

Quand le surdosage devient la norme

Un diagnostic des exploitations viticoles françaises

Magali Aubert *

Geoffroy Enjolras **

* UMR 1110 MOISA, INRA-Montpellier Supagro
2 place Viala, 34060 Montpellier Cedex 2, France
Tél : 04 99 61 24 11 – Fax : 04 67 54 58 05
aubert@supagro.inra.fr

** Université Aix-Marseille, CRET-LOG, Faculté d'Economie et de Gestion
14 avenue Jules Ferry, 13621 Aix-en-Provence Cedex, France
geoffroy.enjolras@univ-amu.fr

Résumé

Alors que les pesticides deviennent un objet d'études privilégié en raison de leur caractère potentiellement néfaste, cet article s'intéresse aux exploitations qui appliquent un surdosage de leurs intrants. Nous étudions les facteurs qui conduisent certains viticulteurs à surdoser leur consommation par rapport aux prescriptions réglementaires. Notre approche repose sur une méthodologie originale qui apparie quatre bases de données : le Réseau d'Information Comptable Agricole (RICA), l'enquête des pratiques culturales (PK) en viticulture, la base e-phy créée et mise à disposition par le Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, qui identifie les doses autorisées par intrants et des données climatiques issues de relevés réalisés par Météo France. Notre échantillon original comporte 106 exploitations viticoles à l'échelle de la France entière. Cet échantillon s'avère représentatif en termes de localisation géographique, d'orientation productive et de dimension économique des exploitations, ce qui permet son extrapolation. Parmi ces exploitations, 40 % pratiquent un surdosage et 10 % un surdosage très marqué. Ces exploitations se caractérisent par la qualité de leur production, une situation financière confortable mais un climat défavorable et un matériel défectueux. Ces résultats fournissent des clefs de compréhension du surdosage des intrants et des moyens d'y remédier.

Mots-clefs : Pesticides, Engrais, Surdosage, Viticulture, France, RICA, Pratiques culturales

Classification JEL : G22, Q14, Q16, Q18

1. Introduction

La réduction de la consommation d'intrants chimiques, engrais et pesticides, est devenue une grande cause nationale en France suite au Grenelle de l'Environnement. L'enjeu est de taille pour la France qui se trouve être le plus important consommateur européen d'intrants en volume et le troisième au niveau mondial (Aubertot *et al.*, 2005). En 2009, le législateur a fixé un objectif de réduction de 50 % à l'horizon 2018 qui a été modulé suivant les cultures à la suite du « Rapport EcoPhyto » (Butault *et al.*, 2010).

L'effort demandé est d'autant plus important que les intrants font partie intégrante des processus de production en raison de leur capacité à accélérer le développement des cultures tout en les préservant de risques biologiques (Just et Pope, 2003). Pourtant, leur utilisation soulève des questions quant à la durabilité d'une démarche axée sur ces facteurs de production. Les intrants sont en effet à l'origine de pollutions environnementales qui affectent les sols et les nappes phréatiques (Craven et Hoy, 2005). Ils sont également cause de problèmes de santé tant pour les personnes qui les manipulent que pour les consommateurs (Etienne et Gatignol, 2010). Leur remise en cause est par ailleurs de nature à affecter la filière agricole dans son ensemble (Aubertot *et al.*, 2005).

L'utilisation des intrants n'est pas homogène au sein de l'agriculture française. Il existe en effet de fortes disparités entre productions agricoles. Ainsi, les grandes cultures représentent 48 % des dépenses en intrants pour un tiers de la surface cultivée (Baschet et Pingault, 2009). La viticulture représente quant à elle 4 % de la surface agricole utile du pays mais elle concentre 14 % des dépenses en intrants, ce qui en fait un secteur d'études privilégiées pour notre étude. Ces disparités sectorielles visibles recouvrent des clivages plus profonds entre les agriculteurs qui font le choix d'une production biologique, ceux qui préfèrent mettre en œuvre une démarche raisonnée et enfin ceux qui utilisent intensément les intrants (Aubert *et al.*, 2011).

Notre article se concentre précisément sur l'étude des exploitations viticoles qui surdosent leur consommation d'intrants par rapport aux recommandations faites par les fabricants d'intrants et/ou imposées par la réglementation. Fortement dépendantes des intrants, ces exploitations sont en première ligne par rapport aux objectifs programmés de réduction. L'objectif de l'article est le suivant : grâce à une approche méthodologique appropriée, il vise à mesurer avec précision les pratiques de surdosage. Nous pouvons ainsi en comprendre les motivations et en retirer des enseignements par rapport aux perspectives de réduction.

Une littérature relativement abondante en économie et gestion agricole s'est intéressée aux déterminants de l'utilisation des pesticides. Elle met en valeur différents paramètres déterminants comme l'âge et l'expérience du chef d'exploitation (Wu, 1999). Une faible solvabilité des exploitations constitue une motivation à utiliser les intrants (Chakir et Hardelin, 2010), de même qu'un climat propice aux épidémies (Mishra *et al.*, 2005). Pour autant, il apparaît que les agriculteurs sont enclins à substituer les intrants par des produits similaires comme les contrats d'assurance (Feinerman *et al.*, 1992 ; Smith et Goodwin, 1996 ; Aubert et Enjolras, 2012).

Par contraste, la littérature qui s'intéresse aux surdosages est très limitée (Bürger *et al.*, 2012). Les raisons sont multiples et tiennent en premier lieu au problème de la mesure du surdosage. La démarche requiert de comparer les doses effectivement utilisées par les agriculteurs avec des référentiels reconnus. Or, quand elles existent, les données sont limitées à une dizaine d'agriculteurs ou bien elles se réfèrent à des proxies (Sattler *et al.*, 2007). La mobilisation de l'enquête « pratiques culturelles en viticulture » (PK) fournit le détail des traitements pour chaque exploitation recensée, ce qui permet de prendre en compte une partie du problème. Pour mesurer le surdosage, il faut croiser ces données avec des référentiels reconnus comme la base de données « e-phy » créée et mise à disposition par le Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, qui identifie les doses autorisées par intrants

La compréhension des pratiques de surdosage nécessite de prendre en compte également un certain nombre de variables clefs, liées à la structure de l'exploitation, à sa situation financière et aux conditions climatiques. Les données du « réseau d'information comptable agricole » (RICA) apportent des éléments de réponse pour les paramètres structurels et financiers. Les bases météorologiques de Météo France apportent le complément pour la climatologie.

Un appariement de ces quatre bases de données offre pour la première fois la possibilité de comprendre les processus complets à l'œuvre dans le surdosage des intrants en considérant un nombre significatif d'exploitations agricoles. Nous détaillons une méthodologie permettant d'apparier les données de ces quatre sources. Ce couplage est ensuite utilisé pour estimer un modèle économétrique expliquant le surdosage par les paramètres structurels et financiers détaillés précédemment.

Notre article est organisé comme suit. Dans une première partie, nous présentons une modélisation du surdosage des intrants. Dans une seconde partie, nous détaillons une méthodologie de compréhension de la pratique de surdosage qui repose sur un appariement original de bases de données. Dans une troisième partie, nous détaillons les résultats de la modélisation qui éclairent sur la pratique du surdosage. Dans une quatrième partie, nous concluons sur la synthèse des stratégies des exploitations viticoles et sur les perspectives liées à cette étude.

2. Un modèle de surdosage des intrants

Dans cette section, nous développons un modèle théorique de surdosage des intrants que nous proposons de tester à partir d'hypothèses.

2.1 Mesure du surdosage

La mesure du surdosage pose plusieurs questions d'ordre méthodologique qui sont intrinsèquement liées à la qualité des données permettant d'en offrir une estimation. De rares travaux se sont intéressés à la mesure du surdosage (Sattler *et al.*, 2007 ; Bürger *et al.*, 2012). Ils ont cependant rencontré des limites liées à leur incapacité à mesurer directement l'excès d'application des produits, des molécules et des combinaisons de molécules sur les cultures. Pour

y remédier, des proxies de surdosage (dénommés « indices de traitement standard par culture » ou STI) ont été calculés en prenant en compte le nombre de substances actives par application, le nombre d'applications au cours d'une saison et la surface traitée. D'autres études choisissent de comparer les utilisations individuelles des intrants de chaque exploitation avec des référentiels régionaux, ce qui fournit une mesure relative du surdosage.

Afin de palier cette relative imprécision, nous proposons une mesure plus précise du surdosage qui prenne en compte les quantités de produit réellement appliquées sur les plantes. Un éventuel surdosage peut se mesurer directement en comparant les doses des différents intrants appliqués au cours d'une saison avec les plafonds prescrits par les fabricants et les autorités sanitaires. Supposons qu'un agriculteur i applique des intrants j ($j = 1, \dots, n$) au travers d'un dosage $I_{i,j}$ au cours d'une saison. $I_{i,j}$ est une valeur agrégée qui tient éventuellement compte de plusieurs passages.

Le dosage de chaque produit peut être comparé par différence avec le maximum recommandé par le fabricant ou autorisé par la réglementation $\bar{I}_j$ sur une saison pour déterminer formellement un état de surdosage :

$$Dosage_i = I_{i,j} - \bar{I}_j \quad (1)$$

Si l'équation (1) fournit un résultat positif, alors un surdosage est détecté. Comme les doses des produits sont exprimées en unités différentes (kg/ha, l/ha, kg/hl, l/hl) pour tenir compte de leurs caractéristiques solides ou liquides, il convient de normaliser la mesure en pourcentage de la dose:

$$\%Dosage_{i,j} = \frac{I_{i,j}}{\bar{I}_j} \quad (2)$$

Si l'équation (2) fournit un résultat supérieur à 1, alors un surdosage est détecté. Pour ne conserver que les valeurs répondant à ce critère, nous définissons le surdosage en termes absolus :

$$\%Surdosage_{i,j} = \text{Max}\{\%Dosage_{i,j} - 1; 0\} \quad (3)$$

Nous pouvons ainsi distinguer directement les exploitations surdosant leur application d'intrants. L'équation (3) peut à son tour être transformée en valeur binaire (dummy) permettant de distinguer les exploitations qui surdosent de façon ponctuelle, pour une ou plusieurs cultures j , ou plus systématique, pour l'ensemble des cultures, leur consommation d'intrant de celles qui optent pour des traitements plus conformes aux recommandations ou à la réglementation.

2.2 Fonction de surdosage

Les agriculteurs appliquent des intrants avec l'objectif d'augmenter ou de préserver leur revenu. En ce sens, les déterminants du surdosage sont à rapprocher de la littérature existante en économie et gestion agricole sur les facteurs incitant à la consommation d'intrants.

Suivant une formulation générale adaptée de Rahman (2003), le profit de l'exploitation agricole Π_i que souhaite maximiser l'agriculteur est :

$$\Pi_i = \sum_{k=1}^m p_{i,k} Y_{i,k} - p^I I_i - p^F F_i \quad (4)$$

avec : $Y_{i,k} = f(I_{i,k}, F_{i,k}, S_{i,k}, E_i)$ et $\sum_{k=1}^m S_{ik} \leq S_i$

où : $I_i = I_{1i} + \dots + I_{mi}$ et $F_i = F_{1i} + \dots + F_{mi}$

L'équation (4) traduit la fonction de production individuelle pour chaque exploitation i . $Y_{i,k}$ est le rendement de chaque culture k . Il dépend de l'application d'intrants pour chaque culture, $I_{j,k}$, de la superficie relative allouée à chaque culture, $S_{i,k}$, de facteurs de production, $F_{i,k}$, et d'un ensemble de paramètres exogènes, E_i , qui modifient la fonction de production. p et w représentent les prix de vente, ainsi que les prix des intrants et des facteurs de production.

Les conditions de premier ordre déterminent les fonctions de demande pour les intrants :

$$I_i = I_i(p^I, p^F, p_1, \dots, p_m, S_1, \dots, S_m, E_i) \quad (5)$$

L'utilisation d'intrants au-delà des seuils recommandés ou autorisés peut donc se modéliser sous la forme :

$$Surdosage_i = Surdosage_i(p^I, p^F, p_1, \dots, p_m, S_1, \dots, S_m, E_i) \quad (6)$$

2.3 Déterminants du surdosage

Les équations (5) et (6) montrent que la (sur-)consommation d'intrants dépend de plusieurs paramètres comme la structure de l'exploitation, sa situation financière ainsi que de facteurs totalement exogènes.

2.3.1. Paramètres structurels

Les paramètres structurels se réfèrent tant à la structure de l'exploitation agricole et au matériel utilisé qu'à l'exploitant.

La taille de l'exploitation agricole apparaît comme un indicateur de première importance pour expliquer la consommation d'intrants. Il a été montré qu'en termes absolus la consommation d'intrants augmente avec la surface mais qu'en termes relatifs cette croissance est modérée du fait de rendements décroissants (Aubert et Enjolras, 2012). Il est donc probable qu'il existe un lien négatif entre surdosage et taille.

H₁ : Il existe un lien négatif entre la taille de l'exploitation agricole et la probabilité d'un surdosage d'intrants.

Dans le cadre d'une activité viticole, la qualité de la production apparaît comme un facteur essentiel pour expliquer l'utilisation d'intrants mais cette qualité peut avoir un effet ambivalent. En effet, la recherche d'un vin de qualité peut motiver une consommation raisonnée d'intrants qui sera signalée au consommateur. En contrepartie, les vins de qualité sont associés à des prix de vente élevés, de sorte qu'un viticulteur sera incité à davantage utiliser de pesticides et d'engrais pour stimuler les ceps et garantir un niveau minimum de rendement.

La personnalité du chef d'exploitation est cruciale dans le choix d'un parcours de production, ce qui suppose de tenir compte de caractéristiques observables comme l'âge et le niveau d'éducation (Wu, 1999). Un agriculteur expérimenté est mieux à même de contrôler le dosage de ses intrants. Nous pouvons supposer que cette corrélation est similaire avec un agriculteur ayant effectué des études spécialisées.

H₂ : Il existe un lien négatif entre le niveau d'études de l'agriculteur et la probabilité d'un surdosage d'intrants.

2.3.2. Paramètres financiers

Au sein des comptes de l'exploitation agricole, les intrants représentent une charge. Ce coût est d'autant plus élevé en cas de surdosage, ce qui suppose que l'entreprise soit en bonne santé financière. Cela doit se traduire par des disponibilités de trésorerie à court terme (Chakir and Hardelin, 2010) et dans une certaine mesure par un niveau d'endettement à long terme soutenable.

Nous pouvons de surcroît supposer que les exploitations performantes et solvables sont les plus à même d'être associées à des niveaux élevés d'intrants qui leur garantissent un niveau de revenu.

H₃ : Il existe un lien positif entre la performance et la solvabilité de l'exploitation agricole et la probabilité d'un surdosage d'intrants.

Il existe un certain nombre de substituts aux intrants identifiés dans la littérature. Du point de vue de la réduction des risques, l'assurance récolte joue un rôle similaire aux pesticides. En contrepartie d'une prime, elle donne le droit de recevoir une indemnité si le rendement effectif se situe au-dessous du seuil fixé dans le contrat. L'assurance peut ainsi jouer le rôle d'un substitut aux intrants (Babcock and Hennessy, 1996) et dès lors diminuer la probabilité de surdosage.

Cependant, le constat précédent ne semble pas valide si l'agriculteur est très averse au risque (Feinerman et al., 1992) ou bien si une surconsommation d'intrants accroît au final le risque (Horowitz and Lichtenberg, 1993; Horowitz and Lichtenberg, 1994). Dans ces deux cas particuliers, l'agriculteur pourrait combiner une consommation élevée d'intrants et une couverture d'assurance.

H₄ : Il existe un lien négatif entre la souscription de contrats d'assurance et le surdosage des intrants.

2.3.3. Paramètres individuels

Au-delà de ces variables, nous mobilisons des indicateurs qui traduisent implicitement le degré de sensibilité de l'exploitant vis-à-vis des dangers des intrants pour la santé. Nous pouvons supposer qu'une consommation accrue d'intrants s'accompagne de la mise en place de précautions renforcées comme l'achat de masques, de gants, ou encore de combinaisons. Il est cependant possible que les agriculteurs qui surdosent ne soient pas conscients des risques qu'ils encourent et ne se protègent pas davantage.

Enfin, nous devons prendre en compte les caractéristiques du matériel utilisé pour l'aspersion des intrants sur les vignes. La consommation d'intrants sera d'autant mieux maîtrisée que le matériel est récent et en bon état.

H_{5a} : Il existe un lien positif entre la présence de moyens de prévention sanitaires et une pratique de surdosage des intrants.

H_{5b} : Il existe un lien positif entre l'âge du matériel d'aspersion et une pratique de surdosage des intrants.

2.3.4. Paramètres extérieurs

Le climat est l'un des facteurs les plus importants pour justifier l'emploi de produits phytosanitaires. L'absence d'ensoleillement et l'excès de pluie sont ainsi des facteurs de développement des maladies comme le mildiou. De plus, la vigne s'avère très sensible à des changements climatiques marqués au cours d'une saison (Rosenzweig et al., 2001).

L'agriculteur prend en considération non seulement les données climatiques de la saison mais également les variations d'une saison à l'autre pour adapter l'intensité de ses traitements. Si la littérature restreint traditionnellement la prise en compte du climat au volume annuel des précipitations (Horowitz and Lichtenberg, 1993; Mishra et al., 2005), il convient d'envisager d'autres variables comme l'ensoleillement total ainsi que les variations interannuelles des conditions climatiques.

H₆ : Des conditions climatiques favorables aux épidémies favorisent les situations de surdosage.

Ces différentes hypothèses seront testées au sein du cadre méthodologique détaillé dans la section suivante.

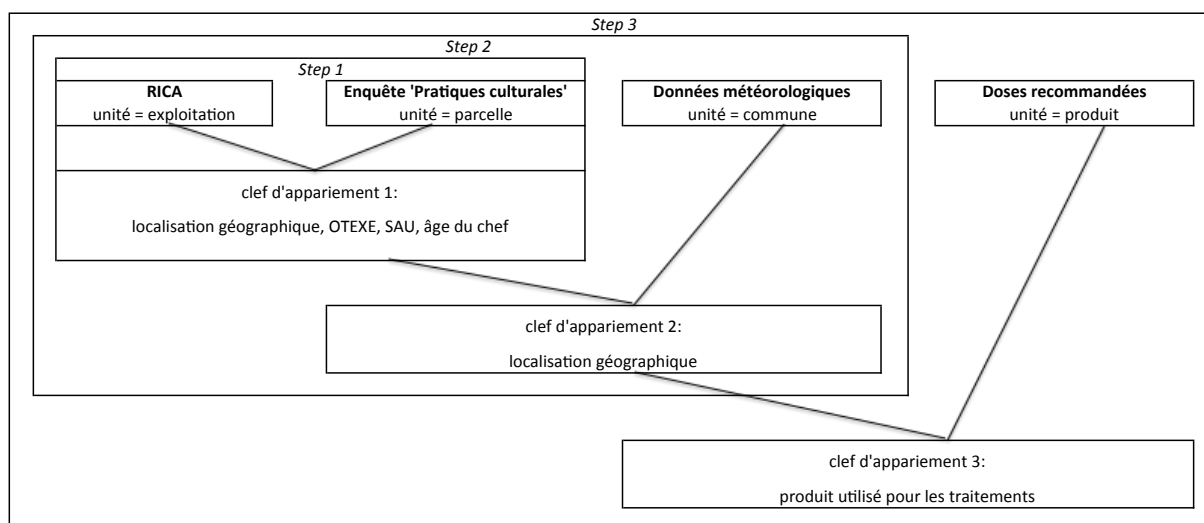
3. Méthodologie de compréhension du surdosage des intrants

La méthodologie de compréhension du surdosage des intrants fait appel d'une part à un appariement original de bases de données et d'autre part à la mise en œuvre d'une modélisation économétrique appropriée aux données ainsi collectées.

3.1 Appariement des bases de données

Pour comprendre toute la complexité du choix de dosage des intrants réalisé par les viticulteurs, de nombreux facteurs doivent être pris en compte. Ceux-ci se réfèrent évidemment à la structure de l'exploitation ainsi qu'à ses caractéristiques financières, mais aussi à des facteurs climatiques qui conditionnent les dosages appliqués. Les dosages appliqués dépendent ainsi tout à la fois de caractéristiques individuelles et de conditions exogènes. Pour prendre en compte de la façon la plus précise l'ensemble de ces informations, nous avons associé en trois étapes les données issues des bases du RICA, de l'enquête « pratiques culturelles » en viticulture (PK), de Météo France et des dosages prescrits par la réglementation et les fabricants (Figure 1).

Figure 1. Méthodologie d'appariement des bases RICA et PK.



3.1.1 Etape 1 : Appariement des bases du RICA et du PK

L'appariement que nous mettons en œuvre nécessite de coordonner des bases de données possédant leur propre logique et leur propres unités de mesure. Alors que les données du RICA correspondent à des exploitations individuelles, les données de l'enquête PK concernent essentiellement des parcelles. De même, si le RICA constitue un recensement exhaustif de l'ensemble des exploitations agricoles françaises, l'enquête PK se focalise quant à elle exclusivement sur les exploitations spécialisées en viticulture pour lesquelles au moins 2/3 de la Marge Brute Standard (MBS) provient d'une activité viticole.

La disponibilité des données est un facteur crucial pour l'appariement. La dernière enquête PK pour la viticulture a été réalisée en 2006. Les données du RICA les plus récentes à notre disposition datent de 2007, ce qui permet d'obtenir une proximité temporelle entre les deux bases¹. Le PK comprend 5.216 exploitations différentes alors que le RICA n'en recense quant à lui que 1.042 une fois conservées les exploitations du secteur viticole.

L'appariement entre ces deux bases a nécessité de recenser les informations communes à l'échelle de l'exploitation que sont : la localisation géographique, la superficie exploitée, l'âge du chef d'exploitation ainsi que l'orientation technologique. Ces éléments considérés successivement ont ainsi constitué la clef d'appariement nécessaire à notre analyse.

Nous avons dans un premier temps considéré une stratification relative à la localisation géographique et à l'orientation technique de l'exploitation. Nous avons ensuite vérifié manuellement, au cas par cas, l'appariement des exploitations retenues selon leur dimension physique et l'âge du chef d'exploitation. En effet, malgré des unités communes (hectares et années), il a été difficile de trouver des correspondances 'parfaites', notamment en raison des arrondis. Cette étape cruciale pour notre analyse a nécessité une attention particulière et parfois la prise en compte d'autres facteurs (comme le poids de la surface viticole dans la surface totale) afin de valider définitivement chaque couple d'exploitations RICA-PK.

Sur la base de la clef d'appariement définie précédemment, nous identifions pour la première fois 136 exploitations comme étant présentes dans les deux fichiers. Plus précisément, nous retenons 2,61 % des exploitations présentes dans le PK et 13,05 % des exploitations présentes dans le RICA.

3.1.2 Etape 2 : Couplage avec les données climatiques

La prise en compte des données climatiques a nécessité de coupler le nouveau fichier précédemment obtenu avec les données météorologiques recensées par Météo France. Ce second appariement a reposé sur la seule localisation géographique identifiée au niveau communal. Ce niveau fin de localisation géographique n'a pas été pris en compte lors du premier appariement puisque le fichier RICA ne mentionne que la région où est installée le siège de l'exploitation contrairement au PK grâce auquel nous disposons d'une localisation communale.

Les données obtenues grâce à cette étape permettent de mettre en parallèle les paramètres structurels, financiers et climatiques propres à chaque exploitation retenue. Nous disposons également du détail des doses appliquées pour chaque parcelle.

¹ Lors de l'application de la clef d'appariement, l'âge du chef d'exploitation a simplement dû être modifié afin de correspondre d'un fichier à l'autre.

3.1.3 Etape 3 : Prise en compte du dosage des intrants

L'objet de la dernière étape est de déterminer si les traitements réalisés par les viticulteurs sont sur-dosés, justement dosés ou sous-dosés. Pour ce faire, nous avons dû établir une correspondance entre les produits utilisés pour chacun des traitements et les doses recommandées par la réglementation et/ou les fabricants.

La méthode retenue est la suivante : après avoir identifié les différents produits utilisés par les viticulteurs, nous avons établi une correspondance avec les doses autorisées recensées dans la base « e-phy » du Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation. Cette correspondance a été réalisée de façon manuelle pour chacun des produits en considérant le seuil maximum autorisé. En effet, les seuils peuvent différer selon la nature du traitement. Ainsi, le traitement 'sekoya' est refusé pour le traitement du mildiou mais autorisé pour la pourriture grise. De la même façon, le traitement 'cabrio top' est limité à 1 kg/ha lorsqu'il est utilisé pour traiter l'oïdium alors qu'il est limité à 2 kg/ha pour le mildiou. Dans la mesure où nous ne connaissons pas les motivations exactes des traitements réalisés par les viticulteurs, nous considérons uniquement le seuil maximum autorisé.

Le fichier PK recense 677 produits différents utilisés par les agriculteurs. Nous avons considéré dans notre analyse les 138 produits principaux, soit 20,4 % du total des produits, qui représentent 84,8 % des traitements. Cette restriction se traduit par la perte de 30 observations. La base de données finale est dès lors constituée de 106 exploitations.

3.1.4 Base finale

La base finale constituée au moyen des trois étapes précédentes apparaît originale non seulement du fait de la méthodologie d'appariements mobilisée mais aussi et surtout du fait de sa richesse et complétude. L'unité retenue est l'exploitation et les données parcellaires sont prises en compte comme une caractéristique de l'exploitation. Dans la mesure où toutes les parcelles des exploitations retenues ne peuvent être toutes prises en compte, une hypothèse de notre travail considère que le comportement des viticulteurs est similaire d'une parcelle à l'autre.

Les exploitations recensées dans notre échantillon sont de grande dimension avec une surface exploitée de près de 30 ha et leur dimension économique est, de ce fait, élevée. Tenues par des chefs de moins de 50 ans, ces exploitations sont dans la plupart des cas (80 %) spécialisées en viticulture de qualité (Tableau 1).

Les différents appariements réalisés font de la base ainsi créée un atout majeur de notre travail, renforcé par le fait que celle-ci est représentative des exploitations présentes dans le RICA. Autrement dit, elle est représentative des exploitations professionnelles², puisque seules les exploitations professionnelles sont recensées dans le RICA. Les exploitations identifiées dans le fichier final présentent en effet des caractéristiques similaires à celles des exploitations recensées dans le RICA. Les caractéristiques structurelles, et plus précisément la surface exploitée et la marge brute standard, des exploitations sont en moyenne équivalentes. Il en est de même pour les

² Une exploitation est dite professionnelle si sa MBS est supérieure à 9600 € et si elle emploie au moins 0,75 UTA.

caractéristiques individuelles du chef d'exploitation (âge). Enfin, la répartition selon l'orientation technique de l'exploitation est équivalente entre les exploitations issues de la base de données créée d'une part et de la base du RICA d'autre part.

Tableau 1. Comparaison de la base de données créée avec le RICA

	Base de données créée	Base de données RICA	Test d'égalité de variance	Test d'égalité de moyenne
Surface Agricole Utile (SAU)	29,26	27,83	Différence	Egalité
Marge Brute Standard (MBS)	173,85	163,44	Egalité	Egalité
Age du chef d'exploitation	47,96	48,23	Egalité	Egalité
OTEX 37 (Viticulture de qualité)	81,62 %	78,24 %		
OTEX 38 (Autre viticulture)	18,38 %	21,79 %		

Source : Agreste - RICA (2007), PK (2006).

3.1.5 Extrapolation des données

Les données décrites précédemment correspondent aux exploitations dont la sélection a été effectuée au travers de notre méthode d'appariement. Grâce à la représentativité de ces données par rapport au RICA sur les critères de la dimension économique et de l'orientation productive (Tableau 1), nous pouvons mettre en œuvre une procédure d'extrapolation.

Chaque exploitation du RICA se voit attribuer un coefficient d'extrapolation sur la base du triptyque Marge Brute Standard (MBS), Orientation technico-économique des exploitations (OTEX) et localisation géographique. Dans le cadre de notre étude, le faible nombre d'observations considérées, ainsi que l'impossibilité de localiser précisément les exploitations ne nous permet pas d'appliquer à la lettre cette stratification. Nous retenons dès lors la dimension économique (MBS) et l'orientation productive (OTEX) comme les deux critères clefs pour notre stratification. Plus précisément, nous considérons deux niveaux de MBS : les exploitations dont la marge est inférieure à 960.000 € et celles dont la marge est supérieure à ce seuil. En effet, parmi les exploitations identifiées dans notre base de données, près du tiers présentent une MBS inférieure à 100 UDE. Sur la base de cette double stratification, les 106 observations initiales de notre échantillon ont été extrapolées pour permettre une représentation nationale des 43.976 exploitations viticoles françaises.

3.2 Modélisation économétrique

3.2.1 Mesure du surdosage

La base dont nous avons décrit la constitution possède l'exploitation comme unité d'observation. Celle-ci est composée d'éléments structurels, financiers et météorologiques. Afin de mettre en parallèle les doses utilisées pour chacun des traitements réalisés et les doses homologuées, une analyse plus spécifique est réalisée à l'échelle de la parcelle. Dans la mesure où les doses recommandées identifiées par le Ministère de l'Agriculture sont des doses maximales et que

celles-ci varient en fonction de la nature du traitement, nous considérons chaque seuil comme une délimitation stricte du surdosage. Ainsi, pour un traitement donné, les doses appliquées sont comparées aux doses recommandées et tout traitement sera qualifié de surdosé dès lors que la dose appliquée est supérieure à ce seuil.

Il convient de noter que les parcelles identifiées via le fichier PK ne correspondent pas à l'ensemble des parcelles de l'exploitation enquêtée. L'hypothèse faite est que le comportement de surdosage observé sur les parcelles d'une exploitation coïncide avec le comportement global de surdosage de l'exploitation. Si aucun surdosage n'est observé sur les parcelles recensées, alors nous considérons qu'aucun surdosage n'est réalisé au niveau de l'exploitation.

Pour chaque exploitation, nous disposons d'un compteur du nombre de traitements associé à un compteur du nombre de surdosages. Seul un compteur peut être pris en compte dans la mesure où les unités relatives aux différents traitements sont différentes, certaines doses pouvant être définies en kg/ha, kg/hl ou encore l/ha. Nous ne pouvons donc pas, en considérant l'exploitation comme unité d'analyse, calculer un niveau relatif de surdosage.

Par ailleurs, nous constatons d'une part que près de 55 % des exploitations enquêtées n'ont réalisé aucun surdosage sur leurs parcelles. D'autre part, parmi les exploitations restantes, près de 40 % sont en surdosage pour l'ensemble de leurs parcelles enquêtées. Ce comportement polarisé conforte l'hypothèse faite précédemment, à savoir que la décision de traitement et de surdosage est prise au niveau de l'exploitation et non de la parcelle.

Dès lors, la variable explicative prise en compte dans nos analyses se doit de refléter des comportements très différenciés. Nous choisissons par conséquent une variable binaire qui distingue les exploitations qui ne surdosent jamais leurs applications de celles qui surdosent de façon plus ponctuelle ou systématique leurs applications.

3.2.2 *Modèle retenu*

Le comportement de surdose des exploitants est considéré de façon synthétique en distinguant les exploitants qui ne surdosent jamais des autres exploitants. De ce fait, le modèle mis en œuvre est un modèle logit tel que :

$$SD_{it} = 1 \text{ si } SD_{it}^* \geq 1 ; 0 \text{ sinon.} \quad (7)$$

$$SD_{it}^* = \alpha + \beta' CS_{it} + \gamma' CF_{it-1} + \theta' P_i + \delta' M_i + \varepsilon_i \quad (8)$$

Où : SD_i correspond à la pratique éventuelle de surdosage.

SD_i^* est une variable latente, observée, qui correspond au nombre de traitements où les doses appliquées sont supérieures aux doses recommandées.

CS_{it} est la matrice des caractéristiques structurelles de l'exploitation.

$CF_{i(t-1)}$ est la matrice des caractéristiques financières de l'exploitation retardées.

P_i est la matrice de perception par les exploitants des risques sanitaires des intrants.

M_i est la matrice relative aux données météorologiques.

ε_i est le terme d'erreur.

Ce modèle permet d'expliquer les déterminants des comportements de surdosage en considérant d'une part les spécificités structurelles, financières des exploitations et d'autre part la sensibilité des exploitants aux risques sanitaires liés aux intrants. En effet, les données PK renseignent notamment sur la protection du manipulateur lors du traitement.

Du fait de la co-détermination supposée entre la consommation des intrants et les paramètres financiers de l'exploitation agricole, nous prenons en compte explicitement un risque d'endogénéité. En effet, l'achat d'intrants diminue directement la trésorerie de l'exploitation tout en affectant indirectement le chiffre d'affaires. Pour pallier ce problème, nous choisissons de retarder les variables financières.

4. Résultats

Dans cette section, nous présentons les principales statistiques descriptives ainsi que les résultats de la modélisation économétrique en prenant en compte les données extrapolées de notre échantillon.

4.1 Statistiques descriptives

Le premier résultat marquant de notre analyse est que 58 exploitations, soit 54,72 %, n'ont procédé à aucun surdosage lors de leurs applications d'intrants. A peine plus de la moitié des exploitations viticoles se conforment donc totalement aux exigences en vigueur quant à l'emploi de produits phytosanitaires.

4.1.1 Caractéristiques structurelles des exploitations et surdosage des applications

Les exploitations qui ne surdosent pas leurs applications de produits phytosanitaires se caractérisent par une plus grande dimension physique et économique (Tableau 2a). Leur surface totale exploitée est en moyenne de 29 hectares alors que les exploitations qui surdosent cultivent en moyenne 23 hectares. Nous constatons cependant que cet écart est non significatif ; en moyenne les exploitations qui surdosent sont de dimension physique équivalente à celle des exploitations qui ne surdosent pas.

Les exploitations qui respectent les recommandations semblent également davantage spécialisées en viticulture puisque 92,33 % de leur surface est dédiée à cette production alors que ce taux est de 87,75 % pour les exploitations qui surdosent. Les chefs d'exploitation qui ne surdosent pas semblent également plus jeunes, ce qui laisse supposer qu'ils sont sans doute davantage sensibilisés aux conséquences d'une telle utilisation.

Tableau 2a : Caractéristiques structurelles des exploitations en fonction de leur dosage d'intrants

Variables structurelles		Surdosage		Total
		Non	Oui	
Dénombrement brut des exploitations	Nombre total	106	48	106
	Répartition (%)	100,00 %	45,28 %	100,00 %
Dénombrement extrapolé des exploitations	Nombre total	43.976	21.024	43.976
	Répartition (%)	100,00 %	47,81 %	100,00 %
Surface agricole utile (SAU)	Moyenne (ha)	26,16	22,71	26,16
Surface viticole / surface totale	Moyenne (%)	90,14 %	87,75 %	90,14 %
Main-d'œuvre salariée / totale	Moyenne (%)	43,84 %	47,88 %	43,84 %
Age du chef d'exploitation	Moyenne (ans)	47,41	48,23	47,41

Source : Agreste – RICA (2007) et PK (2006)

4.1.2 Caractéristiques financières des exploitations et surdosage des applications

Les indicateurs financiers pris en compte dans notre analyse traduisent d'importantes disparités entre exploitations (Tableau 2b). Les exploitations qui surdosent se caractérisent par une plus faible marge brute en valeur absolue et par une production de l'exercice nettement meilleure en termes relatifs. L'état de surdosage correspond donc à des exploitations plus profitables.

Les exploitations qui ne surdosent pas leurs intrants présentent un niveau d'endettement à long terme plus faible, ce qui traduit une meilleure solvabilité et par conséquent un niveau de risque financier réduit. A court terme, les niveaux de trésorerie restent sensiblement identiques entre les deux types d'exploitations : le niveau plus important des charges d'intrants pour les exploitations en surdosage est probablement compensé par des charges de main-d'œuvre plus importantes pour les exploitations qui ne surdosent pas.

Dans le même temps, les exploitations qui surdosent leurs intrants sont majoritairement assurées, et de façon plus prononcée que pour les autres exploitations. L'assurance semble être un complément des intrants pour les exploitations les plus intensives. Ce comportement semble accréditer une plus grande aversion au risque de la part des viticulteurs français qui surdosent afin de préserver leur niveau de revenu et de diminuer leur risque d'exploitation (Enjolras et al., 2012). Ce résultat reste toutefois à relativiser dans la mesure où la proportion d'exploitants assuré diffère très peu selon que l'on considère les exploitants qui surdosent et ceux qui ne surdosent pas.

Tableau 2b : Caractéristiques financières des exploitations en fonction de leur dosage d'intrants

Variables financières		Surdosage		Total
		Non	Oui	
Chiffre d'affaires	Moyenne (€)	212462,24	202430,25	207666,22
Marge brute standard (MBS)	Moyenne (€)	154087,89	146943,82	150672,51
Production de l'exercice	Moyenne (€/ha)	9897,31	21508,44	15448,27
Charges de l'exploitation	Moyenne (€/ha)	8373,51	14466,56	11286,43
Indicateur de trésorerie	Moyenne	0,01	0,01	0,01
Indicateur d'endettement	Moyenne	6,67	0,20	3,57
Assurance				
Non	Dénombrement	9617	8144	177611
	Répartition (%)	41,70 %	38,74 %	40,39 %
Oui	Dénombrement	13335	12880	26215
	Répartition (%)	58,10 %	61,26 %	59,61 %
Total	Dénombrement	22952	21024	43976
	Répartition (%)	100,00 %	100,00 %	100,00 %

Source : Agreste - RICA (2007) et PK (2006).

4.1.3 Perception des exploitants et surdosage des applications

Afin de prendre en compte la perception des exploitants vis-à-vis des risques liés à une utilisation intensive des produits phytosanitaires, nous examinons plus précisément les conditions dans lesquels ils appliquent les intrants (Tableau 2c).

Il ressort de l'analyse que les pratiques des chefs d'exploitation se distinguent suivant leur degré de dosage des intrants. Le nombre de moyens de protection utilisés parmi les cinq identifiés (bottes, gants, masques, lunettes de protection et vêtements imperméabilisés) est légèrement plus important pour les exploitations en surdosage. Il ressort également que les agriculteurs en surdosage utilisent un matériel de pulvérisation plus ancien (12 ans contre 8 ans) et sont peut-être moins attentifs aux conditions de stockage des produits.

Nous constatons également qu'un facteur clef déclenchant l'utilisation des produits phytosanitaires est l'observation des maladies faite sur les parcelles, que l'exploitant surdose ou pas ses applications. L'historique des traitements réalisés sur les différentes parcelles semble être un élément secondaire des applications réalisées.

Nous observons cependant une différence de comportement en termes d'enregistrement des pratiques. En effet, les exploitations qui ne surdosent pas leurs traitements consignent leurs pratiques dans plus de 67 % des cas alors que ce taux n'est que de 62 % pour les exploitations qui surdosent. La relation observée pourrait traduire une double causalité : soit les exploitations qui enregistrent prêteraient davantage attention aux doses recommandées, soit les exploitations suivant les recommandations seraient incitées à enregistrer leurs pratiques. L'hypothèse faite ici est que l'enregistrement est une contrainte imposée à l'exploitant qui se traduit par des pratiques plus respectueuses des recommandations en vigueur.

Tableau 2c : Conditions des interventions phytosanitaires en fonction de leur dosage d'intrants

Conditions des interventions phytosanitaires		Surdosage		Total
		Non	Oui	
Connaissance sur l'historique des traitements sur les parcelles	Oui (%)	43,70	47,25	45,40
	Non (%)	56,30	52,75	54,60
Observations des maladies sur les parcelles en cours	Oui (%)	94,75	90,50	92,72
	Non (%)	5,25	9,50	7,28
Enregistrement des pratiques	Oui (%)	67,37	62,27	64,93
	Non (%)	32,63	37,73	35,07
Local pour les produits phytosanitaires	Oui (%)	65,04	62,78	63,96
	Non (%)	34,96	37,22	36,04
Nombre moyen d'équipements de protection		1,81	2,21	2,00
Age moyen du pulvérisateur		7,75	11,90	9,73

Source : Agreste - RICA (2007) et PK (2006).

4.2 Déterminants du surdosage

Nous examinons dans cette section les résultats de notre modélisation économétrique (équation 8). Les résultats sont donnés par le Tableau 3. Il ressort en premier lieu de l'analyse que les facteurs considérés comme déterminants dans la pratique de surdosage permettent de prédire correctement le comportement observé dans 75 % des cas.

Les résultats du modèle économétrique soulignent l'importance des facteurs structurels comme les critères de distinction entre les exploitations qui surdosent et les exploitations qui respectent la réglementation. Ainsi, nous dénotons une relation positive entre la surface exploitée, le degré de diversification, l'importance de la main d'œuvre salariée et la probabilité de surdosage. Des exploitations étendues, fortement spécialisées en viticulture et dont le poids de la main-d'œuvre salariée est importante auront une plus grande probabilité d'être en conformité avec la réglementation en rigueur, ce qui valide l'hypothèse 1.

L'hypothèse 2 est quant à elle infirmée dans la mesure où le niveau de formation a un effet positif sur la probabilité de surdosage, contrairement à notre intuition. Les chefs d'exploitation dont le niveau de formation agricole est le plus élevé sont plus susceptibles de surdoser leurs intrants.

Les facteurs déterminants du surdosage appliqué par les exploitants relèvent également de facteurs financiers à court terme. Ainsi, toute augmentation de la production de l'exercice à l'hectare, et corrélativement de la trésorerie de l'entreprise, une année, se traduit par une plus grande probabilité de surdoser l'année suivante. L'endettement à long terme qui résulte des décisions d'investissement de l'entreprise apparaît comme un facteur incitant au surdosage. L'hypothèse 3 est ainsi validée : il existe un lien positif entre la performance et la solvabilité de

l'exploitation agricole et la probabilité de surdoser les intrants. De la même façon, être assuré influe positivement sur la probabilité de surdosage, ce qui invalide l'hypothèse 4 de substitution entre intrants et assurance et fait donc ressortir une complémentarité entre les deux instruments.

Au-delà des éléments financiers, nous constatons que l'âge du matériel d'aspersion est lié de façon positive avec une pratique de surdosage des intrants, validant ainsi l'hypothèse 5b. La vétusté ou l'obsolescence du matériel se traduit par une moindre précision des applications entraînant une pratique de surdosage. De même, plus l'exploitation dispose de moyens de protection sanitaire et plus la probabilité de surdosage est importante, ce qui valide l'hypothèse 5a.

Autre facteur significatif, les conditions climatiques conditionnent les doses appliquées puisque tout écart de température ou tout écart de nombre de jours de pluie, par rapport à la moyenne observée les cinq années précédentes, se traduit par une utilisation plus intensive des intrants. Inversement, tout écart en termes de pluviométrie ou de vent, par rapport à la moyenne observée les cinq dernières années précédentes, a pour effet une utilisation moins intensive des intrants. L'hypothèse 6 qui associe le surdosage à des conditions climatiques propices au développement des maladies des vignes est ainsi validée.

Tableau 3 : Résultats du modèle économétrique

Paramètres	Estimation	Ecart-type	χ^2 de Wald	Pr > χ^2
Surface Agricole Utile (SAU)	-0.01**	0.01	5.76	0.0164
% Surface viticole / totale	-0.01***	0.00	6.65	0.0099
Formation agricole	0.15***	0.01	104.61	< 0.0001
Formation générale	-0.02	0.01	1.71	0.1909
Production de l'exercice / ha ⁻¹	0.01***	0.01	1544.87	< 0.0001
% Main-d'œuvre salariée / totale	-0.00***	0.00	7.84	0.0051
Indicateur de liquidité (trésorerie) ⁻¹	2.79***	0.08	1366.63	< 0.0001
Indicateur d'endettement (levier) ⁻¹	0.02***	0.01	146.79	< 0.0001
Etre assuré (O/N)	0.19***	0.03	42.78	< 0.0001
Equipement de protection	0.12***	0.01	313.37	< 0.0001
Enregistrement des pratiques (O/N)	-0.54***	0.03	400.03	< 0.0001
Local pour les produits (O/N)	0.67***	0.03	409.86	< 0.0001
Age du pulvérisateur	0.09***	0.00	2580.90	< 0.0001
Ecart de température (°C)	4.29***	0.11	1524.29	< 0.0001
Ecart nombre de jours de pluie	0.03***	0.00	572.54	< 0.0001
Ecart de pluviométrie (mm)	-0.00***	0.00	140.64	< 0.0001
Ecart de vent	-0.06***	0.01	62.83	< 0.0001
Constante	-3.13***	0.11	809.74	< 0.0001
Significatif au seuil de 10 % (*), 5 % (**) et 1 % (***).				

5. Conclusion

L'étude sur la compréhension du surdosage des intrants que nous avons réalisée est originale à plus d'un titre. Notre apport tient en premier lieu à notre capacité à identifier et à mesurer précisément les comportements de surdosage, tout en les replaçant dans le contexte de la production agricole. Notre méthodologie repose en effet sur la constitution d'une base de données originale par appariement de quatre sources distinctes (RICA, PK, réglementation sur les intrants et climat). Nous obtenons ainsi un échantillon de 106 observations globalement représentatives des exploitations viticoles françaises et très détaillé quant à leurs caractéristiques structurelles et financières, leur exposition aux aléas climatiques et leurs pratiques d'utilisation des intrants. Grâce à la représentativité de cet échantillon par rapport à la base du RICA, nous en réalisons une extrapolation sur les critères de la dimension économique et de l'orientation productive.

Nous pouvons dès lors conforter ce premier apport méthodologique par un second apport sur les facteurs expliquant le surdosage en intrants. Les résultats obtenus répondent à un manque dans la littérature lié jusqu'à présent à l'incapacité à mobiliser un ensemble de données complètes. En effet, seuls les déterminants de la consommation des intrants avaient été étudiés dans divers pays et divers contextes.

Nous montrons que le surdosage est directement lié à l'intensité productive de l'entreprise et à ses disponibilités financières lui permettant de se procurer des intrants. Les variations de température et de nombre de jours de pluie qui expliquent le développement des maladies de la vigne apparaissent comme des facteurs-clefs. Inversement, la surface de l'exploitation et son degré de spécialisation diminuent la probabilité d'un surdosage des intrants. L'assurance apparaît également comme un moyen de diminuer le surdosage des produits phytosanitaires.

Le recours à des instruments de protection pour l'aspersion des intrants (gants, masques) est associé à une utilisation plus intensive des intrants. De même, la vétusté du matériel servant à l'aspersion du produit ressort comme un déterminant très significatif de l'analyse. Notre analyse conforte par conséquent le besoin d'une politique de modernisation du matériel pour améliorer les pratiques d'application des intrants. L'article 41 de la loi n°2006-1772 du 30 décembre 2006 sur l'eau et les milieux aquatiques rend ainsi obligatoire au 1^{er} janvier 2009 le contrôle technique pour les pulvérisateurs. Cette contrainte vise à améliorer la fiabilité de l'épandage des intrants. Une analyse sur des données plus récentes devrait mettre en évidence son efficacité potentielle.

Ces différents apports méthodologiques et empiriques démontrent tout l'intérêt de créer des bases de données aussi complètes que possible à l'échelle des exploitations. Il convient en particulier de renseigner des critères aussi fondamentaux que la structure de l'exploitation et sa situation financière (sur le modèle du RICA) et de les coupler à des données plus précises sur l'exploitation à l'échelle de la parcelle (sur le modèle du PK). Seul un tel couplage est de nature à faire progresser la connaissance sur les pratiques de dosage des intrants. En l'état actuel des bases de données, nous avons dû restreindre notre analyse à une année et nous n'avons donc pu procéder à des analyses en séries temporelles.

Les perspectives offertes par notre travail sont multiples. Il convient dans un premier temps de poursuivre l'exploitation de la base de données obtenue. Nous n'avons en effet pas différencié les différents intrants suivant leur nature (insecticide, fongicide, etc.), de sorte qu'il est probable que des différences de comportement existent à ce niveau-là. Dans un second temps, l'actualisation des bases de données devrait nous permettre de procéder à des analyses dynamiques. L'examen de ces différentes pistes est un facteur d'amélioration de la connaissance des pratiques de surdosage dans la perspective d'une réduction globale de la consommation des intrants dans l'agriculture.

Références bibliographiques

Aubert, M., Enjolras, G., et Bonnal, C. (2011), "Typologie des exploitations viticoles selon leur utilisation de produits phytosanitaires : analyse structurelle et financière basée sur les données RICA", 5^{èmes} Journées de recherches en sciences sociales INRA-SFER-CIRAD, 8-9 décembre, Dijon, France, 17 pages.

Aubert, M., et Enjolras, G. (2012), "The determinants of input use in agriculture: A dynamic analysis of the wine-growing sector in France", Proceedings of the Sixth Annual Meeting of the American Association of Wine Economists, Princeton, New Jersey, USA, 22 pages.

Aubertot, J.-N., Barbier, J.-M., Carpentier, A., Gril, J.-J., Guichard, L., Lucas, P., Savary, S., Savini, I., et Voltz, M. (2005), "Pesticides, agriculture et environnement. Réduire l'utilisation des pesticides et limiter leurs impacts environnementaux", Expertise scientifique collective, INRA, Cemagref, 68 pages.

Babcock, B.A., et Hennessy, D.A. (1996), "Input demand under yield and revenue insurance", *American Journal of Agricultural Economics*, 78: 416-427.

Baschet, J.-F., et Pingault, N. (2009) "La réduction des usages de pesticides : le plan Ecophyto 2018", Analyse Prospective et Evaluation, Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, n°4/2009, 4 pages.

Bürger, J., de Mol, F., et Gerowitt, B. (2012), "Influence of cropping system factors on pesticide use intensity - A multivariate analysis of on-farm data in North-East Germany", *European Journal of Agronomy*, 40 , 54-63.

Butault, J.-P., Dedryver, C.-A., Gary, C., Guichard, L., Jacquet, F., Meynard, J.-M., Nicot, P., Pitrat, M., Reau, R., Sauphanor, B., Savini, I, et Volay, T. (2010) "Ecophyto R&D, quelles voies pour réduire l'usage des pesticides", INRA, 90 pages.

Chakir, R., et Hardelin, J. (2009), "Crop insurance and pesticide use in french agriculture: an empirical analysis of integrated risk management", Journées Micro-économie et micro-économétrie de la production agricole, 16-17 novembre, Rennes, France, 33 pages.

Craven, C., et Hoy, S. (2005), "Pesticides persistence and bound residues in soil – regulatory significance", *Environmental Pollution*, 133: 5-9.

Enjolras, G., Capitanio, F., Aubert, M., et Adinolfi, F. (2012), "Direct payments, crop insurance and the volatility of farm income. Some evidence in France and in Italy", 123rd Seminar of the European Association of Agricultural Economists, 23-24 février, Irlande, 21 pages.

Etienne, J.-C. et Gatignol, C. (2010), Pesticides et santé, Rapport de l'Office Parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, 262 pages.

Feinerman, E., Herriges, J.A., et Holtkamp, D. (1992), "Crop Insurance as a Mechanism for Reducing Pesticide Usage: A Representative Farm Analysis", *Review of Agricultural Economics*, 14: 169-186.

Horowitz, J.K., et Lichtenberg, E. (1993), "Insurance, Moral Hazard, and Chemical Use in Agriculture", *American Journal of Agricultural Economics*, 75: 926-935.

- Horowitz, J.K., et Lichtenberg, E. (1994), "Risk-increasing and Risk-reducing Effects of Pesticides", *Journal of Agricultural Economics*, 45(1): 82-89.
- Just, R.E., et Pope, R.D. (2003), "Agricultural risk analysis: adequacy of models, data, and issues", *American Journal of Agricultural Economics*, 85(5): 1249–1256.
- Mishra, A., Wesley Nimon, R., et El-Osta, H. (2005), "Is Moral Hazard Good for the Environment? Revenue Insurance and Chemical Input Use", *Journal of Environmental Management*, 74(1): 11-20.
- Rahman, S. (2003), "Farm Level Pesticide Use in Bangladesh: Determinants and Awareness", *Agriculture Ecosystem and Environment*, 95, 241–252.
- Rosenzweig, C., Iglesias, A., Yang X.B., Epstein, P.R., et Chivian, E. (2001), "Climate change and extreme weather events; Implications for food production, plant diseases, and pests", *Global Change and Human Health*, 2(2): 90-104.
- Sattler, C., Kächele, H., et Verch, G. (2007), "Assessing the intensity of pesticide use in agriculture", *Agriculture Ecosystem and Environment*, 119, 299–304.
- Smith, V., et Goodwin, B., (1996), "Crop insurance, moral hazard, and agricultural chemical use", *American Journal of Agricultural Economics*, 78: 428–438.
- Wu, J.J. (1999), "Crop Insurance, Acreage Decisions, and Nonpoint-Source Pollution", *American Journal of Agricultural Economics*, 81: 305–320.