pomme de terre, de betterave et de colza diminueraient fortement. La baisse de la production de colza pose la question de la compatibilité d'une réduction des pesticides avec le développement des biocarburants. A contrario, d'autres productions augmenteraient, les cultures de légumineuses notamment. Ceci pose également des questions de débouchés et de filières.

On peut tirer de ces résultats différentes conséquences en termes de politiques publiques. Pour atteindre une réduction des pesticides de 10 ou 20%, les politiques à mettre en œuvre relèvent alors avant tout du champ du conseil et de la formation, le rôle des organismes de conseil étant central. Atteindre des niveaux plus marqués de réduction des pesticides suppose la mise en place d'autres instruments d'incitation économique ou réglementaire. Nous avons analysé l'effet de politiques de taxation des pesticides et de subventions aux techniques économes en pesticides. Nous montrons que le niveau de taxe qui serait nécessaire pour atteindre l'objectif de réduction de moitié serait très élevé et pèserait fortement sur le revenu des producteurs. Une politique combinant taxe et subventions pourrait permettre d'atteindre au moindre coût des niveaux de réduction importants tout en n'affectant pas le revenu moyen des agriculteurs.

Références bibliographiques

- Aubertot J.-N., Barbier J.-M., Carpentier A., Gril J.-J., Guichard L., Lucas P., Savary S., Voltz M. (éditeurs), Savini I. (rédactrice), 2005. Réduire l'utilisation des pesticides et en limiter les impacts environnementaux, Expertise scientifique collective Inra. Cemagref, 64 p.
- Bechini L., Bocchi S., Maggiore T., Confalonieri R., 2006. Parameterization of a crop growth and development simulation model at sub-model components level. An example for winter wheat (*Triticum aestivum* L.) *Environmental Modelling & Software* 21 (2006) 1042-1054
- Bouchard C., Bernicot M.H., Felix 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*, n°55, 53-77.
- Bockstaller C., Girardin P., 2003. How to validate environmental indicators? *Agr. Syst.* 76,639-653.
- Butault JP, Zardet G. (2008) Les possibilités de réduire l'emploi des phytosanitaires et des engrais dans l'agriculture conventionnelle (l'exemple des grandes cultures dans la Meuse), Document de Travail, 12 pages.
- Buysse J., Van Huylenbroeck G. and Lauwers L, 2007, Normative, positive and econometric mathematical programming as tools for incorporation of multifunctionality in agricultural policy modelling, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 120, 1, 70-81.
- Carpentier A. (Coord.), J.-M. Barbier (Coord.), P. Bontems, A. Lacroix, R. Laplana, S. Lemarié et N. Turpin (2005). Aspects économiques de la régulation des pollutions par les pesticides. Chapitre 5, Rapport de l'Expertise Collective INRA/CEMAGREF : Pesticides, agriculture et environnement : réduire l'utilisation des pesticides et en limiter les impacts environnementaux. Ed. INRA.
- Carpentier A, Weaver RD (1997) Damage control productivity : why econometrics matters- *American Journal of Agricultural Economics*, 1997
- Cowan R. & Gunby P., 1996. Sprayed to death: Path dependence, lock-in and pest control., *Economic Journal* 106(436), 521-43
- Delos M. (coord.), 2009, Mémento d'assistance technique pour la mise en œuvre de bonnes pratiques agricoles – Volet Santé de végétaux, Mesures applicables aux grandes cultures. Document de travail à caractère interne, v. 109, MAP, 423 p.
- Falconer, K. & Hodge, I., 2000. "Using economic incentives for pesticide usage reductions: responsiveness to input taxation and agricultural systems," *Agricultural Systems*, Elsevier, vol. 63(3), pages 175-194, March.
- Falconer K., Hodge I. (2001). Pesticide taxation and multi-objective policy-making : farm modelling to evaluate profit/environment trade-offs. *Ecological Economics* 36, 263-279.
- Flichman G. , Jacquet F. , Couplage des modèles agronomiques et économiques: intérêt pour l'analyse des politiques, *Cahiers d'économie et Sociologie Rurales* 67 (2003), pp. 1–20.
- Janssen, S., M. Van Ittersum, 2007. Assessing farm innovations and responses to policies: a review of bio-economic farm models. *Agricultural Systems* 94, 622-636.
- Kerselaers E., C De Cock L., Lauwers L. and Van Huylenbroeck G., 2007, Modelling farm-level economic potential for conversion to organic farming, *Agricultural systems*, 94, 3, 671-682.
- Lançon, J., Wery, J., Rapidel, B., Angokaye, M., Gérardaux, E., Gaborel, C., Ballo, D., Fadegnon, B., 2007. An improved methodology for integrated crop management systems. *Agronomy for Sustainable Development* 27(2), 101-110.

Lançon J., Reau R., Cariolle M., Munier-Jolain N., Omon B., Petit M.-S., Viaux P., Wery J., 2008, « Elaboration à dire d'experts de systèmes de culture innovants » in REAU R., DORÉ T., 2008, Systèmes de cultures innovants et durables. Quelles méthodes pour les mettre au point et les évaluer ?, éditions EDUCAGRI, p. 91-100.

OECD 2001, Environmental Indicators for Agriculture, Volume 3: Methods and Results, Paris, France.

OILB-SROP a, 1973. Statuts Srop 1, 25p.

Peerlings J. , Polman N., (2008) Agri-environmental contracting of Dutch dairy farms: the role of manure policies and the occurrence of lock-in, *European Review of Agricultural Economics*, Vol 35 (2) (2008) pp. 167–191

Pingault N., Pleyber E., Champeaux C., Guichard L et Omon B. (2009) Produits phytosanitaires et protection intégrée des cultures : l'indicateur de fréquence de traitement (IFT), Notes et Etudes Economiques, Ministère de l'agriculture et de la pêche, N°32, Mars 2009.

Pollet P., Butault J.P., Chantry E., 1998. Le modèle sur les coûts de production agricole. Document de travail INSEE N° E9802. Février 1998.

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, *Courrier de l'Environnement*, n° 49, 47-62

Ridier A., Ghali M. (2009) Economic impact of voluntary agri-environmental measures : The case study of a "Test -Action" in a basin of southwestern France, communication au colloque Agsap, Egmond Aan Zee, 10-12 mars

Serra T., Zilberman D., Goodwin B., Hyvonen K. 2005 Replacement of Agricultural Price Supports by Area Payments in the European Union and the effects on pesticide use,. *American Journal of Agricultural Economics*, Volume 87, Issue 4 (p 870-884)

Van Calker K.J., Berentsen P.B.M., Giesen G.W.J. and Huirne R.B.M., 2008, Maximising sustainability of Dutch dairy farming systems for different stakeholders: A modelling approach, *Ecological Economics*, 65, 2, 407-419.

Vanloqueren, G., Baret, P.V., 2008. Why are ecological, low-input, multi-resistant wheat cultivars slow to develop commercially? A Belgian agricultural 'lock-in' case study, *Ecological Economics*, 66, 436-446

Vereijken, P, 1997. A methodical way of prototyping integrated and ecological arable farming systems (I/EAFS) in interaction with pilot farms. *European Journal of Agronomy* 7, 235-250.

Wilson, C., Tisdell, C., 2001. Why farmers continue to use pesticides despite environmental, health and sustainability costs. *Ecol. Econ.* 39, 449–462.