

Jeu de simulation pour une gestion concertée de la pollution phytosanitaire au niveau d'un bassin versant agricole : Cas de la Merja Zerga au Maroc

Le Grusse Philippe ⁽¹⁾, Ayadi Habiba ^(1,2), Mouileh Zouhair ⁽¹⁾, Mandart Elisabeth ^(1,3), Le Bars Marjorie ⁽⁴⁾, Rio Patrick ⁽⁵⁾, Bouaziz Ahmed ⁽⁶⁾, Bord Jean-Paul ⁽²⁾

⁽¹⁾ CIHEAM-IAMM : Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier, 3191 Route de Mende, 34093 Montpellier cedex 5 – legrusse@iamm.fr ; ⁽²⁾ UM3, Route de Mende, 34199 Montpellier cedex 5 ; ⁽³⁾ CNRS, 1919 Route de Mende 34293 Montpellier ; cedex 5 ; ⁽⁴⁾ IRD – UMR G-EAU, Centre IRD de Bamako, Quartier de l'Hippodrome, rue 234, porte 2000-BP2528 Bamako Mali ; ⁽⁵⁾ INRA - UMR LAMETA, 2 Place Pierre Viala - 34060 Montpellier Cedex 1 ; ⁽⁶⁾ IAV Hassan II, BP 6202-Instituts, 10101-Rabat, MARO.

1 - Introduction

L'augmentation des situations complexes à gérer notamment celles où il y a interaction entre société et nature, et la mise en place de cadres législatifs, comme la convention d'Aarhus¹, demandant l'implication du public dans les processus de décision, ont fait des jeux de simulation des méthodes alternatives d'aide à la décision (Carton L, Karstens S, 2002). La pollution phytosanitaire diffuse est un de ces phénomènes complexes. Son processus de diffusion ignore toute limite parcellaire ou d'exploitation. De ce fait, les actions à entreprendre telles que l'organisation spatiale des cultures et la modification des pratiques agricoles nécessitent une coopération entre les agriculteurs sur des espaces voisins reliés entre eux par des fonctionnements biologiques et physiques (Hydrographie). Or, le contexte économique conduit les agriculteurs à avoir des logiques productivistes et individuelles. Ces logiques se traduisent par une gestion qui se limite au territoire de l'exploitation, sans tenir compte de la flexibilité des différents systèmes de production en terme de gestion des produits phytosanitaires et la continuité des phénomènes physiques. Afin de trouver une stratégie de gestion collective, les approches fondées sur des jeux de simulation sont devenues des outils d'appui à la participation. Tels qu'ils sont utilisés dans des travaux de recherche, les jeux de simulation définis comme « *étant des caricatures de la réalité* » (In Defense of Games, 1966) visent à : (i) construire une représentation de l'agriculture pour une analyse prospective, (ii) mettre les acteurs en situation de décision individuelle et collective, (iii) analyser collectivement les impacts des choix individuels et des décisions collectives sur le bassin versant. Lors de travaux de recherche précédents, plusieurs jeux de simulations ont été développés pour la gestion de l'eau sur différents bassins (Le Bars M et Le Grusse P. 2008 ; Le Bars et al., 2011). L'objectif de ce travail a pour but de développer un jeu de simulation dans le cadre d'une approche participative. Le principe de ce jeu de simulation est la mise en place dans un premier temps, en collaboration avec les acteurs du terrain, d'une stratégie de gestion pour la réduction de la pollution phytosanitaire diffuse sur la santé humaine et l'environnement.

¹Convention d'Aarhus : La Convention sur l'accès à l'information, la participation du public au processus décisionnel et l'accès à la justice en matière d'environnement, dite Convention d'Aarhus, a été signée lors de la quatrième Conférence ministérielle «Un environnement pour l'Europe» à Aarhus (Danemark) le 25 juin 1998. Cette Convention a été rédigée dans le cadre de la Commission économique pour l'Europe des Nations Unies (CEE-ONU), en application du Principe 10 de la Déclaration de Rio (1992).

2 - Matériels et Méthodes

2.1 - Construction du jeu de Simulation

Dans le cadre de la gestion de la pollution diffuse et dans une démarche participative, nous avons conçu le jeu, SimPhy (Simulation des Phytosanitaires) mettant les acteurs d'un territoire en situation de gestion des exploitations agricoles sous contraintes de réduction de phytosanitaires (quantité et toxicité) et soumis à des aléas de marché et de climat (types d'année de Pression Phytosanitaire). Les acteurs sont représentés par 3 types: (i) l'état mettant en application les réglementations (Réduction de l'utilisation des pesticides) ; (ii) les agriculteurs : gestion des entreprises agricoles et des agro-systèmes ainsi que des ressources naturelles communes et (iii) les professionnels de la distribution des produits agricoles (marché local ou international). Chaque joueur doit gérer une exploitation type. Deux joueurs peuvent avoir une exploitation basée sur un même système de culture, ce qui permet d'analyser les perceptions des acteurs en étudiant leur choix individuel. SimPhy est un jeu piloté (Allaya M. et *al.*, 2004). Les joueurs sont amenés à décider des assolements et des itinéraires techniques en fonction du type d'année de pression phytosanitaire (en fonction du climat), des activités de production, et des prix du marché à partir des rendements, et des impacts des phytosanitaires sur la santé humaine. Le support du jeu SimPhy est une plateforme de modélisation de type Decision Support System (DSS) « Olympe » (Attonaty J.M., et Soler L.G. (1992) où les données technico-économiques et les indicateurs de pression (Indicateur de Fréquence de Traitement (IFT) (Champeaux, C., (2006) et de risque de toxicité des phytosanitaires (Indicateur de Risque de Toxicité Humaine : IRTH² (Mandart E. et *al.*, 2010) de ces exploitations sont des données d'alimentation de la plateforme (voir figure 1). L'IFT est exprimé en nombre de doses homologuées par hectare appliquées sur la parcelle pendant une campagne culturale. Cet indicateur peut être calculé pour un ensemble de parcelles, une exploitation agricole ou un territoire. On distingue deux types d'IFT : un IFT Herbicide correspondant au cumul des traitements par les produits herbicides et un IFT Hors Herbicide correspondant au cumul des traitements par les autres types de produits (fongicides, insecticides...). L'IRTH est un indicateur à notation générique et modulable suivant le cas d'application. Il évalue la toxicité aiguë et chronique des produits phytosanitaires pour l'homme. De plus, il prend en compte certaines particularités des préparations commerciales telles que la concentration des matières actives, le type de formulation, la dose appliquée et la technique d'application.

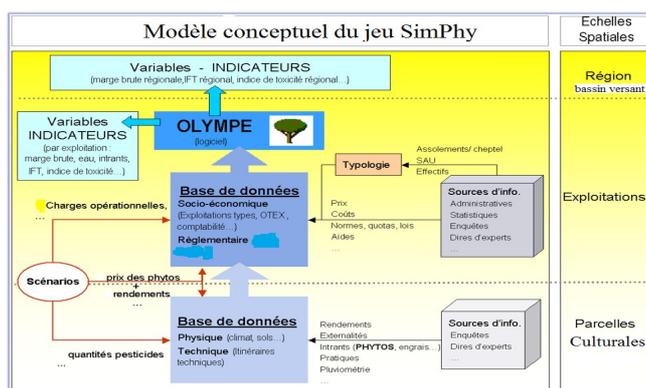


Figure 1: Modèle conceptuel du jeu de simulation avec la plateforme Olympe

Pour le cadrage des données du jeu SimPhy nous avons utilisé un modèle d'optimisation maximisant la marge brute au niveau du bassin versant sous contraintes de marché, de pression et de toxicité phytosanitaire. L'objectif de la conception de ce modèle linéaire n'est pas de

² Logiciel EToPhy (2011), dépôt APP n° IDDN.FR.001.060017.000.D.C.2011.000.31500

chercher une solution optimale mais de délimiter les paramètres de calage du jeu (construction d'abaques).

2.2 - Territoire d'application du jeu SimPhy

Le cas d'application est un territoire à agriculture intensive et diversifiée en amont d'une zone humide classée Ramsar³: le bassin versant de la Merja Zerga situé au nord-ouest du Maroc sur la côte atlantique. Elle fait l'objet d'un jumelage avec l'étang de l'Or, site Ramsar situé au sud-est de la France et deuxième site d'application pour le projet de recherche dans lequel s'inscrivent ces travaux (Projet TRAM APR Pesticides 2009). Le bassin versant de la Merja Zerga correspond à une SAU (Surface Agricole Utile) de l'ordre de 28 000 ha représentée par sept types de système de culture et dont l'effectif représente le poids de chaque système à l'échelle du bassin versant (Tableau 1).

Tableau 1 : Principaux systèmes de culture et leurs poids à l'échelle du bassin versant de la Merja Zerga

Nom du système	Céréales Betteraves Fourrage	Maraichage	Oléagineux Céréales	Arboriculture Grandes Cultures	Fraise Maraichage	Banancier Pomme de Terre Grandes Cultures	Céréales Canne Fourrage
Surface de l'exploitation en hectare (ha)	5	5	60	5	5	10	5
Effectif au niveau Bassin Versant	500	500	100	500	500	500	1000
SAU du système de culture (ha)	2500	2500	6000	2500	2500	5000	5000

Chaque système de culture dispose d'un certain nombre d'assolements possibles et pour chaque assolement trois types d'itinéraires techniques peuvent être appliqués : itinéraire technique à bas intrants (IK 1), itinéraire technique à moyens intrants (IK 2) et itinéraire technique à forts intrants (IK 3). Sachant que selon le niveau climatique de pression phytosanitaire les rendements seront différents selon les ITK, et qu'en fonction des quantités produites au niveau régional, le prix varie. Le tableau 2 illustre un exemple de variation des prix de vente de quelques types de produits agricoles.

Tableau 2 : Exemple d'abaques de prix de vente des produits agricoles suivant la production

Culture	Variation des Prix	150%	100%	80%	60%	30%
	Production 2011	Tonnes	Tonnes	Tonnes	Tonnes	Tonnes
Blé tendre	12500	0 6000	6001 - 12500	12501-14000	12501- 18000	> 18000
Blé dur	7600	0- 3500	3501-8000	8001-12000	12001 - 16000	>16000
Tournesol	7500	0-3500	3501-8000	8001-12000	12001 - 16000	>16000
Banane	70000	0-35000	35001-70000	70001-100000	100001-140000	>140000
Pomme de Terre	75000	0-40000	40001-80000	80001-120000	120001-160000	>160000

2.3 - Phases du jeu SimPhy et Scénarios testés

Au cours d'une première expérience d'une semaine avec des étudiants de Master 2, le jeu SimPhy a été testé sur une durée de six campagnes agricoles dont 2011 constitue l'année de référence et 2016 la dernière année du jeu. Il s'est déroulé sur deux phases. Au cours de chaque phase un certain nombre de scénarios ont été testés.

³ <http://www.ramsar.org>

L'objectif de la Convention de Ramsar (ratifiée en 1971 à Ramsar en Iran) est d'enrayer la tendance à la disparition des zones humides, de favoriser leur conservation, ainsi que celle de leur flore et de leur faune et de promouvoir et favoriser leur utilisation rationnelle.

La première phase est composée de quatre périodes de jeu. La gestion des exploitations est faite individuellement sans concertation entre les joueurs et sous contraintes de type d'années de pression phytosanitaire, de marché et de réglementations. Quatre scénarii ont été testés :

- Scénario 1: Maximisation de la marge brute sous contraintes de marché (2012).
- Scénario 2 : Maximisation de la marge brute sous contraintes de marché et de climat (année à forte pression phytosanitaire) (2013).
- Scénario 3: Maximisation de la marge brute sous contraintes de marché et de réglementation (réduction de 30% de l'IFT) (2014).
- Scénario 4: Maximisation de la marge brute sous contraintes de marché, de climat (année forte pression phytosanitaire) et de réglementation (réduction de 50% de l'IFT et de 30 % de l'IRTH) (2015).

Dans la deuxième phase du jeu, la gestion des exploitations est faite collectivement par concertation et négociation de règles de gestion entre les joueurs sous contraintes du marché, de pressions phytosanitaires et de réglementations. L'objectif de la concertation est de mettre en place une stratégie de gestion permettant la réduction de la pression phytosanitaire et des risques de toxicité humaine sans mettre en danger la durabilité économique des exploitations. Au cours de cette phase un scénario a été testé.

- Scénario 5 : Dans le cadre d'une gestion collective, en 2016, les exploitants ont pour objectif de maximiser la marge brute sous contrainte de marché, de climat (année à forte pression phytosanitaire) et de réduction de leur IFT global de 50% par rapport à celui de 2013 (IFT Référence). Les exploitants qui ne respectent pas la réglementation seront taxés sur la base de 2 % de leur marge brute pour un dépassement de 1 % de leur IFT Objectif.

Dans le cadre d'une gestion collective de la pollution phytosanitaire un marché de vente des droits à polluer est organisé pour réaffecter les IFT entre exploitations. Les transactions sont faites sur la base de paiement de 50 % de la marge dégagée par IFT produit dans chaque système demandeur et au prorata de l'offre des différents systèmes demandeurs permettant ainsi une base équitable d'échange.

3 - Résultats et discussions

Les séances de simulation mettant en œuvre ce jeu ont plusieurs objectifs : Tout d'abord en terme d'apprentissage et de compréhension des contraintes qui pèsent sur les différents systèmes de production , ensuite comme révélateur de différentes stratégies d'adaptation et de gestion du risque (en fonction du niveau d'aversion au risque), enfin comme expérience permettant de juger de la faisabilité d'objectifs réglementaires imaginés . Les deux grandes phases du jeu, en décision individuelle au niveau des différents systèmes de production et ensuite avec une « Gestion collective » vont nous permettre de juger de la pertinence d'introduire un processus de négociation pour la gestion d'un problème de pollution diffuse.

Dans la première partie du jeu, les différents scénarios ont permis aux « joueurs » d'évaluer l'impact de la variabilité climatique et du marché dans les différents systèmes de production. Les deux premières périodes de jeu 2012 et 2013 ont ainsi permis aux « joueurs » d'apprendre et de définir des procédures de gestion des quantités à produire par rapport aux potentialités du marché et à gérer le risque climatique dans le choix des itinéraires techniques. L'introduction à partir de 2014 de contraintes réglementaires à gérer individuellement met en exergue l'inégalité des possibilités d'adaptation entre les différents systèmes et les différentes stratégies possibles dans un même système, ceci en fonction notamment des possibilités et des performances des différents itinéraires possibles. L'exemple de l'exploitation type « Oléagineux Céréales G1 » (voir figure 2) illustre les conséquences des décisions de l'agriculteur sur la marge brute, l'IFT et l'IRTH. Au début du jeu les pertes induites par une méconnaissance des marchés et du risque

climatique ont été importantes. Mais d'une campagne agricole à l'autre, les joueurs arrivent à mieux s'adapter aux aléas dus aux types d'années de pression phytosanitaire, au marché et à la contrainte réglementaire. En revanche la perception de l'environnement change d'un acteur à l'autre. Dans les mêmes conditions technico-économiques et avec le même système de culture « Oléagineux Céréales » les résultats sont différents. En examinant les résultats des exploitations type « Oléagineux Céréales G1 » et « Oléagineux Céréales G2 » qui représentent chacune 50 exploitations réelles du même système de culture, on constate que la marge du groupe G1 est toujours plus élevée que celle du groupe G2, et que le groupe G1 a un indicateur de pression moyen sur la période plus faible que le groupe G2. Mais le résultat est inverse pour l'indicateur de Toxicité (IRTH). Cette différence pose une question quant à l'objectif de réduction à atteindre, il va clairement dépendre du choix de l'indicateur. La combinaison des deux peut être une solution, comme cela a été testé dans le jeu mais complique la gestion.

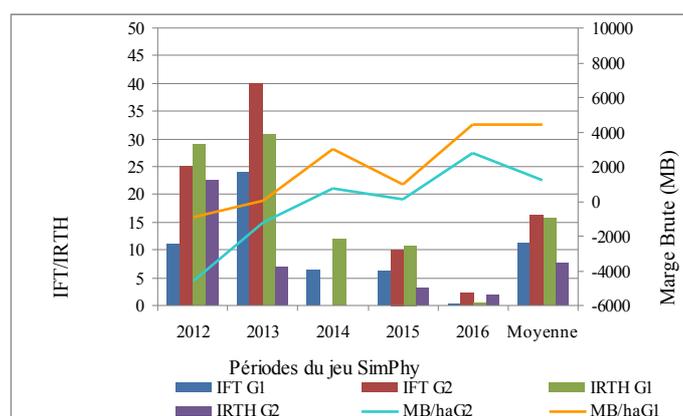


Figure 2 : Variation des marges brutes des exploitations, de la pression phytosanitaire (IFT) et des risques de toxicité humaine (IRTH) suivant la perception de l'agriculteur

La variabilité inter groupe est cependant toujours plus grande. Les caractéristiques des systèmes de production contraignent plus ou moins les marges de décisions, en fonction des possibilités de changement d'itinéraires techniques et notamment pour ceux ayant des productions pérennes où la flexibilité en termes de choix techniques est plus faible. Le groupe de producteurs de bananes sous serre est notamment dans l'incapacité de respecter le niveau de réduction des produits phytosanitaires du fait d'un choix d'itinéraires techniques où le niveau d'utilisation des intrants reste élevé et d'un système de production rigide (investissements en serre et production pérenne). Du fait de la rentabilité de ce système l'agriculteur ne peut que payer la taxe ou arrêter la production, il choisit bien sur de payer la taxe.

Dans la deuxième phase du jeu, le test de scénario d'une gestion collective du territoire a permis un dialogue direct avec et entre les acteurs et a facilité la concertation au niveau régional. Les résultats de la phase de gestion collective et négociation entre les acteurs a permis aux agriculteurs de réduire la pollution diffuse tout en assurant une meilleure durabilité économique des exploitations agricole (voir figure 3). L'ensemble des taxes perçues versées par les agriculteurs a été redistribué dans les transactions et a permis d'améliorer de manière significative les marges brutes et de diminuer la pression phytosanitaire globale sur l'ensemble du territoire. La possibilité de laisser certains systèmes de production dépasser les normes en rachetant des droits à d'autres producteurs, ceci bien évidemment avec un respect de la charge de pression Phytosanitaire à l'hectare et sous contrainte de diminution globale a permis dans le jeu de desserrer des contraintes, et in fine d'améliorer à la fois la performance économique et environnementale du territoire.

Tableau 3 : Indicateurs au niveau de l'ensemble du bassin versant

Bassin versant	IFT /ha Moyen Bassin versant	Marge brute moyenne /ha	Marge/IFT	IRTH/ha
Année Référence 2013	4,10	20824	5082	3690
Gestion Individuelle(2015)	1,90	16725	8786	2155
Gestion collective (2016)	1,34	17998	13421	1549
Variation % 2015 2013	-53,63	-19,68	72,9	- 41,61
Variation % 2016 2013	-67,30	-13,57	164,1	-58,03
Variation % 2016 2015	-29,47	7,61	52,8	-101,93

4 – Conclusion et Perspectives

Le jeu SimPhy n'est pour l'instant qu'un outil pédagogique, il permet un apprentissage dynamique et interactif de la gestion des systèmes de productions agricoles et de mesurer les difficultés de mise en œuvre de mesures réglementaires visant à réduire l'utilisation des produits phytosanitaires. Basée sur des données réelles de systèmes techniques, la simulation a permis de mettre en évidence la variabilité du potentiel d'adaptation de différents systèmes de production dans leur conduite technique, et à un degré moindre, dans un même système de production une variabilité des stratégies possibles. Ce jeu a permis également de comparer la somme des optimisations individuelles et une optimisation collective montrant un potentiel de gestion des contraintes avec une amélioration globale des performances économiques et environnementales.

Le jeu SimPhy doit être prochainement complété par l'introduction d'un indicateur de risque de toxicité environnementale (IRTE), qui amènera une nouvelle variabilité liée à la spatialisation des productions. La propension à polluer variant en fonction de la position géographique caractérisée par des variables comme le type de sol, sa composition en matière organique, la distance à un cours d'eau, la pente.... L'objectif in fine sera d'utiliser cette plateforme de simulation avec des producteurs afin de faire émerger des règles de gestion collective sur un territoire.

Mots-clés : jeu de simulation piloté, participation, bassin versant, outils d'aide à la décision

Références Bibliographiques

- Allaya M., Attonaty J.M, Le Bars M., Le Grusse Ph. et Mahjoubi R., 2004. MEDTER « Jeu de simulation pour l'aide à la décision en agriculture » CIHEAM/IAM Montpellier novembre 2004 ISBN : 2-85352-2938.
- Attonaty J.M., Soler L.G. (1992). Aide à la décision et gestion stratégique : un modèle pour l'entreprise agricole. *Revue Française de Gestion*, 1992, n°8, p. 45-54.
- Carton L, Karstens S, 2002. The W4S game: exploring the future of consequences of water management. In: Mayer I, Veeneman W, eds. *Games in a world of infrastructures. Simulation games for research, learning and intervention*. Delft : Eburon.
- Champeaux, C., (2006). Recours à l'utilisation de pesticides en grandes cultures : évolution de l'indicateur de fréquence de traitements au travers d'enquêtes "pratiques culturales" du SCEES entre 1994 et 2001. In: INRA, (Eds.), *Rapport d'étude commandité par le MAP (DGFAR)*.
- In Defense of Games, 1966. *American Behavioral Scientist*, Vol. X, n° 2, p. 3-4.
- Le Bars M, Le Grusse P, Albouchi L, Poussin JC, 2011. Un jeu de simulation pour préparer une gouvernance de l'eau : une expérience en Tunisie centrale. *Cah Agric* 20 : doi : 10.1684/agr.2010.0463.
- Le Bars M, Le Grusse P. 2008. Use of a decision support system and a simulation game to help collective decision-making in water management. *Computers and Electronics in Agriculture*. 01/07/2008, vol. 62, p. 182-189.
- Mandart E, Le Grusse Ph, Ayadi H, Fabre J and Attonaty J-M (2010) - Un indicateur de risque de toxicité des pesticides en « sante humaine » comme paramètre d'un outil d'aide à la décision en production agricole: application à un territoire du sud ouest de la France. *Actes du 40^e congrès scientifique du GFP : Pesticides et environnements méditerranéens*. 26-28 mai 2010 Banyuls sur Mer.

