

Contrôle des risques de toxicité liés aux pesticides : un modèle technico-économique d'optimisation pour la gestion des usages phytosanitaires en agriculture

Oussama MGHIRBI (1,2,3), Philippe LE GRUSSE (1,3), Jacques FABRE (4), Elisabeth MANDART (1), Jean-Paul BORD (2,3)

⁽¹⁾ *CIHEAM-IAMM : Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier. 3191 Route de Mende, 34093, Montpellier cedex 5, France*

⁽²⁾ *Université Paul Valéry Montpellier (UPVM). Route de Mende, 34199 Montpellier cedex 5, France*

⁽³⁾ *UMR GRED Gouvernance, Risque, Environnement, Développement (UPVM/IRD). Centre IRD de Montpellier - UMR GRED, BP 64501, 34394 Montpellier cedex 5, France*

⁽⁴⁾ *DIATAE. 3191 Route de Mende, 34093 Montpellier cedex 5, France*

1. Introduction

Les enjeux sanitaires, environnementaux et socio-économiques liés à l'utilisation massive de produits phytosanitaires sont une préoccupation pour l'ensemble des acteurs intervenant dans les filières agricoles (agriculteurs, conseillers, chercheurs, représentants de pouvoirs publics, etc.) (1). Face au nombre important d'acteurs concernés par l'usage des pesticides sur un territoire et les différents intérêts de chacun, nous sommes face à une situation de complexité pour gérer les pollutions diffuses d'origine agricole. Ces inquiétudes ont conduit au développement de dispositifs agro-environnementaux et socio-économiques qui visent à encourager la réduction et la gestion de l'usage des pesticides. De nombreux acteurs, notamment les agriculteurs et les gestionnaires territoriaux, expriment leurs besoins et l'utilité de ces dispositifs à travers la création d'outils d'aide à la décision pour la gestion des pratiques phytosanitaires.

Dans ce contexte de demande, autant par les acteurs de terrain que par les pouvoirs publics, d'outils d'aide à la gestion de l'usage des pesticides, nous avons centré notre réflexion sur le développement d'un modèle de minimisation des risques en se basant sur des indicateurs de risques pour la santé de l'applicateur (IRSA) et pour l'environnement (IRTE) calculés sur les propriétés des matières actives et des produits commerciaux (2,3). Ce modèle est basé sur les techniques de programmation linéaire et permet de proposer des scénarios de choix de produits phytosanitaires dans des itinéraires techniques (ITK) en fonction de différents niveaux de contraintes et d'aspiration des différents acteurs. Le modèle propose une gestion multi-échelles, de la parcelle au bassin versant, et une gestion simultanée des risques sur la santé et l'environnement. Les indicateurs de risque sur la santé et l'environnement peuvent être désagrégés en sous indicateurs permettant une gestion adaptée au contexte. Le modèle permet donc de gérer les choix de produits en fonction des risques au niveau d'une parcelle et d'un ensemble de parcelles dans une exploitation agricole. Des besoins sont par ailleurs exprimés pour une gestion globale au niveau d'un bassin versant.

2. Modèle technico-économique d'optimisation et de gestion des pratiques phytosanitaires

2.1. Conception du modèle technico-économique et typologie des exploitations agricoles enquêtées

Afin d'optimiser le système de production agricole de chaque exploitation, nous avons procédé dans cette étude à la création d'un modèle technico-économique. Ce dernier tient compte des différents paramètres économiques du système de production (prix de vente du produit agricole, rendement, coût de production, coût des produits phytosanitaires, etc.). De plus, nous avons défini dans ce modèle des facteurs limitant, en mettant en jeu les contraintes de réduction de l'IRSA et de l'IRTE, ainsi que

l'efficacité des pesticides contre les maladies et leur coût.

De ce fait, notre méthode adoptée pour la typologie des exploitations enquêtées est basée sur des éléments d'évaluation liés à la structure de l'exploitation agricoles qui représentent des paramètres quantifiables collectés sur le terrain. En effet pour comprendre le fonctionnement des exploitations agricoles et leurs caractéristiques de diversité agricole au niveau d'une région, il est indispensable de faire appel aux critères de structure. Dans notre étude, les principaux paramètres que nous avons considérés comme des critères liés à la structure de l'exploitation sont :

- l'orientation technico-économique de l'exploitation (OTEX) : arboricole, viticole, grandes cultures, maraîchages ;
- le type de culture et/ou variété ;
- la pression phytosanitaire de chaque parcelle étudiée pondérée par ha (IFT/ha) ;
- le risque de toxicité sur la santé applicateur et sur l'environnement de chaque parcelle étudiée pondéré par ha (IRSA/ha et IRTE/ha).

De façon générale, nous nous sommes basés sur les paramètres descriptifs des itinéraires techniques de traitement et de la stratégie d'utilisation des pesticides au niveau de chaque parcelle pour définir une typologie structurelle des exploitations agricoles enquêtées. Cette méthode nous a permis de classer les parcelles agricoles, par type de culture/variété, selon trois classes homogènes des itinéraires techniques de traitement qui sont caractérisés par une pression phytosanitaire faible (fa), forte (fo) et moyenne (m), en fonction des indicateurs environnementaux : IFT, IRSA et IRTE.

Une fois nous avons déterminé les trois classes d'ITK de traitement homogènes (pression fo, fa, m) selon les indicateurs environnementaux (IFT, IRSA, IRTE) au niveau des parcelles étudiées, nous avons défini les ITK de traitement type par culture et/ou variété pour chaque classe en se basant sur la méthode de typologie réelle. Cette méthode permet de représenter l'ensemble des exploitations agricoles qui possèdent une similitude selon des critères structurels ou fonctionnels définis de façon réelle (4). La moyenne calculée pour chaque critère représente la valeur de référence et l'objet de sélection pour le choix de la parcelle ou l'ITK type réel (ou représentatif) qui se rapproche le plus de la moyenne de la classe ou de l'ensemble des exploitations agricoles homogènes. L'avantage de l'utilisation de la méthode de typologie réelle dans notre travail, est d'assurer une fiabilité des indicateurs calculés. Cette méthode permet aussi d'identifier des stratégies plus développées de gestion des ressources et de la pollution diffuse au niveau des exploitations agricoles réelles types de la zone d'étude et ensuite à l'échelle de la région (5).

Pour finaliser la construction du modèle technico-économique, nous avons déterminé les matrices des listes des produits phytosanitaires utilisés pour chaque ITK type réel par pression phytosanitaire (fo, m, fa). Nous avons par la suite introduit les paramètres économiques (coût de production, rendement/ha, prix de vente, etc.) et les valeurs des indicateurs environnementaux (IFT, IRSA, IRTE), des ITK type réels, qui sont considérés comme des inputs technico-économiques utiles pour l'exécution du modèle. En outre, la mise en place des fonctions objectives et des contraintes pour ces paramètres nous a permis de construire des scénarios d'optimisation du revenu agricole (plus précisément la marge agricole directe) selon les nouveaux traitements phytosanitaires introduits dans les systèmes de production étudiés. Ces nouveaux traitements concernent les produits de substitution à la fois moins toxiques, efficaces (attribué à chaque produit à dire d'expert agricole) et économiques proposés pour chaque ITK type réel par culture et/ou variété (Cripps Pink, Granny Smith, Golden, Gala, Reine des reinettes, vigne cépage rouge, blé dur d'hiver, etc.).

La proposition de scénarios alternatifs (pesticides homologues de substitution efficaces, moins toxiques et économiques) a pour objectifs de :

- minimiser le risque d'utilisation des pesticides sur la santé applicateur et l'environnement (diminuer l'IRSA et l'IRTE) ;
- maximiser la marge directe agricole (assurer une situation économique satisfaisante),

afin de présenter aux différents acteurs du territoire, notamment aux agriculteurs et aux techniciens agricoles, un outil d'aide à la décision pour une meilleure gestion des pratiques phytosanitaires. Cet outil permet de raisonner le choix des pesticides et de réduire l'utilisation des pesticides trop toxiques pour la santé de l'applicateur et l'environnement. L'introduction des sous indicateurs (IRSA aigue et chronique, IRTE Terrestre, Oiseau et Aquatique), qui résultent de la désagrégation des indicateurs environnementaux (IRSA, IRTE), dans le modèle technico-économique permet de développer d'autres niveaux d'analyse plus détaillée des scénarios de réduction de l'usage des pesticides toxiques. L'objectif de cette analyse approfondie adoptée est de mettre en place un outil d'aide à la décision pour la gestion localisée des pratiques phytosanitaires, en présentant les différents scénarios ou stratégies de choix des pesticides selon la vulnérabilité des milieux naturels (sol, air et eau) et de la santé humaine au niveau du bassin versant.

2.2. Paramètres et contraintes introduites dans le modèle technico-économique

Afin que notre modèle puisse donner des résultats économiques et environnementaux optimaux en fonction des objectifs fixés, nous avons utilisé les paramètres suivants :

- les **noms des cultures** (pomme, vigne à cépage rouge, blé dur d'hiver, etc.) ;
- les **pressions phytosanitaires** des ITK types réels (PPc) : PPc1 (pression forte), PPc2 (pression moyenne), PPc3 (pression faible) ;
- les **cibles** (ravageurs, maladies, adventices) **les plus consommatrices en pesticides** identifiées par culture (exemple pour la pomme : tavelure, oïdium,...) ;
- les **valeurs de l'IFT, de l'IRSA de l'IRTE, du nombre de passage/an et des sous indicateurs** (IRSA aigue et chronique, IRTE Terrestre, Oiseau et Aquatique) **total/ha** par culture et par pression phytosanitaire des ITK types réels ;
- les **valeurs de l'IFT, de l'IRSA, de l'IRTE, du nombre de passage/an et des sous indicateurs** (IRSA chronique et aigue, IRTE Terrestre, Oiseau et Aquatique) par cible, par culture :
 - des produits appliqués par les agriculteurs ;
 - des produits homologues de substitution.
- **nombre de passage maximum** du produit phytosanitaire **par an (pour les produits de substitution)** ;
- les valeurs des **coûts de production** par culture et par pression phytosanitaire d'ITK ;
- les **prix unitaires des produits phytosanitaires** ;
- **L'efficacité des produits phytosanitaires** par culture et par cible exprimée en pourcentage et variant de 65% à 95%. Ces valeurs sont fournies par des experts agricoles spécialisés en phytosanitaire (6,7).

Nous avons tenu compte dans ce modèle des contraintes suivantes :

- **contrainte du nombre de passages par an** : le nombre de passage par an pour chaque produit de substitution proposé ne doit pas dépasser la valeur maximale de passage au cours d'une année agricole attribuée par les fiches techniques des produits et renseignée par le site e-phy ;

- **contrainte de pression phytosanitaire** : la somme des IFT par culture/variété et par cible pour chaque scénario doit être inférieure ou égale à celle des IFT de la situation initiale ;
- **contrainte du risque de toxicité** : la réduction de l'IRSA et de l'IRTE, par cible et par culture/variété pour chaque ITK type, de 10% jusqu'à 90% si possible par rapport à la somme d'IRSA/ha et d'IRTE/ha par cible et par culture de la situation initiale ;
- **contrainte d'efficacité** : la somme d'efficacité des produits de substitution par culture et par cible doit être supérieur ou égale à celle des produits appliqués par les agriculteurs au niveau des ITK types ;
- **contrainte du coût** : la somme du coût des produits phytosanitaires ne doit pas dépasser la valeur du coût total des produits proposés par culture et par cible pour chaque ITK type.

3. Analyse des résultats du modèle technico-économique : exemple d'un ITK de pomme

Les traitements phytosanitaires exercés sur une exploitation agricole ont des effets directs sur la production et la durabilité du système de production. Pour cela, nous avons combiné les indicateurs de risque : sur la santé applicateur (IRSA) et sur l'environnement (IRTE) avec les paramètres agro-économiques (coût des produits phytosanitaires, coût de production, rendement, etc.), en tenant compte de la contrainte de réduction de l'utilisation des pesticides. Ainsi, nous avons identifié, dans les listes d'interventions des agriculteurs (listes des produits utilisés dans la situation initiale), les produits phytosanitaires appliqués par cibles pour chaque culture ayant une somme d'IRSA la plus élevée. L'identification des pesticides par cibles est dans le but de substituer ces produits phytosanitaires par d'autres produits homologues. Ces produits de substitution sont proposés selon leurs valeurs d'IRSA et d'IRTE les plus faibles, ainsi qu'en fonction des critères d'efficacité et de performance économiques. Le choix des scénarios de substitution du modèle consiste à tester les différents niveaux de réduction du risque liés aux pesticides en gardant la même valeur d'IFT de la situation initiale déterminée pour chaque ITK type. A partir d'une première boucle de diminution successive d'un pas de 10% du risque de toxicité des pesticides (Figure 1), par rapport à une situation initiale, nous essayons d'aboutir à une valeur maximale de réduction (exprimée en pourcentage) du risque sur la santé applicateur et l'environnement par culture et par cible. Pour mieux préciser la valeur maximale de diminution de l'IRSA et de l'IRTE, nous avons relancé une deuxième boucle de réduction par pas de 1% lorsque la contrainte de l'un des paramètres n'est pas satisfaite (Figure 1).

A	Réd. IRSA	Réd. IRTE	Coût max	Eff. init.	IFT	IRSA	IRSA chron.	IRSA aiguë	IRTE	IRTE terr.	IRTE ois.	IRTE aqua.	Nb Passages	Coût	Effic.	Produits
	10%	10%	668	2405	23,85	56328	20436	35892	3178	86	324	2768	25	331	2165	CARBAZINC FLASH (5 l-kg/ha), IFT : 2, 2 pas
20%	20%	668	2405	23,35	50070	17826	32244	2825	84	161	2579	24	303	2165	CARBAZINC FLASH (2,264 l-kg/ha), IFT : 0,9:	
30%	30%	668	2405	22,95	43811	15526	28285	2472	43	43	2387	24	288	2165	ADDAX (2,937 l-kg/ha), IFT : 1,47, 2 passage	
40%	40%	668	2405	22,78	37552	12926	24626	2119	0	0	2119	24	370	2165	DITHANE M 45 (6,875 l-kg/ha), IFT : 3,44, 4	
50%	41%	668	2405	22,78	31293	10616	20678	2083	0	0	2083	24	407	2165	ALLIAGE (0,6 l-kg/ha), IFT : 3, 3 passage(s) /	
50%	42%	668	2405	22,78	31293	10483	20810	2048	0	0	2048	25	434	2165	ALLIAGE (0,6 l-kg/ha), IFT : 3, 3 passage(s) /	
50%	43%	668	2405	22,78	31293	10351	20942	2013	0	0	2013	24	460	2165	ALLIAGE (0,6 l-kg/ha), IFT : 3, 3 passage(s) /	
50%	44%	668	2405	22,78	31293	10246	21048	1977	0	0	1977	24	491	2165	ALLIAGE (0,6 l-kg/ha), IFT : 3, 3 passage(s) /	
50%	45%	668	2405	22,78	31293	10118	21176	1942	0	0	1942	24	528	2165	ALLIAGE (0,6 l-kg/ha), IFT : 3, 3 passage(s) /	
51%	45%	668	2405	22,78	30668	9882	20785	1942	0	0	1942	24	538	2165	ALLIAGE (0,434 l-kg/ha), IFT : 2,17, 3 passag	
52%	45%	668	2405	22,78	30042	9593	20449	1942	0	0	1942	24	563	2165	APOTHEOSE+ (1,04 l-kg/ha), IFT : 2,08, 3 pa	

B	Somme des produits par cible ITK Initiale (I)										Passage an ha	Cout (euro/ha)	efficacité totale
	Libellé_cible	IFT_ha	IRSA_ha	IRSA Ch_ha	IRSA A_ha	IRTE_ha	IRTE T	IRTE O_ha	IRTE A_ha				
Tavelure	26,00	62587	20164	42423	3531	232	351	2948			26	668,2792	2405

Figure 1. Exemple de résultat des scénarios de réduction de l'IRSA et de l'IRTE (A) par rapport à la situation initiale (B) pour la cible de la tavelure pour un ITK type de Cripps Pink à forte pression

La figure 2 nous montre les résultats d'optimisation du système de production obtenus des différents scénarios de réduction de l'IRSA et de l'IRTE pour les cibles les plus consommatrices en pesticides identifiées pour la culture de pomme (tavelure, oïdium, carpocapse, tordeuse rouge). Nous constatons que le modèle nous a permis de déterminer les scénarios optimaux. Ces scénarios proposent des

produits de substitution composés de matières actives moins toxiques et efficaces qui sont satisfaisants au niveau économique et environnemental.

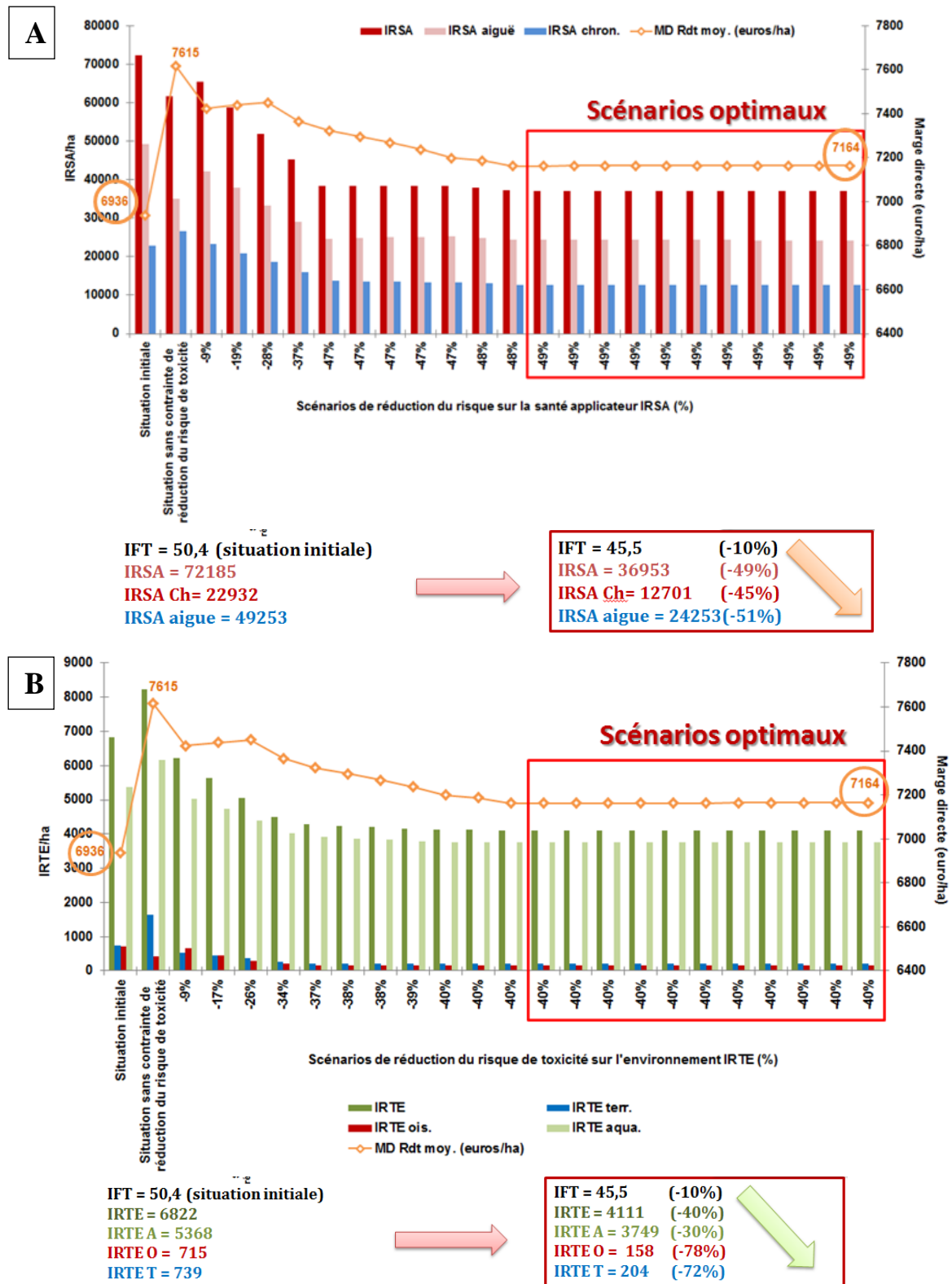


Figure 2. Schéma de l'optimisation de la marge directe (MD) selon les différents scénarios de réduction du risque de toxicité sur la santé applicateur (IRSA) (A) et sur l'environnement (IRTE) (B).

Concernant l'optimisation du système de production, grâce à ces scénarios, l'agriculteur augmente sa marge directe par ha de 3%, environ 225 €/ha (pour un rendement moyen de Cripps Pink = 55 T/ha) par rapport à la situation initiale (MD = 6936 €/ha). De plus, l'agriculteur diminue le risque de toxicité sur la santé (IRSA) jusqu'à 49%, avec une diminution de la toxicité chronique de 45% et de la toxicité aiguë de 51%, ainsi que sur l'environnement (IRTE) jusqu'à 40%. La réduction de l'IRTE est accompagnée d'une baisse de 72% du risque de toxicité sur le milieu terrestre, de 78% sur les oiseaux (milieu aérien) et de 30% sur le milieu aquatique (Figure 2). De façon générale, cette analyse permet de déduire les différents scénarios d'optimisation des systèmes de production sous contrainte de réduction des risques de toxicité sur la santé de l'applicateur et sur l'environnement liés aux pratiques phytosanitaires, en proposant des alternatives et des stratégies de choix des produits phytosanitaires pour les cibles le plus consommatrice en pesticide de chaque culture.

4. Conclusion

L'élaboration de ce modèle technico-économique d'optimisation du système de production comme outil d'aide à la décision pour une meilleure gestion des pratiques phytosanitaires, nous a permis de définir de nouveaux leviers de gestion dans le choix des produits phytosanitaires en fonction des impacts sur la santé humaine (l'applicateur) et l'environnement. Ce modèle technico-économique, en proposant des combinaisons de substitution de produits phytosanitaires, en fonction de critères d'efficacité et de performance économiques, permet à la fois la maximisation de la marge directe du système de production et la réduction des risques de toxicité liés aux pesticides. De façon générale, cet outil assure l'optimisation de l'usage des pesticides en agriculture et le contrôle de la pollution diffuse liée aux pratiques phytosanitaires.

Références Bibliographiques

- (1) **Roussary A, Salles D, Busca D, Dumont A et Carpy-Goulard F (2013)** Pratiques phytosanitaires en agriculture et environnement. *Économie rurale* 1/ 2013 (n° 333), pp 67-80
- (2) **Mghirbi, O, Ellefi K, Le Grusse P, Mandart E, Fabre J, Ayadi H, Bord JP (2015)** Assessing plant protection practices using pressure indicator and toxicity risk indicators: analysis of the relationship between these indicators for improved risk management, application in viticulture. *Environmental science and pollution research*, Volume 22, Issue 11, pp 8058–8074.
- (3) **Ayadi H, Le Bars M, Le Grusse P, Mandart E, Fabre J, Bouaziz A, Bord J-P (2014)** SimPhy: a simulation game to lessen the impact of phytosanitaries on health and the environment – The case of Merja Zerga in Morocco. *Environmental science and pollution research*, Volume 21, Numéro 7, pp 4950-4963
- (4) **Chenoune R (2011)** Quelle approche pour représenter et évaluer la diversité agricole à l'échelle de l'exploitation et de la région ? – Montpellier : CIHEAM-IAMM. 64 p. (Master of Science ; n° 114).
- (5) **Le Grusse P, Brunel L, Ruelle P, Poussin J-C, Granier J (2008)** Construction participative d'un modèle régional pour l'évaluation de la demande en eau agricole: un exemple dans le bassin de la Drôme. 13th IWRA World water congress, Sept 2008, Montpellier, France.
- (6) **Fenaco/LANDI** groupe corporatif d'entreprises suisse (2014) assortiment phyto « produits phytosanitaires pour grandes cultures et cultures fourragères », « produits phytosanitaires pour arboriculture et viticulture » et « produits phytosanitaires pour cultures maraîchères ». **Site d'internet** : http://www.landi.ch/Landwirtschaft/fra/pflanzenschutz-zielsortiment_31309.shtml
- (7) **Arvalis** : Institut technique au service des agriculteurs et des filières en France. Les fiches Produits présentent, pour chaque spécialité commerciale, les principales caractéristiques réglementaires, efficacités sur les maladies, usages autorisés par cultures, ainsi que les stades optimums d'utilisation pour les fongicides. **Site d'internet** : <http://www.fiches.arvalis-infos.fr/> consulté en Mars 2015.