Rapport scientifique

TRam Gestion de la Toxicité en zone Ramsar

APR Pesticides 2009

Responsable scientifique du projet

Le Grusse Philippe

Responsables des équipes impliquées :

Mandart Elisabeth	**CIHEAM-IAM Montpellier**
Pr Bouaziz Ahmed	**IAV Hassan II Rabat Maroc**
Le Bars Marjorie	**IRD UMR GRED**
Pr Bord Jean Paul	**Université Montpellier III UMR GRED**
Fabre Jacques	**Diataé SAS Montpellier**

Partenaires de terrain : France

Chambre d'agriculture de l'Hérault
Syndicat Mixte du Bassin de l'Etang de l'Or

Partenaires de terrain : Maroc

Offices de Mise ne valeur Agricole (Gharb, Loukkos) Maroc.
Direction Régionale des Eaux et Forêts et de la lutte contre la désertification du Nord Ouest-Kénitra, Maroc.

1. Contexte Scientifique et Sociétal ___ *3*

- **Contexte environnemental** ___ **3**
- **Contexte réglementaire** ___ **4**
- **Contexte Socio-économique** ___ **5**
- **Contexte Sociétal** ___ **6**
- **Contexte Scientifique** ___ **6**
- **Les objectifs du projet Tram** ___ **8**

2. Les Territoires ___ *9*

1. Des zones Ramsar ___ **9**

2. La Merja Zerga (Maroc) ___ **9**

Présentation générale de la lagune ___ 9
Une agriculture intensive et diversifiée en amont de la Merja Zerga ___ 10
Un exutoire soumis à la pollution phytosanitaire diffuse ___ 11

3. L'Etang de l'Or (France) ___ **12**

Présentation générale du Bassin versant et problématique générale de pollution diffuse : ___ 12
Organisation administrative et structurelle ___ 12
Problèmes de l'Etang de l'Or : Un territoire riche en biodiversité…Mais une qualité des eaux dégradée 14
Importance de l'agriculture ___ 15

3. Matériel et Méthodes ___ *16*

1. Données ___ **16**

a) Conception de la base de données ___ 16
b) Automatisation des données ___ 16
c) Analyse des données et présentation des résultats ___ 17

2. Indicateurs ___ **19**

Indicateurs d'évaluation des impacts des pesticides sur la santé humaine et l'environnement ___ 19
Multitude d'indicateurs et spécificité des méthodes ___ 20

- Conception et calcul d'Indicateur de Risque sur la Santé de l'Applicateur (IRSA) ___ 21
- Pondération de l'IRTm.a par le type de formulation ___ 22
- Facteur de pondération lié à la dose appliquée ___ 22
- Conception et calcul de l'indicateur de Risque de Toxicité Environnementale (IRTE) ___ 23
- Diagnostic de la pollution phytosanitaire diffuse : application et calibrage ___ 26
- Calcul de l'IRSA selon des données d'usage ___ 26
- Calcul de l'IRTE selon le milieu récepteur ___ 27

3. Modélisation et aide à la décision ___ **28**

Niveau de structuration des décisions ___ 28
La modélisation participative, une nécessité pour l'aide à la décision peu structurée ___ 28
Les Systèmes d'Informations Géographiques (SIG) ___ 29
Les SIG comme outils de gestion du territoire ___ 30

Les Systèmes Interactifs d'Aide à la Décision (SIAD) dans le domaine de l'agriculture 31
Exemple la plate-forme technico-budgétaire « Olympe » 32
Les jeux de simulation 33
Le jeu de simulation « Simphy » 33
Support informatique du jeu SimPy: couplage d'un DSS avec des indicateurs et une base SIG 35
Les systèmes de productions types et leur base de données technico-économiques 36
Création des indicateurs : couplage du modèle « Merja_Phytos » avec les indicateurs de pression et de risques de toxicité pour la santé humaine (IRSA) 37

4. Les Résultats 40

1. Logiciel EtoPhy / Fonctionnalités 40

2. Diagnostic des pratiques et modèles de bassin 48

- Jeu de simulation pour l'aide à la décision dans les pratiques phytosanitaires au niveau d'un territoire: SimPhy 50

Territoire et parties prenantes du jeu de simulation SimPhy 50
Phases du jeu SimPhy et scénarios testés 52

- Perspectives de recherche et transferts 55

Références Bibliographiques générales 56

1. Contexte Scientifique et Sociétal

- **Contexte environnemental**

La pollution par les produits phytosanitaires pose un problème à l'interface de l'agriculture et de la ressource en eau. Cette pollution induit des problèmes de gestion (i) des eaux destinées à la consommation, (ii) des écosystèmes aquatiques et (iii) de la qualité des produits agricoles. La maîtrise et la réduction du niveau de la pollution phytosanitaire diffuse d'origine agricole sont devenues des enjeux majeurs pour la ressource en eau potable, la santé humaine et l'équilibre des écosystèmes.

La France a développé des systèmes de culture intensifs fondés sur de hauts rendements et un recours massif aux produits phytosanitaires. Elle est le troisième consommateur de pesticides mondial et le premier européen (expertise scientifique INRA/Cemagref 2005) (2005). Les études faites par l'IFEN en 2006 (2005)ont fait état d'une contamination quasi-généralisée des eaux souterraines (sur 61% des points de mesures) et de surface (sur 96% des points de mesure) par une ou plusieurs substances.

Au Maroc les secteurs irrigués sont les principaux utilisateurs de produits phytosanitaires. Cependant, ces secteurs doivent relever de multiples défis pour assurer leur durabilité : ressources en eau insuffisantes, dégradation de l'environnement et notamment de la qualité des eaux et des sols (Debbarh, 2001). Aux côtés des pollutions urbaines et industrielles, les pollutions agricoles par les nitrates et les pesticides sont pointées du doigt. . Bien qu'encore peu documentés du fait du coût élevé des analyses (El Boukari et al., 2008), les risques de pollution par les pesticides sont également une préoccupation majeure (ONEM, 2005). Le secteur des fruits et légumes, essentiellement concentré dans quelques bassins de production, est particulièrement visé car grand consommateur de pesticides. De plus, depuis 2008 le Maroc a défini « le plan Maroc vert » dont « l'ambition est d'attirer dans le secteur agricole des investissements de près de 150 milliards de DH d'ici 2020. L'objectif : générer, à

terme, un PIB de 100 milliards de DH par an. Cette nouvelle richesse permettrait d'améliorer les revenus des agriculteurs et de garantir davantage la sécurité alimentaire de 30 millions de Marocains. Par la même occasion, il s'agit de protéger les ressources naturelles des différentes régions tout en intégrant l'agriculture marocaine au marché national et international»[1]. Si une réflexion collective n'est pas menée, on peut émettre l'hypothèse que l'amélioration des rendements et donc du revenu des agriculteurs par intensification des cultures entrainera d'ici 2020 à une importante pollution diffuse par les produits phytosanitaires.

- **Contexte réglementaire**

Pour faire face à ce problème, l'Union Européenne et ses Etats-membres, dont la France, ont *mis en place* plusieurs directives :

1) Une directive pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau (DCE): la Directive 2000/60/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 octobre 2000[2] *modifiée par la Directive 2008/32/CE, concernant les compétences d'exécution conférées à la Commission. Cette Directive regroupe l'ensemble des textes antérieurs portant sur la gestion de l'eau, et prend en compte plusieurs rapports sur l'état de l'environnement et la mise en œuvre de la politique européenne. La Directive insiste sur la nécessité de réduire les émissions de produits dangereux dans les eaux en fixant l'objectif d'atteindre «un bon état écologique et chimique des milieux aquatiques d'ici 2015 », et considère que "l'eau n'est pas un bien marchand comme les autres mais un patrimoine qu'il faut protéger, défendre et traiter comme tel". Cette directive demande aux Etats membres de coordonner les mesures administratives au sein de districts hydrographiques. Chaque district administratif doit faire l'objet d'une analyse de ses caractéristiques, de l'incidence de l'activité humaine sur l'état des eaux (de surface et souterraines) et une analyse économique de l'utilisation de l'eau. Au niveau national, la DCE invite à passer à une* ***logique de résultats*** *et comporte plusieurs exigences :*

- *atteindre le bon état des eaux et des milieux aquatiques d'ici 2015 et stopper la dégradation de l'eau et des milieux aquatiques, dont les zones humides*
- *mettre l'écosystème au premier plan pour la bonne gestion de l'eau,*
- *réduire les rejets toxiques,*
- *favoriser la participation active du public, condition du succès,*
- *être transparent sur les coûts liés à l'utilisation de l'eau, y compris les coûts liés à la réparation des dommages pour l'environnement.*

2) Une règlementation concernant les produits phytosanitaires : Directive 91/414/CE concernant la mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques, la directive 98/8/CE concernant les produits biocides, Directives 2004/28/CE concernant les produits anti parasitaires, directive 2006 concernant l'hygiène et l'alimentation. Ces approches, constituées d'instruments non économiques (réglementations directes, normes) et économiques (taxes et subventions) ont été imposés sans prise en compte de la spécificité des différents territoires et de la multiplicité des facteurs qui régissent la pollution (multiplicité et spécificité des molécules, climat, type de sol, topographie, intérêts des acteurs, pratiques culturales …) et ont conduit à des résultats non satisfaisants puisque le problème continue à se poser. Suite au Grenelle de l'environnement, le plan Ecophyto 2018 [3] mis en place par le ministère de l'agriculture et de la pêche Français vise à réduire de 50% l'usage des produits phytosanitaires en agriculture d'ici 2018.

[1] http://www.entreprendre.ma/Plan-Maroc-Vert-ce-que-produira-chaque-region_a1929.html

[2] Journal Officiel des communautés Européennes du 22 ;12 ;2000

[3] http://www.actu-environnement.com/ae/news/plan_ecophyto_ministres_5672.php4

- **Contexte Socio-économique**

La France est un des premiers producteurs et exportateurs de produits agricoles au niveau international, l'agriculture y reste un secteur de premier plan au niveau économique.

Au Maroc, avec seulement 13%à 15 % de la SAU nationale, les secteurs irrigués sont les principaux utilisateurs de produits phytosanitaires et représentent 45% de la valeur ajoutée agricole, 50 % de l 'emploi rural et 75% des exportations. D'ici 2020, l'application du plan Maroc Vert risque d'entrainer une augmentation des surfaces irriguées.
Les produits phytosanitaires sont de grande importance pour l'agriculture intensive. Ils assurent la protection des productions agricoles et l'augmentation des rendements. Des études scientifiques ont révélés leur efficacité et fiabilité dans de nombreux cas, sur de grandes surfaces. Les résultats de la recherche conduite en irrigué dans les Doukkala au sud du Maroc sur le blé montrent que les pertes de rendement sont de l'ordre de 30 quintaux par hectare sans usage des herbicides et de 7 à 10 quintaux sans usage des fongicides. Les pertes liées au non-usage d'insecticides sont négligeables (PNTTA, 1999).
Au niveau mondial, la hausse des ventes de pesticides a atteint 15% en moyenne. Elle a progressé de 24% en Afrique, 20% en Amérique latine, 16% en Asie et 6% en Amérique du Nord aux cours des dernières années (http://www.pleinchamp.com).

Au Maroc, l'importation, la fabrication, la vente, ou la distribution même à titre gratuit des produits pesticides à usage agricole est sujette aux conditions prévues par la loi 42-95 et de ses décrets d'application. L'absence d'unités de fabrication fait que 95 % de produit phytosanitaire sont importés prêt à l'emploi (en moyenne 15425 tonnes/an). Par contre 35 % à 45 % de ce qui est importé est reconditionné en petits emballages adaptés pour satisfaire les besoins des petits agriculteurs. Le marché des pesticides est tenu à 90 % par des entreprises privées et se chiffre à environ 730.4 millions de Dirhams (Crop life Maroc, 2010). D'après l'Association Marocaine des négociants Importateurs et formulateurs de produits PHYtosanitaires (AMIPHY) plus de 600 préparations commerciales sont importés et commercialisés au Maroc. Le tonnage de produits phytosanitaires ne cesse d'augmenter depuis 2005.
Ces augmentations sont dues principalement au transfert des terres de l'Etat au privé dans le cadre du projet de partenariat public-privé, au lancement du Plan Maroc Vert, ainsi qu'à l'apparition de nouveaux ravageurs et maladies de cultures (MAPM, 2010). 831 spécialités commerciales de pesticides et 320 matières actives ont été recensées (ONSSA, 2011). Les insecticides viennent en premier, avec des pourcentages allant de 35 % à 40 %, suivis par les fongicides avec 35%, ensuite viennent les herbicides qui peuvent osciller entre 10 % et 15 % selon les années et les conditions climatiques (Crop Life Maroc, 2011). À noter qu'une part du marché estimée entre 10 % et 15 % est issue de la contrebande et la contrefaçon (El Ouilani, 2011).

La nécessité de réduire la pression phytosanitaire est aujourd'hui un objectif que l'ensemble des acteurs approuve des deux côtés des rives de la Méditerranée, pour des raisons de santé humaine et de durabilité des écosystèmes.

Par ailleurs, en France, les directives du plan Ecophyto 2018[3] et les normes de résidus dans les produits alimentaires risquent d'augmenter la vulnérabilité des exploitations agricoles face aux risques sanitaires et d'engendrer une diminution des rendements. Dans un contexte international où la fluctuation des prix sur les marchés des matières premières et des produits alimentaires a montré la fragilité du système, une baisse globale de la production des exploitations induisant une baisse de revenus des agriculteurs, ou une augmentation des prix alimentaires est à craindre.
Que ce soit sous l'angle « mécanique » (hydrologie) ou sous l'angle « technique » (taille du système à modéliser), que ce soit du point de vue de l'instrumentation publique (détermination de la taille

optimale d'un marché de permis à polluer, par exemple), il est nécessaire de prendre en compte la dimension spatiale du problème qui est assez largement endogène et, dans la logique de notre démarche, une dimension du problème à construire avec les parties. Les acteurs ont souvent des intérêts opposés et des connaissances différentes et partielles dont il faut gérer le potentiel de complémentarité. Face à la difficulté de réalisation des objectifs respectifs des différents acteurs ces derniers vont devoir par des concessions construire des solutions collectives. Un enjeu majeur de ce projet sera de déterminer les leviers de gestion des agriculteurs.

- **Contexte Sociétal**

L'impact des produits phytosanitaires sur l'environnement et sur la santé humaine est aujourd'hui au cœur des préoccupations sociales. Faisant suite aux conclusions du Grenelle de l'environnement, un plan « Ecophyto 2018 » de réduction de 50% de l'usage des pesticides dans un délai de dix ans a été élaboré en se fixant comme objectif de maintenir également la production agricole. Analyser l'impact d'une telle décision sur l'environnement ainsi que sur la viabilité de l'activité agricole, dans un contexte socio-économique et climatique changeant et incertain, requière des outils d'analyse complexes, interdisciplinaires et intégrant tous les composants du système. Cependant, la plupart des études, qui visent à établir la toxicité de ces produits sur la santé humaine et sur la biodiversité, ont été menées en conditions contrôlées (laboratoire, parcelle). Par ailleurs, la pression phytosanitaire (ex. indicateur IFT) est estimée directement à partir de la quantité de produits utilisés sans tenir compte de l'aspect diffus de ce type de pollution et sans tenir compte de la variabilité des niveaux de toxicité des produits. Le passage à des échelles plus large pour un effet agrégé de ces produits est du fait très difficile à mettre en œuvre à cause de la complexité des systèmes agricoles. Cependant, les principales décisions en termes de choix de système de production (niveau d'intensification) ou d'orientation technico-économique sont prises à l'échelle de l'exploitation ou celle de la région.
Pour la mise en oeuvre d'une politique de réduction des produits Phytosanitaires, il est indispensable d'établir des indicateurs. L'IFT (Indicateur de Fréquence de traitements), proposé par le gouvernement Français et issu d'un indicateur Danois, est un indice de pression ne tenant nullement compte des propriétés toxicologiques des molécules contenues dans les produits. Il est calculé par hectare pour chaque traitement réalisé et correspond au ratio de la dose appliquée par l'agriculteur sur la dose homologuée du produit. Il existe un ITF herbicide et un IFT hors herbicide par culture et par exploitation correspondant à la somme des IFT de chaque traitement herbicide et non herbicide. Du fait de sa limitation à l'expression d'une fréquence de traitement, cet indicateur nécessite dans son application la définition de normes locales (régionales) et ne permet pas une comparaison pertinente des cultures et des systèmes de production. Actuellement certaines cultures (principalement en arboriculture et en maraîchage) ne possèdent pas de référence régionale, d'autres présentent de grandes diversités d'une région à l'autre. L'IFT peut être pertinent en termes de corrélation avec un niveau de toxicité dans une agriculture homogène en termes de production et de conditions climatiques ; qu'en est-il dans une agriculture diversifiée et dans des conditions climatiques variables?

- **Contexte Scientifique**

Les pouvoirs publics ont fait des grands investissements dans la recherche scientifique afin de trouver d'autres alternatives à l'utilisation intensive des produits phytosanitaires. Parmi les solutions préconisées : (i) des nouvelles molécules dites de grandes efficacités à faible dose alors que leurs effets toxiques sur l'environnement sont encore mal connus, (ii) des Plantes Génétiquement Modifiées (PGM) qui ne nécessitent pas de traitements phytosanitaires. Cependant, ces solutions substitutives n'ont pas été sans contrepartie sur l'homme et son environnement. Les nouvelles molécules diffusent

et contaminent l'environnement et les PGM font craindre la pollution génétique et la diminution de la biodiversité.

Suite au Grenelle de l'environnement[4] et au plan Ecophyto 2018, l'une des mesures préconisée en termes de protection des ressources est le suivi d'indicateurs dont l'indicateur de fréquence de traitement (IFT)[5]. Cet indice reflète l'intensité du recours aux produits phytosanitaires en agriculture. Si l'IFT peut être extrapolé par culture, le cumul d'IFT pour différentes cultures n'a pas de sens. Cet indice ne tient pas compte des propriétés de toxicité, de transfert dans le sol, et de demi-vie des matières actives et n'est donc pas un bon indicateur de toxicité pour la santé humaine et l'environnement. Il est donc pertinent de déterminer de bons critères pour établir des impacts de pression phytosanitaires qui ne tiennent pas comptent uniquement de la quantité de matière active déposée sur les sols. Malgré certains travaux effectués en Norvège[6] et au Québec[7] permettant de calculer un Indicateur de Risque pour la Santé (IRS) et pour l'environnement (IRS) basé sur les propriétés physicochimiques des molécules actives, la majorité des indicateurs environnementaux développés (Devillers et al., 2005) sont calculés à partir d'une charge de phytosanitaires surfacique et ne tiennent pas compte de la spécificité des matières actives et de leur toxicité (Zahm et al., 2007). Certains sont adaptés à différentes échelles spatiales (parcelle, bassins versants), au milieu physique (topographie, hydrographie) et traduisent un risque potentiel de transfert de pesticides (Macary and Vernier, 2005).Mais l'utilisation de ces indicateurs dans un but d'aide à la décision ne tient pas compte des impacts socio-économiques de l'application des politiques agro-environnementales (exemple, le plan ecophyto 2018) sur les agriculteurs.

Dans la gestion des ressources naturelles, un objectif central est de construire une grille d'analyse du problème, permettant de positionner la gestion au sein de la société et essayer de trouver une solution durable. Une des approches est fondée sur la théorie économique (Pigou, 1920). Les ressources naturelles constituant souvent un bien public, une approche économique classique de la gestion de celles-ci repose sur une intervention du régulateur. A même de percevoir les dommages que leur consommation entraîne pour la société, le régulateur est capable de fournir des signaux guidant les agents dans la mobilisation de ces ressources. L'instrument de guidage est généralement une taxe, dans la tradition de Pigou (Pigou, 1920). Cette logique s'étend mal aux pollutions diffuses, auxquelles on ne peut associer de manière certaine un responsable bien défini. Plusieurs contournements de cette difficulté ont été proposés (Rio, 2008) qui reviennent à mobiliser une activité observable supposée fortement liée aux émissions polluantes : quantité d'intrants utilisée, modélisation fine des décisions associée à une modélisation biophysique, etc. Ces difficultés ont été identifiées quant aux pratiques culturales notamment et ont conduit à mettre en garde l'espoir mis dans diverses préconisations, en raison du nombre limité des observations et du manque de synthèse des informations.

La recherche des modalités économiques d'une intervention préventive, dans ce domaine nous a conduit à rechercher une démarche capable, dans un premier temps d'analyser les techniques agricoles, la politique publique et le problème de la pollution phytosanitaire puis de déterminer et de quantifier le compromis entre la rentabilité économique et l'efficacité environnementale des interventions politiques. Pour surmonter les problèmes de l'économie néoclassique (et bien évaluer une externalité négative, la pollution phytosanitaire), nous avons choisi une autre méthodologie basée sur l'utilisation d'une fonction de production « d'ingénieur ». Cette méthodologie appartient à la

[4] http://www.legrenelle-environnement.fr/IMG/pdf/SyntheseG3.pdf

[5] http://agriculture.gouv.fr/sections/thematiques/environnement/prevention-des-pollutions/produits-phytosanitaires6167/produits-phytosanitaires/

[6] Pesticide risk indicators for health and environment-Norway. Norwegian Agricultural Inspection Service, http://landbrukstilsynet.mattilsynet.no/dokument_eng.cfm?m_id=201&d_id=1221/

[7] IRPeQ – Santé et environnement http://www.mapaq.gouv.qc.ca/ , http://www.mddep.gouv.qc.ca/ , http://www.inspq.qc.ca/

catégorie de modélisation participative. Elle est fondée sur le couplage de modèles agro-économiques (Olympe (Le Bars and Snoeck, 2007) (Le Bars and Le Grusse, 2008) , Lomagri[8]) et d'indicateurs de risques liés aux pesticides. Cette méthodologie permet d'intégrer un grand nombre de données parfois de grande hétérogénéité.

Pour cela nous abordons la question de **la modélisation comme support aux processus collectifs de décision** (Attonaty et al., 1991) (Chatelin et al., 1993) (Bousquet, 2001). Les Systèmes Interactifs d'Aide à la Décision (SIAD) intéressent des décideurs individuels. Ils mettent l'accent sur le processus de raisonnement des choix et l'évaluation de leurs conséquences. Ils ont pour objectif d' « *amplifier le raisonnement du décideur sur la base de ses propres représentations »* (Courbon, 1993). Ces systèmes ont une place privilégiée lorsque les problèmes sont peu, voire non structurés (Stabell, 1988) (Lévine and Pomerol, 1989) (Attonaty et al., 1999). Les modèles utilisés sont de formes variées, on distingue des modèles pour *comprendre* mais aussi des modèles pour *prédire* (Legay, 1996). Ces modèles peuvent être : des modèles de représentation des processus physiques (Donnely and Moore, 1997), des modèles spatialisés (SIG) (Caplat et al., 2006), des modèles de représentation des pratiques agricoles (Chatelin et al., 1993) (Attonaty et al., 1999), des modèles économiques (Scott Morton, 1971). Ces modèles peuvent être utilisés seuls ou conjointement pour participer aux processus de décision (modélisation d'accompagnement) (Barreteau, 2003) (Mendoza and Prabhu, 2005) (Le Grusse et al., 2007) .

De plus, pour une modélisation efficace et une meilleure gestion de la ressource en fonction des différents usages, il est important que les usagers et parties prenantes reconnaissent dans les objectifs et les moyens proposés par les communautés scientifiques et les pouvoirs publics, une contribution significative au maintien par exemple d'un patrimoine collectif (Ollagnon, 1989). Une telle hypothèse met en jeu les représentations que les usagers et parties prenantes dans la gestion et l'utilisation de l'écosystème se font de sa dynamique et des interactions entre règles d'usages et comportements des usagers. Notamment, elle touche aux interactions entre le niveau de l'organisation collective et celui des adaptations individuelles à ces règles, interactions qui peuvent induire dans certaines conditions des modifications profondes et plus ou moins irréversibles de la nature de l'écosystème (Etienne, 2009). **Elle appelle donc une méthodologie fondée sur le couplage de la modélisation et de l'évaluation par les acteurs impliqués.** Nous utiliserons les jeux de simulation (Piveteau, 1996) (Le Bars and Le Grusse, 2008) comme support à décision collective. Dans ce type d'approche, les joueurs représentent des acteurs réels qui sont face à une situation réelle à gérer. Ceci permet directement aux acteurs (i) de comprendre le modèle et ainsi de comprendre les différentes simulations proposées, (ii) de discuter des résultats obtenus et (iii) de tester différents scénarios d'évolution du système. Les résultats du jeu de simulation ne sont pas définis par avance mais sont découvert tout au long du processus interactif (Angelides and Paul, 1999). Ceci permet donc aux acteurs d'avoir une réponse immédiate de leur prise de décision.

- ## Les objectifs du projet Tram

A l'interface de ces contextes croisés…

Ce projet a pour **objectif** d'élaborer une méthodologie permettant de tester l'impact agro-environnemental et technico-économique d'une réduction raisonnée de l'utilisation des pesticides prenant en compte les différents leviers d'action de la parcelle au territoire en les pondérant par rapports aux spécificités du milieu. Pour cela nous développerons une méthode d'analyse spatialisée pour aider les agriculteurs et les décideurs politiques à prendre des décisions pour des systèmes de production économiquement viables et écologiquement durables. Nous utiliserons une démarche participative avec les acteurs des 2 terrains étudiés (voir Sites et cas retenus)

[8] http://www.cc-lomagne82.fr/cc/economie/presentation/agriculture.php

Les résultats sont 1) la proposition de scénarios, par jeu de simulation, aux acteurs leur permettant de comparer plusieurs situations et de les aider à prendre des décisions concernant leurs choix de productions en tenant compte de critères environnementaux et socio-économiques ; 2) la représentation spatiale agro-environnementale et économique de ces scénarios. L'utilisation des résultats des modèles agro-économique et géographique couplés à des indicateurs de risque de toxicité, doit permettre d'assister les différents acteurs dans le processus de décision. Il doit permettre d'orienter les gestionnaires dans la définition de stratégies cohérentes de développement durable d'un territoire dans un avenir incertain. A l'aide d'un simulateur technico-économique couplé à une représentation cartographique l'objectif est de représenter les impacts de l'évolution du comportement des agriculteurs dans différents scénarios (assolements, aménagements, techniques d'irrigation,..). La prise de décision est construite par l'implication de tous les acteurs dans une approche de regard croisé.

L'objectif final sera de créer un outil interactif d'aide à la décision à partir d'une base de données que nous créerons afin de pouvoir calculer des indicateurs de toxicité des pesticides modulables en fonction des données rentrées par les utilisateurs (doses appliquées, type de culture,…).

L'originalité de ce projet se situe dans l'évaluation des effets des politiques agro-environnementales **sur la viabilité économique** des exploitations d'un territoire. Les effets technico-économiques de modifications de pratiques sont rarement étudiés à l'échelle des exploitations et d'un territoire. Les approches de même type sont le plus souvent faites à l'échelle de la culture ou de la parcelle sans tenir compte des interactions à l'échelle de l'exploitation et du territoire. Un autre aspect innovant du projet, grâce à la démarche participative, est que les indicateurs de risque lié aux pesticides seront modulés en fonction de la dose appliquée par culture et par agriculteur (et non pas par la dose homologuée) pour que l'indicateur reflète un risque réel et non théorique de toxicité (voir méthodes).

2. Les Territoires

1. Des zones Ramsar

Les terrains d'application seront 2 zones classées « zone Ramsar » : l'étang de l'Or en France et la Merja Zerga au Maroc. Pour ces 2 sites jumelés, des collaborations et travaux ont déjà étés réalisés par approche participative avec des partenaires locaux. Dans les deux cas on trouve une zone agricole en amont de la lagune qui entraine une pollution accrue des eaux.

2. La Merja Zerga (Maroc)

Présentation générale de la lagune

La lagune de Moulay Boucelham dite aussi la « Merja Zerga » est située au Nord-Ouest du Royaume du Maroc, sur l'océan Atlantique entre 34°51' de latitude nord et 6° 16' de longitude ouest. Il s'agit d'une cuvette tectonique, ceinturée de collines peu élevées, isolée de l'océan Atlantique par un cordon dunaire de sables blancs et gris surmontant une assise de grès soltaniens. Elle a une forme elliptique de 9 km de long, de 5 km de large, de profondeur moyenne (1,5 m dans les chenaux et 0,5 m dans la

lagune). Elle s'étend sur une superficie d'environ 45 km² dont 30 % d'eau libre en moyenne suivant le marnage. Elle communique avec l'océan Atlantique par l'intermédiaire d'une passe étroite et sinueuse, permanente depuis 1953 bien qu'elle ait été obstruée quelques temps à la suite de tempêtes. La Merja Zerga[9] est la plus importante aire protégée du littoral atlantique marocain classée "Réserve biologique permanente" par arrêté ministériel n° 223-78 du 26 rebia I 1398 le 6 mars 1978 et site Ramsar le 20 juin 1980. C'est une zone humide à biodiversité élevée, constituée d'un remarquable peuplements floristique et faunistique de valeur internationale (Azdad M. 1998). Les potentialités floristiques sont essentiellement des phragmites (*Scirpus lacustris, Irus pseudacorus),* de la végétation halophile (*Salicornia arabica, Salicornia perennis, Juncus acutus, Juncus subulatus, Scirpus maritimus, Cladium mariscus)* et de la végétation submergée **(***Zostera noltii, Ruppia cirrhosa, Ulva sp, Enteromopha sp* (Benhoussa A. *et al.* 2006). Ces prairies fournissent des ressources fourragères. En outre, les habitants y coupent traditionnellement les joncs (*Juncus acutus, Juncus subulatus*) afin de confectionner des nattes, réaliser des toitures et même alimenter le feu.

Concernant la faune, la lagune de Boucelham abrite une faune diversifiée de grand intérêt local, national et international. D'après l'(Agences pour la Promotion et le Développement du Nord 2011), la lagune de Boucelham détient le premier rang marocain pour le transit et l'hivernage pour de nombreuses espèces d'oiseaux. Elle héberge en hiver, en moyenne 15 à 30.000 anatidés (11 espèces, canard siffleur majoritaire), autant de foulques, entre 50 et 100.000 limicoles (19 espèces régulières où dominent bécasseau variable et barge à queue noire surtout, mais aussi le pluvier argenté, grand gravelot, avocette,... et le rarissime courlis à bec grêle) et 1000 à 2000 flamants roses. Sa communication, avec l'océan atlantique, par l'intermédiaire d'une passe étroite et sinueuse, lui permet d'avoir une partie des poissons d'origine marine au niveau du goulet (sparidés, soléidés, mullus et torpedo ocellata sont les plus communs), ainsi que des poissons amphihalins dans les chenaux : Mugilidés, dicentrarchus labrax, d. punctata mais surtout anguilla anguilla qui est exploitée.

La Merja Zerga héberge aussi un nombre important de reptiles et mammifères dont seize espèces amphibiens et reptiles à l'intérieur du périmètre de la réserve parmi lesquels quatre endémiques marocains : *Pelobates varaldii, Acanthodactylus lineomaculatus, Calcides mionecton, Ch.pseudostriatus, Cistude d'Europe (en voie de disparition sur le littoral Marocain).*

La lagune constitue un site d'intérêt socio-économique dont la pêche constitue la principale composante économique de la Merja, plus de 15% des ménages avoisinants la pratiquent, soit plus de 400 pêcheurs (MADRPM 2010). Plusieurs espèces sont exploitées d'une manière commerciale, représentées essentiellement par : 10 espèces d'anguilles, cinq espèces de muges (5 espèces), 2 espèces de loup, une espèce de Sar, une espèce de Sole, une espèce de mollusque bivalve, une espèce de palourde (MADRPM 2010).

Le classement du site par le ministère de tourisme comme "station balnéaire d'intérêt moyen ", l'a rendu une des directions les plus favorables pour des milliers d'estivants et de touristes étrangers pour y effectuer des observations ornithologiques. (MADRPM 2010).

Les potentialités écologiques ont fait de la lagune un site d'échange entre nations des rives sud et nord de la Méditerranée. Elle fait l'objet d'un jumelage avec l'étang de l'Or, site Ramsar situé au sud-est de la France à une douzaine de kilomètres de Montpellier et deuxième site d'applications pour le projet TRam.

Une agriculture intensive et diversifiée en amont de la Merja Zerga

La lagune est située à cheval sur deux grands périmètres agricoles: le Gharb et le Loukkos. Située au Sud de la Merja Zerga, la plaine du Gharb, à cheval entre la province de Kénitra et celle de Sidi Kacem, s'étend sur une superficie de 4200 km^2 et se présente comme une immense plaine alluviale de

[9] http://ma.chm-cbd.net/manag_cons/esp_prot/sibe_ma/sibe_lit/sibe_l16

basse altitude, formée surtout, de dépôts du quaternaire. Cette plaine a la forme d'un triangle ayant pour sommets les villes de Kénitra, Sidi Kacem et Souk El Arbaa. Elle est séparée de l'océan par un cordon de dunes, hautes en moyenne de 60 m, qui n'est interrompu que par les deux embouchures : Mehdia sur le Sebou au Sud et la Merja Zerga au Nord.
Sur le plan administratif, la plaine du Gharb couvre essentiellement le territoire de la Région du Gharb-Chrarda-Béni Hssen. Ce territoire est délimité par les collines pré-Rifaines et les plateaux méridionaux, qui s'ouvrent sur un large éventail encadrant la partie basse de la plaine alluviale du Gharb vers laquelle convergent les trois systèmes hydrographiques du Sebou, du Beht et de l'Ouergha.
La superficie irrigable, arrêtée en 1968, est de 250.000 ha. Actuellement la superficie équipée est de 114.000 ha en grande hydraulique (ORMVAG 2010,). Elle est un des plus importants bassins de production maraîchère du Maroc. Son secteur agricole occupe 53,3% de la population active (6,3% en milieu urbain et 81,7% dans les campagnes) et participe dans la production nationale, à hauteur de 17% pour le lait, 28% pour les agrumes, 80% pour le tournesol, 8,5% en céréales et 100% pour le riz (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). L'ensemble des productions des filières agricoles de la région du Gharb génèrent des ressources annuelles de plus de 7 milliards de dirham (environ 875 millions USD) et totalisent quelques 40 millions de journées de Travail (BAD 2009).
De son côté le Loukkos, situé au nord de la lagune entre les régions du tangérois et du Gharb couvre une superficie de 2560 km² et se présente sous la forme d'un trapèze s'étendant sur 50 km environ du Nord au Sud. Il est limité à l'Ouest par la côte atlantique et à l'Est par une ligne qui suit du Nord au Sud les pieds des crêtes du massif de Jeballa, la vallée de Tahraout et le pied de Jbel Sasser (Okacha 2005).
Le Loukkous couvre une superficie de 256.000 ha dont147 300 ha représente la Surface Agricole Utile (SAU), soit 58 % du total.
Bien que cette superficie agricole utile (SAU) ne constitue que 1,5 % de la S.A.U nationale et 2 % pour le nombre d'agriculteurs, la part de la production du périmètre dans la production nationale est très importante pour certaines filières. Ainsi, la production de fraises constitue 80 % de la production nationale, 20 % pour le riz et l'arachide, 15 % pour les cultures sucrières et 7 % pour le maraîchage et les oléagineux. La valeur moyenne de la production annuelle dépasse les 2,5 milliards de DH avec la création de 11 millions de journées de Travail par an (Fegrouch 2008).
Pour une meilleure exploitation de ces deux périmètres et dans la politique productiviste du Maroc, les plans agricoles régionaux (PAR-RMV) pour le développement de l'agriculture dans le Gharb et le Loukkos visent une meilleure valorisation du potentiel agricole. Par exemple le PAR-RMV prévoit un investissement de 18,5 Milliards DH entre 2009 et 2020. 75% de ce budget est consacré au développement des systèmes de production végétale. 73 projets ont été conçus et visent la production et la valorisation des agrumes, l'intensification des cultures fruitières et maraichères et enfin l'intensification et l'extension des cultures sucrières (Agences pour la Promotion et le Développement du Nord 2011). En revanche ce plan ne prévoit pas en parallèle une stratégie de réduction des produits phytosanitaires malgré les conséquences de ces pratiques sur la santé humaine et l'environnement dont la Merja Zerga du fait que ces cultures sont très consommatrices de phytosanitaires.

Un exutoire soumis à la pollution phytosanitaire diffuse

L'utilisation des pesticides et la modification du milieu naturel sont à l'origine d'une pollution par les molécules phytosanitaires diffuses, qui détériorent la qualité de la ressource en eau et des écosystèmes des zones humides en aval en particulier de la Merja Zerga. Des études ont montré la présence en teneurs élevées de pesticides dans la Merja Zerga qui seraient présents également dans les zones humides du Bas Loukkos, compte tenu de leur utilisation massive autour de celles-ci (Fathi 1995). D'autres ont même recensés 16 types de molécules d'insecticides organochlorés dans les eaux et les sédiments de la lagune de Moulay Boucelhem (Mehdaoui *et al.* 2000). D'autres études réalisées au niveaux des ressources en eaux et sols) du périmètre du Gharb faites par l'(ORMVAG 2007), ont prouvé l'aggravation de la situation suite à une contamination ponctuelle par les résidus de pesticides

dans la nappe de la zone côtière due probablement aux déversements directs lors des préparations des bouillies à des pollutions diffuses des eaux des canaux d'assainissement et de drainage par les résidus de pesticides entrainant la contamination de la Merja Zerga.

3. L'Etang de l'Or (France)

Présentation générale du Bassin versant et problématique générale de pollution diffuse :

L'Etang de l'Or[4] situé sur la côte du Languedoc-Roussillon en Petite Camargue , occupe le 4ème rang des étangs littoraux français. Ses intérêts esthétiques et biologiques ont conduit à son classement en 1996 comme zone humide d'importance internationale Ramsar pour son rôle majeur dans l'accueil des oiseaux d'eau. Il recèle 300 espèces d'oiseaux sur les 360 présentes en France. Ce site exceptionnel procure aux oiseaux d'eau une nourriture abondante, un refuge durant les migrations ou en hiver, et des zones propices à la nidification. Ainsi, ses berges sont l'unique lieu de reproduction pour certains oiseaux très rares appartenant à la famille des laro-limicoles.
*Vaste étendue d'eau saumâtre de 3000 ha, il est réputé pour sa production d'anguilles. Il constitue un refuge et une véritable réserve nourricière pour les poissons marins (à forte valeur économique) qui entrés dans l'étang à l'état juvénile, repartent en mer une fois adultes. L'étang est constitué d'une multitude d'espèces végétales caractéristiques des milieux lagunaires méditerranéens. Mais malgré les nombreuses fonctions (biologiques, hydrologiques, socio-économiques et économiques) que remplit cette zone humide, elle subit les effets dus aux changements d'allocation de l'eau, de charges de nutriments, d'utilisation des terres et des activités de développement économique à l'intérieur du bassin (nitrates, pesticides,...). Ces effets néfastes ont des conséquences très graves sur les écosystèmes terrestres et aquatiques. Des épandages, plus ou moins simultanées, d'insecticides en zone de grandes cultures font disparaître brutalement, les insectes ravageurs ainsi que nombre d'insectes prédateurs comme l'a montré une étude en Camargue (Mesléard et al. 2005).*L'agriculture, susceptible d'être à l'origine de certains polluants amplifiant l'eutrophisation est très présente sur les berges de l'étang et au sein même du bassin versant. Les eaux de drainage agricole de l'Association Syndicale Autorisée (ASA) de Marsillargues sont rejetées via deux stations de pompage dans le canal de Lunel pour finir dans l'étang. Cependant, l'agriculture contribue également à l'entretien des espaces naturels et au maintien d'une activité économique et écologique dans les endroits les plus reculés. Face à cette contradiction, il paraît indispensable de maintenir à la fois une agriculture traditionnelle mais compétitive et de préserver la qualité des eaux en incitant à des pratiques « raisonnées », respectueuses des milieux aquatiques et terrestres.

Organisation administrative et structurelle

Le Bassin Versant De L'Etang De L'Or est animé et coordonné par le Syndicat Mixte du Bassin de l'Or (SYMBO) qui été institué le 17 décembre 2009. Le bassin concerne 31 communes avec ses 120.000 habitants permanents dans une superficie de 412 km2. L'étang de l'Or est un des étangs côtiers du Languedoc-Roussillon qui est situé au 4ème rang des étangs littoraux français après Berre, Thau et Salse-Leucate. La superficie du plan d'eau est de 2960 ha, en longueur 11 kilomètres, en largeur 3 kilomètres, sa profondeur moyenne est de 1,1 mètre et en volume 32,6 millions de mètres cubes de l'eau saumâtre.

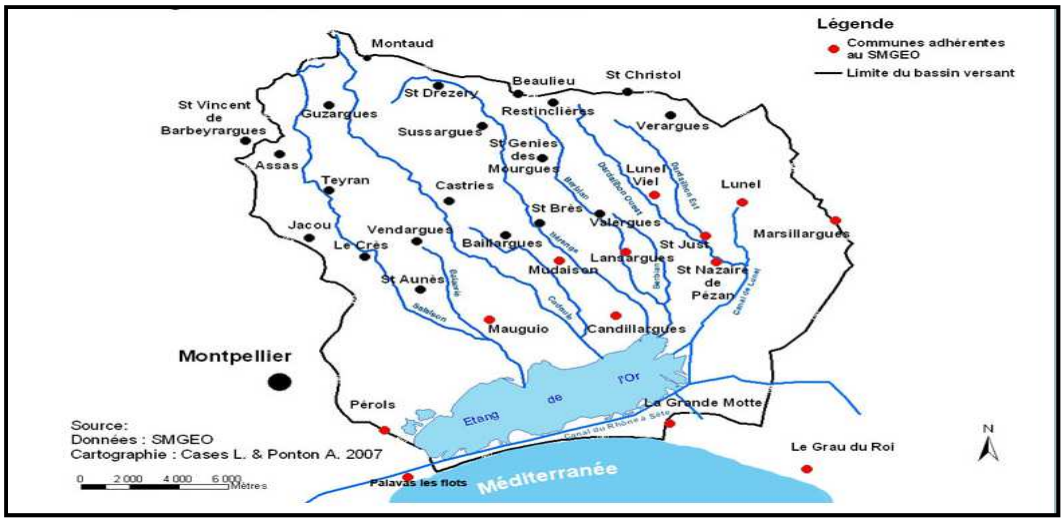


Figure 2.1*. L'Etang de l'Or et son bassin versant*

L'étang de l'Or et ses berges, les hautes garrigues au nord du territoire, sont reconnus pour leur intérêt écologique à l'échelle internationale :

• Sites Natura 2000 : l'étang et les marais attenants, les hautes garrigues du Montpelliérains, les berges du Vidourle...

• Label RAMSAR pour l'étang : répertoire des zones humides d'importance internationale pour les oiseaux d'eau : Notre zone d'étude est une zone Ramsar, Cette appellation désigne un réseau de zones humides d'importance internationale dont la conservation des richesses écologiques constitue un enjeu planétaire. Les états qui adhèrent à ce réseau, dont la France, s'engagent à assurer leur préservation. Le site de l'étang de l'Or et la petite Camargue Gardoise constituent le site français n°17.

La mosaïque paysagère créée par l'agriculture et la gestion des espaces naturels au sein des exploitations agricoles jouent un rôle important dans le maintien de la biodiversité des milieux.

Le territoire du bassin versant de l'étang de l'Or présente une hétérogénéité prononcée :

1. La partie amont du bassin, peu peuplée est couverte par la garrigue et la vigne ;
2. La partie médiane, au voisinage de la route nationale 113 est occupée principalement par des zones urbaines et artisanales ;

La partie aval, constituée de la plaine littorale, comprend une vaste zone agricole, des zones humides sur près de 2000 hectares, et également une des plus grandes stations balnéaires de la Région, La Grande-Motte.

Malgré l'urbanisation croissante, l'agriculture occupe 60 % de la surface de ce territoire et représente un secteur dynamique et gros pourvoyeur d'emplois, aux champs ou dans les entreprises agro-alimentaires. Les principales cultures sont:

- La vigne
- Le maraîchage
- Les céréales
- Les vergers
- Les productions légumières

En 1991, le syndicat mixte de gestion de l'étang de l'or (SMGEO) comprenant les communes riveraines de l'étang, est constitué pour gérer des programmes de protection et de restauration de la qualité des eaux de l'étang de l'or. La qualité de l'étang s'est dégradée entre 1960 et

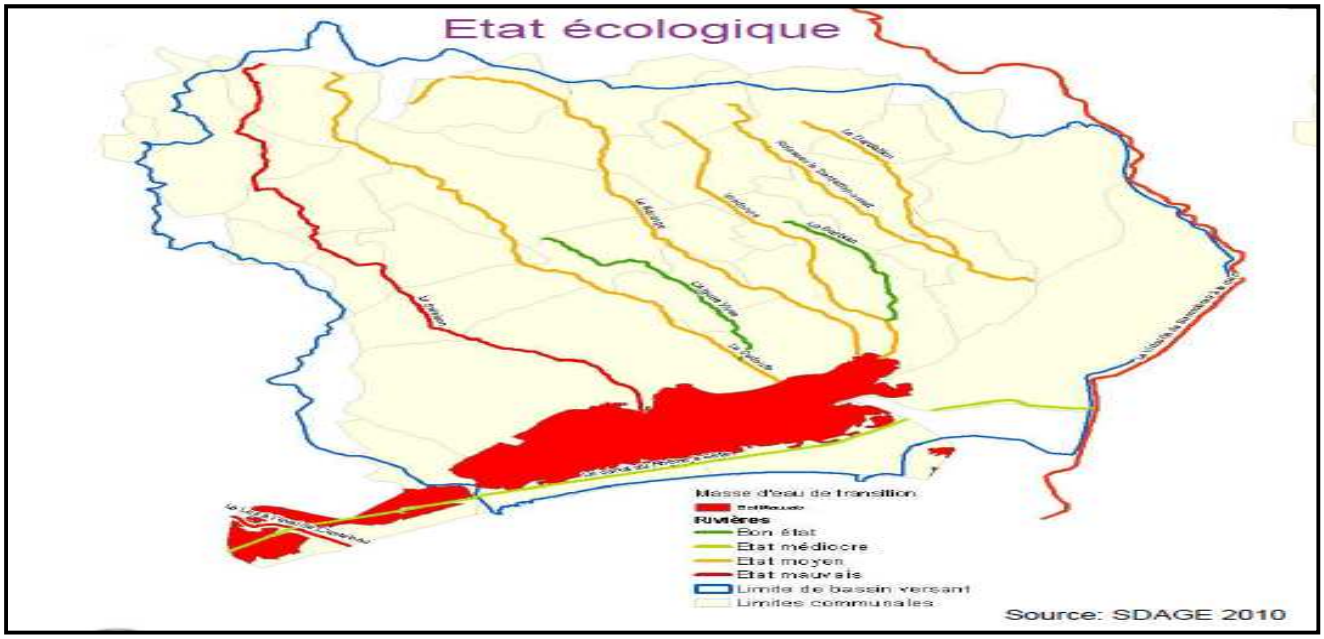
1970 notamment avec la création du canal du bas Rhône pour l'irrigation, et le développement du drainage des terres agricoles contre les inondations .Les eaux de drainage agricoles sont collectées dans des canaux et les stations de pompages. Le barrage permet à l'eau de remonter dans le canal de Lunel ou elle est filtrée pour aboutir dans l'étang de l'or ou elles finissent leur épuration.

Les critères de qualité des eaux de l'étang sont jusqu'à présent rouge. Ils sont établis par l'IFREMER. Cependant ce suivi ne prend pas en compte les pesticides. De 2003 à 2007, le SMGEO gère les contrats de baies qui visent la rénovation de plusieurs stations d'épuration et s'investit dans l'application de la politique de conservation européenne de la biodiversité via Natura 2000 et la mise en œuvre du DOCOB. Suite à la nouvelle loi sur l'eau en 2006 le SMEGO devient le SYMBO et étend son périmètre de compétence à l'ensemble du Bassin hydrographique de l'or en associant 3 communautés de communes et la communauté d'agglomération de Montpellier.

Problèmes de l'Etang de l'Or : Un territoire riche en biodiversité…Mais une qualité des eaux dégradée

Les rejets urbains et industriels génèrent divers impacts dans le bassin. Mais, à eux seuls, ils ne peuvent expliquer le degré de pollution de l'Etang de l'Or. Les rejets agricoles soumettent le milieu à des charges polluantes qui contribuent dans une très large mesure à la contamination du milieu. Dans le bassin versant, les activités agricoles occupent une place importante.

Les rivières, les nappes souterraines et l'étang de l'Or connaissent depuis de nombreuses années un problème de qualité des eaux. Concernant la qualité « chimique » des eaux du bassin versant, le suivi 2008 a permis de mettre en évidence un état dégradé (moyen à mauvais) des cours d'eau vis à vis des produits phytosanitaires. Toutefois, l'absence de suivi régulier et l'hétérogénéité des mesures (paramètres et localisation géographique) empêchent d'évaluer de façon objective la problématique réelle (Diagnostic concerte et partage du bassin versant de l'Or atelier pollution toxique et diffuse.,2011)



Source : *Schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux.2010*

Figure. *Cours d'eau et des ruissellements*

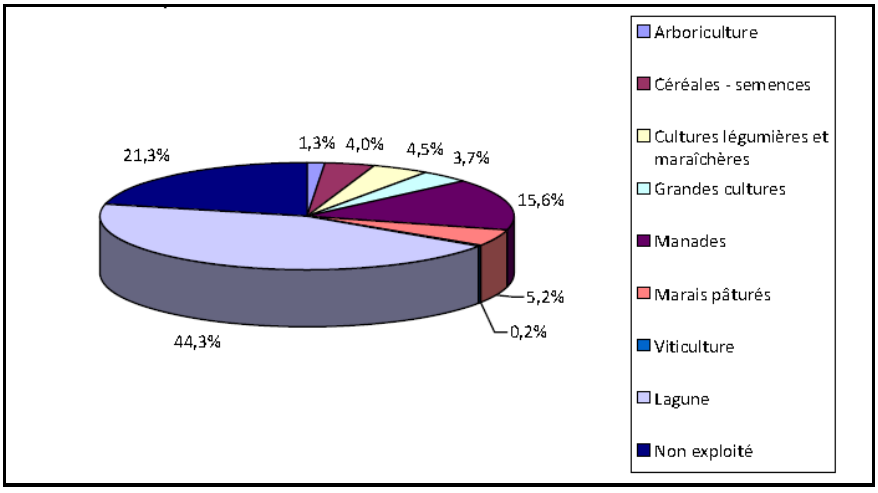
L'étang de l'Or reste encore en mauvais état vis-à-vis de l'eutrophisation. Les apports importants, dont cet étang fait l'objet depuis de nombreuses années via son bassin versant (apports agricoles et domestiques), couplés au confinement qui constitue un facteur aggravant, expliquent cet état de fait.

La restauration de l'étang de l'Or prendra du temps, notamment du fait des stocks importants d'azote et de phosphore accumulés dans ses sédiments.
Le Bulletin d'information de la Chambre d'agriculture de l'Hérault (Mai 2012) a confirmé tous ces problèmes et a diffusé que :
• Nappe villafranchienne Mauguio-Lunel désignée en 1994 zone vulnérable au titre de la Directive Nitrates : objectif de préservation des eaux contre les pollutions azotées d'origine agricole.
• Zone d'action prioritaire en Languedoc-Roussillon au titre de la Directive Cadre Eau : 8 captages en eau potable désignés prioritaires, 5 au titre des pollutions aux nitrates et pesticides, 3 au titre des pesticides seuls, pollutions à la fois agricoles et non agricoles.
• Qualité générale des cours d'eau qualifiée de moyenne à médiocre, en particulier pour les pollutions en azote et phosphore.
• L'étang : état d'eutrophisation avancé, conséquence de l'enrichissement en azote et en phosphore. Les eaux usées des communes et l'agriculture sont directement mises en cause. (Bulletin d'information de la Chambre d'agriculture de l'Hérault, Numéro Spécial Mai 2012)

La pollution diffuse est la plus complexe à évaluer et à contrôler parce qu'elle est liée à une multitude de sources réparties sur l'ensemble du territoire. Pour la pollution azotée d'origine agricole ; des engrais appliqués en trop grande quantité, un manque de fractionnement des apports, un calendrier mal adapté aux conditions climatiques , une mauvaise prise en compte dans la gestion des apports des stocks d'azote en terre et la lixiviation de ces derniers lors de violentes précipitations sont autant de problèmes à gérer pour éviter l'augmentation des concentration d'azote dans les eaux (Le Grusse et al .2005)

Importance de l'agriculture

En terme d'occupation du sol le bassin versant est composé d'une la superficie urbanisée représente 13 % et est dominé par des terres agricole représentant plus de 50 % de sa surface avec plus de 700 exploitations agricoles. L'agriculture est diversifiée. Elle bénéficie d'un potentiel au niveau du sol, de l'irrigation et de la proximité de la zone périurbaine consommatrice. La viticulture et les grandes cultures dominent. La vigne avait regagné les coteaux, plus adaptés, mais désormais il y a un mouvement de replantation pour produire de hauts rendements. Le maraichage est composé par de petites et moyennes exploitations qui bénéficient de la proximité avec la zone périurbaine, et de très grosses exploitations spécialisées notamment dans le melon, salades). L'arboriculture est dominée par la pomme qui fait la renommée du territoire , la zone est le premier verger d'Europe en Pink Lady.



Source : *projet agro-environnemental Territoire « Etang de Mauguio et ses marges »*

Figure. *Répartition (%) des différentes productions agricoles à l'Etang de l'Or*

Comme nous l'avons vu, l'agriculture représente part importante de la surface totale du bassin versant soulève des enjeux en terme de qualité d'eau souterraines et superficielles. Le programme agricole du bassin versant de l'étang de l'or est confié à un comité agricole qui a vu le jour en 2006 pour promouvoir une agriculture durable et vise la limitation des risques phytosanitaires et des risques de lessivage des fertilisants, la gestion raisonnée des ressource en eau d'irrigation et la promotion de la biodiversité dans les exploitations agricoles. L'objectif est de limiter les transferts polluants vers les milieux aquatiques et également de favoriser le maintien de la biodiversité dans les exploitations. Il comprend également un appui au développement d'aires sécurisées de remplissage de traitements pour limiter les pollutions ponctuelles et un accompagnement pour la gestion des effluents phytosanitaires.

3. Matériel et Méthodes

1. Données

L'Acquisition et l'analyse des données ont été les premières activités du programme tant au niveau de la caractérisation des terrains d'étude que pour l'élaboration des modèles de calcul d'indicateurs de Toxicité. Pour la caractérisation des bassins versants étudiés nous avons dû construire une base de données géoréférencée et mettre en œuvre une analyse spatiale sur les bassins versants de l'Etang de l'Or et de la Merja Zerga. Ces bases de données ont dû être élaborées en associant de multiples sources d'informations afin de caractériser le milieu Physique (Hydrographique, Sols, pentes …) et l'occupation de l'espace.
L'objectif de cette partie est la description du milieu physique et agricole des deux territoires.
Dans la pollution phytosanitaire diffuse d'origine agricole, deux grandes catégories de facteurs interviennent : les facteurs liées au milieu naturel et les facteurs technico-économiques.
Les facteurs du milieu naturel sont les facteurs qui conditionnent le transfert des molécules phytosanitaires tels que les types des sols, les réseaux hydrographiques et d'assainissement, l'occupation des sols, la topographie (pentes, altitudes, etc).
Les facteurs technico-économiques sont caractérisés par les choix des cultures, leurs localisations géographiques, et les pratiques adoptées (date de traitement phytosanitaire, types de produits phytosanitaires, etc….)
Des enquêtes ont été effectuées sur les deux territoires d'application du projet et une procédure de constitution des bases de données spatialisée a été mise en place. Cette procédure se décline en plusieurs étapes :

a) Conception de la base de données

Au cours de cette étape, nous avons identifié les données spatiales nécessaires :

- la définition des attributs requis pour les entités,
- les paramétrages des limites du bassin versant,
- le choix du système de projection géographique et du système de projection des coordonnées à utiliser,

b) Automatisation des données

Cette étape du travail implique la numérisation, la conversion de données à partir d'autres systèmes et format dans un format utilisable, la vérification des données et la correction des erreurs. Les données collectées ont des formats et des systèmes de projections géographiques Pour pouvoir exploiter ces données, nous avons procédé à un géotraitement. Tout d'abord les cartes récupérées ou achetées sous format papier ont été scannées, projetées sous système d'origine et géo-référencées. Ensuite ces données ont été regroupées dans une base de données SIG de ArcGis

10. Pour pouvoir l'exploiter une homogénéisation des systèmes de coordonnées géographique s'impose. Dans un premier temps, la base de données à été projeté sous le système géographique mondiale World Geodetic System 1984 (WGS 84). Mais pour pouvoir déterminer les dimensions ou les superficies des objets, ainsi que les distances entre deux objets, la base de données a été re-projetée sous un système de référence géospatiale Universal Transverse Mercator 29 Nord ou UTM 29N.
Suite à homogénéisation des systèmes de coordonnées géographique de la base de données un travail impliquant la numérisation du tracé des limites des bassins versants a été fait suite à une analyse spatiale d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT). Le MNT est une représentation numérique du terrain en termes d'altitude. Il fournit des informations concernant les formes, l'orientation et la position géographique du relief. La pente, l'exposition, la direction des écoulements, les limites et la surface du bassin versant sont obtenues par dérivées premières du MNT (analyse spatiale 2D et 3D).
En prenant comme base le tracé des limites du bassin versant, la numérisation des réseaux hydrographiques, les limites des communes, les entités pédologiques, et l'occupation du sol.

Enfin une dernière étape consiste à la vérification des systèmes de coordonnées et à la réunion de deux couches adjacentes.

c) **Analyse des données et présentation des résultats** :

Cette étape consiste à analyser les données, la réalisation et validation des cartes.

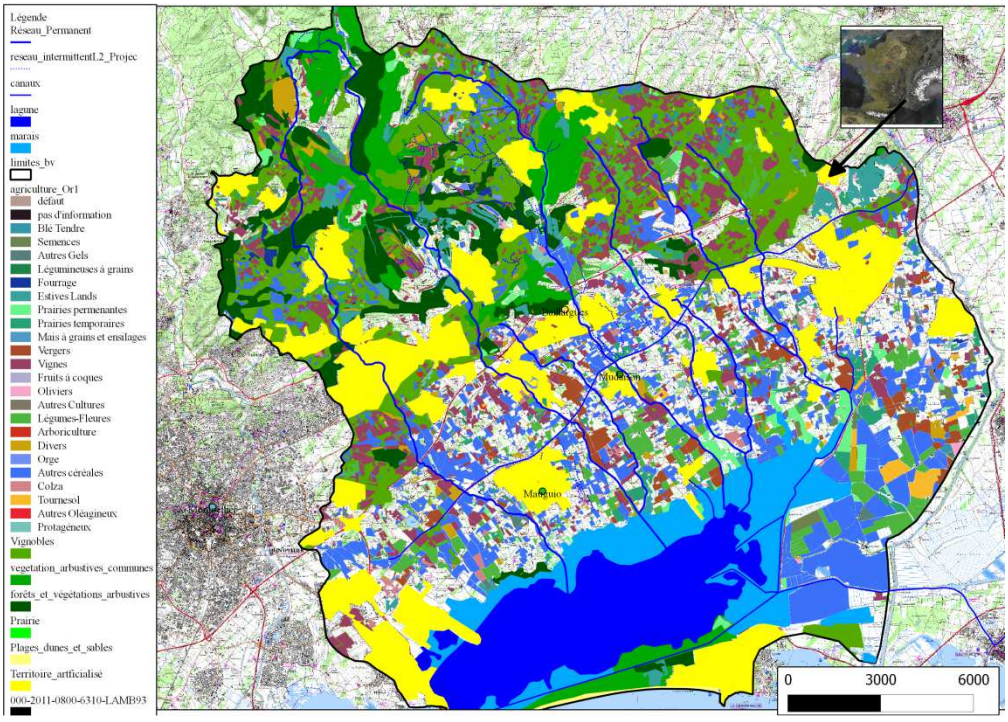


Figure 2 : Structure Physique et Agriculture du bassin versant de l'étang de l'Or
(Principales Sources des données : cartes IGN au 25ème, base de donnée sous format vecteur de l'occupation des sols Corine Land Cover de 2006 à l'échelle du département de l'Hérault,BD Carthage, Référentiel Parcellaire Graphique de l'Agence de service du Paiement (RPG) pour les exploitations agricoles ayant des cultures subventionnées par la PAC (caracrérisation des parcelles

culturales), base de données du réseau hydrographique permanant de l' Agence de l'eau de Rhône méditerranéen et Corse (RMC) , un Modèle Numérique de Terrain (MNT), et des bases de données des sols,....: Ayadi, 2012)

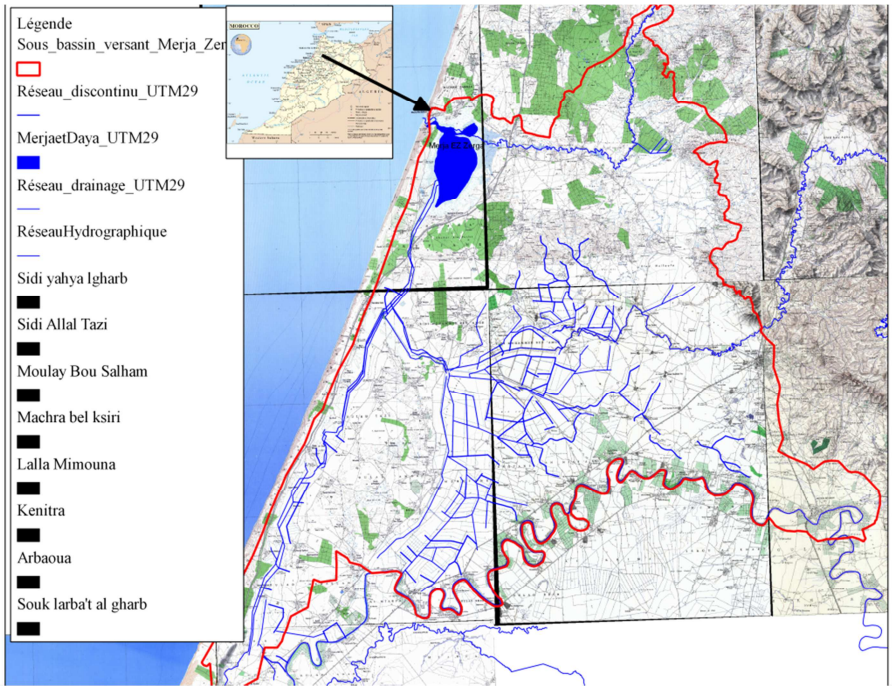


Figure 3 : Tracé des limites du bassin versant et réseau d'assainissement de la Merja Zerga (Source : Cartes topographique Direction de la Conservation Foncière et des Travaux Topographiques division de la Cartographie de Rabat, 1996, MNT **: (**ASTER GDEM, 2009), réalisation Ayadi, 2012)

De nombreuses données issues des projets SIG seront des paramètres dans le calcul de l'IRTE spatialisé, ce dernier pondère les valeurs d'IRTE du calcul de base effectué sur les itinéraires techniques à partir du risque des matières actives. Pour l'instant la pondération reste empirique , des travaux sont encore nécessaires pour définir une pondération des effets. Parmi ces paramètres les distances d'une parcelle à une source d'eau, les pentes, la structure des sols, et bien sur l'occupation du sol avec les pratiques culturales associées. L'absence de répétitions de mesures des pesticides in situ empêche des validations empiriques.

Par ailleurs, nous avons analysé différentes bases de données sur les produits Phytosanitaires et sur la caractérisation Physico-Chimique et Toxicologique des matières actives pour pouvoir définir des indicateurs caractérisant la toxicité pour l'homme et pour l'environnement.

La base de données que nous avons essentiellement utilisée est la base « Footprint » issue d'un projet de recherche Européen du même nom dont l'objectif était d'étudier le transfert des molécules de produits phytosanitaires au niveau des sols Européens. Cette base est très complète et nous avons obtenu une licence recherche puis commerciale afin de pouvoir l'utiliser dans le logiciel EtoPhy. Lorsque nous manquions d'information ou pour confirmer une donnée nous avons également utilisé les bases Agritox, Ineris et la base Américaine US EPA. Pour les aspects réglementaires et les phrases de risque issues de l'homologation des produits nous utilisons la base e-Phy du Ministère de l'agriculture. N'ayant pas réussi à avoir à disposition une version informatique de cette base (en accès Web), nous avons finalement du acquérir un abonnement dans une société privée

(AgriCommand) qui fournit les mêmes informations mais sur support informatique et avec une mise à jour hebdomadaire. Nous avons pu constater que de nombreux professionnels de l'agriculture ont du également acheter cette base de données devant l'impossibilité d'avoir un support informatique utilisable de la base officielle du ministère de l'agriculture pour des outils de gestion
Pour conclure sur cette première phase , les plus grandes difficultés viennent tout d'abord de la multiplicité des sources de données nécessaires pour caractériser un territoire et du travail d'adaptation à faire pour rendre cohérent leur combinaison. D'autre part l'accès à des données en théorie libres d'accès utilisables dans nos programmes de traitement se heurte à de nombreux problèmes techniques et administratifs et nous oblige à acquérir des licences payantes (FootPrint, AgriCommand..). Enfin les bases de données sols sont au niveau local de qualité très variables, non exhaustive sur l'ensemble des territoires et la base BDSol pour la France est une base Pédo- Paysagère peu adaptée à nos besoins.

2. Indicateurs

La recherche de formalisation des pratiques phytosanitaires résulte d'une double nécessité: celle de rapprocher le travail de l'agriculteur des impacts potentiels sur la santé et l'environnement ; et celle de pouvoir relier des pressions anthropiques telles que celles associées à la contamination de l'environnement par les pesticides à des impacts chimiques ou écologiques. Cette démarche peut s'envisager *a priori* (évaluation des risques) ou *a posteriori* (diagnostics environnementaux...) ; sa mise en œuvre soulève de nombreux problèmes méthodologiques liés à la diversité de l'information (quantitative, qualitative et spatiale) et la formalisation des données sous forme d'indicateurs.
Après une étude bibliographique comparative sur les différents systèmes d'indicateurs existant au niveau international, nous avons choisi de nous baser sur des travaux norvégiens (NAIS, 2004), québécois (Samuel et *al.*, 2007) du groupe de travail européen FOCUS (FOCUS, 1997 et 2003) et de la commission européenne sur l'homologation des phytosanitaires (CE, 1994) pour concevoir deux indicateurs d'évaluation des risques des phytosanitaires sur la santé de l'applicateur (IRSA) et l'environnement (IRTE). Il s'agit d'indicateurs à notation, génériques et modulables suivant le cas d'application.

Indicateurs d'évaluation des impacts des pesticides sur la santé humaine et l'environnement

La nécessité de disposer de critères de connaissance sur les risques phytosanitaires se fait de plus en plus sentir à tous les niveaux de décision. Concernant la pollution phytosanitaire diffuse, des grands efforts sont faits pour aider les acteurs locaux à gérer les pratiques phytosanitaires en utilisant des indicateurs agri-environnementaux. Charlier (2010) a défini les indicateurs comme « *des variables […] qui fournissent des renseignements sur d'autres variables plus difficiles d'accès […]. Les indicateurs servent de repère pour prendre une décision* ». De cette définition nous retenons que le recours aux indicateurs lorsqu'il est impossible ou très difficile de parvenir à évaluer une situation donnée par mesure directe est une nécessité. Du fait qu'un indicateur est « *une grandeur qui fournit une information au sujet d'une variable plus difficile d'accès ou d'un système plus complexe afin d'aider un utilisateur dans son action (prise de décision, construction d'un programme d'action, modélisation....)* ». Cette grandeur a pour finalité de réduire l'information et de rendre la réalité accessible aux utilisateurs ou décideurs sous forme d'outil de diagnostic ou d'aide à la décision (Girardin *et al*., 1999). Cela peut aussi être *« des mesures alternatives qui sont utilisées pour décrire une situation quand il n'est pas possible, pour des raisons techniques ou financières, de l'évaluer directement* » (Mitchell *et al.* 1995).

Pour évaluer les impacts des pesticides sur la santé humaine et l'environnement, il est indispensable de prendre en compte les dangers (toxicités intrinsèques) et le degré d'exposition (concentration prévisible du pesticide dans l'environnement (CE, 1994).
Selon le modèle causal « pression et impact, état, suivi,» de classification des indicateurs, élaborés par Gassiat et Zham (2010) on dispose de quatre grandes familles d'indicateurs pour mettre en place un processus d'évaluation des effets d'un pesticide sur la santé humaine et l'environnement. Ce sont :

- Des indicateurs de pression (P) qui visent à mettre en évidence l'effet environnemental des pratiques agricoles sur l'environnement. Le concept de pression fait référence aux causes induisant des changements d'états et des impacts (Gassiat et Zham, 2009).
- Des indicateurs d'impact (I) qui caractérisent les effets ultimes causés par les changements d'état.
- Des indicateurs d'état (S) qui correspondent à des mesures directes de l'état du milieu (flore présente, concentration d'une matière active dans l'eau, etc..).
- Des indicateurs de réponse ou de suivi (R) qui évaluent dans quelles mesures les modifications de pratiques via, entre autres, des programmes d'action ont atteint les objectifs fixés.

Pour l'évaluation à priori des effets des pesticides, les indicateurs de pressions et d'impacts de parts leurs positions dans la chaine causale des effets, sont les plus appropriés pour relier les pratiques de l'agriculteur aux conséquences sur l'environnement (Payraudeau et Van der Werf, 2005 ; Lütz et Felici, 2009). Ils peuvent être classés en deux types: simple ou composite (Bockstaller *et al*. (2008). Un indicateur simple est issu de mesures directes ou qui est estimé par modélisation (Girardin et *al*., 1999) tandis qu'un indicateur composite est issu d'une agrégation de plusieurs variables ou de plusieurs indicateurs simples mesurés ou estimés (Devillers et *al.*, 2005). Selon ce même auteur, ces outils agrègent de manière plus ou moins complexe des variables considérées influentes sur le processus à appréhender. Par souci de lisibilité les indicateurs sont exprimés sur une même échelle après une transformation mathématique sous forme de scores (Van Der Werf et Zimmer, 1998), d'un classement relatif (Vaillant et *al*., 1995), d'une estimation quantifiée (Trevisan et *al*., 1999) ou de rang (Aurousseau et *al.*, 1998).

Multitude d'indicateurs et spécificité des méthodes

Les politiques actuelles de réduction des produits phytosanitaires, tel que le Plan Ecophyto 2018, utilisent essentiellement des indicateurs « de pression » dont l'Indicateur de Fréquence de Traitement (IFT) (Champeaux, 2006 ; Pingault, 2009). L'IFT, proposé par le gouvernement français, issu d'un indicateur danois, est un indice de pression ne tenant nullement compte des propriétés toxicologiques des molécules contenues dans les produits. Il est calculé par hectare pour chaque traitement réalisé et correspond au ratio de la dose appliquée par l'agriculteur sur la dose homologuée du produit. Il existe un ITF herbicide et un IFT hors herbicide par culture et par exploitation correspondant à la somme des IFT de chaque traitement herbicide et non herbicide. Du fait de sa limitation à l'expression d'une fréquence de traitement, cet indicateur nécessite dans son application la définition de normes locales (régionales) et ne permet pas une comparaison pertinente des cultures et des systèmes de production. Actuellement certaines cultures (principalement en arboriculture et en maraîchage) ne possèdent pas de référence régionale, d'autres présentent de grandes diversités d'une région à l'autre. L'IFT peut être pertinent en termes de corrélation avec un niveau de toxicité dans une agriculture homogène en termes de production et de conditions climatiques ; qu'en est-il dans une agriculture diversifiée et dans des conditions climatiques variables ?
En complément des indicateurs de pression, des indicateurs dits d'impacts (Samuel et *al.*, 2007., Duchesne, L. et *al.* , 2003) ont été développés devant permettre d'évaluer les risques des pesticides sur l'environnement. Dans leur calcul plusieurs facteurs sont intégrés: les pratiques agricoles, les écotoxicités sur la biodiversité et les caractéristiques du sol ou d'une masse d'eau (Van der Werf, 1998 ; OCDE, 2000; NAIS, 2000 et 2004 ; Juge, 2006 ;

Bockstaller et Girardin, 2006 ; Samuel et al, 2007 ; Zahm et *al.*, 2007 ; Wohlfahrt, 2008 ; Chapot, 2009 ; etc). L'état des lieux des indicateurs disponibles ainsi que des domaines qu'ils couvrent a été fait par plusieurs chercheurs (Duchesne, L. et *al.*, 2003 ; Devillers, J. et *al.*, 2005 ; Clergué B., et *al.*, 2005 ; Levrel H., 2006 ; Zahm F. et Gassiat A., 2009). En revanche les critères de choix d'un indicateur selon Duchesne et *al.* 2003 et Zham et Gassiat (2010) ont montré que les indicateurs permettant une évaluation globale des risques des phytosanitaires au niveau de différentes échelles spatiales sur différents types d'écosystèmes ne sont pas très nombreux. En effet, l'étude faite par Devillers et *al*., 2005 a montré que le compartiment « eaux de surfaces » intéressent 80% des indicateurs étudiés, le compartiment « eaux souterraines » 58 %, le compartiment sol 35 % alors que le compartiment « air » ne présente que 19%. Le même auteur précise que ces indicateurs ne s'appliquent généralement que sur une seule échelle spatiale ou à un organisme vivant et ceux utilisé au niveau du bassin versant sont rares ou ont été développés dans un contexte particulier afin de répondre à un objectif précis (Devillers, J. et *al.*, 2005). Les acteurs de terrain (agriculteurs, gestionnaires de l'eau, etc) ont besoin d'indicateurs génériques, simples d'utilisation à différentes échelles spatiales (de la parcelle culturale au bassin versant) et modulables suivant les conditions de l'environnement récepteur, du fait de la complexité de la réalité pour être appréhendée par des mesures directes.
Les principales préoccupations de ces acteurs sont de :
- classer les substances en vue d'identifier celles qui sont les plus à risque pour l'environnement ou la santé humaine ;
- évaluer l'impact des pesticides sur l'environnement (qualité de la ressource en eau,...) ;
- choisir un produit de substitution pour un usage donné en vue de réduire les risques associés ;
- rendre compte de l'efficacité d'une modification de pratiques ou d'une politique (mesure agri-environnementale,...).
Pour pallier aux inconvénients des deux méthodes, nous proposons une méthode basée sur le couplage de la modélisation participative, des indicateurs et de jeux de simulation avec la participation des parties prenantes.

- **Conception et calcul d'Indicateur de Risque sur la Santé de l'Applicateur (IRSA)**

Pour l'évaluation des effets des pratiques phytosanitaires sur la santé des utilisateurs et de leur voisinage, nous avons conçu un Indicateur de Risque sur la Santé de l'Applicateur dont l'acronyme est l'IRSA. L'IRSA est un indicateur composite, conçu en se basant sur des travaux norvégiens (Spikkerud, 2001) et québécois (Samuel et *al.*, 2007) qui évaluent la toxicité aigüe et chronique des produits phytosanitaires en considérant les propriétés physico-chimiques et toxicologiques des matières actives. Il exprime aussi le risque associé à l'utilisation du produit en considérant l'exposition liée au type de formulation, au milieu et à la technique d'application.
L'IRSA se calcule en deux phases. La première consiste à évaluer un indice de risque de toxicité par matière active (IRTm.a) en tenant compte des propriétés toxicologiques et physicochimiques suivantes :
- la toxicité aigüe (nocif par contact avec la peau, par inhalation et en cas d'ingestion) représentée par les DL50 orale ou cutanée et CL50 (DL50 et CL50: dose létale et concentration létale entrainant la mort de 50 % d'une population animale expérimentale) ainsi que les irritations oculaires et cutanées,
- la toxicité chronique (risques liés au cancer, à la reproduction, à la neurotoxicité, aux perturbations endocriniennes…),
- Facteur de persistance (FPer) tenant compte de la demi-vie des molécules et de leur bioaccumulation dans les tissus vivants (Valcke et *al*., 2005). La somme des risques

chroniques est multipliée par un facteur de persistance (FPer). Ce dernier permet d'obtenir un indice de risque toxicologique tenant aussi compte de la biodisponibilité.
Cet IRTm.a (formule 1) est déterminé par addition des points alloués en fonction des différents critères retenus de la toxicité aiguë et chronique. La valeur est d'autant plus élevée que le risque est important. Pour obtenir une plus grande distribution des valeurs et mettre davantage en évidence des pesticides présentant un risque plus élevé, la somme des variables a été portée au carré (Samuel et al, 2007).
L'indice de risque toxicologique d'une matière active est donc défini selon la formule suivante :

$$IRTm.a = [\ \Sigma \text{ Risques aigues} + (\Sigma \text{ Risques chroniques} * FPer\ )]^2 \quad (1)$$

La deuxième phase correspond à la pondération de l'indice de risque toxicologique des matières actives (IRTm.a) par différents facteurs liés à la préparation commerciale et son application. Pour chaque valeur calculée, un coefficient est attribué.

- **Pondération de l'IRTm.a par le type de formulation**

Au cours de la préparation de l'application des pesticides, l'exposition est normalement modulée par la concentration de la matière active dans la préparation commerciale, par l'importance de la dilution et par le type de formulation (FPf). Le FPf donne une importance en matière d'exposition. Selon le type de formulation, les produits phytosanitaires peuvent se répartir en deux groupes: ceux à risque d'exposition moindre (produits sous forme solide non volatil) et ceux à risque d'exposition plus élevé (produit liquide ou solide volatil). Un facteur de pondération est retenu en fonction de la formulation de la préparation commerciale (Samuel et al, 2007).

- **Facteur de pondération lié à la dose appliquée**

La concentration de la matière active dans la préparation commerciale ainsi que la dose appliquée représentent des éléments importants de modulation du niveau de risque d'exposition. Il est donc nécessaire de tenir compte de ces variables dans le calcul du risque. Ce facteur de compensation (FCP) est déterminé à partir de la dose appliquée par l'agriculteur (DA) et de la concentration de la matière active dans le produit (Tableau 1).

Tableau 1. Facteur de pondération lié à la dose appliquée

Quantité de MA appliquée à l'hectare (DA * Concentration de la MA) en g ou ml de MA/ha	FCP: Facteur de pondération lié à la dose appliquée
< 100	0.5
≥ 100 - 1000	1
≥ 1000- 2000	1.5
≥ 2000	2

Source : Samuel et al., 2007

Dans le cas où le produit phytosanitaire contient plusieurs matières actives, l'IRT de la préparation commerciale (IRSAp.c) est égal à somme des IRT des matières actives du produit.

$$\mathbf{IRSA_{p.c} = \Sigma\ IRT\ m.a * FPf * FCP}$$

La pondération de l'IRSA matière active (IRSAm.ap) par le type de formulation d'une préparation commerciale et la dose appliquée permet l'évaluation du risque d'un produit commercial. Ainsi l'impact global d'une préparation commerciale (IRSAp.c) est la somme des IRSAm.ap de la préparation commerciale.

Toutefois, il est important de signaler que l'addition des IRT des matières actives d'un produit commercial suppose une addition des risques, ce qui n'est pas nécessairement le cas. Le fait de considérer tous les risques pour toutes les matières actives présentes dans le produit phytosanitaire permet cependant de ne pas sous-estimer un effet propre à une matière active en particulier. Il s'agit donc d'une approche conservatrice d'estimation des risques potentiels.

- **Conception et calcul de l'indicateur de Risque de Toxicité Environnementale (IRTE)**

Dans la même logique du développement de l'IRSA, nous avons aussi développé un indicateur de Risque de Toxicité Environnementale (IRTE) conçu en se basant sur plusieurs travaux de recherche dont les travaux norvégiens (Spikkerud, 2001) et québécois (Samuel et *al.*, 2007), du groupe de travail européen FOCUS (1997 ; 2003) et de la commission européenne sur l'homologation des phytosanitaires (CE, 1994, 2009).
L'IRTE prend en compte comme données d'entrées plusieurs variables critiques telles que les caractéristiques de la matière active (propriétés physicochimiques et écotoxicologiques), de la préparation commerciale (concentration de la matière active, dose appliquée..), du lieu d'application (plein champs, sous-serre…) et du type de culture (culture basse, arboriculture…). Il est également conditionné par l'environnement récepteur: facteur d'interception de la culture, potentiel de dérive, de ruissellement et de drainage, profondeur de pénétration du pesticide, densité apparente et profondeur de la colonne d'eau et de la colonne des sédiments (FOCUS 1997 et 2003). Il attribue à ces variables une note avant de les intégrer au calcul à partir d'un ratio toxicité/exposition (CE, 1994, 2009).
Le principe de l'évaluation des risques repose sur la comparaison des niveaux de toxicité avec les concentrations prévisibles dans un environnement (CPE).
Les ratios toxicité/exposition doivent respecter des marges de sécurité définies réglementairement dans la directive d'homologation des produits (directive 91/414/CEE). Ces marges sont établies par type d'organismes et tiennent compte de la durée d'exposition (court ou long terme). Sur le court terme, les valeurs de toxicité prise en compte sont les DL 50/CL50 des matières actives. Sur le long terme, les valeurs de toxicité de référence sont les Concentrations Sans Effet Observé (CSEO) c'est-à-dire n'ayant engendré aucun effet néfaste, appelé aussi NOEC : No Observed Effect ou également NOAEL (Non observed adverse effect level).

A cette fin une délimitation de classes de Ratios Toxicité/Exposition (RTE) a été réalisée en se basant sur le tableau des Ratios Toxicité/Exposition (RTE) utilisé par la commission européenne dans le cadre d'homologation des produits phytosanitaires (tableau 2).

Tableau 2. Ratios Toxicité/Exposition de références définies réglementairement dans la directive d'homologation des produits

Espèce animale	Ratios Toxicité aigüe ou Toxicité à court terme/exposition	Toxicité chronique	Sources
Oiseaux et autres vertébrés terrestres	DL50/exposition>10	CSEO/exposition>5	CE, 1994
Poissons et Daphnies	CL50/exposition>100	CSEO/exposition>10	CE, 1994
Algues et Plantes aquatiques	CL50/exposition >10	-	CE, 1994
Vers de terres	DL50/exposition>100	CSEO/exposition>5	OEPP, 2003
Abeilles	DHm.a/DL 50<50	-	CE, 1994

Source : directive 91/414/CEE

Avec: CSEO: Concentration Sans effet Observé d'une matière active ; DL50 et CL50: respectivement Dose et Concentration Létales entrainant la létalité de 50 % d'une population expérimentale, et DH m.a: Quantité de matière active (m.a) contenue dans une dose homologuée (exprimée g/ha).
Les valeurs de toxicités (CL50, DL50, CSEO) déterminées lors des tests d'homologation et répertoriées dans la base européenne Footprint[10] ont été intégrées directement dans le logiciel de calcul de l'IRTE « EtoPhy ».
Les valeurs de l'exposition, exprimées par les concentrations prévisibles dans l'environnement (CPE), sont déterminées par les méthodes du groupe FOCUS (FOCUS, 2003). Pour déterminer l'exposition à laquelle les organismes cibles sont soumis, il est nécessaire de calculer les concentrations initiales au jour j (après l'application) et les concentrations à court termes après 24 heures, 2 et 4 jours et à long terme après 7, 14, 21, 28, et 42 jours et 100 jours.
Pour l'environnement « sol », la valeur du CPEsol est calculée selon la méthode du groupe de travail européen FOCUS développée en 1997 (FOCUS, 1997):

$$CPEsolj = CIPEsol \times (1 – e^{-nkt}) / kt \quad (1)$$

Avec CPEsol: concentration prévisible dans l'environnement sol; CIPEsol: concentration initiale prévisible dans l'environnement sol ; j: le nombre de jour après l'application ; n: nombre d'application ; K: coefficient de dégradation de la matière active donné par: $Ln2/DT50 = 0.693 / DT50$; t: temps entre passages de traitements en 365 jours et n: nombre d'applications
L'exposition induite par l'environnement « eau » correspond à la concentration de la matière active prévisible dans une ressource d'eau (lac, rivière, …): CPEeau. Le calcul des concentrations maximales prévisibles dans l'environnement aquatique (CPE) est fait par adaptation de la méthode « Step 1-2 » du groupe de travail européen FOCUS développée en 2003 (FOCUS, 2003).

[10] http://sitem.herts.ac.uk/aeru/footprint/fr/index.htm

$$QMP_esu(j) = \{ QMP_esu_24(j)\} / i \quad (1)$$

$$QMP_SED(j) = \{ QMP_SED_24(j)\} / i \quad (2)$$

Avec: QMP_esu*(j):* Quantité Moyenne de Phytosanitaires pondérée dans l'eau de surface au cours des jours j (ug / L) et QMP_SED*(j):* Quantité Moyenne de Phytosanitaires pondérée dans les sédiments au cours des jours j(ug/ L) ; QMP_esu_24(*j*): concentration de phytosanitaires moyenne en eau de surface le jour j (mg / L) ; j: nombre de jours de simulation ; i: nombre de jours après le maximum absolu ; jmax: journée pour laquelle le maximum absolu de la concentration dans l'eau de surface (ou les sédiments) a été calculé ;

QMP_SED_24(*j*): concentration Moyenne de Phytosanitaires dans les sédiments le jour j (ug / kg) ;

Procédure de calcul de l'indicateur de risque de toxicité pour l'environnement d'une matière active (IRTEm.a)

L'IRTE calcule six variables de sortie représentant les risques potentiels d'une matière active sur les organismes vivants et son comportement dans l'environnement. Les risques potentiels sont calculés pour trois types d'organismes vivants: les invertébrés terrestres (vers de terre et abeille domestique), les oiseaux herbivores (Colin de Virginie) et granivores (canard Colvert) et les organismes aquatiques (poissons, daphnies, algues et plantes aquatiques). Le comportement dans l'environnement est déterminé par la persistance dans le sol, la mobilité et la bioaccumulation des molécules phytosanitaires. Ces variables peuvent être considérées comme des IRTE par organisme ou compartiment.

L'IRTE global peut se décliner en deux sous volets: un IRTE aigu ($IRTE_{aigu\ m.a}$) et un IRTE chronique ($IRTE_{chronique\ m.a}$) par matière active. La somme des variables correspond à un IRTE d'une matière active (IRTEm.a) contenue dans une préparation commerciale pour une dose homologuée ou appliquée. Les équations générales 1, 2 et 3 ci-dessous résument la méthode de calcul.

$$IRTEaigu\ m.a = [1.75*(Ta+Oaou\ Oct)+Aa+M+P+B+1]2 \quad (1)$$

$$IRTEchronique\ m.a = [1.75*(Tch+Och)+Ach+M+P+B+1]2 \quad (2)$$

$$IRTE\ globale\ m.a= [1.75*(Ta+Oaou\ Oct)+(Tch+Och)+)+Aa+\ Ach+M+P+B+1]2 \quad (3)$$

Avec Ta, Oa et Aa: variables désignant le risque potentiel de toxicité aigüe d'une matière active sur respectivement les organismes terrestres, les oiseaux et les organismes aquatiques; Oct: variable représentant le risque potentiel de toxicité à court terme d'une matière active sur les oiseaux ; Tch, Och et Ach: variables représentant le risque potentiel de toxicité chronique d'une matière active sur respectivement les organismes terrestres, les oiseaux et les organismes aquatiques.
Pour avoir une plus grande distribution des valeurs et mettre en évidence les phytosanitaires à fort risque potentiel, la somme des variables est élevée au carré. Dans l'évaluation des risques une plus grande importance est portée aux organismes terrestres du fait que ce sont les plus directement exposés lors d'un traitement. Les variables T et O sont donc multipliés par 1.75. Cette valeur multiplicative porte donc à 60% les impacts écotoxicologiques de l'indicateur IRTE et à 40% les variables physico-chimiques (M, P, B) relatives au devenir environnemental (Samuel et *al.*, 2007.).

Le calcul de l'IRTE permet théoriquement d'évaluer un risque de toxicité aigu et un risque de toxicité chronique. Cependant sur le plan pratique, par manque de données pour renseigner certaines variables d'entrée telle que la toxicité chronique sur les abeilles domestiques ou sur les oiseaux, le calcul des impacts des phytosanitaires à long terme sur ces espèces n'est pas encore possible.

- **Diagnostic de la pollution phytosanitaire diffuse : application et calibrage**

Les IRSAm.a et IRTEm.a facilitent la sélection de produits phytosanitaires qui ont les moindre risque pour la santé et l'environnement. Les indicateurs de risque de toxicité des préparations commerciales (IRSAp.c et IRTEp.c) sont mis en relation avec des données liées à l'utilisation ou encore aux ventes des produits commerciaux, permettent plutôt d'analyser l'évolution des risques liés aux pesticides à différentes échelles.

Lorsqu'ils sont mis en relation avec des données liées à l'utilisation ou encore aux ventes de pesticides, l'IRSA et l'IRTE permettent d'obtenir des indicateurs de suivi de l'évolution du risque pour la santé et pour l'environnement. Ces indicateurs de suivi du risque servent d'outil d'analyse de l'évolution des risques liés aux pesticides utilisés par une entreprise, un regroupement de producteurs ou tout autre organisme disposant de données sur l'usage ou les ventes de pesticides. En attribuant à chacune des matières actives une valeur qui reflète le risque pour la santé (IRSA) et pour l'environnement (IRTE). Les données sur l'usage ou sur les ventes sont ainsi modulées en fonction du risque potentiel que représente l'utilisation des préparations commerciales. Il est ainsi possible de produire des bilans de risque sanitaire et environnemental à l'échelle de l'exploitation agricole, par type (p. ex. insecticide, herbicide) et par groupe chimique de pesticides. Par conséquent on peut utiliser l'IRSA et l'IRTE comme outils pour la gestion des assolements et des pratiques phytosanitaires dans l'espace et dans le temps en fonction de la localisation géographique des cultures et de la vulnérabilité du milieu récepteur à la pollution phytosanitaire diffuse. Ces indicateurs d'évaluation de la toxicité humaine et environnementale spatialisées doivent permettre de mettre en exergue l'iniquité spatiale afin de pouvoir intégrer ce paramètre dans la réflexion sur l'application des politiques publiques.

- **Calcul de l'IRSA selon des données d'usage**

Les calculs des indicateurs de risque diffèrent selon que les données disponibles concernent l'usage des pesticides ou les ventes. Dans le cas de notre étude seules les données sur l'usage sont utilisées. Elles sont issues de plusieurs sources: Footprint pour déterminer les propriétés physicochimiques et toxicologiques des matières actives, Amiphy[11] pour déterminer les caractéristiques des préparations (concentrations des matières actives, types de formulation, doses homologuées) au niveau du Maroc et e-phy et Agricommend au niveau de la France et les données issues des enquêtes de terrains pour les données sur les préparations commerciales utilisées, les doses appliquées, les types de cultures et les cibles traitées au niveau du territoire analysé.

[11] http://www.amiphy.org/fr/liensutiles.php

À l'échelle d'une parcelle culturale, la pondération de l'IRSAp.c et suivant des données d'usages nécessite la détermination d'un facteur d'ajustement lié à la technique et/ou le lieu d'application (FPa)
.

Tableau 3). Trois niveaux de risque sont alors considérés, selon l'utilisation du pulvérisateur. Un risque est élevé lorsque l'application est dirigée en hauteur (arboriculture), alors qu'un risque faible est considéré lorsque l'application est plutôt dirigée vers le sol (grandes cultures, maraichages…) ou que l'applicateur utilise un pulvérisateur avec un système antidérive. Le risque est considéré faible pour tous les pesticides enrobés autour des graines en raison d'exposition appréhendée moins importante.

Tableau 3. Facteur d'ajustement lié à la technique et/ou le lieu (FPa)

Facteur d'ajustement lié à la technique et / ou du lieu d'application (FPa)		
1	**1.5**	**2**
Semences enrobées	**Céréales-Maraichages**	**Arboriculture**
- Utilisation de semences préalablement traitées - Incorporation	- Pulvérisateur à rampe horizontale. - Pulvérisateur à jet porté ou pneumatique lorsque l'application est dirigée vers le sol - Pulvérisateur avec système antidérive	- Pulvérisateur à jet porté ou pneumatique lorsque l'application est dirigée vers le haut - Traitement de semences en milieu fermé - Utilisation des pesticides en milieu clos.

Source: Samuel et al., 2007

Dans le cas où le produit phytosanitaire contient plusieurs matières actives, l'IRT du produit est égale à somme des IRT des matières actives y présentes.

- **Calcul de l'IRTE selon le milieu récepteur**

Pour obtenir des indications sur l'état du milieu récepteur, l'IRTEp.c est pondéré par des facteurs de notation de texture du sol et de la pente. Les textures sont notés selon leur importance dans les mécanismes de transfert des phytosanitaires.
Le Tableau 4 ci-dessous récapitule les facteurs de pondération de l'IRTE suivant le milieu récepteur et leurs notes que nous avons déterminé en se basant sur les travaux du groupe Focus (Focus, 2003)

Tableau 4. Classes de pentes et de textures de terres agricoles du territoire de la Merja Zerga

Nom	Classe 1	Classe 2	Classe 3
Pente	≤5	5-10	>10
texture	Argileuse	Limoneuse	Sablonneuse
Note	1	1.5	2

Source : Ayadi H., 2012

3. Modélisation et aide à la décision

Prendre en compte l'environnement dans la globalité du processus de production agricole est complexe car les facteurs d'impacts sont multiples et interagissent entre eux à des niveaux différents et ou spatiaux (Téolald, 2001). De ce fait, agriculteurs, conseillers et décideurs publics sont confrontés aux mêmes questions et problématiques. Dans le cadre d'une démarche participative, comment évaluer les impacts des pratiques agricoles ? À quelles échelles ? La réponse à ces questions n'est pas unique et les outils d'aide à la décision sont multiples. Ces outils d'aide à la décision sont construits autour de deux approches: (i) la modélisation participative et (ii) l'évaluation indirecte des impacts des pratiques agricoles par des indicateurs agri-environnementaux. L'usage de chacune des méthodes peut indépendamment révéler de nombreuses lacunes. La construction d'une méthodologie basée sur un couplage des outils de la modélisation et de l'évaluation par les indicateurs, dans le cadre d'une démarche participative a été une alternative que nous avons choisi pour notre étude.

Niveau de structuration des décisions

Selon les domaines d'application d'un processus de décision, il est indispensable de différencier les décisions suivant leur niveau de structuration. Lévine et Pomerol (1989) ont distingué deux niveaux de structuration: les "décisions bien structurées" et les "décisions peu structurées". Les auteurs considèrent qu'il existe un continuum allant des décisions les moins structurées aux plus structurées. Une décision est bien structurée quand elle est issue d'un processus connu et explicitable permettant de traiter les informations dans le système (Lévine et Pomerol 1989). Elle correspond à un programme invariable. Une décision peu ou mal structurée est un problème qui va nécessiter un effort important pour être formalisé. Il est probable que la stratégie du décideur sera une stratégie progressive avec des allers-retours entre les différentes phases du processus de décision. L'un des aspects les plus importants est que dans cette classe de décision, l'homme prend l'avantage sur la machine contrairement aux problèmes structurés. La résolution d'une problématique nécessite de faire appel au savoir-faire du décideur qui devient l'élément prépondérant du couple Homme/modèle. Dans ce cas on est à la recherche d'une solution satisfaisante (Simon, 1977).
La pollution phytosanitaire diffuse est une problématique peu structurée, qui nécessite une gestion par recours à ces types de méthodes (modélisation participative, évaluation par des indicateurs agri-environnementaux, etc). Le couplage des deux méthodes peut s'avérer la meilleure alternative.

La modélisation participative, une nécessité pour l'aide à la décision peu structurée

« *La modélisation participative est une méthode qui favorise l'implication d'un groupe d'individus dans le développement d'un modèle dans le but d'améliorer la compréhension du groupe à propos d'un système particulier, de ses problèmes et de ses solutions possibles, qui va directement ou indirectement conduire à de meilleures décisions de gestion. Le produit de cette méthode est la génération d'une compréhension collective parmi les constructeurs du modèle, pendant le processus, plutôt que le modèle lui-même* » (HarmoniCOP, 2003). D'après Rougier (2006), il y a diverses façons

d'organiser un processus de modélisation participative où différents types de modèles peuvent être construits (Hare, 2003). En revanche, les objectifs d'un tel exercice sont globalement les mêmes. Ils visent à (i) améliorer la compréhension globale du système par les acteurs concernés, (ii) permettre aux acteurs d'apprendre et de comprendre les points de vue des uns et des autres et (iii) de forger une compréhension commune du système, des problèmes et des solutions par tous les acteurs (Bousquet et al. 2005, Rousseau 2003, Ferrand 1997, Mermet 1992).
La modélisation participative joue le rôle d'un support à la décision collective, éventuellement la recherche de consensus, dans un contexte où les points de vue et les intérêts des acteurs en jeu divergent. Par rapport à des démarches participatives pour la résolution de conflits plus classiques, la modélisation participative fait appel aux outils de modélisation pour promouvoir l'utilisation de la démarche dans le cas de systèmes complexes. Elle permet d'explorer avec les acteurs en jeu la dynamique du système et son évolution dans le temps.
Les expériences de modélisation participatives dans le domaine de la gestion des risques environnementaux sont nombreuses. Nous nous sommes intéressés à une série d'expériences parmi lesquelles nous avons inclus les SIG (Système d'Information Géographique) participatifs (Abbot et al. 1998) dont les applications dans le domaine de la gestion des ressources naturelles sont riches d'enseignements. Nous nous sommes également intéressés aux Systèmes Interactifs d'Aide à la Décision (SIAD) (Courbon 1993). Nous présentons également l'approche de la modélisation participative en utilisant les théories des jeux permettant de mieux comprendre et de comparer les différences de points de vue entre les acteurs.

Les Systèmes d'Informations Géographiques (SIG)

Les Systèmes d'Informations Géographiques (SIG) sont présentés comme «un ensemble de principes, de méthodes, d'instruments et de données à référence spatiale utilisés pour saisir, conserver, transformer, analyser, modéliser, simuler et cartographier les phénomènes et les processus distribués dans l'espace géographique» (Thériault, 1996). Il s'agit d'outils interdisciplinaires qui empruntent à des nombreuses disciplines. Nous distinguons les domaines théoriques comme la géographie, l'informatique, la statistique, la géométrie, l'intelligence artificielle, la sémiologie, les sciences cognitives et la linguistique (Laurini et Thompson, 1992; Fischer et *al*., 1996) et les domaines appliqués dont la cartographie, la télédétection, la photogrammétrie, les bases de données (Maguire et al., 1991; Korte, 1997; Burrough et McDonnell, 1998). Selon cette définition, un SIG est un ensemble de sous-systèmes qui devra inclure les composantes nécessaires Maguire et *al.* (1991), repris par Burrough et McDonnell (1998), ont élaboré une typologie des SIG, qui met en lumière différentes approches, pour appréhender des problématiques de décision à référence spatiale telles que les pollutions diffuses et le dialogue entre les acteurs (Goodchild, 1992 ; Burrough et McDonnell, 1998 ; Laaribi, 2000) :

- **Les SIG considérés comme des boîtes à outils**. Cette approche est principalement orientée sur les aspects technologiques et les fonctions d'analyse offerts par le système. Ces boîtes à **outils** permettent de répondre à des questions géographiques (Maguire et al., 1991; Longley et al., 1999). Elles sont surtout utilisées par des cartographes et aminageurs, pour effectuer des traitements de données géographiques, qui seraient irréalisable ou très coûteux à faire à la main (Longley et *al.*, 2001). Ces outils permettent de traiter des données spatiales à des fins diverses (Burrough, 1986 ; Dangermond, 1992; Mullon et Boursier, 1992; Obermeyer et Pinto, 1994; Korte, 1997; Curry, 1998).

- **Les SIG constituent des intégrateurs des technologies.** Ils intègrent une variété des technologies géographiques, comme les systèmes de télédétection et de surveillance (*remote sensing*—RS), système de positionnement global (*global positioning system*—GPS), et les outils de la cartographie

automatique et de gestion de bâtiments (*automated mapping and facilities management*—AM/FM). Contrairement aux SIG qui ont une capacité remarquable d'intégrer des données multi-sources, multi-échelles et multi-formats les SIG cités ci-dessus ne traitent qu'un type spécifique de données. Cela s'explique par le fait que le développement de la technologie SIG repose sur les innovations de multiples disciplines (de la géographie, de la cartographie, de la télédétection, de la topographie, de l'hydrographie, de la géodésie, de l'informatique, de la recherche opérationnelle, de l'intelligence artificielle, de la démographie, de l'agronomie) qui ont tous contribué au développement de la technologie SIG (Chakhar, 2006).

- Les SIG sont aussi des outils d'aide à la décision. Les résultats des SIG sont un support pour la prise de décision. En effet, le SIG peut être considéré comme "un système d'aide à la décision impliquant l'intégration des données à référence spatiale dans un environnement de solution de problème" (Cowen, 1988). Les fonctions de collecte, de stockage, de manipulation et d'analyse de données à référence spatiale d'un SIG sont destinées en premier lieu à la prise de décision (Grimshaw, 1994). Ils permettent de relever des challenges concernant la gestion et l'analyse des données environnementales (Chakhar, 2006).

- Les SIG considérés comme bases de données géo-référencées. Les SIG sont aussi perçus comme un cas particulier de système d'information, dans lequel la localisation géographique est une caractéristique importante (Aronoff, 1991). Ils sont dotés d'un système de gestion des bases de données (SGBD) (Scholl et *al*. 1996). Ils utilisent la dimension spatiale comme premier moyen pour stocker et accéder à ces données. La particularité de la base de données réside dans sa capacité à modéliser des objets, des activités et des phénomènes distribués dans l'espace et qui partagent des relations topologiques (Dueker, 1979, cité dans Maguire et al., 1991). La plupart des informations sont en effet spatialement indexées à l'intérieur de la base de données et font l'objet de procédures spécifiques (requêtes et analyses) en réponse à des questionnements d'ordre spatial (Smith et *al.*, 1987, cités dans Burrough et McDonnell, 1998; Fischer et al., 1996).

Cette classification des fonctionnalités des SIG n'est pas exhaustive, néanmoins, elle permet de définir les principaux constituants des SIG (Maguire et *al.*, 1991). Ces constituants sont des sous-systèmes (i) technologiques relevant de l'environnement matériel et logiciel, de l'architecture du système ainsi que du développement de fonctions d'analyse; (ii) informatifs, dépendant d'une base de données à la fois géographiques et attributaires. Mullon et Boursier (1992) relèvent par ailleurs le cas particulier de l'utilisation des SIG dans certains domaines, qui intègrent des échelles très diverses et mettent l'accent sur les possibilités d'analyse spatiale et de simulation plutôt que sur les aspects de gestion de données géo-référencées. Les études d'impacts sur l'environnement et d'aménagement, les observatoires du territoire ainsi que les projets de recherche scientifique de modélisation environnementale, en sont des exemples.

Les SIG comme outils de gestion du territoire

Dans le cadre d'une gestion du territoire, les SIG sont utilisés de différentes manières et à différents niveaux. Ils sont utilisés soit d'une manière simple comme base de données du territoire ou sophistiquée pour la réalisation d'analyses spatiales sur lesquelles les acteurs peuvent s'appuyer pour prendre leurs décisions. En général, l'utilité des SIG dans la gestion d'un territoire peut se résumer à trois fonctions (Goodchild et *al.*, 1993): l'archivage, la production des cartes et la représentation des données ainsi que l'aide à la décision.

Le premier rôle des SIG est l'archivage des données à référence spatiale dans une structure informatisée. Dans ce rôle, les SIG constituent un système de transactions permettant de réaliser des opérations de gestion des données (Maguire et *al.*, 1991). Ils possèdent la capacité d'organiser de grandes quantités d'informations de manière systématique dans une base de données (Aronoff, 1991; Dangermond, 1992) dans le but d'assurer la compilation d'informations utiles pour la gestion et l'aménagement territorial (Golay et Riedo, 2001). Dans le domaine de la gestion des ressources naturelles, les SIG sont principalement utilisés comme un moyen de stockage, d'inventaire et de mise à jour de l'information territoriale
(Longley et *al.*, 2001). Le second rôle des SIG consiste en la production de cartes et la représentation des données (Nyerges, in: Goodchild et *al.*, 1993). Ce rôle est de grande importance dans la compréhension des phénomènes spatiaux et peut s'avérer un outil de sensibilisation très performant. La modélisation d'un territoire sous forme de cartes constitue en effet un langage commun à tous les acteurs et permet de donner une vision partagée du monde. La définition d'un modèle de données cohérent facilite ainsi l'identification des problèmes et le dialogue entre les différentes parties prenantes. Cette étape préalable est de grande importance pour l'analyse et l'exploitation des données.
Le troisième rôle joué par les SIG est celui d'outil d'analyse et d'aide à la décision. Ils permettent ainsi de gérer des données attributaires des relations spatiales. Ce qui leur confère le rôle d'outils les mieux adaptés pour l'analyse de données géographiques (Obermeyer et Pinto, 1994; Korte, 1997) tel que la transformations des données brutes suite en informations spatiales utiles pour aider les décideurs dans leurs activités (Longley et *al.*, 2001). Dans le cadre d'une analyse des impacts d'une politique territoriale ou d'une stratégie de développement, les SIG permettent de générer des scénarios d'évolution potentielle (Fischer et *al.*, 1996). Le traitement des données géographiques permet ainsi de dégager les grands traits de l'organisation du territoire et de construire des modèles de simulation (Thériault, 1996). L'usage et le rôle attribué aux SIG dépendent de la perception et des objectifs fixés par l'utilisateur (Maguire et *al.*, 1991). Les SIG sont tout à la fois des mémoires du territoire, des moyens de cartographie, des boîtes à outils, des ressources, des technologies, mais aussi des outils d'aide à la décision (Laurini et Thompson, 1992).

Les Systèmes Interactifs d'Aide à la Décision (SIAD) dans le domaine de l'agriculture

Dans le cadre de gestion d'une problématique issue de l'interaction homme/nature cas de la pollution phytosanitaire diffuse d'origine agricole, l'utilisation des Systèmes Interactifs d'aide à la Décision, dénommés SIAD, devient primordial. Les Systèmes Interactifs d'Aide à la Décision (SIAD) intéressent des décideurs individuels ou collectifs. Ils mettent l'accent sur le processus de raisonnement des choix et l'évaluation de leurs conséquences. Définis comme étant un système d'information interactif, flexible, adaptable et spécifiquement développer pour aider à la résolution d'un problème de décision en améliorant la prise de décision, les SIAD ont pour objectif « *d'amplifier le raisonnement du décideur sur la base de ses propres représentations »* (Courbon 1993). Ces outils ont une place privilégiée lorsque les problèmes sont peu, voire non structurés (Stabell 1988 ; Lévine and Pomerol 1989 ; Attonaty, Chatelin and Garcia 1999). Les SIAD utilisent des données, fournissent une interface utilisateur simple et autorisent l'utilisateur à développer ses propres idées ou points de vue. Ils peuvent utiliser des modèles standards ou spécifiques, supporter les différentes phases de la prise de décision et inclure un système à base de connaissances (Moore et Chang 1980; Turban 1993). Les modèles utilisés sont de formes variées, on distingue des modèles pour *comprendre* mais aussi des modèles pour *prédire* (Legay 1996). Ces modèles peuvent être des modèles de représentation des processus physiques (Donnely and Moore 1997), des modèles spatialisés (SIG) (Caplat, Lepart and Marty 2006), des modèles de représentation des pratiques agricoles (Chatelin et al. 1993) (Attonaty et al. 1999) ou des modèles économiques (Scott Morton 1971). Ces modèles peuvent être utilisés seuls ou conjointement pour participer aux processus de décision (modélisation d'accompagnement) (Barreteau 2003 ; Mendoza and Prabhu 2005 ; Le Grusse et al. 2007).

Les SIAD ont une place privilégiée lorsque les problèmes sont peu, voire non structurés (Stabell 1988) (Lévine and Pomerol 1989) (Attonaty et al. 1999). Ces problèmes peuvent être caractérisés par les éléments suivants (Klein et Tixier 1971) :

- les préférences, jugements, intuitions et l'expérience du décideur sont essentiels ;
- la recherche d'une solution implique un mélange de recherche d'information, de formalisation ou définition et structuration du problème, du calcul et de la manipulation de données ;
- la séquence des opérations ci-dessus n'est pas connue à l'avance parce qu'elle peut être fonction des données, être modifiée, peut ne donner que des résultats partiels, ou encore peut être fonction des préférences de l'utilisateur ;
- les critères pour la décision sont nombreux, en conflit et fortement dépendant de la perception de l'utilisateur ;
- la solution doit être obtenue en un temps limité ;
- le problème évolue rapidement.

Les applications basées sur les SAID qui mettent l'accent sur la gestion de l'environnement sont examinées en détail dans la littérature (Hipel et *al.*, 2008), mais peu sont opérationnels (Zekri et Boughanmi 2007). Ces outils de modélisation et d'aide à la décision sont basés sur l'hypothèse la plus importante qui concerne la rationalité supposée des acteurs (Simon, 1947 ; 1958 ; Russel, 1999). Trois types de rationalité paraissent cohérentes avec les connaissances que nous avons du monde agricole (Petit, 1982: (i) la rationalité complète héritée de la théorie économique ; (ii) la rationalité limitée et procédurale héritées de Simon (1958), et la rationalité adaptative de Cyert et March (1963). Nous mentionnons comme exemple de SIAD, les plates-formes de simulation technico-budgétaires, Ces outils de modélisation sont d'une grande utilité pour la problématique de la pollution phytosanitaire diffuse et la gestion des exploitations agricoles. « Olympe » est une de ces plates-formes de simulation technico-budgétaires que nous avons utilisé dans notre étude.

Exemple la plate-forme technico-budgétaire « Olympe »

Les plates-formes de simulation technico-budgétaires sont des SIAD qui contribuent à l'amélioration du dialogue entre le conseiller et l'agriculteur en considérant la gestion stratégique non pas comme la recherche d'un objectif, mais comme un processus d'apprentissage. Cette approche se rattache en grande partie au courant de la rationalité adaptative, et c'est ici que se situe le simulateur Olympe (Attonaty, 1994), simulateur que l'on a utilisé dans notre approche. Le fonctionnement d'Olympe répond à la conception des Systèmes Interactifs d'Aide à la Décision (SIAD). Keen et Morton (1978) définissent Olympe comme « un système ouvert qui augmente la qualité des processus de décision plutôt que leur productivité ». De cette définition, il ressort qu'Olympe n'est pas un outil qui cherche une solution optimale mais qui cherche à amplifier le raisonnement (Courbon, 1993). Il est utilisé de préférence quand les problèmes sont mal structurés (Attonaty et al, 1999). Il a été conçu à la Station d'Économie et Sociologie Rurale à l'INRA Grignon par Attonaty comme outil d'aide à la décision. Pour un décideur, Olympe sert comme *« un modèle qui simule les conséquences de certains aspects de ses raisonnements de gestion, les met en situation d'apprentissage et de modification/confirmation de ses règles de décision, dont il peut apprécier la pertinence au regard de ses projets et du devenir de l'entreprise qu'il perçoit »* (*Attonaty et Soler, 1992*). Olympe prend en compte des aspects techniques, économiques ainsi que des aspects climatiques. À l'aide de ce logiciel, nous pouvons faire des simulations au niveau d'une seule exploitation, au niveau d'un ensemble d'exploitations (sous-région) jusqu'au niveau de l'ensemble de sous régions (régional). Dans le domaine agricole, ces outils ont été créés initialement pour être des programmes simulateurs du développement des systèmes techniques et

de prévisions budgétaires (Attonaty et *al.* 1999). Olympe n'a pas comme objectif de fournir la solution optimale, c'est seulement un instrument destiné à faciliter la construction de solution dans le cadre d'un dialogue entre décideurs et conseillers. Il constitue aussi une base de données .

Les SIAD utilisent un cadre de représentation des connaissances qui permet de formaliser un modèle d'action sous forme de règles de décision, le formalisme du langage étant proche des représentations des acteurs et manipulables par des conseillers non spécialisés en modélisation (Le Bars, 2003). Les fonctionnalités du modèle Olympe vont plus loin: quand l'objectif est la recherche de solutions au niveau global, il permet de travailler à différents niveaux d'agrégation, il permet de simuler et d'évaluer les résultats d'un ensemble, il est également susceptible d'être utilisé pour l'aide à la décision pour la mise en œuvre d'une stratégie concertée. L'usage d'Olympe dans notre étude, pour la gestion de la problématique de la pollution phytosanitaire diffuse au niveau du bassin versant de la Merja Zerga, s'aligne avec ce qui a été cité précédemment. Cet outil peut être utilisé seul ou avec des jeux pour la mise en place de règles de jeux collectives.

Les jeux de simulation

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 et (iii) analyser collectivement les impacts des choix individuels et des décisions collectives au niveau d'un territoire. Lors de travaux de recherche précédents, plusieurs jeux de simulations ont été développés pour la gestion de l'eau sur différents bassins (Le Bars et Le Grusse, 2008 ; Le Bars et *al.*, 2011), des exploitations agricoles (Le Grusse et al., 2012) (Le Bars et al. 2012) et de l'environnement (Ulrich, 1997). Dans ces jeux, les joueurs représentent de véritables acteurs qui sont confrontés à des problèmes réels. Le résultat du jeu n'est pas défini à l'avance, mais se révèle au cours de l'interaction sociale. Différents comportements peuvent donc émerger des interactions entre les parties prenantes. Mayer et De Jong 2004 décrivent les trois principales fonctions des jeux de simulation comme suit: *«(i) d'apprentissage: les participants peuvent apprendre de l'expérience. (ii) la recherche: le jeu est un environnement expérimental par lequel les chercheurs peuvent en apprendre davantage sur le système de l'interaction entre les participants et l'interaction entre les participants et (ordinateur) des modèles. (iii) Intervention: les jeux sont des environnements expérimentaux dans lesquels les chercheurs et les participants peuvent faire des déductions théoriques et instrumentales pour la prise de décision réelle* ». Un jeu de simulation permet: (i) la dynamique de groupe qui sera créé à travers les interactions entre les acteurs et (ii) de nouvelles questions à explorer, tester et développer. Angelides et Paul (1999) soulignent que les jeux de simulation offrent aux joueurs la possibilité de développer des compétences dans la vérification d'hypothèses, la logique et le raisonnement inductif et déductif d'une manière indirecte à travers un exercice de prise de décision séquentielle. La fonction de base de l'exercice est de fournir une situation virtuelle, mais réaliste, de l'environnement qui permet aux joueurs de vivre les conséquences de leurs décisions par une réponse immédiate. Les jeux de simulation sont particulièrement efficaces pour aborder l'apprentissage de savoirs complexes, cas de la problématique de pollution phytosanitaire diffuse en zone Ramsar (Snellen et al., 1991).

Le jeu de simulation « Simphy »

Conception du jeu de simulation SimPhy : couplage DSS « Merja Phytos » avec IRTE et la base de données SIG avec participation des parties prenantes

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[12] du territoire de la Merja Zerga 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). Il s'agit d'un jeu piloté (Allaya M.et *al*., 2004) dans lequel les choix des joueurs sont guidés par des règles mise en place au préalable par le concepteur.

La construction et le test du jeu SimPhy a mobilisé des chercheurs de plusieurs disciplines (géographie, agronomie, biologie, phytiatrie, économie, informatique) et des acteurs de terrains (DREF, ORMVA du Gharb et Loukkos et agriculteurs). Le jeu SimPhy est basé sur un modèle de simulation d'un système référent réel. Cette collaboration a créé un terrain d'entente entre géographes, agronomes, économistes, gestionnaire et spécialistes en ce qui concerne la modélisation d'un processus itératif dans le cadre d'une approche participative interdisciplinaire pour la création d'une représentation commune de la problématique de pollution phytosanitaire diffuse.

Le développement et l'usage du jeu de simulations comportent différentes phases qui se résument en trois étapes: conception du modèle, son implémentation et sa validation (Figure 4). La conception du modèle consiste à la mise en place d'un schéma qui illustre les différentes phases du modèle. L'implémentation du modèle consiste à sa mise en œuvre et son application à un exemple réel par le choix et le développement de scénarios (scénarios d'exploration de la dynamique du système et scénarios de gestion). La validation consiste à au paramétrage du modèle et confronter de ses résultats à des observations réelles. La participation des acteurs du système étudié a eu lieu aux différents stades. Le but recherché est la construction d'un consensus pour l'aide à la décision collective des acteurs du territoire de la Merja Zerga. Les représentations des différents groupes d'acteurs sont partagées durant l'étape d'établissement du modèle conceptuel et les discussions sont orientées par les animateurs vers la définition d'un modèle et d'une vision consensuelle du système et de ses dynamiques.
Ainsi, dans cette étude, l'outil de simulation est utilisé pour imiter les dynamiques des systèmes complexes. Il nous sert de support à la discussion en simulant la réponse du système à des décisions et des stratégies de gestion qu'envisagent les participants. Il amène également les participants à prendre du recul par rapport aux évolutions possibles du système et à adopter une vision globale du système.

[12] Compte tenu de l'analphabétisme des agriculteurs, nous avons eu recours prour ce jeu à des étudiants de l'IAV Hassan II et des techniciens et ingénieurs des ORMVA du Gharb et du Loukkos que nous remercions au passage, pour ce jeu de rôles et pour effectuer tous les simulations des scénarios.

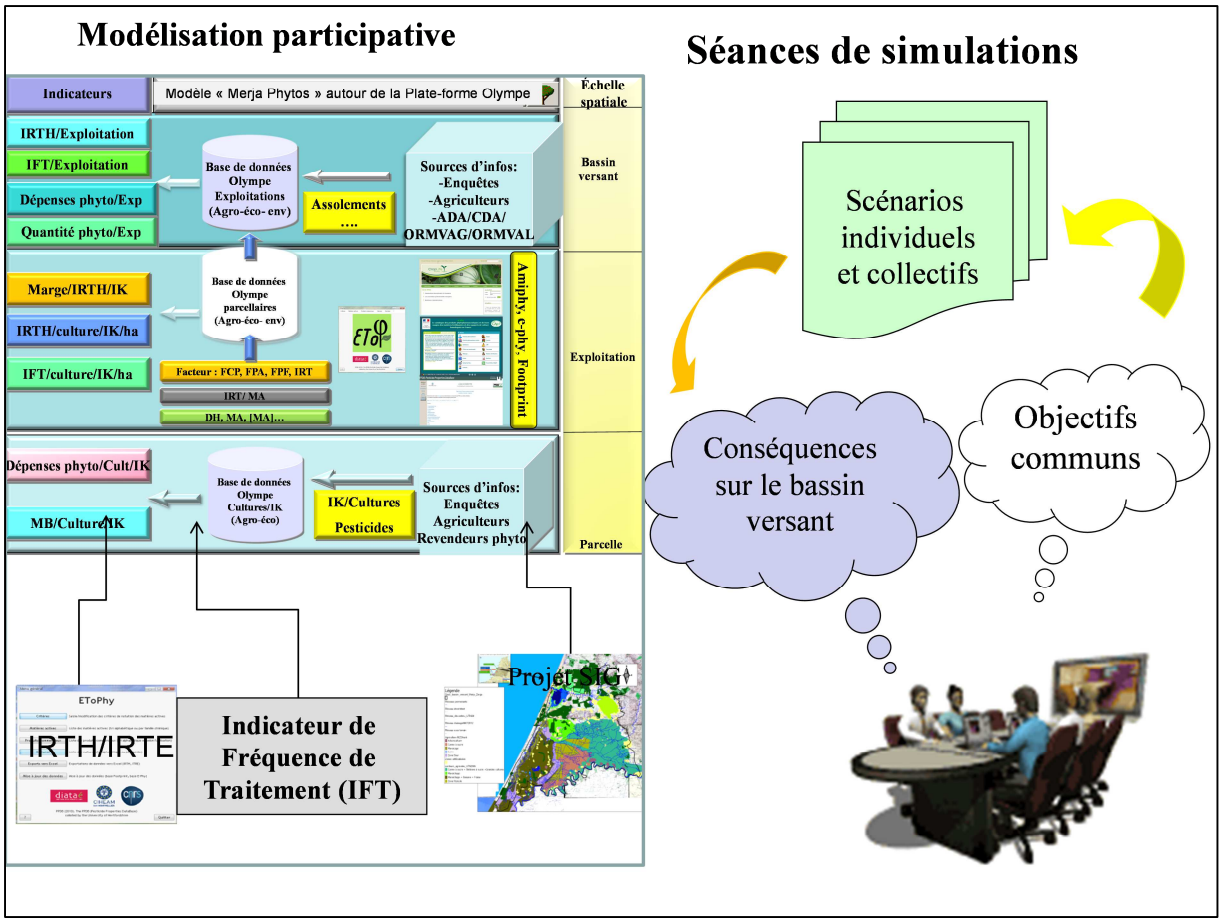


Figure 4. Modèle conceptuel du jeu de simulation « SimPhy » au niveau du bassin versant de la Merja Zerga (Réalisation : Ayadi H., 2012)

Support informatique du jeu SimPy: couplage d'un DSS avec des indicateurs et une base SIG

Le territoire de la Merja Zerga est représenté par un modèle conceptuel, intitulé « Merja_Phytos » (Figure 5). La représentation du modèle « Merja_Phytos » a été réalisée en deux étapes :

- L'implémentation du modèle au niveau de la plate-forme Olympe de type Decision Support System (DSS) (Attonaty et al. 1991). A cours de cette étape, les données technico-économiques et les indicateurs de pression (Indicateur de Fréquence de Traitement IFT) et de risque de toxicité des phytosanitaires (Indicateur de Risque sur la Santé de l'Applicateur IRSA) sont saisis. ces exploitations sont des données d'alimentation et
- Couplage de la base technico-économique olympe avec l'indicateur de risque de toxicité environnementale (IRTE) et une base de données SIG décrits au chapitre précédent.

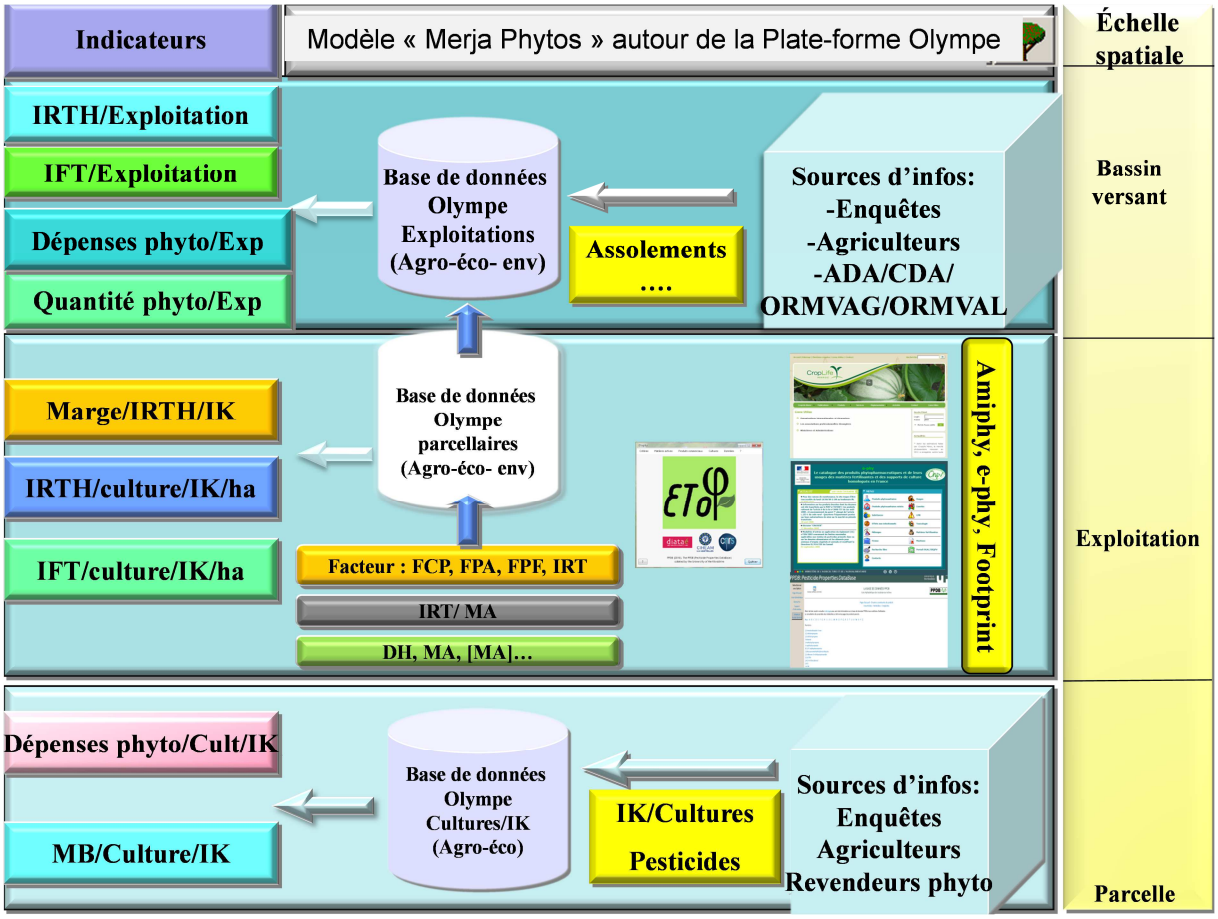


Figure 5. Conception du Modèle « Merja Phytos » autour de la plate-forme de type SIAD « Olympe » (Réalisation : Ayadi H., 2012)

Le choix de cet outil est justifié par sa grande capacité à intégrer les aspects économiques, techniques et environnementaux de gestion des cultures d'exploitations agricoles, afin de voir les conséquences de différents scénarios envisagés par l'exploitant ou par des autorités locales (Le Bars et Snoeck 2007). Il a été conçu pour travailler de façon interactive avec les agriculteurs, que ce soit individuellement ou en groupe (Le Grusse et al. 2006). L'outil peut servir comme base de données technico-économiques. Il peut être utilisé pour l'évaluation des conséquences des changements dans la gestion des cultures ou le test de facteurs inconnus dans la simulation. Comme il permet d'évaluer les conséquences d'événements imprévus sur les résultats d'un projet (par exemple, les fluctuations de prix, les facteurs climatiques, les tendances changeantes du marché).

Les systèmes de productions types et leur base de données technico-économiques

La typologie des exploitations agricoles et sa base de données technico-économique, suivant la méthode décrite au paragraphe 3.2 du cinquième chapitre, a fait l'objet d'une saisie au niveau de la plate-forme Olympe (Figure 6) suivant un emboitement d'échelles spatiales de la parcelle culturale au bassin versant et par intégration de l'espace structuré et géré.

La saisie des données a été réalisée en différentes phases :

- 1e phase. Définitions des produits et des charges. Au cours de cette phase nous avons défini, par catégories, les produits avec leurs prix de vente et les charges opérationnelles liées à la production. Ces valeurs vont servir par la suite à élaborer les fiches technico-économiques de chaque culture.

- 2e phase. Élaboration des Itinéraires Technico-Économiques au niveau de l'atelier par culture et par parcelle culturale. Pour chaque type de production, les données sont saisies par catégories et par atelier défini au niveau de la catégorie (exemple pour la catégorie céréales les ateliers sont culture de blé dur, blé tendre et orge...). Au niveau de l'atelier chaque parcelle culturale représentée est définie par une fiche technico-économique qui retrace les pratiques culturales, les charges opérationnelles et les produits agricoles. Cette étape consiste à rentrer dans le modèle Merja Phytos-Olympe les quantités d'intrants utilisés et les produits obtenus pour chaque culture.
- 3e phase. Les agriculteurs. À ce niveau la typologie élaborée précédemment a été saisie dans le logiciel. Pour chaque système de culture-type, l'ensemble des cultures et leurs assolements ont été saisis.
- 4e phase. Les ensembles. Dans cette rubrique du modèle, le territoire est représenté par les effectifs des agriculteurs de chaque système de culture-type. Les exploitations saisies suivant différents critères sont agrégées afin de déterminer la représentativité de chaque système de production au niveau du bassin versant. À cette fin, nous avons utilisé les effectifs des agriculteurs comme coefficients de pondération. Le système de production est le produit des données d'une exploitation individuelle et le nombre total des exploitations qu'elle représente en réalité.

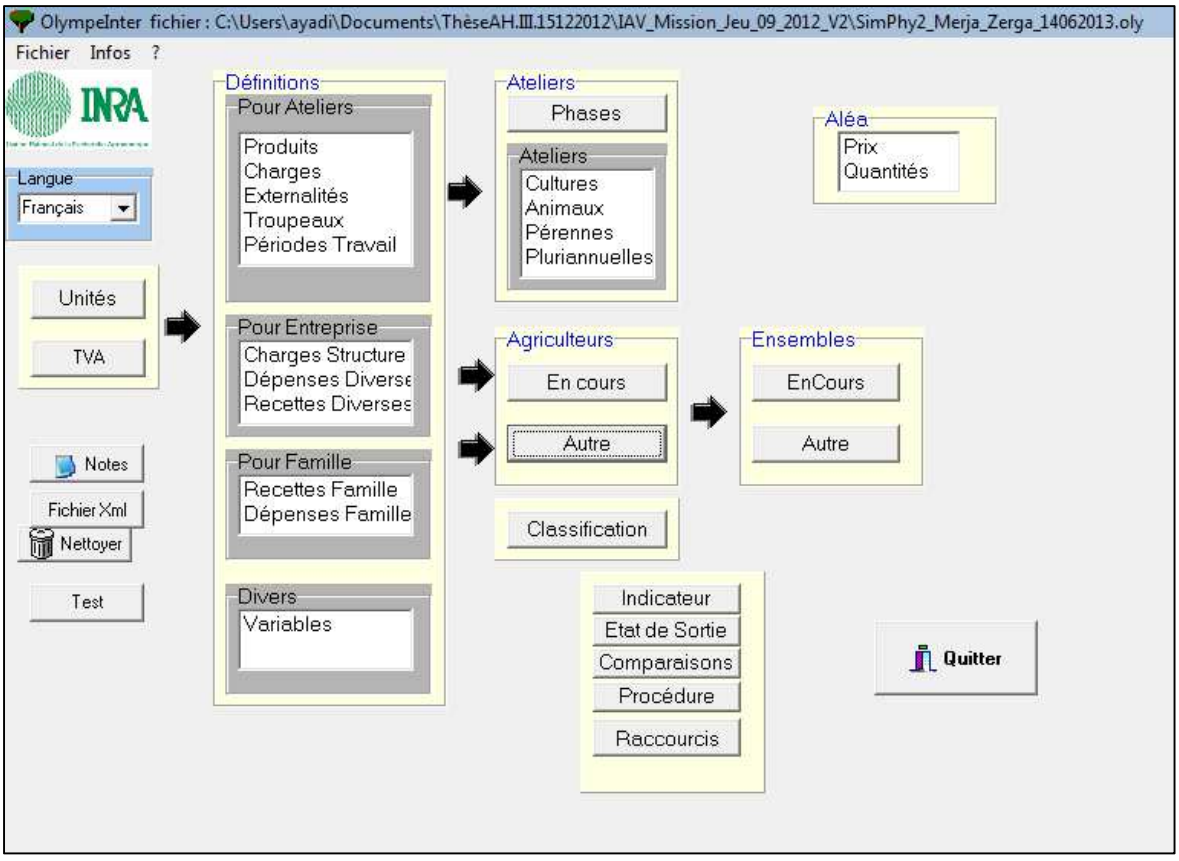


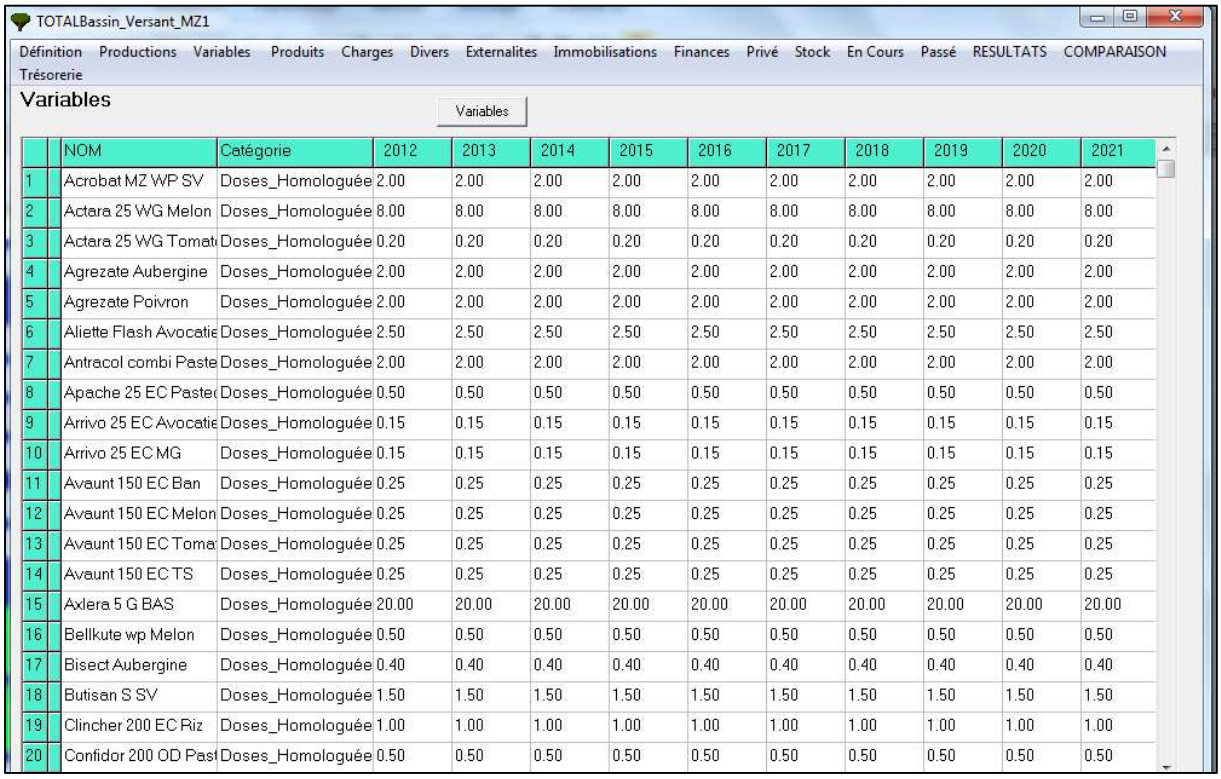
Figure 6. Interface du menu principal de la plate-forme Olympe (Source : Version 1.34 de Olympe, INRA de Grignon, 2006)

Création des indicateurs : couplage du modèle « Merja_Phytos » avec les indicateurs de pression et de risques de toxicité pour la santé humaine (IRSA)

L'évaluation de la pression et des impacts des produits phytosanitaires utilisés au niveau du territoire de la Merja Zerga nécessite le couplage de la base de données « Merja_Phytos » avec l'IFT et l'IRSA

et d'autres bases de données telle qu'Amiphy pour les formulations et les doses homologuées. Il s'agit de la 5e phase de modélisation au niveau de la plate-forme Olympe.

5e phase. Modélisations des indicateurs de pression (IFT) et de risque de toxicité humaine (IRSA) dans la rubrique « variables »

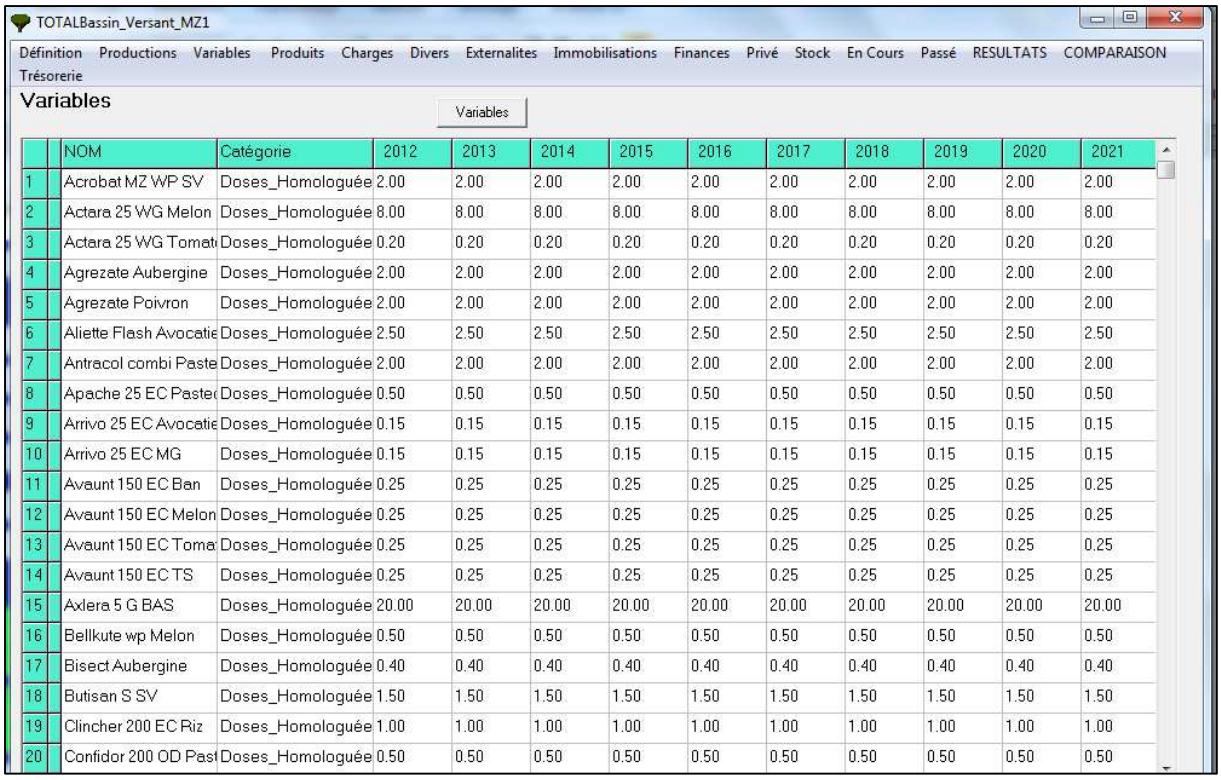


	NOM	Catégorie	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
1	Acrobat MZ WP SV	Doses_Homologuée	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
2	Actara 25 WG Melon	Doses_Homologuée	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
3	Actara 25 WG Tomat	Doses_Homologuée	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
4	Agrezate Aubergine	Doses_Homologuée	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
5	Agrezate Poivron	Doses_Homologuée	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
6	Aliette Flash Avocatie	Doses_Homologuée	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
7	Antracol combi Paste	Doses_Homologuée	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
8	Apache 25 EC Paste	Doses_Homologuée	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
9	Arrivo 25 EC Avocatie	Doses_Homologuée	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
10	Arrivo 25 EC MG	Doses_Homologuée	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
11	Avaunt 150 EC Ban	Doses_Homologuée	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
12	Avaunt 150 EC Melon	Doses_Homologuée	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
13	Avaunt 150 EC Toma	Doses_Homologuée	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
14	Avaunt 150 EC TS	Doses_Homologuée	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
15	Axlera 5 G BAS	Doses_Homologuée	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
16	Bellkute wp Melon	Doses_Homologuée	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
17	Bisect Aubergine	Doses_Homologuée	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
18	Butisan S SV	Doses_Homologuée	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
19	Clincher 200 EC Riz	Doses_Homologuée	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	Confidor 200 OD Past	Doses_Homologuée	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50

Figure 7). Pour pouvoir faire des simulations d'éventuelles réductions des risques de toxicité ou de pression à l'échelle de la parcelle culturale, de l'exploitation agricole ou du système de production, le couplage du modèle technico-économique avec les deux indicateurs (IRSA et IFT) est indispensable. Cette tâche a été réalisée en plusieurs étapes.

1e étape. Au niveau de la rubrique « variables ». Création de trois catégories de variables: doses homologuées, concentrations des matières actives dans les préparations commerciales et IRSAm.a.

2e étape. Renseignement des trois types de variables au niveau de la rubrique « les Agriculteurs » bouton « variables ».



	NOM	Catégorie	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
1	Acrobat MZ WP SV	Doses_Homologuée	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
2	Actara 25 WG Melon	Doses_Homologuée	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
3	Actara 25 WG Tomat	Doses_Homologuée	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
4	Agrezate Aubergine	Doses_Homologuée	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
5	Agrezate Poivron	Doses_Homologuée	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
6	Aliette Flash Avocatie	Doses_Homologuée	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
7	Antracol combi Paste	Doses_Homologuée	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
8	Apache 25 EC Paste	Doses_Homologuée	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
9	Arrivo 25 EC Avocatie	Doses_Homologuée	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
10	Arrivo 25 EC MG	Doses_Homologuée	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
11	Avaunt 150 EC Ban	Doses_Homologuée	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
12	Avaunt 150 EC Melon	Doses_Homologuée	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
13	Avaunt 150 EC Toma	Doses_Homologuée	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
14	Avaunt 150 EC TS	Doses_Homologuée	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
15	Axlera 5 G BAS	Doses_Homologuée	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
16	Bellkute wp Melon	Doses_Homologuée	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
17	Bisect Aubergine	Doses_Homologuée	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
18	Butisan S SV	Doses_Homologuée	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
19	Clincher 200 EC Riz	Doses_Homologuée	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	Confidor 200 OD Past	Doses_Homologuée	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50

Figure 7. Interface de la rubrique Variables (Source : modèle Merja_Phytos_Olympe, 2012)

Les doses homologuées des préparations commerciales et les concentrations de leurs matières actives sont issues de trois bases de données. Il s'agit de la base Amiphy[13] (Association Marocaine des Importateurs des produits Phytosanitaires), la base de données Française

e-phy[14] et l'Index Phytosanitaire Marocain version 2012. Les données collectées ont été saisies au niveau de la rubrique « Variables » de chaque exploitation agricole.

Fpf_Fpa_IRTm.a sont issus du modèle EToPhy et d'un calcul sous Excel.

3^{e} étape. Au niveau de la rubrique « Indicateur ». Création des formules de calcul de IFT et de IRSA. Trois échelles spatiales sont prises en compte au niveau de cette rubrique : la parcelle culturale, l'exploitation agricole et le bassin versant.

À l'échelle de la parcelle culturale trois types d'IFT (un IFT issu de la division de la dose appliquée par la dose homologuée) ont été calculés :

- IFT Herbicide par hectare, en faisant la somme des IFT traitements herbicides ;
- IFT Hors Herbicide par hectare, en faisant la somme des IFT traitements fongicides et insecticides
- IFT culture par hectare, en faisant la somme des IFT Herbicide et IFT Hors Herbicide.

À l'échelle de l'exploitation agricole :

- IFT exploitation, en faisant la somme des IFT des cultures cultivées dans l'exploitation multipliée par chaque assolement.

[13] Amiphy: http://www.amiphy.org/
[14] e-phyhttp://e-phy.agriculture.gouv.fr/

À l'échelle du bassin versant :

- IFT bassin versant, en multipliant IFT exploitation pour l'effectif des agriculteurs représentant le poids du système de culture à l'échelle du bassin versant.

Pour le calcul de l'IRSA, Il y a eu la programmation de plusieurs formules au niveau de la rubrique « Indicateur » de la plate-forme Olympe en trois étapes :

- Écriture de la formule de calcul des quantités de matières actives par hectare. Cette formule permet de déterminer le facteur de pondération de l'IRT suivant le FCP
- Création d'un premier indicateur qui calcule la quantité de chaque matière active appliquée par les agriculteurs.
- Calcul d'un indicateur qui attribue une note à l'FCP selon la quantité de la matière active appliquée par l'agriculteur.

Trois échelles ont été retenues pour le calcul de l'indicateur de risque de toxicité pour la santé humaine (IRSA). Le premier niveau est la parcelle culturale où l'IRSA-Culture-par hectare est calculé en faisant la somme des IRSA des produits.Le deuxième niveau est l'exploitation agricole calculé en faisant la somme des IRSA-culture pondérée par la surface cultivée. Le troisième niveau est représenté par le poids de chaque système de culture au niveau du bassin versant en pondérant IRSA_exploitation par l'effectif des agriculteurs du système de culture-type au niveau du bassin versant.

4. Les Résultats

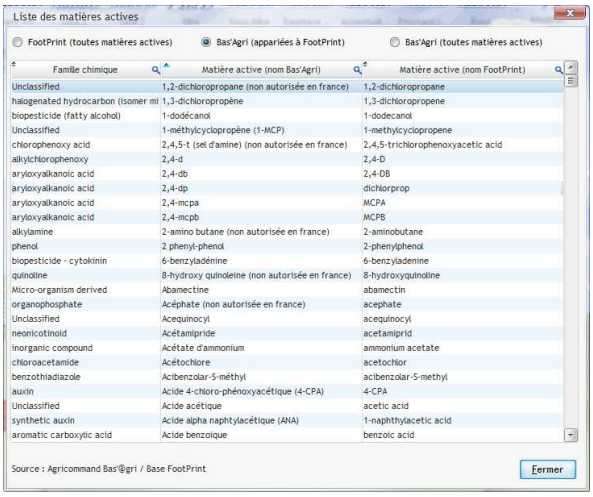
1. Logiciel EtoPhy / Fonctionnalités

EToPhy est un logiciel qui permet le calcul de deux **indicateurs de risque** liés à l'utilisation des **produits phytosanitaires :**

- Un **indicateur de risque pour la santé de l'applicateur**
- Un **indicateur de risque environnemental**

Indicateur de risque pour la santé de l'applicateur

Pour le calcul de cet indicateur, on prend en compte des données concernant la toxicité aiguë et la toxicité chronique des **molécules** :

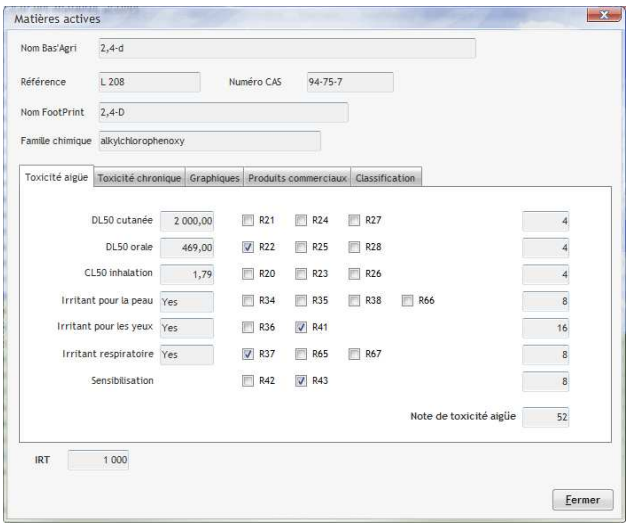


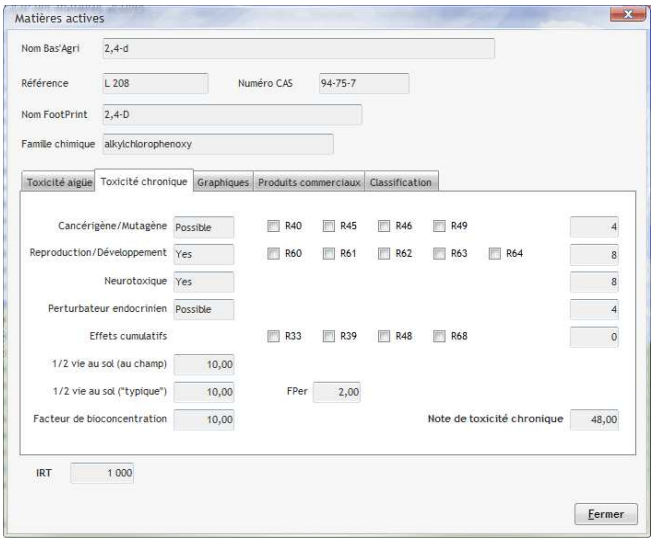
- Toxicité aiguë : DL50 orale, DL50 cutanée, CL50 par inhalation, phrases de risque liées à la toxicité aiguë, données issues de la base FootPrint concernant la toxicité aiguë par voie orale, cutanée ou par inhalation, l'irritation par voie cutanée, oculaire et respiratoire.
- Toxicité chronique : phrases de risque liées à la toxicité chronique, données issues de la base FootPrint concernant les effets cancérigènes, neurotoxiques, sur la reproduction et le développement, sur le système endocrinien (perturbation endocrinienne).

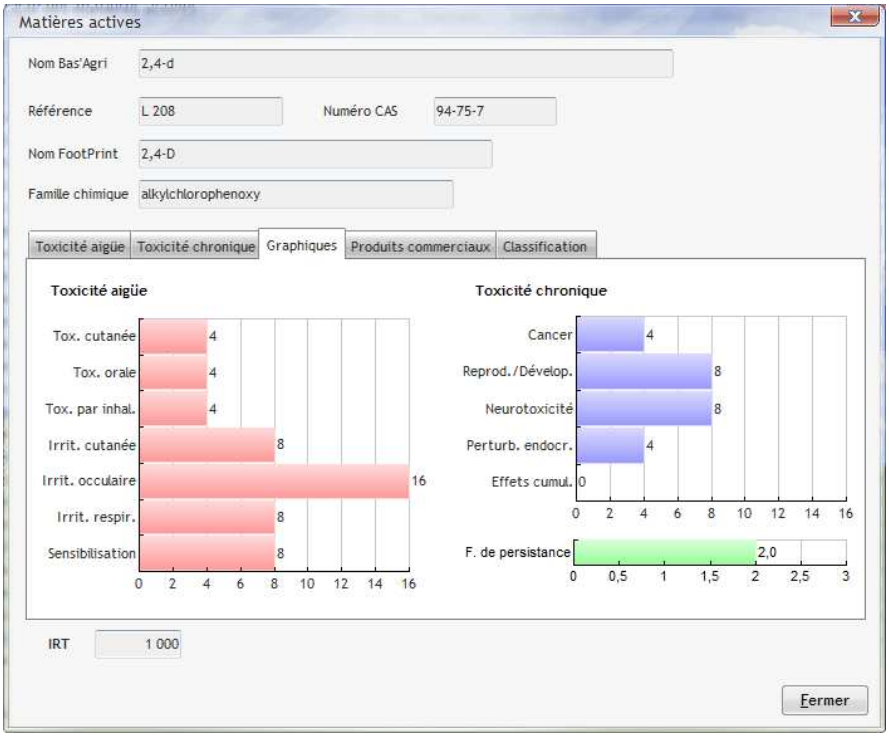
Suivant la valeur de chacune de ces données, une note est attribuée et l'ensemble des notes sont sommées, aboutissant à une note de toxicité aiguë et une note de toxicité chronique, à partir desquelles est calculé un Indice de Risque de Toxicité (IRT) **pour chaque molécule**.

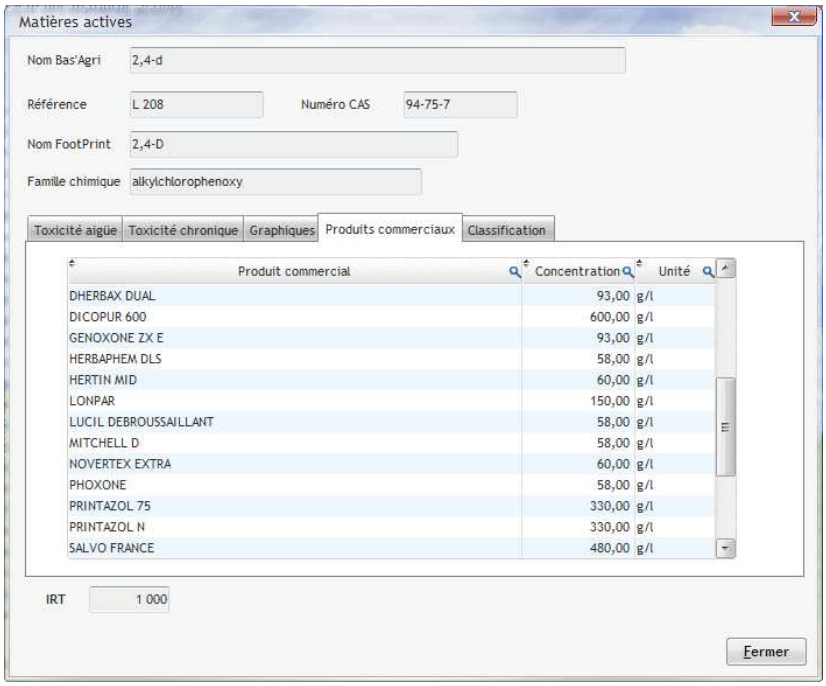
Pour un produit phytosanitaire donné, les IRT de l'ensemble des molécules contenues dans le produit sont utilisés pour calculer l'indicateur de risque pour la santé de l'applicateur.

Ecrans : Matières actives




Matières actives
Nom Bas'Agri 2,4-d
Référence L 208
Numéro CAS 94-75-7
Nom FootPrint 2,4-D
Famille chimique alkylchlorophenoxy
Toxicité aigüe
Toxicité chronique
Graphiques
Produits commerciaux
Classification
Cancérigène/Mutagène Possible
R40 R45 R46 R49 4
Reproduction/Développement Yes
R60 R61 R62 R63 R64 8
Neurotoxique Yes 8
Perturbateur endocrinien Possible 4
Effets cumulatifs
R33 R39 R48 R68 0
1/2 vie au sol (au champ) 10,00
1/2 vie au sol (*typique*) 10,00
FPer 2,00
Facteur de bioconcentration 10,00
Note de toxicité chronique 48,00
IRT 1 000
Fermer


Matières actives
Nom Bas'Agri 2,4-d
Référence L 208
Numéro CAS 94-75-7
Nom FootPrint 2,4-D
Famille chimique alkylchlorophenoxy
Toxicité aigüe
Toxicité chronique
Graphiques
Produits commerciaux
Classification
Toxicité aigüe
Tox. cutanée 4
Tox. orale 4
Tox. par inhal. 4
Irrit. cutanée 8
Irrit. occulaire 16
Irrit. respir. 8
Sensibilisation 8
0 2 4 6 8 10 12 14 16
Toxicité chronique
Cancer 4
Reprod./Dévelop. 8
Neurotoxicité 8
Perturb. endocr. 4
Effets cumul. 0
0 2 4 6 8 10 12 14 16
F. de persistance 2,0
0 0,5 1 1,5 2 2,5 3
IRT 1 000
Fermer



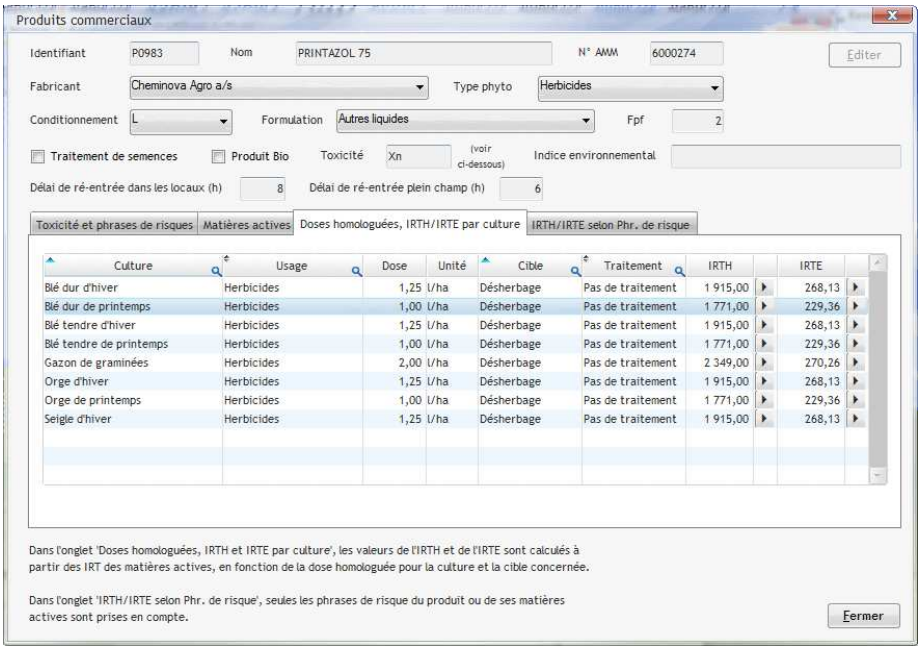
Indicateur de risque environnemental

Pour le calcul de cet indicateur, on tient compte des données concernant la toxicité à court et à long terme des **molécules** sur différents compartiments de l'environnement :

- Invertébrés terrestres (vers de terre, abeilles)
- Oiseaux
- Organismes aquatiques (poissons, daphnies, algues, plantes aquatiques)

S'ajoutent à cela des données physico-chimiques concernant :

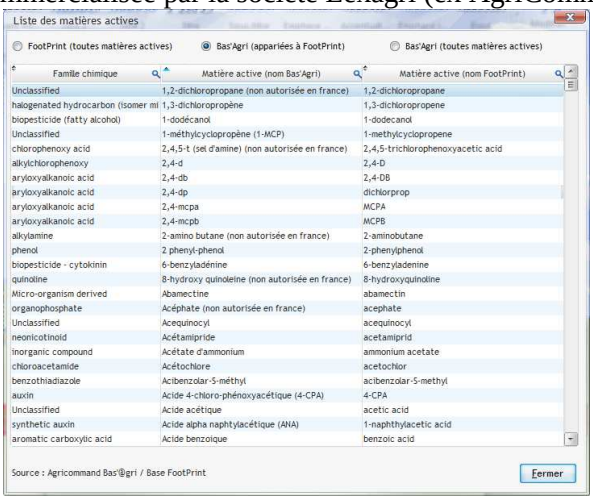
- La mobilité (indice GUS)
- La persistance (DT50)
- La bio-accumulation (DT50 et coefficient de partage octanol-eau)



Provenance des données

Ce calcul s'appuie sur deux bases de données :

- La base **FootPrint PPDB** (Pesticide Properties DataBase), distribuée par l'Université d'Hertfordshire
- La base **Bas'@gri**, commercialisée par la société Lexagri (ex AgriCommand)



Pour chacune de ces deux bases de données, une licence d'utilisation a été contractée par la société DIATAÉ gestionnaire du logiciel qui est également en charge de l'actualisation des données à partir des informations transmises à intervalles réguliers par les distributeurs de ces deux bases de données.
L'ensemble des données utilisées par le logiciel (données de la base FootPrint, données de Bas'@gri, données saisies par les utilisateurs, données internes du programme) sont stockées sur un serveur hébergé par l'IAMM. L'utilisateur n'a pas directement accès à ces données, mais uniquement aux résultats des calculs et extractions pratiqués au travers de l'interface d'utilisation du logiciel. L'accès aux données présentes sur le serveur (et par conséquent l'utilisation du logiciel) suppose que l'utilisateur dispose d'une connexion Internet active. Toutefois, la possibilité est donnée à certains

utilisateurs de synchroniser les données présentes sur le serveur avec une base de données locale, située sur la machine de l'utilisateur, ce qui permet l'utilisation du logiciel en cas d'absence de connexion Internet.
Le développement a été effectué avec l'Atelier de Génie Logiciel WinDev (distribué par la société PC-Soft. Le logiciel Dépôt a été déposé à l'Agence de Protection des Programmes : APP n° IDDN.FR.001.060017.000.D.C.2011.000.31500..

Définition des critères de calcul des indicateurs

Les critères de calcul des indicateurs sont :

- les échelles de notation utilisées pour la toxicité aiguë et la toxicité chronique (indicateur de risque pour la santé de l'applicateur), ainsi que pour la toxicité à court et à long terme (indicateur de risque environnemental) ;
- les notes attribuées à chaque donnée, selon qu'elle se situe dans une certaine plage de valeur (cas d'une variable quantitative (exemple : valeur de la DL50 orale)), ou qu'elle prend une valeur particulière (cas de variables qualitatives (exemple : phrases de risque)).

Après une phase de calage des indicateurs, au cours de laquelle différentes valeurs des différents critères de calcul ont été testées, les valeurs définitives ont été fixées. L'utilisateur n'a donc pas la possibilité de modifier les critères de calcul.

Propriétés des matières actives

Pour chaque molécule (matière active), l'utilisateur a la possibilité de consulter une "fiche". Cette fiche comporte les informations suivantes :

- les données quantitatives et qualitatives correspondant à la toxicité aiguë ainsi que les notes correspondantes, ainsi que la note de toxicité aiguë résultante ;
- les données quantitatives et qualitatives correspondant à la toxicité chronique ainsi que les notes correspondantes, ainsi que la note de toxicité chronique résultante ;
- un ensemble de graphiques synthétisant les informations précédentes ;
- la liste des produits commerciaux renfermant cette molécule, avec la concentration correspondante ;
- la valeur de l'IRT ;
- une classification de la molécule selon 7 classes, en fonction de la valeur de l'IRT.

Depuis la liste des produits, il est possible d'accéder à la fiche d'un produit commercial, telle qu'elle est définie ci-dessous.

Propriétés des produits commerciaux

Pour chaque produit commercial, l'utilisateur a la possibilité de consulter une "fiche". Cette fiche comporte les informations suivantes :

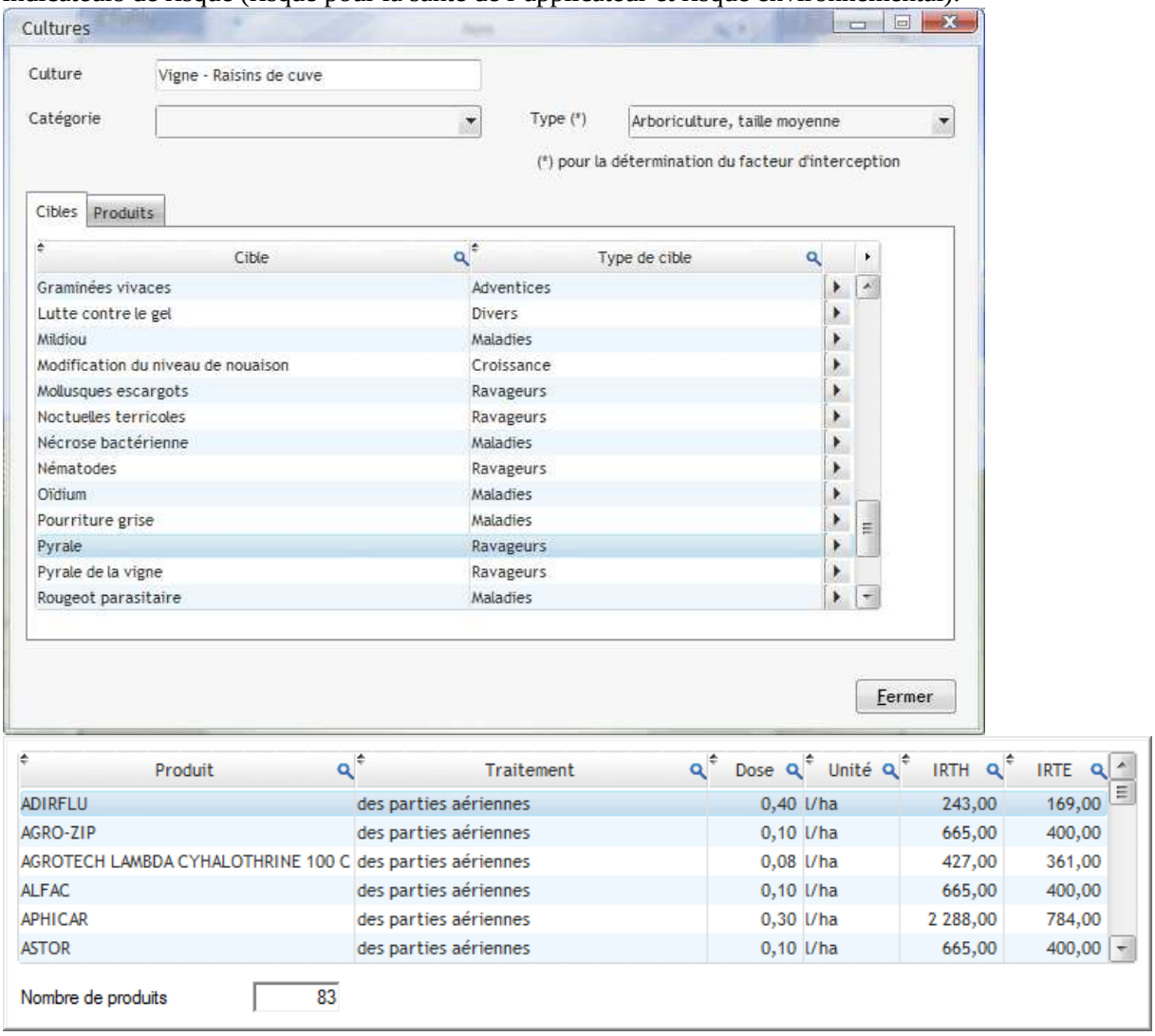
- la toxicité et les phrases de risque selon l'ancienne classification et la nouvelle classification CLP ;
- la liste des matières actives contenues dans le produit, avec leur concentration et la valeur de leur IRT ;
- l'ensemble des traitements homologués pour ce produit (culture, cible, type de traitement), avec la dose homologuée correspondante ;
- pour chaque traitement homologué, les valeurs des deux indicateurs de risque (risque pour la santé de l'applicateur et risque environnemental).

La valeur des indicateurs dépend des doses employées dans la mesure où elle permet de calculer, pour chaque matière active contenue dans le produit, une quantité de matière active appliquée par unité de surface traitée, quantité utilisée dans le calcul d'un facteur de pondération de la toxicité de chaque molécule contenue dans le produit.

Propriétés des cultures (plantes cultivées)

Pour chaque culture, l'utilisateur a la possibilité de consulter une "fiche". Cette fiche comporte les informations suivantes :

- la liste des maladies, adventices et ravageurs de cette culture, avec pour chacun, la liste des produits commerciaux homologués (avec la dose homologuée) ainsi que les valeurs des deux indicateurs de risque (risque pour la santé de l'applicateur et risque environnemental) ;
- la liste des produits homologués sur cette culture, avec pour chacun, les traitements homologués (cible, type de traitement, dose homologuée) ainsi que les valeurs des deux indicateurs de risque (risque pour la santé de l'applicateur et risque environnemental).



Exports de données

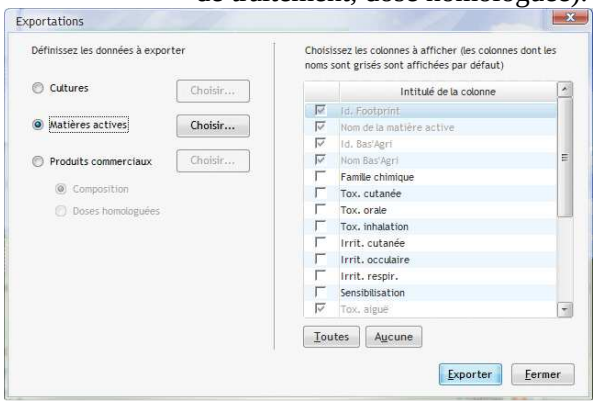
L'utilisateur a la possibilité d'exporter sous forme de fichiers Excel le résultat des extractions de données suivantes :

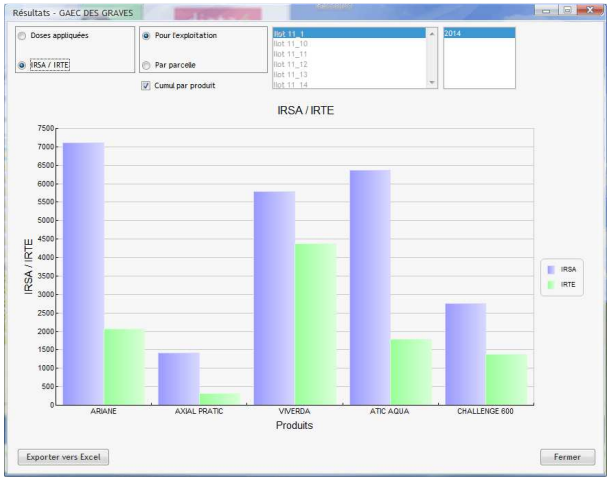
- Pour une sélection de cultures :
  - par défaut, l'ensemble des traitements homologués (cible, type de traitement, produit) ;
  - si l'utilisateur le choisit, pour chaque traitement homologué, les matières actives contenues dans le produit utilisé avec l'ensemble des notes attribuées pour le calcul des deux indicateurs.
- Pour une sélection de matières actives :

- par défaut, les notes de toxicité aiguë et chronique, l'IRT et la liste des produits renfermant chaque matière active sélectionnée ;
- si l'utilisateur le choisit, l'ensemble des notes attribuées pour le calcul des deux indicateurs.

- Pour une sélection de produits commerciaux :
  - par défaut, les matières actives contenues dans chaque produit sélectionné, avec les notes de toxicité aiguë et chronique et l'IRT de chaque matière active ;
  - si l'utilisateur le choisit, pour chaque matière active contenue dans le produit, l'ensemble des notes attribuées pour le calcul des deux indicateurs.

  Ou
  - l'ensemble des traitements homologués pour chaque produit sélectionné (cible, type de traitement, dose homologuée).





Résultats indicateurs IRSA/IRTE par parcelle et par exploitation agricole

2. Diagnostic des pratiques et modèles de bassin

Ces indicateurs sont utilisables à différentes échelles (parcelles, exploitations agricoles , bassin versant).

Diagnostic global des pratiques phytosanitaires au niveau des exploitations agricoles

La démarche de diagnostic menée au niveau des exploitations sur plusieurs années permet d'évaluer la variabilité interannuelle, la variabilité entre agriculteurs et entre les différentes cultures. Les analyses menées montrent qu'à l'échelle des exploitations la plus grande variabilité entre les indicateurs se situe au niveau des individus et reflète les stratégies de choix des produits et des pratiques phytosanitaires entre les agriculteurs

Diagnostic du risque de toxicité sur la santé humaine et l'environnement lié aux pesticides utilisés dans les itinéraires techniques

Après avoir analysé les variabilités à l'échelle des exploitations, nous avons détaillé les pratiques phytosanitaires au niveau des parcelles pour évaluer l'impact des produits utilisés sur la santé de l'applicateur et l'environnement. Les résultats obtenus indiquent qu'il existe, pour certains produits, une corrélation entre l'IFT, l'IRSA et l'IRTE. Cependant dans la grande majorité des cas nous n'avons pas à ce niveau d'analyse, de corrélation entre IFT et les indicateurs de risque de Toxicité avec également des cas d'opposition entre risque santé et risque environnemental. Par ailleurs la possibilité d'analyser ces itinéraires techniques avec des sous indicateurs au niveau de l'IRSA (Tox Aïgue, Tox Chronique) et de l'IRTE au niveau de différents compartiments (Air, Eau et Sol) permet d'affiner les stratégies et de les adapter au contexte local.

Le premier modèle sur le bassin versant de la Merja Zerga au Maroc, a été orienté vers l'analyse de scénarios de choix d'assolements au niveau spatial et la gestion d'itinéraires techniques à partir d'une typologie d'exploitations types. Nous nous sommes placés dans une gestion annuelle et pluriannuelle pour analyser les impacts sur le milieu comme ci- dessous notamment en terme de pression phytosanitaire (IFT), en terme de risque santé pour les applicateurs (IRSA) et de risque environnemental (IRTE).

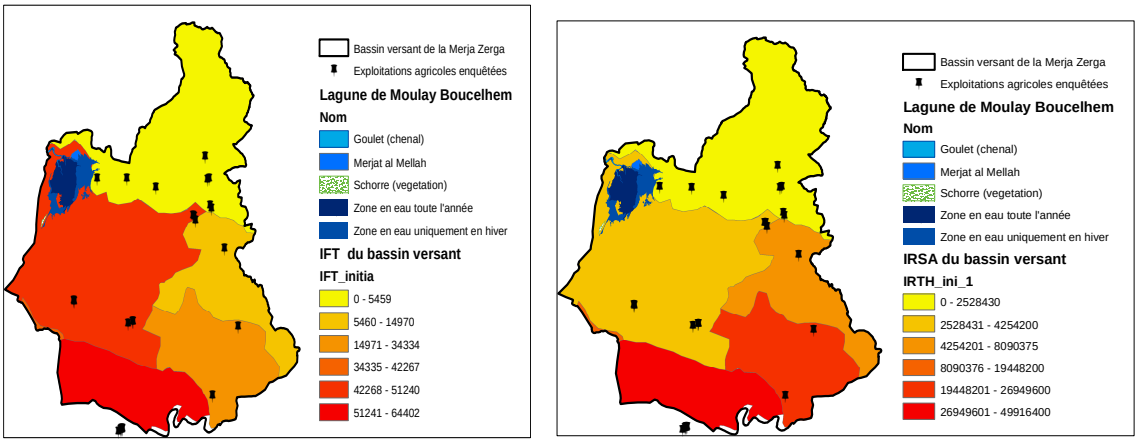


Fig 3 : Répartition spatiale de la pression Phytosanitaire (IFT) sur le bassin versant de la Merja Zerga au Maroc (carte gauche) et de l'IRSA (carte droite)..

Le modèle permet d'évaluer la répartition spatiale et temporelle de la pression Phytosanitaire , des risques santé humaine et environnementaux. (Fig 3 et fig 4).
Le modèle couplé à un SIG permet également de caractériser les exutoires des sous bassins et de quantifier les matières actives à traiter dans des zones tampons, et donc d'aider à l'élaboration et au dimensionnement de ces dernières.(Fig 5)

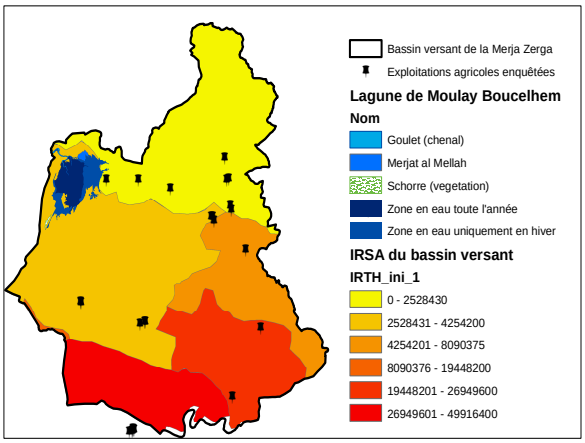


Fig 4 : Répartition spatial du risque santé humaine

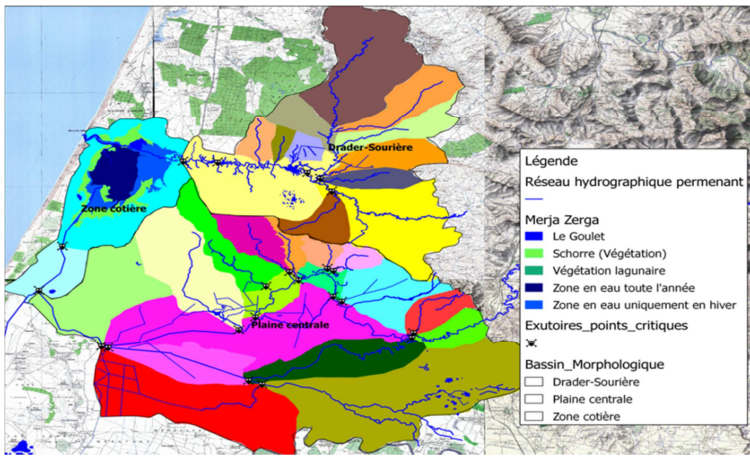


Fig5 : Caractérisation des sous bassins et des exutoires

Le deuxième modèle sur le bassin versant de l'étang de l'Or en France , a été orienté vers l'analyse de scénarios de gestion des itinéraires techniques au niveau spatial et temporel en terme intra annuel. Nous nous sommes placés dans une gestion intra-annuelle pour analyser les impacts sur le milieu des calendriers de traitement pour repérer les pointes de traitement et évaluer les risques au niveau temporel sur le bassin. A partir d'une caractérisation spatialisée de la pression nous avons pu ainsi évaluer le calendrier des impacts en terme de risque santé (IRSA) et de risque environnemental (IRTE) en terme de calendrier. (Ce modèle est fonctionnel mais il reste à valider avec des données de ventes de produits et avec les partenaires locaux ce qui n'a pas encore pu être réalisé du fait de problèmes institutionnels : cf partie confidentielle du rapport)

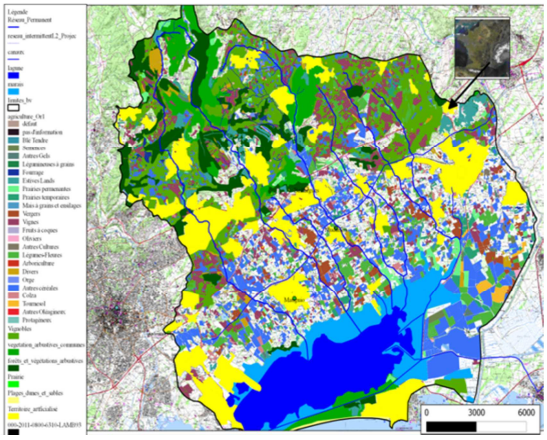


Fig 6 Bassin versant de l'Etang de l'Or

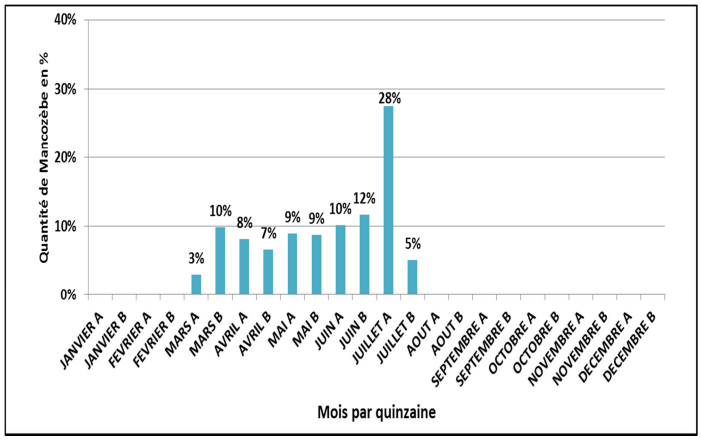


Fig 7 Calendrier d'utilisation du Mancozèbe sur le bassin versant

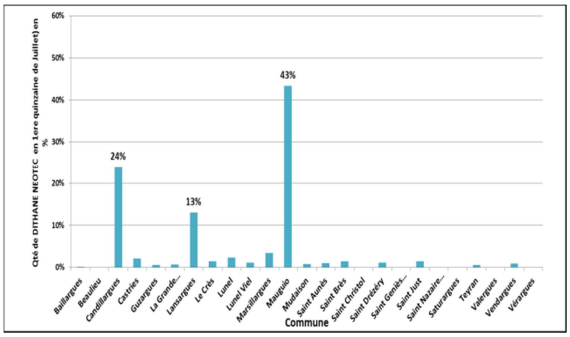


Fig 8 : Lieu d'utilisation du Mancozèbe la première quinzaine de juillet

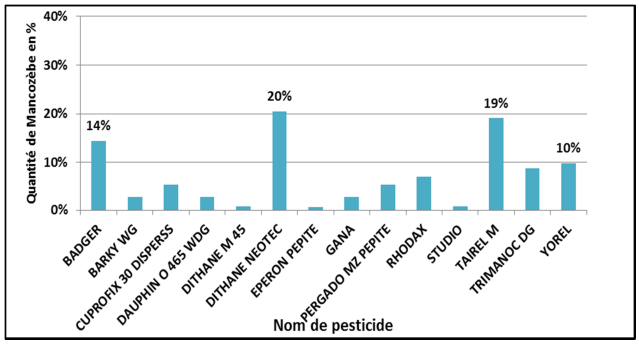


Fig 9 : Produits Phytosanitaires à base de Mancozèbe

Le modèle permettant de repérer les périodes de pointe et leur localisation ainsi que les cultures responsables, il est alors possible de réfléchir à des solutions en termes de conduite technique et de choix de produits pour éviter une pointe d'émission durant une période.

- **Jeu de simulation pour l'aide à la décision dans les pratiques phytosanitaires au niveau d'un territoire: SimPhy**

Dans le cadre de la gestion de la pollution diffuse et dans une démarche participative, nous avons conçu un jeu, SimPhy (Simulation des phytosanitaires) mettant les acteurs en situation de gestion des exploitations agricoles sous contrainte de réduction de phytosanitaires (quantité et toxicité) et de marché. Les acteurs sont représentés par 3 types: (i) l'état mettant en application les règlementations (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)
SimPhy est un jeu piloté composé de deux phases. Au cours de chaque phase un certain nombre de scénarios sont testés. Dans la première phase du 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. Dans la deuxième phase du jeu, la gestion des exploitations est faite collectivement par concertation et négociation des règles et des stratégies entre les joueurs sous les mêmes contraintes. Les joueurs sont amenés à décider des assolements et des itinéraires techniques en fonction du type d'années de pression phytosanitaire, des activités de production, des prix du marché à partir des rendements et des impacts des phytosanitaires sur la santé humaine et l'environnement.
Le jeu SimPhy permet un dialogue direct avec et entre les acteurs et facilite l'apprentissage de la concertation.

Territoire et parties prenantes du jeu de simulation SimPhy

Le jeu SimPhy s'est déroulé au niveau du territoire de la Merja Zerga, représenté par trois composantes principales le milieu physique (type de sol, climat…), les caractéristiques agricoles

(surface, productions, matériels,…) et les parties prenantes: d'une part l'État qui met en œuvre l'application des différentes règlementations, notamment une réduction de l'utilisation des pesticides, d'autre part, les agriculteurs qui doivent gérer leur exploitation agricole et enfin, les professionnels de la distribution des productions agricoles sur le marché local ou international. Chaque joueur doit gérer une exploitation type .

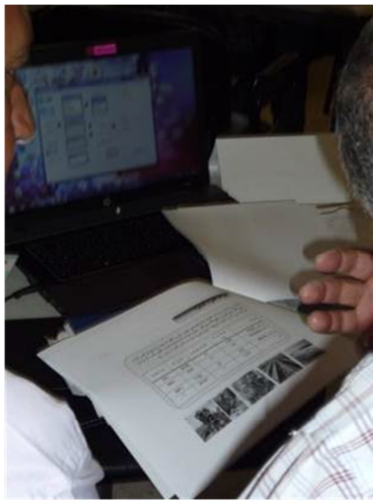


Figure 8 : Techniciens d'un CDA(Centre de développement Agricole) lors du jeu SimPhy

(Réalisation: Marjorie le Bars, 2012)

Deux joueurs peuvent avoir une exploitation basée sur un même système de culture, ce qui permet d'analyser les perceptions de l'espace par les acteurs en étudiant leur choix individuel. 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.

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) (annexe 2). 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 (annexe 3). Le tableau ci-dessous (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) illustre un exemple de variation des prix de vente de quelques types de produits agricoles (annexe 4).

Tableau 5. Exemple d'abaques[15] de prix de vente des produits agricoles suivant la production

	Variation des Prix	150%	100%	80%	60%	30%
Culture	Production 2012 (en tonnes)	Tonnes	Tonnes	Tonnes	Tonnes	Tonnes

[15] . Abaque est un tableau de pondération des prix par rapport à une année de référence (dans cette étude 2012). Les prix sont donnés par classe en pourcentage suivant le type d'années de pression phytosanitaires, les quantité produites en tonnes, l'offre et la demande. Chaque année, les prix sont ajustés par pondération des prix de base de chaque produit agricoles. On considère que tous les produits agricoles ont le même degré de sensibilité afin d'utiliser la même fourchette de pondération. Celle-ci varie de 30 à 150 %.

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

Source: travail de Ayadi H., 2013

Ces abaques ont été construits suite au cadrage des données du jeu SimPhy par 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 chercher une solution optimale mais de délimiter les paramètres de calage du jeu (construction d'abaques).

Pour aider les joueurs à prendre des décisions, un ensemble d'informations est donné : une analyse de la situation initiale de leur exploitation en termes de surface disponible, les charges fixes, etc et les différentes pratiques culturales pour chaque culture (coût de la gestion des cultures, le rendement et la marge brute ...) et les effectifs de chaque système de culture type au niveau du bassin versant.

Phases du jeu SimPhy et scénarios testés

Le jeu SimPhy a été appliqué sur une durée de cinq campagnes agricoles dont 2011 constitue l'année de référence et 2015 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. L'objectif de cette séance de simulations avec la participation des acteurs du bassin versant de la Merja Zerga est de comprendre le comportement dynamique du système, de comparer des configurations, d'évaluer différentes stratégies de pilotage d'entreprises agricoles et agrosystèmes. Une première phase est jouée au cours d'une période avec l'assolement de référence pour l'initiation des joueurs.

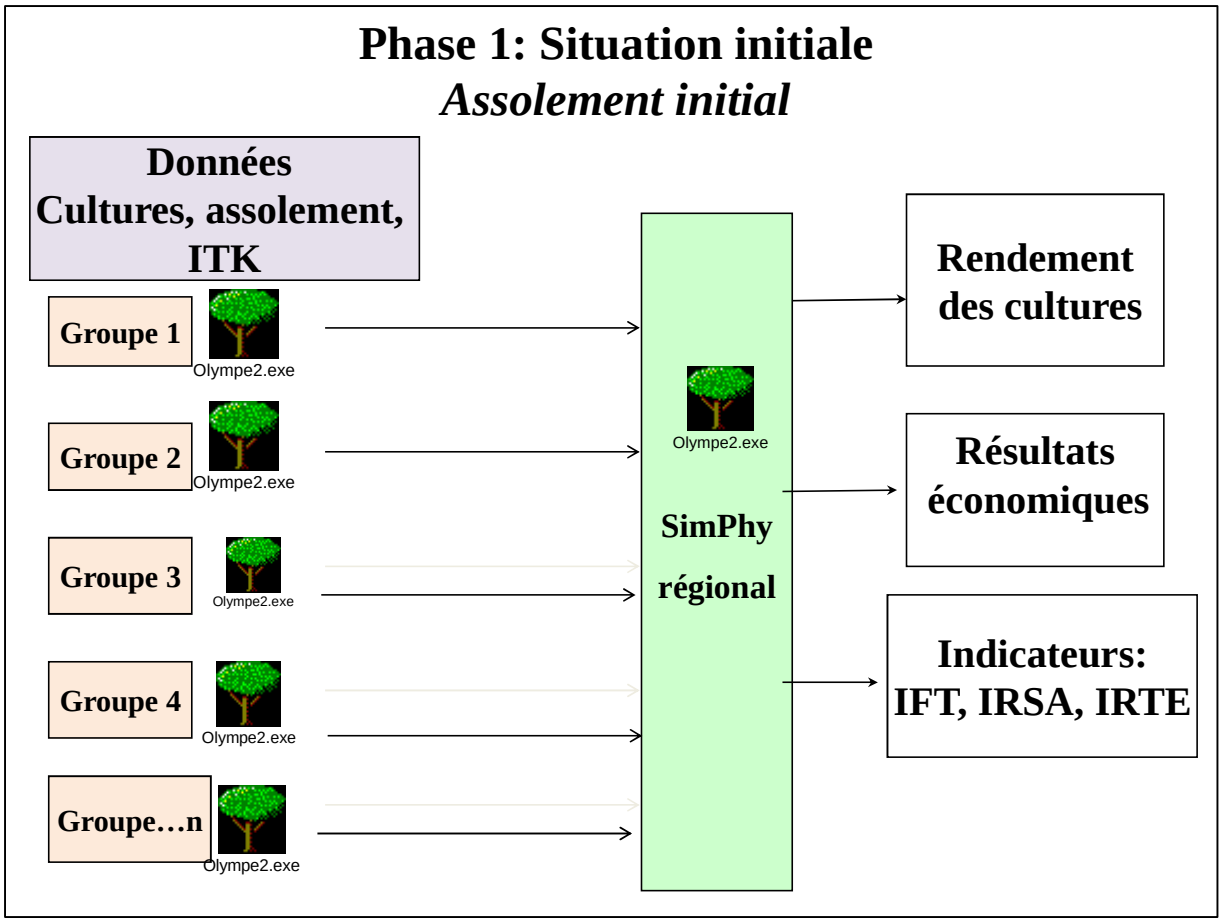


Figure 9. Illustration de la phase 1 pour des simulations de la situation initiale (Réalisation Ayadi H., 2012)

La deuxième phase est composée de trois périodes de jeu . La gestion des exploitations est faite aussi individuellement sans concertation entre les joueurs et sous contraintes de réglementations (réduction de la pression et de la toxicité des phytosanitaires). Au cours des campagnes agricoles, sous des années de pressions phytosanitaires normales (même que l'année de référence 2011) trois scénarios ont été testés:

- Scénario 1: maximisation de la marge brute sous contraintes (réduction de 20% de l'IFT et de 20% IRSA) (2012).
- Scénario 2: maximisation de la marge brute sous contraintes de réglementation (réduction de 40% de l'IFT et de 20% IRSA) et (2013).
- Scénario 3: maximisation de la marge brute sous contraintes de réglementation (réduction de 40% de l'IFT et de 40% IRSA) (2014).

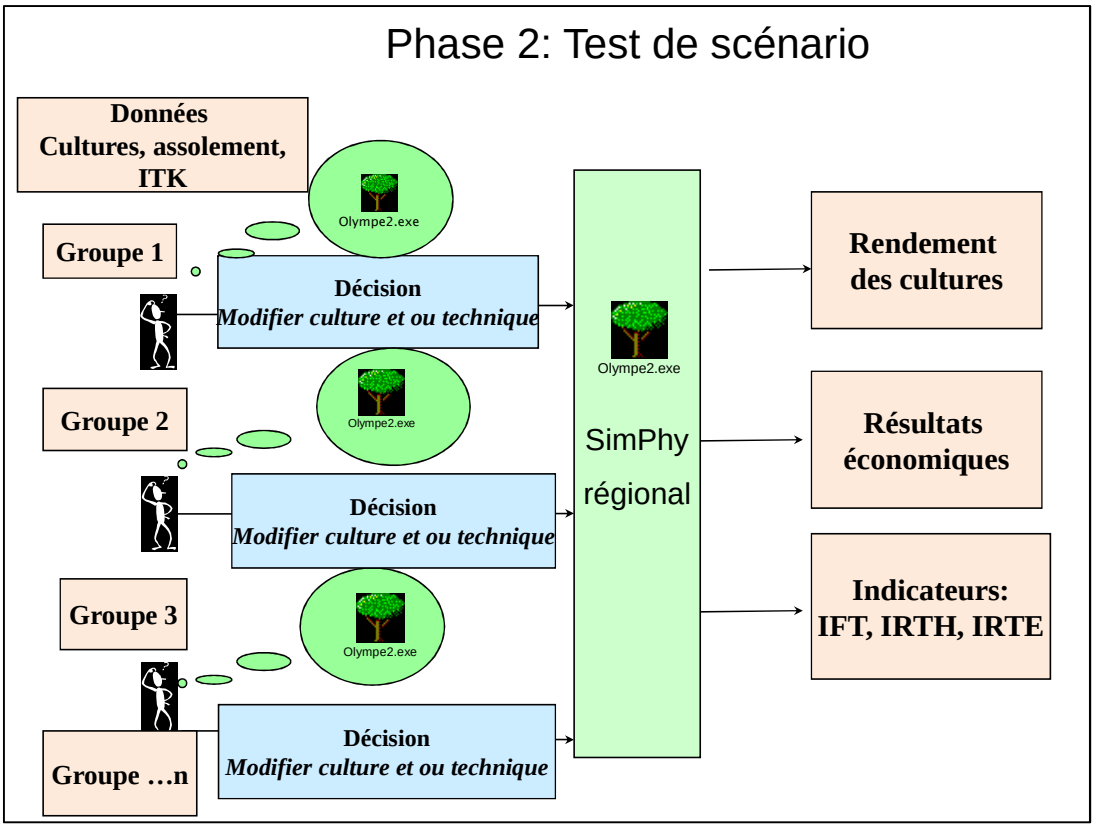


Figure 10. Illustration de la phase 2 pour des simulations de tests de scénarii (Réalisation Ayadi H., 2012)

Une troisième phase a été consacrée pour tester les objectifs du Plan Maroc vert où un quatrième scénario a été testé (Tableau 6).

Scénario 4: assolements pour répondre aux objectifs du Plan Maroc Vert: Augmentation de la production de certaines cultures afin de satisfaire les besoins du Maroc:

- la production du lait par augmentation de la production du maïs fourrage ;
- l'augmentation de 47% de la production du sucre par encouragement de la production de canne à sucre et utilisation des itinéraires les plus intensifs.

À la fin de chaque période du jeu, une analyse des conséquences des décisions des agriculteurs (les joueurs) sur les rendements, les marges et les IRTE a été établie et présenter aux joueurs avec le passage à la période suivante (Tableau 6).

Tableau 6. Récapitulatif des Scénarii du jeu SimPhy au niveau du territoire de la Merja Zerga

Scénario		**Indicateurs**	
		IFT	IRSA
0	Situation initiale	référence	référence
1		Diminution de 20%	Diminution de 20%
2		Diminution de 40%	Diminution de 20%
3		Diminution 40%	Diminution 40%
4		Réalisation des objectifs du Plan Maroc Vert	

Source : Jeu SimPhy, 2012

Pour l'amélioration et la validation des modèles du jeu et des scénarios à tester, deux séances de simulations ont été organisées: une séance avec les étudiants d'un master 2 à l'Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier (IAMM) en France et une séance avec les élèves ingénieurs de cinquième année à l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II au Maroc (IAV Hassan II). Lors de chacune séance de validation chaque étudiant a joué le rôle d'un agriculteur qui gère une exploitation agricole type. Chaque joueur avait les outils et les informations nécessaires. Au cours de chaque séance les quatre scénarios sont jouer. À la fin de chaque période du jour les résultats du scénario testé sont analysés et discutés avec les étudiants afin de voir leur réaction et commentaires, ainsi que leur niveau de compréhension. Ces deux séances de simulations ont permis à l'équipe du projet TRam de repérer les erreurs au niveau des modèles et aussi de prendre du recul et d'avoir un regard critique sur la méthode en général. Elles ont aussi servi comme outil pédagogique pour l'enseignement.

Lors de la construction de SimPhy deux éléments ont été prisent en considération: la participation des acteurs locaux et la généricité du modèle du jeu. La participation des acteurs locaux dans la construction leur a permis de l'approprié. La généricité du jeu le rend transférables à d'autres territoires.

Pour la conception de SimPhy, nous avons utilisé de manière conjointe et interactive les fonctionnalités des Systèmes d'Informations Géographiques (SIG), des indicateurs agri-environnementaux (IFT, IRSA et IRTE) et d'un modèle technico-économique « Merja_Phytos » fondée sur le couplage de modèles. Le simulateur permet d'évaluer la pertinence de ces adaptations individuelles au niveau contexte et leurs conséquences au niveau régional. L'utilisation du modèle conceptuel du territoire par les acteurs en situation virtuelle pour faire des choix stratégiques permet de révéler non seulement les comportements individuels mais aussi les interactions entre acteurs. De plus, les séances collectives de simulation doivent permettent de tester différents scénarios d'évolution du système et les conséquences à l'échelle du bassin versant et de discuter des résultats obtenus. Cette approche basée sur la modélisation participative via un jeu de simulation permettra d'atteindre notre objectif concernant la mise en place de stratégie de gestion concertée des conséquences de l'agriculture intensive et, en particulier, la façon d'évaluer l'impact des produits phytosanitaires sur la santé humaine et l'environnement.

- **Perspectives de recherche et transferts**

La démarche participative développée, notamment dans le cadre de séances de simulation collectives, a déjà permis de définir de nouveaux leviers dans la gestion des produits phytosanitaires sur les deux territoires étudiés. Les perspectives de transfert se situent dans le développement, en cours, d'applications métiers du logiciel EToPhy sur le Web, pour une utilisation interactive des indicateurs pour l'aide à la réflexion des acteurs de terrain.

La limite opérationnelle de ces démarches réside aujourd'hui essentiellement dans la gestion de l'information sur les pratiques agricoles. La construction d'un système d'information collaboratif, basé sur les principes de « l'Intelligence Territoriale », est donc un processus indispensable pour imaginer implanter de manière opérationnelle un système de « Gestion intégrée des pesticides » sur un territoire. Il est donc nécessaire de développer des outils de suivi pour les acteurs de terrain, permettant de mesurer et ainsi d'évaluer leur contribution à la transition « agroécologique » au niveau du territoire.

Références Bibliographiques générales

Aabad M. (2008). "Stratégies d'amélioration de l'efficience d'utilisation de l'eau d'irrigation par la canne à sucre au Gharb-Maroc. Approches par expérimentations "in situ" et par adaptation et utilisation du modèle "MOSICAS"." Thèse de Doctorat. Académie Universitaire Wallonie-Europe Faculté Universitaire Des Sciences Agronomiques De Gembloux.

Abbott M. B., Bathurst J.C., Cunge J. A., O'Connell P. E. et Rasmussen J. (1986). "An introduction to the European Hydrological System - Système Hydrologique Européen 'SHE'." Journal of Hydrology: 87.

ABHS (2011). "Étude d'actualisation du plan directeur d'aménagement intégré des ressources en eau du bassin hydraulique de Sebou " agence du bassin hydraulique du sebou note de synthese Septembre 2011.

Affisco J. (2000). "My Experiences with Simulation/Gaming-5 Years Further Down the Road, Simulation and Gaming " 1: 31.

Agences pour la Promotion et le Développement du Nord (2011). " Les Régions du Nord du Maroc . Etat des lieux territorial. Démographie, économie, secteurs sociaux, infrastructures et compétitivité."

Aït El Kadi M. et Benoit G. (2010). "Le Pilier II du Plan Maroc Vert : pour des dynamiques d'adaptation de la petite agriculture au changement climatique " n° 12.

Akesbi N. (2006). "Accord de libre-échange Maroc-Etats-Unis : un volet agricole lourd de conséquences." Région et Développement n° 23: 107-128

Albrecht A. (1988). "Influence du système de culture sur l'agrégation d'un vertisol et d'un sol ferralitique (Antilles)." Cah. ORSTOM, sér. Pédol. XXIV.

Allali M. et Enahari J. (2001). "Comportement des nouvelles variétés de canne à sucre dans la région du Gharb et Loukkos. Rapport des résultats des expérimentations sur la canne à sucre ORMVAG, CTCS, Maroc. Convention de recherche entre ORMVAG (CTCS) et profession sucrière, période 1996-2000.".

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 : 2-85352-293-8).

Amharref M., Assine S., Bernoussi A. et B. H. (2007). "Cartographie de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines : Application à la plaine du Gharb (Maroc). ." Revue des Sciences 20 (2).

Amiphy (2012). " Liste des Pesticides à usage agricole Commercialisés par les Sociétés Membres." http://www.amiphy.org/fr/Produits.php?pg=19&l=Mhttp://www.amiphy.org/fr/Produits.php?pg=19&l=M.

Anderies J., Janssen M. et Ostrom E. (2004). "A Framework to Analyze the Robustness of Social-ecological Systems from an Institutional Perspective." Ecology and Society 9(1): 18.

Anses (2010). "Avis de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail relatif à une demande d'autorisation de mise sur le marché de la préparation TOUCHDOWN FAST à base de glyphosate et de diquat, de la société SYNGENTA AGRO S.A.S." Anses – dossier n° 2008-0978 – TOUCHDOWN FAST 1/19 Maisons-Alfort,.

Aronoff S. (1991). "Geographic Information systems, a management perspective." Ottawa, WDL Publications: 294.

Arrifi El M. (2008). " La gestion intégrée en eau au Maroc: ressources, contraintes et Implications sur l'économie d'eau." Revue HTE N°140 Septembre 2008.

Attonaty J.-M., Chatelin M.-H. et Garcia F. (1999). "Interactive simulation modelling in farm decision-making." Computers and Electronics in Agriculture 22: 157-170.

Attonaty J.-M. et Soler L.-G. (1992). "Aide à la décision et gestion stratégique : un modèle pour l'entreprise agricole." Revue française de Gestion: 88.

Attonaty J.M., Chatelin M.H. et Garcia F. (1999). "Interactive simulation modelling in farm decision-making." Computers and Electronics in Agriculture: 22.

Attonaty J.M., Chatelin M.H., Poussin J.C. et Soler L.G. (1991). "Advice and decision support systems in agriculture : new issues." In Decision Support Systems, Bruges, Belgique.

Aubertot J-N., Doré T., Ennaifar S., Ferré F., Fourbet J.F. et Schneider O. (2005). "Integrated Crop Management requires to better take into account cropping systems in epidemiological models. Proceedings of the 9th International Workshop on Plant Disease Epidemiology." Landerneau, France

Aubry C. (2007). "La gestion technique des exploitations agricoles, composante de la théorie agronomique. Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches, Instituts National Politechnique de Toulouse." Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches(Instituts National Politechnique de Toulouse).

Auriac F. (1986). "Du spatial et du social : de la géographie aujourd'hui." In Espaces, jeux et enjeux. Ed. Fayard Diderot: 73-81.

Aurrousseau P., Gascuel-Odoux C. et Squividant H. (1998). "Elements pour une méthode d'évaluation d'un risque parcellaire de contamination des eaux superficielles par les pesticides." Etude et gestion des sols 5, 3: 143-156.

Azdad M. (1998). " Présentation de la lagune de Moulay Bousselham « Merja Zerga ». Atelier du réseau RAMSAR Atlantique-Est sur les zones humides (Baie de Somme-France-du 24/9/1998 au 27/9/1998)." Ministère De L'agriculture, Du Développement Rural et Des Pêches Maritimes: Ministère Délégué Charge Des Eaux Et Forêts Royaume du Maroc.
B. L. (2004). "Aides aux décisions d'irrigation en grandes cultures. Quelques outils et méthodes." Rencontre Agrometeo INRA, Avignon 14/10/2004.
BAD (2009). "Proposition visant l'octroi d'un don de 1.000.000,00 USD : au titre de l'aide d'urgence au programme d'actions pour attenuer les effets des inondations dans la région du Gharb." Banque Afriquenne de Développement.
Baillie L., Hibbs S., Tsai P., Cao G.L. et Rosen G.M. (2005). "Role of superoxide in the germination of Bacillus anthracis endospores." FEMS Microbiol Lett 245, 33-38.
Balint T., Ferenczy J., Katai F., KissI., Kraczer L. et Kufcsak O. (1997). "Similarities and differences between the massive eel (Anguilla anguilla L.) devastations that occurred in lake Ablation in 1991 and 1995." Ecotoxicol. Environ. Saf.: 37, 17-23
Barreteau O. (2003). "The joint use of role-playing games and models regarding negotiation processes: characterization of associations." Journal of Artificial Societies and Social Simulation 6(2).
Barreteau O., Cernesson F. et Ferrand N. (2001). " Pluralité des échelles de référence pour les acteurs d'un contrat de rivière." Colloque international « Politique de l'eau et développement local, de la réflexion à l'action en milieu méditerranéen », co-organisé par l'université Grenoble 1 et l'université Montpellier 31er et 2 mars 2001, Montpellier, REM: 24.
Barreteau O. (2003). "The joint use of role-playing games and models regarding negotiation processes: characterization of associations." Journal of Artificial Societies and Social Simulation vol.6: n° 2.
Baudelle G. et Pinchemel (1986). "De l'analyse systémique de l'espace au système spatiale en géographie." In Espaces, jeux et enjeux. Ed. Fayard Diderot: 83-94, p. 94.
Beaud M., Beaud C. et Bouguerra M. (1993). "L'état de l'environnement dans le monde." La Découverte, Paris: 438 pages.
Becu N. (2001). "Modélisation de la gestion de l'eau d'irrigation à l'échelle d'un bassin versant et exploration du système via simulations. Une approche basée sur les Systèmes Multi-Agents. Le cas du bassin versant du Mae Uam - Nord-Thaïlande." Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et Forêts, Sciences de l'Eau dans l'Environnement Continental, Université Montpellier II: 128 pages + annexes.
Bedos C., Cellier P., Calvet R. et Barriuso E. (2002). "Occurrence of pesticides in the atmosphere in France." Agronomie 22: 35-49.
Belhadj C. (2011). " Etude de l'état des lieux du système d'homologation des pesticides au Maroc." Mémoire de fin d'étude, IAV Hassan II: 11-12.
Ben Marzouq A. (2007). "Moins de résidus de pesticides dans les aliments, selon l'AESA. ." Article de journal :Agra Alimentation
Benhoussa A., Qninba A., M.A. E. A. et Dakki M. (2006). "Avifaune aquatique. Phase du diagnostic du volet ornithologie." Rapport inédit Projet de gestion intégrée du complexe des zones humides du Bas Loukkos: 96 p.
Benoît M. D. J.-P., Gras F., Bienaimé E., Riela-Cosserat R., (1997). "Agriculture et qualité de l'eau - Une approche interdisciplinaire de la pollution par les nitrates d'un bassin d'alimentation." Cahiers Agriculture n°6: 97-105.
Berger P. et Ofek E. (1995). "Diversification's effect on firm value." Journal of Financial Economics 37: 39-66.
Berriet-Solliec M. et Déprés C. (2004). "Quelle prise en compte des effets de proximité par les nouvelles formes de gestion publique de l'agriculture ?" In « IVème journées de la proximité », Marseille Juin 2004: 14 pages.
Bertalanffy V. (1968). " General systems theory. George Braziller." Inc. New Yorc: 295pages.
Bertrand G. et Bertrand C. (2002). "Une géographie traversière. L'environnement à travers territoires et temporalités." Paris. Editions Arguments: 311 p.
Beuret J.E (1998). "Agriculture et qualité de l'espace rural, coordinations, conventions, médiations : l'analyse d'une offre et d'une demande de qualité d'un bien non-marchand et des formes de coordination mises en oeuvre par les agents (à partir d'un cas en Bretagne centrale)." Thèse de doctorat en économie rurale ; Paris, FRA: 384 pages.
Biberson P. (1971). "Essai de redéfinition des cycles climatiques du Quaternaire continental du Maroc." Quaternaire 8, 1,: 3-13.
Bishop M.A., Harris J. et Canjue Z. (2000). " Agricultural management zones for Bar-headed Geese and Black-necked Cranes in Tibet In: Wu N, Miller D, Lu Z, Springer J." (eds) Tibet's Biodiversity Conservation and Management. China Forestry Publishing House, Beijing: 55-60.
Bockstaller C., Gaillard G., Baumgartner D., Freiermuth Knuchel R., Reinsch M., Brauner R. et Unterseher E. (2006). "Méthodes d'évaluation agri-environnementale des exploitations agricoles : Comparaison des méthodes INDIGO, KUL/USL, REPRO et SALCA, Colmar, ITADA." 112 pages.

Bockstaller C., Guichard L., Makowski D., Aveline A., Girardin P. et Plantureux S. (2008). "Agri-environmental indicators to assess cropping and farming systems." A review. Agronomy for Sustainable Development 28: 139-149.
Bodelle J. et Margat J. (1980). "Leau souterraine en France." Masson
Boisset G. (2008.). "Les systèmes de paiements pour services environnementaux (PSE) et l'eau : des opportunités pour aider les agriculteurs ?" Synthèse technique, AgroParisTech Engref.
Bonnamour J. (1993). "Géographie rurale. Position et méthode." Ed. Masson, Coll. Recherches en Géographie, Paris, Milan, Barcelone, Bonn: 134 p.
Bonny S. (2010). "L'intensification écologique de l'agriculture : voies et défis." ISDA 2010, Montpellier 28-30 Juin 2010.
Bontems P. et Rotillon G. (1998). "Économie de l'environnement." La Découverte.
Bousquet P., Hauglustaine D. A., Peylin P., Carouge C. et Ciais P. (2005). "Two decades of OH variability as inferred by an inversion of atmospheric transport and chemistry of methyl chloroform, Atmos." Chem. Phys. 5: 2635–2656.
Bousquet F., Barreteau O., d'Aquino P., Etienne M., Boissau S., Aubert S., Le Page C., Babin D. et Castella J.-C. (2002). "Multi-agent systems and role games : collective learning processes for ecosystem management." In Complexity and Ecosystem Management: The Theory and Practice of Multi-agent Approaches. M. Janssen (dir.) Edward Elgar Publishers: 30 pages.
Bravard J.-P. et Petit F. (2000). "Les cours d'eau : dynamique du système fluvial." Paris, A. Colin: 220 pages.
Brown A.WA. (1978). "Ecology of Pesticides." New York:Wiley-Interscience.
Brown E. C., Claassen A., Hathaway C. R., Holmstead J., Powell T., Wehrum W. et Weinstein K. (2001). "Pesticide regulation deskbook." Washington, DC Environmental Law Institue.
Brunet R. (1997). "Territoires de France et d'Europe. Raisons de géographe." Paris, Belin Coll. « Mappemonde »: 320 p. (ISBN 2-7011-2105-1).
Brunet R. (2000). "Le déchiffrement du monde." Mappemonde, Belin.
Brunet R. et Dollfus O., 1990.. (1990). " Géographie Universelle, «Mondes nouveaux»." Hachette, Dresch Jean, La Géographie, Encyclopedia Universalis 2002 Tome 1.
Brunet R., Ferras R. et Théry H. (1992). "Les Mots de la géographie." Dictionnaire critique. Paris/Montpellier RECLUS/ La Documentation française.
Burrough P.A. (1986). "Principles of Geographical Information Systems for Land Ressources Assessment." Oxford, Oxford University Press: 193 pages.
Burrough P. A. et McDonnell R.A. (1998). "Principles of Geographical Information Systems." New York:Oxford University Press.
Cagan H. (2004). "Sekercioglu Université Stanford " Académie des Sciences Américaines
Calvet R., Barriuso E., Bedos C., Benoit P., Charnay M.P. et Coquet Y. (2005). "Les pesticides dans le sol : Conséquences agronomiques et environnementales." Editions France Agricole: 637 pages.
Capillon A. (1993). "Typologie des exploitations agricoles. Contribution à l'étude des problèmes techniques." Thèse de doctorat en sciences agronomiques, INA-PG, Paris.
Caplat P., Lepart J. et Marty P. (2006). "Landscape patterns and agriculture: modelling the long-term effects of human practices on Pinus sylvestris spatial dynamics (Causse Mejean, France)." Landscape Ecology 21: 657-670.
CAPM. (2010). "Centre Anti Poison du Maroc." Toxicologie Maroc vol 4. 1er trimestre.
Carson R. (1962). "Silent Spring." Boston, Houghton Mifflin réimprimer. Mariner Books, 2002(ISBN 0-618-249060): Traduction française éditions wildproject. 2009.
Carton L. et 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. Simulationgames for research, learning and intervention. Delft : Eburon.
Castany G. (1982). "Principes et méthodes de l'hydrogéologie." Ed. Bordas, Paris.
Castany G. et Margat J. (1977). "Dictionnaire français d'hydrogéologie." BRGM Service géologique national, Orléans: 249 pages.
Castella J. C., Tran Ngoc Trung et Boissau S. (2005). "Participatory simulation of land-use changes in the northern mountains of Vietnam: the combined use of an agent-based model, a role-playing game, and a geographic information system." Ecology and Society
10 (1) ( ): 27 [online] URL: http://www.ecologyandsociety.org/vol10/iss1/art27.
CE (2000). "Guide européen Sanco/4145/2000."
CGDA (2009). "Pilier II du Plan Maroc Vert : de la stratégie à l'action. Conseil Général du Développement Agricole." Ministère de l'agriculture et de la pêche maritime, Royaume du Maroc.
Chahinian N., Moussa R., Andrieux P. et Voltz M. (2005). "Comparison of infiltration models to simulate flood events at the field scale." J. Hydrol., 306(1-4): pp. 191-214.

Chahinian N., Moussa R., Andrieux P. et Voltz M. (2006). "Accounting for temporal variation in soil hydrological properties when simulating surface runoff on tilled plots." J. Hydrol., 326(1-4): pp. 135-152.
Chakhar S. (2006). " Cartographie décisionnelle multicritère : Formalisation et implémentation informatique." Thèse pour l'obtention du titre de docteur en informatique: Université Paris Dauphine D.F.R. Sciences Des Organisations.
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 commmandité par le MAP (DGFAR). Chapot, 2009.
Charlier (2010). "Agriculture des signes de qualité et agriculture OGM : les enjeux de la coexistence." Revue de Droit Rural 2010, Novembre: pp. 7-12. With Mai-Anh Ngo.
Chatelin M.-H., Aubry C., Leroy P., Papy F. et Poussin J.-C. (1993). Pilotage de la production et aide à la décision stratégique. Le cas des exploitations en grande culture. Cahiers d'économie et sociologie rurales. 28.
Chorley R. J. (1969). "The drainage basin as the fundamentalgeomorphic unit." In: Water, Earth and Man (ed.) Chorley R J (London: Methuen) pp. 77-98.
Choumette F., Colard, F., (1997). " Histoire de la théorie des jeux." [en ligne] http://perso.wanadoo.fr/frederic.colard/theojeux/theojeux.html
Christian Kersebaum K. (2000). "Model-based evaluation of land use and management strategies in a nitrate-polluted drinking water catchment in north Germany." In Integrated watershed management in the global ecosystem CRC Press: 223-238.
Christophe B., Demeulenaere E., Thomas F., Joly P.-B., Allaire G. et Goldringer I. (2006). "Innover autrement ? La recherche face à l'avènement d'un nouveau régime de production et de régulation des savoirs en génétique végétale." Dossiers de l'environnement de l'INRA n° 30: 29-51.
Cirac P. (1985). " Le bassin sud-rifain occidental au Néogène supérieur. Evolution de la dynamique sédimentaire et de la paléogéographie au cours d'une phase de comblement." Thèse d'Etat, Université Bordeaux I, France: 283 p.
Clergue B, Amiaud B., Pervanchon F., Lasserre-Joulin F. et Plantureux S. (2005). "Biodiversity: function and assessment in agricultural areas. Areview." Agron Sustain Dev 25:1-15 doi:10.1051/agro:2004049.
Colin F. (2000). "Approche spatiale de la pollution chronique des eaux de surface par les produits phytosanitaires, cas de l'atrazine dans le bassin-versant de Sousson (Gers, France)." Thèse "Sciences de l'eau". ENGREF, Montpellier: 223 pages.
Commission européenne C. (1994). "Directive du Conseil du 15 juillet 1991 concernant la mise en marché des produits phytopharmaceutiques."
Commission européenne C. (2009). " Règlement (CE) n° 1107/2009 du Parlement européen et du Conseil du 21 octobre 2009 concernant la mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques et abrogeant les directives 79/117/CEE et 91/414/CEE du Conseil " JOUE L309 du 24 novembre 2009.
Cope O. B. et Springer P. F. (1958). "Mass control of insects: The effect on fish and wildlife." Bull. Entomol. Soc. Amer. 4(52 p).
CORPEN (1996). " Qualité des eaux et produits phytosanitaires-Proposition pour une démarche de diagnostic." Ministère de l'Environnement, Ministère de l'Agriculture, de la Pêche et de l'Alimentation: 119 pages.
CORPEN (2003). "Estimation des rejets d'azote, pho(Christophe B. 2006)sphore, potassium, cuivre et zinc des porcs." 41 pp.
Courbon J.-C. (1993). " Systèmes d'information : structuration, modélisation et communication." InterEditions,: 288 p.
Courbon J.-C. (1993). Systèmes Interactifs d'Aide à la Décision.
Cowen R. (1988). "The role of algal symbiosis in reefs through time." Palaios 3: 221-227.
Croix N. (1993). "Des systèmes d'exploitation agricole aux systèmes d'exploitation rurale
" in Géographes et campagnes, Mélanges Jacqueline Bonnamour. Ecole Nationale Supérieure de Fontenay/Saint Cloud, Hors collection des cahiers de Fontenay: 47-54.
Crop Life Maroc (2011). "Les statistiques des importations des produits phytosanitaires au Maroc." [http://www.amiphy.org/fr/etudes.php]. .
Cros-Cayot S. (1996). "Distribution spatiale des transferts de surface à l'échelle du versant." Contexte armoricain, ENSAR-INRA, Rennes: 218p.
Crossland M. D., Wynne B. E. et Perkins W. C. (1995). "Spatial decision support systems: an overview of technology and a test of efficacy." Decision Support Systems 14(3): p: 219-235.
Culliney T. W., Pimentel D. et Pimentel M. H. (1992). "Pesticides and natural toxicants in foods." Agriculture, Ecosystems and Environment 41: 297-320.
Curry J. P. (1998). "Factors affecting earthworm abundance in soils. In: Edwards, C. A. ." (eds), Earthworm Ecology. Boca Raton, St. Lucie Press: 389p.
Cyert R. et March J. (1963). "A Behavioral Theory of the Firm, Englewood Cliffs, NJ : Prentice Hall." 2 nd ed., Oxford, Blackwell Publishers, 1992

D'Aquino P., Le Page C., Bousquet F. et Bah A. (2003). "Using Self-Designed Role-Playing Games and a Multi-Agent System to Empower a Local Decision-Making Process for Land Use Management: The SelfCormas Experiment in Senegal." Journal of Artificial Societies and Social Simulation 6(3): 5.
De Marsily G. (1986). "Quantitative Hydrogeology - Groundwater Hydrology for Engineers." Academic Press: 440 p.
De Rosnay J. (1975). "Le macroscope: vers une vision globale." Seuil, Paris.
Debarbieux B. (1999). "« L'exploration des mondes intérieurs », in Géographie, état des lieux, sous la direction de R. KNAFOU." Ed. Belin, Paris: pp. 371-384.
Debbarh A. (1999). " Évaluation du Plan d'Action et de Suivi de l'Environnement en Hydraulique Agricole : Priorités d'action (PASE 2,1999-2002) " MAMVA/AGR - Banque Mondiale - PAGI 2, Mars 1999.
Deffontaines J.-P., Lardon S., Benoit M., Chevignard N., Maigrot J.-L., Marshall E. et Moisan H. (1996). "Itinéraires cartographiques et développement." INRA, Paris 136 p.
Deffontaines J. P. (1998). "Les sentiers d'un géo-agronome." Ed. Arguments, Paris: 360 p.
Deffontaines J. P. (2006 b). "DUne approche géoagronomique. In Benoît M., Deffontaines J.P., Lardon S., 2006. Acteurs et territoires locaux. Vers une géoagronomie de l'aménagement." Editions INRA, Savoir faire: pp 25-27.
Devillers J., Farret R., P G., Rivière J-L. et Soulas G., Eds. (2005). Indicateurs pour évaluer les risques liés à l'utilisation des pesticides, Ed. Tec & Doc.
Di Méo G. (1998). "Géographie sociale et territoires." Paris, Nathan: 317 p.
Direction de la Statistique (2007). "Enquête Nationale sur l'Emploi."
Dollfus O. (1977). "Anthropologie et sciences naturelles." in L'espace géographique n°3: 210-216.
Domange N. et Capri E. (2006). "Assessment of surface water pesticide contamination : critical development of a new methode for large catchment." 36ème Congrès du Groupe Français des Pesticides. Strasboug.
Donnely J. R. et Moore A. D. (1997). Decision support: delivering the benefits of grazing systems research. 18th International Grass Congress, Australia.
Dubernet J.-F. (1996). "Dynamique de l'atrazine et de la simazine et de leurs métabolites dans le BVRE du Ruiné. Rapport du Groupe Français des pesticides de mai 1996 : Processus de transfert des produits phytosanitaires et modélisation dans les bassins versants." Cemagref Editions: pp 191-292

Dubois de la Sablonière F., Bolo P. et Seguin P. (1999). "Apport d'un système d'informations géographiques pour le zonage des risques de pollution par les produits phytosanitaires." Ingénieries EAT n°18: 29-39.
Dubus I. G., Brown C. D. et Beulke S. (2003). "Sources of uncertainty in pesticide fate modeling." Sci. Tot. Environ 317: pp. 53-72.
Duchesne R.-M., April M-H. et Gingras D. (2003). "Inventaire des indicateurs de risques sur la santé et sur l'environnement pour les pesticides." Direction de l'environnement et du développement durable, MAPAQ, [En ligne]. .
Durand D. (1979). " La systémique, Que Sais-Je, PUF." Paris, 1979, 9ème édition Janvier 2002.
Durand P., Gascuel-Odoux C. et Cordier M. O. (2002.). "Parameterisation of hydrological models: a review and lessons learned from studies of an agricultural catchment (Naizin, France)." Agronomie 2: 22p.
Dziedzicki J.-M. (2001). "Gestion des conflits d'aménagement de l'espace : quelle place pour les processus de médiation ?" doctorat en aménagement de l'espace et urbanisme, Université de Tours / CESA,. EPEES 443 p.
El Bakouri H., Ouassini A., Morillo J. et Usero J. (2008). "Pesticides in ground water beneath Loukkos perimeter." Northwest Morocco. J. Hydrol 348(270-278).
El Gueddari Z. (1998). "L'impact de l'industrie agricole sur l'eauet l'environnement de la region du gharb. Thèse présentée pour répondre aux exigences partielles de la maîtrise en études de l'environnement Faculté des études supérieures et de la recherche." Campus de Moncton, Université de Moncton.
El Kellouti M. (2004). " Modernisation de la gestion de l'irrigation dans le périmètre du Loukkos (Maroc). Office Régional de Mise en Valeur Agricole du Loukkos, Ksar El Kébir, Maroc Projet INCO-WADEMED." Actes du Séminaire Modernisation de l'Agriculture Irriguée Rabat, du 19 au 23 avril 2004.
El Morhit M. (2009). "Hydrochimie, éléments traces métalliques et incidences Ecotoxicologiques sur les différentes composantes d'un écosystème estuarien (Bas Loukkos). ." Thèse Doctorat ès science, Université Mohammed V - Agdal, Rabat. IMIST Series/Report N° Th-571.95/MOR: 33 p.
El Ouilani B. (2011). "Le marché des produits phytopharmaceutiques au Maroc °The market of pesticides in Morocco)." Agriculture du Maghreb 52(78-81).
FAO (1999). "Política y estrategia de la FAO para la cooperación con las organizaciones no gubernamentales y con las otras organizaciones de la sociedad civil." FAO Roma
FAO (2000). "Guidelines for participatory diagnosis of constraints and opportunities for soil and plant nutrient management." AGL-FAO Roma.
FAO (2002). "Créer des partenariats pour parvenir à la sécurité alimentaire FAO." Roma.

Fathi H. (1995). " Résidus de pesticides organochlorés chez des organismes aquatiques en provenance de quatre oueds marocains: Sebou, Bouregreg et Oum-Erabia." Thèse de Doctorat Vétérinaire, Institut Agro-Vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc.
Fegrouch S. (2008). "Appréciation des niveaux de valorisation économique de l'eau a usage agricole : périmètre irrigue du Loukkos au Maroc." Revue HTE n°141: 42 p.
Ferrand N. (1997). " Modèles multi-agents pour l'aide à la décision et la négociation en aménagement du territoire." Thèse de doctorat en informatique de l'université Joseph Fourier. Grenoble : UJF, juillet 1997.
Fischer M., Scholten, H.J. and Unwin, D.J., (1996). "Spatial analytical perspectives in GIS." London: Taylor & Francis, in press.
Fischer M. M., Scholten H.J et Unwin D. (1996). "Geographic information systems, spatial analysis and spatial modelling." In Fischer M M, Scholten H J, Unwin D (eds) Spatial analytical perspectives on GIS. London, Taylor and Francis.
Fleury A. (1996). "Pour une charte de gestion des espaces naturels péri-urbains." Le Courrier de l'environnement de l'INRA n° 27.
FOCUS (1997). "Soil persistence models and EU registration. The final report of the work of the Soil Modelling Work group of FOCUS."
FOCUS (2003). "Appendix I Steps 1-2 in FOCUS."
Forbes V. E. et Forbes T. L. (1997). "Ecotoxicologie - Théorie et applications." Editions: INRA Paris: 256p.
Fourny M. C. (1995). "Introduction / Introduction. In: Revue de géographie alpine." http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/rga_0035-1121_1995_num_83_3_3813
Tome 83 N°3 pp. 9-14.
Frémont A. (1984). "La région, espace vécu." PUF, Paris.
Fung T. C. (2003). "Time step integration algorithms with predetermined coefficients for second order equations. Computers & Structures." Online publication date: 1-Nov-2003. 81:28-29(Read More: http://arc.aiaa.org/doi/abs/10.2514/3.5299?journalCode=aiaaj): pp : 2557-2577.
Gagnon C., Gagnon S. et Luc-Normand T. (2006). "Dynamiques de développement territorial de MRC au Québec et contribution du secteur privé : études de cas comparatives." Rapport synthèse de recherche, CRDT.
GAM (2008). " Dynamique des systèmes parasites-hote, entre trematodes dignes et coque ceaastodermaedule : comparaison de la lagune de Merja Zerga avec le bassin d'Arcachon." Thèse Dr. Université Bordeaux 1: 207p.
Gassiat A., Zahm F. et Harreau A. (2010). "Territoires et acteurs de territoires pour la mise en oeuvre des dispositifs agroenvironnementaux : exemple de la lutte contre la pollution des eaux par les pesticides en Aquitaine " Communication au colloque SFER Pesticides, La réduction des pesticides agricoles enjeux, modalités et conséquences, Lyon, 11-12 Mars 2010: 13 p.
George P. (1963). "Précis de Géographie rurale, L'information géographique, Année 1964." Volume 28, Numéro 1: p. 41 - 4. http://www.persee.fr.
Giard V. (1988). "Gestion de la production." Ed. Economica, Paris.
Gibson J.-R., Ludke J.-L. et Ferguson D.-E. (1969). " Sources of error in the use of fish brain acetylcholonesterase activity as a monitor for pollution." Bull. Environ. Contam. Toxicol 4 : 17.
Girardin P., Bockstaller C. et Van der Werf H. M. G. (1999). "Indicators : Tools to evaluate the environmental impacts of farming systems." Journal of sustainable agriculture 13 : 5-21.
Giraut F. (2008). "Conceptualiser le Territoire », in Dossier Construire les territoires." Historiens et géographes 403: 57p.
Golay F. et Riedo M. (2001). "NTIC et systèmes d'information territoriale in NTIC et territoires. Enjeux territoriaux des nouvelles technologies de l'information et de la communication." L. Vodoz. Lausanne, Presses polytechniques et universitaires romandes: 30 p.
Gonin P. et Vaudois J. (1993). "L'agriculture dans les politiques de développement local, in Géographie et campagnes,." ENS Fontenay-Saint-Cloud: p147-159.
Goodchild M. F. (1992). "Geographical information science." International Journal of Geographical Information Systems 6(1): 31-45.
Gouy D., Miquel J., PinteJ. et Hammel V. (1996). "Les prévisions et les simulations de débits en période d'étiage: du modèle au tableau de bord opérationnel." Study report, EDF-AEAG, Toulouse: 16 p.
Gras R., Benoît M., Deffontaines J.-P., Duru M., Lafarge M., Langlet A. et Osty P.-L. (1989). " Le fait technique en agronomie ; Activités agricoles, concepts et méthodes d'étude." Ed. L'Harmattan, Paris: 184 pages.
Graymore M., Stagnitti F. et Allinson G. (2001). "Impacts of atrazine in aquatic ecosystems." Environment International: 13 p.
Griffon M. (2006). "Nourrir La Planète." Ed. Odile Jacob: 456p.
Griffon M. (2007). " "Pour des agricultures écologiquement intensives". ESA Angers. In: Les défis de l'agriculture au XXIe siècle." Leçons inaugurales du Groupe ESA, Angers.
Griffon M. (2010). "Pour des agricultures écologiquement intensives. La Tour d'Aigues." Editions de l'Aube,: 112 p.

Grimshaw R. G., Perry C. J. et Smyle J. W. (1993). "Technical Considerations for Sustainable Agriculture." Asia Technical Department, The World Bank, Washington.
Guasch H., Admiraal W., Blanck H., Ivorra N., Lehmann V., Real M. et Sabater S. (1999). "Use of lotic periphyton communities as indicators of sensitivity to certain toxicants." In: Use of algae for monitoring rivers III, Prygiel, J., Whitton, B.A., Bukowska, J. (eds). Agence de l'Eau Artois-Picardi: p. 245-252.
Guérin-Schneider L., Dionnet M. et Abrami G. (2011). "Comment évaluer les effets de la Modélisation participative dans l'emergence d'une gouvernance territoriale " Conférence les 25-26 octobre 2010 Montpellier OPDE (Outils Pour Décider Ensemble)(http://www.oecd.org/mena/governance/43316384.pdf).
Harbouze R. (2009). "Harbouze R., 2009. Efficacité et efficience économique comparée des systèmes de production dans différentes situations d'accès à la ressource en eau : Application dans le périmètre du Gharb (Maroc) " Série « Master of Science » n° 100.
Hare M. (2003). "A guide to Group Model Building, Seecon." HarmoniCOP Report.
HarmoniCOP (2003). "Learning together to manage together – improving participation." Water management
Hassan R. M. (1998). "Maize Technology Development and Transfer: A GIS Application for Research Planning in Kenya." CABI Publishing/CIMMYT/KARI, Wallingford, United Kingdom.
HCP (2008). "Haut Commissariat au Plan est l'institution marocaine chargée de la production statistique, de planification, de prospective, d'analyse et de prévision.".
Hénin S. (1967). "Les acquisitions techniques en production végétale et leurs applications." Economie Rurale, Paris, SFER: pp 31-44.
Heydel L. (1998). "Diagnostic et maîtrise des contaminations des eaux souterraines par les résidus d'atrazine." Thèse INPL, Vandoeuvre-Les-Nancy: 159 p.
Hileman D. R., Huluka G., Kenjige P. K., Sinha N., Bhattacharya N. C., Biswas P. K., Lewin K. F., Nagy J. et Hendrey G. R. (1994). "Canopy photosynthesis and transpiration of field-grown cotton exposed to free-air CO2 enrichment (FACE) and differential irrigation." Agric. For. Meteorol 70:189-207.
Hipel K., Fang L. et Kilgour D. (2008). "Decision Support Systems in Water Resources and Environmental Management." Journal of Hydrologic Engineering 13 (9):761-770.
Holtzman S. (1989). "Intelligent Decision Systems, Addison Wesley.".
Houdart M. (2005). "Organisation spatiale des activités agricoles et pollution des eaux par les pesticides. Modélisation appliquée au bassin-versant de la Capot, Martinique"." Thèse de géographie, Université des Antilles et de la Guyane: 318p + annexes.
Houdart M., Lassoudière A. et Saudubray F. (2002). "Proposition d'une méthode d'analyse spatiale des pratiques agricoles à l'échelle d'un bassin versant dans un contexte de pollution des eaux. 38e Annual Meeting Carribean Food Crops Scociety, « Quel devenir pour l'agriculture caribéenne ? Qualité, économie, progrès social, environnement », Trois-Ilets, Martinique." AMADEPA pp: 282-289.
Hovelaque R., Le Malicot K. et Raineli P. (1996). "Gestion des zones humides par les agriculteurs : problème d'évaluation économique." Institut National de la Recherche Agronomique http://www.pleinchamp.com: 8 p.
Idrissi M., Aït Daoud N., Ouammi L., Rhalem N., Soulaymani, A., et Soulaymani-Benchekh R. (2010). " Intoxication aiguë par les pesticides, données du Centre Anti Poison du Maroc. , 4, 5-7." Toxicologie Maroc 4: pp. 5-7.
IFEN (2002). "Les pesticides dans les eaux, bilan des données 2000 et 2001." Rapport technique Etudes et travaux 36, Institut Français de l'Environnement.
IFEN (2004). "Les pesticides dans les eaux, bilan des données 2002." Rapport technique. Etudes et travaux 42, Institut Français de l'Environnement.
IFEN (2006). "Les pesticides dans les eaux, bilan des données 2003 et 2004." Rapport technique. Les dossiers 5, Institut Français de l'Environnement.
IFEN (2007). "Les pesticides dans les eaux : Données 2005." Les dossiers Ifen, 9.
Imache A., Dionnet M., Bouarfa S., Jamin J. Y., Hartani T. et Kuper M. (2009). "Scénariologie participative : une démarche d'apprentissage social pour appréhender l'avenir de l'agriculture irriguée dans la Mitidja (Algérie) " Cah Agric 2009 18: 417-424 (10.1684/agr.2009.0324).
Isenring R. (2010). "Les pesticides et la perte de biodiversite. Comment l'usage intensif des pesticides affecte la faune et la flore sauvage et la diversité des espèces " Pesticides Action Networck Europe. Web: www.pan-europe.info.
Isensee A., Nash R. G. et Helling C. S. (1990). "Effect of no-tillage vs. conventional tillage corn production on the movement of several pesticides to ground water." J. Environ. Qual. (19): 434-440.
Jagers op Akkerhuis G. A. J. M. et Hamers T. H. M. (1992). "Substrate-dependent bioavailability of Deltamethrin for the epigeal spider Oedothorax apicatus (Blackwall) (Aranaea, Erigonidae)." Pesticide Science 36: ISSN 0031-613X - p. 59 - 68.
Janssens J. (2002). "roduits phytopharmaceutiques, malformations congénitales et cancers (infantiles)." Un projet de la Province de Luxembourg et du Centre Universitaire du Limbourg, Louvain, 3590 Diepenbeek.

Joannon A., Souchère V., Martin P. et Papy F. (2006). " Reducing runoff by managing crop location at the catchment level: considering agronomic constraints at farm level." Land Degradation and Development, 17(5) :467-478.
Johnson M. S. (2009). "Public Participation and Perceptions of Watershed Modeling. ." Society and Natural Resources 22:79-87.
Jouve P. (1994). "La lutte contre l'aridité au Maghreb et au Sahel, par l'adaptation des systèmes de production agricole." doc. interne, CIRAD - CNEARC.
Keen P. et Scott M. (1978). "An organizationnal perspective, Decision Support, Systems Addison-Wesley." Publishing Company.
Kladivko E. J., Frankenberger J. R., Jaynes D. B., Meek D. W., Jenkinson B. J. et Fausey N. R., . (2004). "Nitrate Leaching to Subsurface Drains as Mected by Drain Spacing and Changes in Crop Production System." J. Environ. Quality 33:1803-1813.
Klein M. et Tixier V. (1971). "SCARABEE: a data and model bank for financial engineering and research " IFIP congress, North Holland.
Laaribi A. (2000). "SIG et analyse multicritère " Hermes Science Publications, Paris.
Lafrance P. et Banton O. (1996). "Evaluation in situ de l'impact de pratiques culturales sur la persistance et l'exportation d'herbicides." Acte du séminaire national « Produits phytosanitaires, processus de transfert et modélisation dans les bassins versants ». Nancy, 22-23 mai 1996. Cemagref. Nancy: p: 227-235.
Lal R. (2000). "Rationale for watershed as a basis for sustainable management of soil and water resources. In Integrated watershed management in the global ecosystem." CRC Press: p: 3-16.
Landais E. et Deffontaines J.-P. (1988). "Les pratiques des agriculteurs ; point de vue sur un courant nouveau de la recherche agronomique." Etudes Rurales janv.-mars 1988 109: 125-158.
Lasserre F. et Brun A. (2007). "La gestion par bassin versant : un outil de résolution des conflits ?" Lex Electronica 12 n°2 (Automne / Fall 2007).
Laurini R. et Thompson D. (1992). "Fundamentals of Spatial Information Systems." Academic Press: 680 p.
Lavigne De ville P., Bouju J. et Le Roy E. (2000). ", Prendre en compte le foncier dans une démarche d'aménagement. Stratégies foncières et bas-fonds au Sahel, GRET, Paris.".
Lavorel S. (2010). "Les services écosystémiques: une passerelle entre sciences de la biodiversité et société ?" Séminaire Développement Durable : Enjeux sociétaux et challenges scientifiques. Grenoble, INRIA, 22 mars 2010.
Lavorel S. et Sarthou J. P. (2008). ""Intérêts de la biodiversité pour les services rendus par les écosystèmes"." in: Le Roux X. et al. Agriculture et biodiversité. Valoriser les synergies. Expertise scientifique collective, INRA.
Le Bars M. (2003). " Un Simulateur Multi-Agent pour l'Aide à la Décision d'un Collectif : Application à la Gestion d'une Ressource Limitée Agro-environnementale." Thèse de doctorat. UNIVERSITÈ PARIS IX-DAUPHINE UFR SCIENCES DES ORGANISATIONS. http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00011210/fr/.
Le Bars M. et 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 62:182-189.
Le Bars M., Le Grusse P. et Albouchi L. (2012). "AquaFej: A simulation game to improve collective water sharing rules: application in Central Tunisia." International Journal of Sustainable Development (IJSD) sous presse.
Le Bars M. et Snoeck D. (2007). "Simulator for technical and economical modelling of farms, Erreur ! Référence de lien hypertexte non valide..
Le Coz J. (1964). ".Le Rharb, Fellahs et colons. Étude de géographie régionale, Les cadres de la nature et de l'histoire." Rabat, Maroc 1: 487 p.
Le Gal P.-Y. (2002). "De nouvelles démarches d'intervention pour améliorer la gestion des périmètres irrigués tropicaux." Comptes Rendus de l'Académie d'Agriculture de France 88(3) : 73-83.
Le Gal P.-Y., Kuper M., Moulin C.-H., Sraïri M. T. et Rhouma A. (2009). "Linking water saving and productivity to agrofood supply chains: a synthesis from two North African cases." Irrigation and Drainage 58(S3): 320-333. http://dx.doi.org/10.1002/ird.530
Le GO2 J. (1964). "Le Rharb, fellahs et colons." Tome 2: 500 p.
Le Grusse P. (2001). "Du " Local " au " Global " : les dynamiques agroalimentaires territoriales face au Marché Mondial. Quels instruments d'aide à la décision pour l'élaboration de stratégies Territoriales ? In Options méditerranéennes.".
Le Grusse P., Ayadi H., Mouileh Z., Mandart E., Le Bars M., Rio P., Bouaziz A. et Bord J.-P. (2012). 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. 42è congrès du groupe français des pesticides. Poitiers, France.
Le Grusse P., Ayadi H., Mouileh Z., Mandart E., Le Bars M., Rio P., Bouaziz A. et Bord J-P. (2012). "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 " Papier presenté dans le 42è congrès du groupe français des pesticides, Poitiers, France, 30 mai, 1 juin 2012.

Le Grusse P., Belhouchette H., Le Bars M., Carmona G. et Attonaty J.-M. (2007). "Participative modelling to help collective decision-making in water allocation and nitrogen pollution "Application to the case of the Aveyron-Lère Basin"." International Journal of Agricultural Resources, Governance and Ecology 5 (2-3): 247-271.
Le Grusse P., Belhouchette, H., Le Bars, M., Carmona, G., Attonaty, J-M., (2006). "Participative modelling to help collective decision-making in water allocation and nitrogen pollution "Application to the case of the Aveyron-Lère Basin" " International Journal of Agricultural Resources, Governance and Ecology 5 (2-3): 247-271.
Le Moigne J. L. (1984). "La théorie du système général. Théorie de la modélisation." PUF. Paris: 159 p.
Le Moigne J. L. (1987). "Les nouvelles sciences sont bien des sciences." Revue internationale de la Sstmémique n° 3: pp 295-318.
Lecomte O. (1999). "Vehrkânâ and Dehistan:Late farming-communities of South-West Turkmenistan from the Iron Age to the Islamic Period." Parthica vol I: 135-170.
Legay J.-M. (1996). L'expérience et le modèle. Un discours sur la méthode.
Leggett D., Bubb J. C. et Lester J. N. (1995). "The role of pollutants and sedimentary processes in flood defence. A case study: salt marshes of the Essex coast." UK. Environmental Toxicology 16: 457-466.
Leile L. A. (19986). "Contribution à la modélisation des pollutions diffuses agricoles. Études comparative des principaux modèles évaluant l'impact de ces pollutions sur les eaux superficielles." uni. Paris Val-de-Marne ENPC: 51 p. + annexes.
Lévine P. et Pomerol J.-C. (1989). Systèmes interactifs d'aide à la décision et systèmes experts. Paris, Hermès.
Lévine P. et Pomerol J. (1989). "Systèmes interactifs d'aide à la décision et systèmes experts." Edition Hermès.
Levrel H. (2006). "Construire des indicateurs durables à partir d'un savoir issu de multiples pratiques : le cas de la biodiversité " Annales des Mines - Série Gérer & Comprendre 85: 51- 62.
Lévy J. (1999). "Le tournant géographique -Penser l'espace pour lire le monde." Ed. Belin, Paris: 400 p.
Levy J. et Lussault M. (2003). "Dictionnaire de la géographie et de l'espace des sociétés." Paris, Ed. Bellin.
Longley M., Sotherton, N. W., (1997a). "Factors determining the effects of pesticides upon butterflies inhabiting arable farmland." Agric. Ecosyst. Environ 61: 1-12.
Louchart X. (1999). "Transfert de pesticides dans les eaux de surface aux échelles de la parcelle et d'un bassin versant viticole." INRA/ENSAM Laboratoire de science du sol. Montpellier, Ecole nationale supérieure agronomique de Montpellier: 263 p.
M. A. (1989). "Étude des formations du bassin du Rharb (Maroc nord occidental).": 290.
Maguine D. J., Goodchild M. F. et Rhind D. (1991). "Geographical Information Systems: Principales and applications." Harlow, Longman Scientific and Technical.
Malczewski J. (1999). "GIS and Multicriteria Decision Analysis." John Wiley & Sons Inc., New York.Malinowski: pp: 1884- 1942.
Mamy L. et Barriuso E. (2005). "Glyphosate adsorption in soils compared to herbicides replaced with the introduction of glyphosate resistant crops." Chemosphere 61: 844-855.
MAPAQ (2012a). "Programmes. In Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation. Programmes de soutien au développement de l'agriculture biologique."
MAPAQ (2012b). "Agroenvironnement – Mesures d'appui. In Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation. Éco-conditionnalité, [En ligne]." http://www.mapaq.gouv.qc.ca/fr/Productions/Agroenvironnement/mesuresappui/ecoconditionnalite/Pages/ecoconditionnalite.aspx

Maxime F., Mollet J.-M. et Papy F. (1995). "Aide au raisonnement de l'assolement en grande culture." Cahiers Agricultures 4 (5): p: 351-362.
Mayer I. et De Jong M. (2004). "Combining GDSS and gaming for decision support Group Decision and Negotiation." 13: 223-241.
Maynard J. M. et David G. (1992). "Diagnostic sur l'élaboration du rendement des cultures." Cahiers Agriculture 1: 9-19.
Mbetid-Bessane E., Havard M., Nana D. P., Djonnewa A., Djondang K. et Leroy J. (2002). "Typologies des exploitations agricoles dans les savanes d'Afrique centrale. Un regard sur les méthodes utilisées et leur utilité pour la recherche et le développement." Actes du colloque, 27-31 mai 2002, Garoua, Cameroun.
McCown R. L. (2002). "Locating agricultural Decision Support Systems in the problematic history and socio-technical complexity of 'models for management'." Agricultural Systems 74: 11-25.
Mehdaoui O., Venant A. et Fekhaoui M. (2000). "Contamination par les pesticides organochlorés et les nitrates de la lagune de Moulay Bouselham, Maroc." Cahiers d'études et de recherches francophones / Santé 10: 381-8.
Mendoza G. A. et Prabhu R. (2005). "Combining participatory modeling and multi-criteria analysis for community-based forest management." Forest Ecology and Management 207: 145-156.

Merchant M. E. (1994). "Imidacloprid: A promising new insecticide for control of white grubs, Phyllophaga crinita and Cyclocephala lurida." Texas Agricul. Experiment Stn. Prog. Rpt. 5127.
Mermet L. (1998). "L'Analyse stratégique de la gestion environnementale, illustrée par les tribulations d'un noyau de population relictuel d'ours bruns (Ursus Arctos) dans les Pyrénées occidentales françaises." Engref/RGTE.
Meybeck M. (1995). "Global lake distribution." In : A. Lerman, D. Imboden, J. Gat (eds) Physics and Chemistry of Lakes. Springer-Verlag: 1-35.
Micouleau-Sicault M. C. (2000). ". Les médecins français au Maroc, (1912-1956): combats en urgence." Editions L'Harmattan- Medical care: 172 p.
Mignolet M. et Guiot S. (1995). "Politiques régionales et coût du capital : un outil d'évaluation, Région et développement économique " n° 1: p. 91-121.
Millennium Ecosystem Assessment (2005). "Ecosystems and Human Well-being: Synthesis." Island Press, Washington DC: 151 p.
Milleville P. (1987). "Recherches sur les pratiques des agriculteurs." Cahiers de la Recherche-Développement 16(3-7. Ministère de l'Agriculture, 2010).
Mitchell G., May A. et McDonald A. (1995). "PICABEU: a methodological framework for the development of indicators of sustainable development." International Journal of Sustainable Development and World Ecology 2: 104-123.
Mollard A. (2003). "Multifonctionnalité de l'agriculture et territoires : des concepts aux politiques." Cahiers d'économie et sociologie rurales 66.
Moore A. et Waring C. (1998). "Mechanistic effects of a triazine pesticide on reproductive endocrine function in mature male atlantic salmon (Salmo salar L. parr)." Pesticide Biochemistry and Physiology 62, no 1: pp. 41-51.
Moriarty R. T. (1983). "Industrial Buying Behavior. Lexington, Mass.: Lexington Books.".
Mount D. et Putnicki G. J. (1966). "Summary report of the 1963 Mississippi fish kill." North Am Wildl Nat Res Conf Trans 31: 177-184.
Mullon C. et Boursier P. (1992). "Éléments pour une analyse critique des systèmes d'information géographique." revue SIGA, SORSTO M n°2: pp. 152 - 172.
NAIS (2004). "Pesticides Rik Indicators for Heath and Environment." Norway: 12 p.
NAIS N. A. I. S. (2000). "Pesticides Rik Indicators for Heath and Environment." Norway: 24 p.
Neumann K., Butler A. et Kahlheber S. (2003). "Food, Fuel and Fields. Progress in African Archaeobotany. . ." Africa Praehistorica 15. Köln (Heinrich-Barth-Institut).
Nouzille V. (2006). "L'usage des pesticides augmente le risque de cancer du sein." Pesticides.
Novotny V. et Chesters G. (1981). "Handbook of nonpoint pollution: Sources and management." Van Nostrand Reinhold Publishing Co., New York, N.Y., USA.
Obermeyer N. J. et Pinto J. K. (1994). "Managing Geographic Information Systems." New York: Guildford Press.
OCDE (1993). "L'intégration des politiques de l'agriculture et de l'environnement." Paris : Le Cavalier bleu,: 114 p.
OCDE (1998). "Series on testing assessment number 10: Report of the OECD worshop on statistical analysis of aquatic toxicity data. OCDE (Organisation de coopération et de développement économique)." ENV/MC/CHEM, Paris 18.
OCDE (2000). "Series on Testing and Assessment of Chemicals." Guidance Document 22.
Okacha L. (2005). "Contribution à l'analyse de l'efficience technico-économique et de la productivité globale des facteurs des exploitations agricoles." Mémoire de fin d'étude, IAV Hassan II, 2005 p. 41-44.
ONEM (2005). Rapport de l'état de l'environnement du Maroc: 292.
ORMVAG (2007). Controle de l'impact des engrais et des pesticides sur l'environnement du bassin du Sebou SCET-Maroc. HTE. 138: 30.
ORMVAG (2008). "Inventaire des équipements hydro-agricole." Rapport interne: 10 p.
ORMVAG (2010,). "Eude de la faisabilité de l'aménagement hydro-agricole de la zone cotière de la troisième tranche d'irrigation du Gharb. Mission 1 : Diagnostic de la situation actuelle, 2010 " Doc n°1367 -S1231 -10 cMarché n° 53/2009/DAM Edition définitive : décembre, 2010 Maroc.
ORMVAG (2011). "Monographie des exploiattions agricoles." Rapport interne.
Ouardi (2006). "Méthodes alternatives aux pesticides " DPVCTRF - Atelier d'information et de sensibilisation des ONG - Rabat 13 juin 2006 - organisé par l'association Ribat Al Fath.
Pahl-Wostl C. (2002). "Towards sustainability in the water sector: the importance of human actors and processes of social learning." Aquatic Sciences 64: 394-411.
Paillotin G. (2008). "Rapport final du Président du comité opérationnel « Ecophyto 2018»." Chantier 15 « Agriculture écologique et productive », 17 juin 2008.
Pallix G. et Tabet A. (1973). "Drainage d'une plaine basse côtière sur sols lourds : le Gharb." Homme, Terres et Eaux 7: p: 33-39.

PAN Europe et MDRGF (2008). " Pesticides Action Network Europe (PAN Europe), Mouvement pour le Droit et le Respect des Générations Futures (MDRGF): ETUDE VIN PAN-EUROPE « Message dans une bouteille » Etude sur la présence de résidus de pesticides dans le vin.".
Papy F., Attonaty J. M., Laporte C. et Soler L. G. (1988). "Work organization simulation as a basis for farm management advice." Agricultural Systems 27: pp. 295-314.
Papy L. (2001). "Interdépendance des systèmes de culture dans l'exploitation agricole. In : Malézieux E, Trébuil G, Jaeger M, eds. Modélisation des agro-écosystèmes et aide à la décision." Collection Repères. Paris : Montpellier : Éditions Cirad-Inra.
Paterson A.H., DeVerna J., Lanini B. et Tanksley S.D. (1990). "Fine mapping of quantitative trait loci using selected overlapping recombinant chromosomes, from an interspecies cross of tomato." Genetics 124: p: 735-742.
Perrot C. et Landais E. (1993). "Exploitations agricoles : pourquoi poursuivre sur la recherche sur les méthodes typologiques ? ." Les Cahiers de la Recherche Développement 33: 13-23.
Petit M. (1982). "Théorie de la décision et comportement adaptatif des agriculteurs" Formation des agriculteurs et apprentissage de la décision." Actes de la journée du 21 janvier 1981, ENSSAA-INRA,: pp. 1-36.
Pingault N., Pleyber E., Champeaux C., Guichard L. et Omon B. (2009). "Produits phytosanitaires et protection intégrée des cultures : l'indicateur de fréquence de traitement(IFT)." Notes et études socio-économiques (NESE) 32: p: 61-94.
Poulle F. et Gorgeu Y. (1997). "Essai sur l'urbanité rurale : cinq territoires ruraux, leurs serments et leurs modes de gouvernements." Éditions Syros, Paris.
Pretty J. N. (1994). "Alternative systems of inquiry for sustainable agriculture " IDS Bulletin 25(2): p: 37-48.
Qninba A., Benhoussa A., El Agbani M-A., Dakki M. et Thevenot M. (2006). "Etude phénologique et variabilité interannuelle d'abondance des Charadriidés (Aves, Charadrii) dans un site Ramsar du Maroc : la Merja Zerga." Bulletin de l'Institut Scientifique, section Sciences de la Vie, 2006 28: p: 35-47.
Rabelais F. (1995). "Le Tiers Livre, Livre de poche, Bibliothèque classique " Sylvie Lardon, Vincent Piveteau et Laurent Lelli, « Le diagnostic des territoires », Géocarrefour [En ligne] vol. 80/2(URL : http://geocarrefour.revues.org/979): mis en ligne le 13 mars 2008.
Ramade F. (2005). "Éléments d'Écologie – Écologie appliquée." DUNOD, Paris 6.
Regnault-Roger C. (2005). "Enjeux phytosanitaires pour l'agriculture et l'environnement." Lavoisier, Paris: 1013 p.
Renard J. P. et Picouet P. (1993). "Frontières et territoires, Documentation photographique, La Documentation française
" n°7013.
Réseau d'Avertissements Phytosanitaires R. (2009). "Protégeons les abeilles des pesticides. Bulletin d'information." Ordre Géreral N°02- 12 juin 2009 : htt://.agrireseau.qc.ca/rap.
RGHPH et Direction de la Statistique (2009). "Annuaire Statistique du Maroc."
Rovillé M. et Lavelle P. (2005). "Des outils à notre échelle, Les ouvriers du sol et les pratiques agricoles de conservation." Colloque en agroenvironnement 23 février 2005 Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec
Roy B. (2000). "Réflexions sur le thème : quête de l'optimum et aide à la décision " Cahier du Lamsade, Université Paris-Dauphine, 167: 21 p.
Russel S. (1999). "Rationality and Intelligence" Foundations of rational agency, Applied logic series, Wooldridge M. and Rao A." Kluwer Academics Publishers Vol. 14: p: 11-33.
Sack R. D. (1997). "Homo Geographicus: A Framework for Action, Awareness, and Moral Concern, Baltimore." Johns Hopkins University Press.
Salter E. (1999). "Chemical Trespass, a toxic Legacy." WWF-UK. (http://www.wwf.org.uk/filelibrary/pdf/chem4.pdf).
Samuel O., Dion S., , ST-Laurent L. et April M.-H. (2007). " Indicateur de risque des pesticides du Québec-IRPeQ-Santé et Environnement Québec." Ministère de l'Agriculture, des pêcheries et de l'Alimentation/ Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs/ Institut National de Santé Publique du Québec: 44 p [http://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/602-IndicateurDeRisqueDesPesticides.pdf].
Schulz O. et De Jong C. (2004). "Snowmelt and sublimation: field experiments and modelling in the High Atlas Mountains of Morocco." Hydrology and Earth System Sciences 8(6): pp. 1076-1089.
Scott Morton M. S. (1971). Management Decision Systems: Computer-based Support for Decision Making. MA: Division of Research, Graduate School of Business Administration. Boston: Harvard.
Sebillotte M. (1974). "Agronomie et agriculture, analyse des tâches de l'agronomie." Cahiers. ORSTOM, série biologie, 24: p: 3-25.
Sebillotte M. (1978). "Itinéraire techniques et évolution de la pensée agronomique." C.R. Acad. Agric. Fr. 64: p: 906-914.

Sebillotte M. et Soler L.G. (1990). "Les processus de décision des agriculteurs. Acquis et questions vives. In Modélisation systémique et systèmes agraires, Brossier J., Vissac B. et Lemoigne J.L. ." (Eds), Inra Paris: p: 103-117.
Simon H. A. (1982). "From substantive to procedural rationality, 1976. ln: HA Simon, ed, Models of Bounded Rationality." MIT Press, Cambridge Mass Vol. 2: p 424-443.
Simon H. E. (1976). "Administrative Behavior." New York, Free Press.
Snellen J. E. et Murray S. L. (1991). "Computers in Instructional Simulation: A Report on the Research and Development of Instructional Simulation." Washington: U.S. Department of Educa-tion, Office of Educational Research and Development.
Solbe J. F., Cooper V. A., Willis C. A. et Mallett M. J. (1985). "Effects of pollutants in fresh water on european nonsalmonid fish. I. Non-metals." J Fish Biol. 27: pp. 197-207.
Soulard C. T. (1999). " Les agriculteurs et la pollution des eaux. Proposition d'une géographie des pratiques." Thèse de Géographie, Panthéon Sorbonne: 424 p.
Soulard C. T., Morlon P. et Chevignard N. (2002). "Le schéma d'organisation territoriale de l'exploitation agricole ; Un outil dans l'étude des relations agriculture-environnement." Entretiens du Pradel: Agronomes et territoires, Communication aux journées Olivier de Serres: 15 p.
Southwick E. E., Southwick, L., (1992.). "Estimating the economic value of honey bees (Hymenoptera: Apidae) as agricultural pollinators in the United States." Journal of Economic Entomology vol. 85, n° 3: p. 621-633.
Spikkerud E. (2002). "Pesticides aquatic risk indicators : testing the OECD indicators REXTOX, ADSCOR and SYSCOR and the Norwegian aquatic risk indicator with estimates of use data from Norway." In http://www.oecd.org/dataoecd/6/17/2752913.pdf.
Stabell C. B. (1988). "Toward a Theory of Decision Support." Decision Support Systems: 160-170.
Taky A. (2008). " Maitrise des excès d'eau hivernaux et de l'irrigation et leurs conséquences sur la productivité de la betterave sucrière dans le périmètre irrigue du Gharb (Maroc). Analyse expérimentale et modélisation." Thèse de doctorat, AgroParisTech (12/12/2008), http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00397822.
Théobald O. (2001). "Les outils de diagnostic environnemental utilisables en agriculture." ADEME: 4 p.
Thériault M. (1996). "SIG : concepts fondamentaux. Québec, Département de Géographie,Université Laval (Série « Notes de cours »."
Thériault M., Claramunt C., Seguin A. M. et Villeneuve P. (2002). "Temporal GIS and statistical modelling of personal lifelines." Spatial Data Handling Symposium, Ottawa.
Tortrat F. (2005). "Modélisation orienté décision des processus de transfert par ruissellement et subsurface des herbicides dans les bassins versants agricoles." Thèse de doctorat Agrocampus Rennes.
Trevisan M., Errera G., Capri E., Padovani L. et A.A.M. Del Re. (1999). "Environmental potential risk indicator for pesticides, in: Comparing environmental risk indicators for pesticides. Results of the European CAPER project." Centre for Agriculture and Environment, Utrecht: p: 141-148.
Tucker G. M. et Heath M. F. (1994). "Birds in Europe: their conservation status." Conservation Series no. 3. BirdLife International, Cambridge.
Turban E. (1993). "Decision Support and Expert Systems." New York, Macmillan.
Turpin N., Bouraoui F. et Tranvoiz M. (1999). "Pratiques agricoles et qualité de l'eau dans un petit bassin d'élevage intensif -Une expérience pilote réalisée dans le cadre du contrat de baie " Rade de Brest "." Ingénieries EAT 19: p: 19-30.
UIPP: Union des Industries de la Protection des Plantes (2010). "L'utilité de la protection des plantes. Décembre 2010."
USEPA (2002). "Short-term methods for estimating the chronic toxicity of effluents and receiving waters to freshwater organisms." Fourth edition. US Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, DC. EPA-821-R-02-013.
Vaillant M., Jouany J. M. et Devillers J. (1995). "A multicriteria estimation of the environmental risk of chemicals with the SIRIS method." Toxicology modeling 1, (1): p: 57-72.
Valcke M., Gosselin N. H., Belleville D. et Vézina A. (2005). "Évaluation du risque toxicologique associé à l'utilisation d'adulticides dans le cadre d'un programme de lutte vectorielle contre la transmission du virus du Nil occidental. Mise à jour de nouvelles données et approche raffinée d'évaluation – Rapport sectoriel 8. Rapport réalisé dans le cadre de l'étude d'impact stratégique du Plan d'intervention gouvernemental de protection de la santé publique contre le virus du Nil occidental " Institut national de santé publique du Québec: 168 p.
Vallin P. (2010). "L'agriculture écologiquement intensive, un enfant du Grenelle de l'environnement. Eléments de recherche : MAÏSADOUR ou MAÏSADOUR SEMENCES : coopérative agricole. ." Article de journal : Hebdomadaire Paris 09 novembre 2010.
Van Der Werf H. et Zimmer C. (1998). "An Indicator of pesticide environmental impact based on a fuzzy expert system." Chemosphere (36)10: p: 2225-2249.
Van Der Werf H. (1996). "Assessing the impact of the pesticides on the environnement." Agriculture, Ecosystems and Environment 60: 81-96.

Van der Werf H. M. G. (1996). "Assessing the impact on the environment." Ecosystems and Environment 60: p: 81-96.
Verdisson S. et Audràn J.-C. (1999). "Ecotoxicité comparée de trois fongicides antibotrytiques : le fludioxonil, la procymidone et le pyriméthanil. Recherche d'une solution alternative à leur emploi par la création de vignes." Université de Reims, Reims, FRANCE No : 99 REIM S026.
Vidal-Naquet N. (2008). "« Le mythe du "bon air de la campagne qui requinque" ou considérations à propos d'une étude du CORPEN sur "Les produits phytosanitaires dans l'air" : "Un traitement contre le virus associé au CCD" annonce avoir trouvé un laboratoire israelo-américain ». Le blog vétérinaire consacré à l'apiculture et la pathologie apicole." (http://www.typepad.com/services/trackback/6a00d83455b58069e2010534b25f5e970b).
Vidal de la Blache P. (1922). "« Principes de Géographie humaine »." (publiés d'après les manuscrits de l'auteur par E. de Martonne, 1995), A. Colin, Paris.
Voiron C. et Chéry J. P. (2005). "Espace géographique, spatialisation et modélisation en Dynamique des Systèmes " 6ème Congrès Européen de Science des Systèmes. Septembre 2005.
Wangberg S.-A. (1995). "Effects of arsenate and copper on the algal communities in polluted lakes in the northem parts of Sweden assayed by PICT (Pollution-lnduced Community Tolérance)." Hydrobiologia 306: 109-124.
Wohlfahrt J. (2008). " Développement d'un indicateur d'exposition des eaux de surface aux pertes de pesticides à l'échelle du bassin versant." Thèse de doctorat. Université Paris Ix-Dauphine UFR Sciences Des Organisations(http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00011210/fr/).
Young M. D. (1991). "Towards sustainable agricultural development." OCDE. Belhaven Press, London: 346 p.
Zahm F. (2003). "Méthodes de diagnostic des exploitations agricoles et indicateurs panorama et cas particuliers appliqués à l'évaluation des pratiques phytosanitaires." Ingénieries EAT 33: pp.13-34.
Zahm F. et Gassiat A. (2009). "Les indicateurs d'évaluation des mesures agro-environnementales : retour d'expérience et conséquences du nouveau cadre communautaire " Colloque 9ème journées Françaises de l'évaluation, SFE, Marseille, : 14 p.
Zahm F., Vernier F., Saudubray F., Peyrey C., Petit K., Bockstaller C., Girardin P., Hubert A. et Da Costa J. P. (2007). "Evaluation des modules « eaux de surface » de quatre indicateurs phytosanitaires (ADSCOR, EIQ, EPRIP, I-PHY) en bassin viticole : premiers résultats issus d'un test appliqué aux pratiques phytosanitaires du bassin du Ruiné (Charente)."
Zekri S. et Boughanmi H. (2007). "Modeling the interactions between agriculture and the environment. In Weintraub, A.,Romero, C., Bjrndal, T., Epstein, R. (eds) Handbook of Operations Research in Natural Resources." Springer, New York: pp. 69-91.
Zhang W., Ricketts T. H., Kremen C., Carney K. et Swinton S. M. (2007). "Ecosystem services and dis-services to agriculture." Ecological Economics n° 64: pp. 253-260.
Zimmermann M. (1904). "Vidal de la Blache Paul, Friedrich Ratzel. In: Annales de Géographie. 1904, t. 13, n°72. pp. 466-467.