

Gestion intégrée des pesticides et Intelligence Territoriale

Philippe Le Grusse^(1,3), Elisabeth Mandart⁽¹⁾, Habiba Ayadi^(1,2,3), Oussama Mghirbi^(1,2,3), Kamel Ellefi⁽¹⁾, Meriem Trabelsi^(1,2,3), Jacques Fabre⁽⁴⁾,
Jean-Paul Bord^(2,3)

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

(2) Université Montpellier 3 (UM3). Route de Mende, 34199 Montpellier cedex 5, France

(3) UMR GRED Gouvernance, Risque, Environnement, Développement (UM3/IRD). Centre IRD de Montpellier - UMR GRED, BP 64501, 34394 Montpellier cedex 5, France

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

Mots-clefs : gestion intégrée, territoire, modélisation, intelligence territoriale.

Le caractère intrinsèque du terme de pollution diffuse renvoie aux notions d'acteurs et d'écosystèmes dans un territoire. Le terme pollution, défini par une directive Européenne, désigne : « l'introduction directe ou indirecte, par suite de l'activité humaine, de substances ou de chaleur dans l'air, l'eau ou le sol, susceptibles de porter atteinte à la santé humaine ou à la qualité des écosystèmes aquatiques ou des écosystèmes terrestres. Cette atteinte porte sur la détérioration des biens matériels, de l'agrément de l'environnement ou des autres utilisations légitimes de ce dernier. La contamination par des polluants atteint un niveau seuil induisant ainsi des dommages, des déséquilibres, des effets nocifs et interfère avec le bien-être des organismes vivants ». (Directive Européenne 2000/60/CE du 23 octobre 2000). On trouve ainsi différents types d'impacts possibles sur différents niveaux de l'écosystème, impactant donc différemment différents types d'acteurs. Nous sommes donc confrontés à la nécessité de gérer une diversité d'impacts, inégalement répartis dans l'espace, avec une diversité d'acteurs de types « Pollueurs diffus » et d'acteurs impactés, auquel s'ajoute une variabilité temporelle des effets. Nous sommes ainsi, dans l'objectif de gestion d'une pollution diffuse face à la nécessité de gérer un système comportant au minimum cinq dimensions. (Ecosystèmes, Acteurs, Espace, Impacts, Temps). Pour le « gestionnaire », l'objectif serait de concevoir un système d'information sur ces cinq dimensions et de caractériser des relations quantifiables entre ces dimensions pour pouvoir évaluer l'efficacité et l'efficacité de mesures correctives, tout ceci de manière dynamique. Le gestionnaire est confronté également au caractère pluridisciplinaire dans son approche scientifique en devant croiser les logiques agronomiques, économiques géographiques et les sciences et techniques de l'information. Les politiques actuelles abordent ces problèmes de manière segmentée sur différentes dimensions. Au niveau des « Pollueurs diffus » par des incitations à la réduction de l'utilisation de la quantité de pesticides. Ces actions de type préventives sont parfois pondérées par la dimension spatiale caractérisée par la vulnérabilité intrinsèque du milieu. La dimension spatiale commence à être abordée également par

des actions « curatives » par l'installation de zones tampons visant une épuration au niveau d'exutoires. Les dimensions de diversités d'impacts, de temporalité, et de diversités d'acteurs impactés ne sont jamais utilisées dans ces démarches. De plus la diversité des impacts produits par les « Pollueurs diffus » n'est pas prise en compte. A partir de ce constat, nous avons essayé de concevoir une méthode de gestion intégrée des pesticides sur un territoire (un bassin versant) prenant en compte les cinq dimensions et de formaliser des relations entre ces dernières.

1. La représentation du fonctionnement du territoire

La gestion de la pollution phytosanitaire d'origine agricole au niveau d'un territoire nécessite l'intégration d'unités spatiales emboîtées mettant en exergue la relation entre la pression exercée et l'impact sur « l'environnement ». L'unité spatiale choisie doit être celle où interfèrent les pratiques agricoles et les risques de pollution des ressources naturelles dont la ressource en eau. Dans les approches géo-agronomiques, trois types d'unités spatiales permettent de prendre en compte ce qui est gérable entre les hommes et ce qui est pertinent pour cerner les problèmes de la pollution phytosanitaires agricole diffuse ; il s'agit des parcelles culturales, des exploitations agricoles et du bassin versant hydrologique. Les deux premières unités spatiales sont des unités représentatives des activités agricoles et territoire de décision de l'agriculteur. Elles sont intégrées dans une unité spatiale plus globale le bassin versant, territoire d'aménagement et de gestion de la ressource en eau. L'analyse de ces unités spatiales permet de rendre compte des pratiques agricoles spatialisées, des modes d'inscriptions territoriales des activités agricoles et du mode d'intégration du niveau local dans le niveau global. Mais cela permet aussi de rendre compte du niveau d'inégalités spatiales et sociales en termes de propension à polluer.

1.1. Parcelle culturale : unité spatiale de décision technique de l'agriculteur

La notion de parcelle est considérée comme une notion agronomique et non pas cadastrale. Elle est définie par (Houdart, 2005) « *comme une portion de terrain portant une même culture soumise à une même conduite* ». Elle constitue l'unité de gestion agronomique où se succèdent les opérations culturales ou l'itinéraire technique (Sebillotte, 1974; Gras *et al.* 1989). Cette unité spatiale constitue le premier niveau d'enregistrement des pratiques agricoles. Elle correspond à l'échelle sur laquelle les agriculteurs mettent en pratique leurs décisions techniques à chaque saison. À cette unité spatiale peuvent se déterminer les pratiques culturales réduisant l'exportation dans le milieu des produits phytosanitaires. L'itinéraire technique d'une parcelle culturale a pour pas de temps le cycle cultural de la plante. Le raisonnement de l'itinéraire technique se fait à un niveau plus global qu'est l'exploitation agricole au début de la campagne agricole.

1.2. Exploitation agricole : unité de décision stratégique de l'agriculteur

L'exploitation agricole est l'unité de décision des systèmes de cultures définie comme « *une portion de territoire traitée de manière identique, par une succession coordonnée de cultures et, pour chacune d'elles, d'opérations culturales* » (Papy, 2001). Elle constitue un niveau plus global pour la synthèse des informations,

l'appréciation des risques liés aux pratiques agricoles, les choix stratégiques et les déterminations des modalités techniques. Cette unité spatiale et socio-économique a fait l'objet de nombreuses typologies par les géographes et agronomes pour rendre compte de la diversité des systèmes de cultures, des systèmes de productions et des espaces ruraux (Capillon, 1993). La classification des exploitations dans des types permet d'expliquer les pratiques agricoles. De nombreux travaux de recherche ont été réalisés dans le but d'examiner les liens entre les typologies d'exploitation et le territoire (Mignolet & Guiot, 1995). La plupart de ces études ont montré qu'il ne s'agit pas de l'organisation spatiale des territoires d'exploitation mais de la répartition des types d'exploitation dans un espace donné (Capillon, 1993; Perrot & Landais, 1993). Cet espace géographique peut être continu ou discontinu. En revanche la pollution phytosanitaire diffuse est un phénomène physicochimique à forte composante spatiale (Tortrat, 2005). La mise en place de plans d'aménagement nécessite une unité spatiale continue et plus globale intégrant les décisions socio-économiques de l'agriculteur et les phénomènes physico-chimiques et toxicologiques de la pollution phytosanitaire. Ce niveau global est le bassin versant.

La conception du bassin versant dépend de la discipline qui utilise cette unité spatiale. Au début des années 60, les hydrologues ont conçu le bassin versant comme étant l'unité spatiale de base du cycle de l'eau « *un bassin versant, en un point d'une rivière, l'aire limitée par le contour à l'intérieur duquel l'eau précipitée se dirige vers ce point* » ou aussi Bassin versant hydrographique: « *une entité topographique et hydrographique dans laquelle se produisent des entrées d'eau sous forme de précipitations accommodées par un système de pentes et de drains naturels en direction d'un exutoire unique* » (Bravard & Petit, 2000). D'après cette conception le bassin versant est un territoire métrique topographique (Levy & Lussault, 2003) caractérisé par un complexe physique, de pente, de sols et de roches et qui organise les écoulements et le transfert par ruissellements et infiltrations. Avec l'évolution du progrès technique et informatique dont la modélisation hydrologique (Villeneuve *et al.*, 1996) le bassin versant est devenu « *un système ouvert, non linéaire, non stationnaire, qui opère une transformation de la pluie (signal d'entrée) en un débit (signal de sortie) et dont les composants sont organisés en cascade* » (De Marsily, 1986). Dans cette conception le bassin versant est devenu un ensemble d'unités interconnectées entre elles dont les unités élémentaires ou sous-bassins (Leile, 1986) présentent des caractéristiques météorologiques identiques et hydrauliques uniformes. L'apparition des problèmes de pollutions diffuses d'origine agricole des eaux dans les années soixante-dix a poussé les agronomes à sortir du territoire de la parcelle vers les bassins versants agricoles, territoire plus global où se manifeste l'antagonisme entre les pratiques agricoles et la qualité de la ressource en eau dans l'espace et dans le temps. D'où sa conception comme le territoire support des écosystèmes et d'activités humaines utilisé par différents acteurs comme unité de base pour la connaissance et la compréhension du milieu, la description des systèmes d'exploitation afin de mettre en place des plans d'aménagement collectifs.

En géographie, on parle de bassin hydrographique : « *L'idée de bassin versant n'a rien de neuf : cela fait plusieurs siècles que les géographes connaissent le concept de cette unité spatiale. Il s'est complexifié avec le temps, car une meilleure connaissance de l'hydrologie, en particulier de la circulation des eaux souterraines, a mis en évidence le fait que celles-ci, non seulement s'écoulent, mais encore ne s'écoulent pas nécessairement dans un espace identique au bassin versant de surface : il n'y a pas*

nécessairement coïncidence entre les aquifères et les bassins versants de surface. Il est dès lors possible d'optimiser ou de contrôler ces actions pour préserver la ressource » (Lasserre et Brun, 2007). Sur le plan scientifique, de nombreuses recherches ont été menées au niveau du bassin versant pour l'évaluation de la pollution phytosanitaire diffuse dans l'espace et dans le temps (Meybeck, 1995; Benoît, 1997; Heydel, 1998; Turpin *et al.* 1999; Christian Kersebaum 2000; Colin, 2000; Lal, 2000; Barreteau *et al.* 2001; Becu, 2001; Houdart, *et al.* 2002; Houdart, 2005; Tortrat, 2005; etc). Au niveau politique, le bassin versant, ou le bassin hydrographique, est le territoire de gestion collective et de mise en place de plans d'aménagement.

Les réflexions à mener sur les territoires posent des problèmes méthodologiques et d'instruments adaptés pour l'aide à la construction de stratégies concertées. La démarche de construction de différentes approches de modélisation du territoire nous a permis de formuler un premier niveau d'analyse méthodologique et d'envisager des formes d'instrumentation appropriées à la mise en œuvre d'actions concertées entre les acteurs (Le Grusse, 2001 ; Le Grusse *et al.*, 2007)

2. Modèle régional de fonctionnement de bassins versants

L'élaboration d'un outil de gestion intégré des pesticides sur un bassin versant s'appuie au départ sur un modèle régional de fonctionnement du bassin avec une plateforme de modélisation² (Fig. 1).

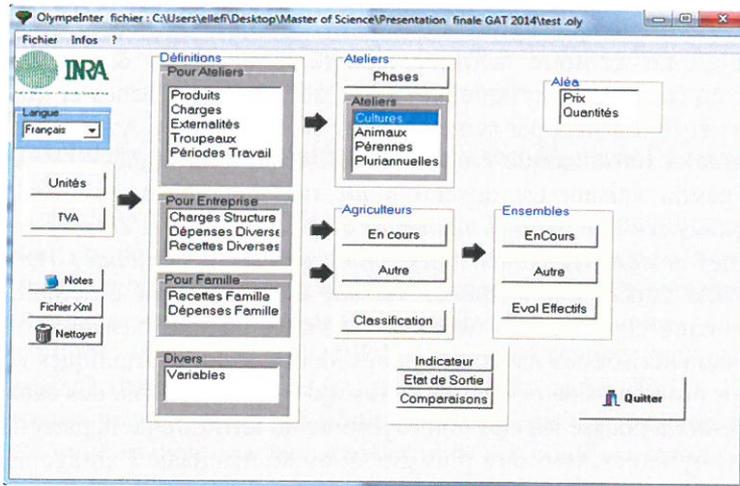


Figure 1 : La plateforme de modélisation Olympe

Ce modèle a été construit à partir de la répartition spatiale des cultures, une typologie de producteurs et une typologie des pratiques phytosanitaires associée à un calendrier de ces pratiques (Fig. 2). Ces pratiques ont été caractérisées par des indicateurs de pression et des indicateurs d'impact sur l'environnement et sur la santé de l'applicateur³ (aigue et chronique) (Ayadi *et al.*, 2012, 2013). Cet outil nous permet

² Olympe : Plateforme de modélisation agricole : www.olympe-project.net

³ IRSA : Indice de risque sur la santé de l'applicateur ; IRTE : Indice de risque sur l'environnement

d'évaluer l'impact de l'utilisation des pesticides aux différentes échelles (parcelle, exploitations agricoles, communes, sous bassin et bassin) et de déterminer la contribution des différents types de systèmes de production dans la pollution totale. A partir de ce diagnostic, nous avons simulé, en prenant en considération les différents leviers d'action de la parcelle au territoire, des modifications possibles de pratiques phytosanitaires afin d'évaluer les conséquences des différentes situations sur l'ensemble du bassin. L'objectif de ce travail est d'évaluer l'impact des nouvelles pratiques phytosanitaires respectueuses de l'environnement pour certains systèmes de cultures et de disposer d'éléments de réflexion pour l'élaboration des stratégies collectives de gestion, comme l'alternance de l'utilisation des certains produits, la possibilité de proposer des changements dans la répartition spatiale des cultures, l'implantation de zones tampons...

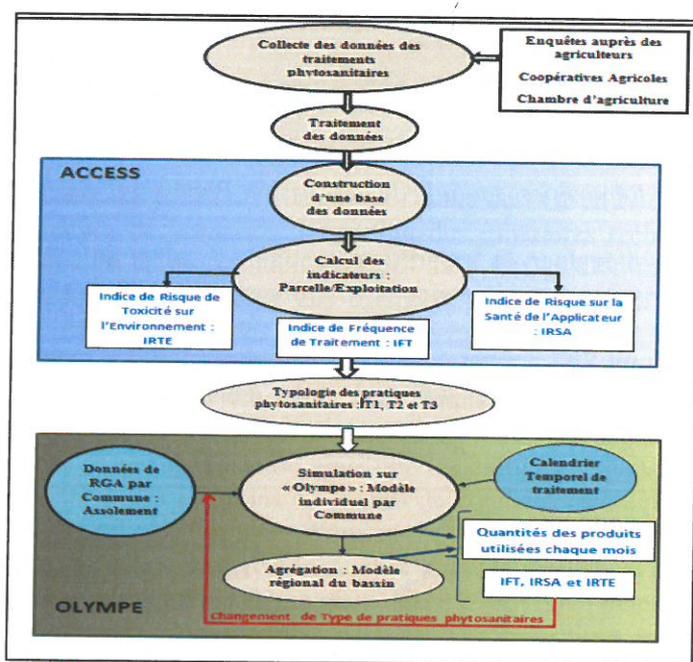


Figure 2 : Démarche méthodologique

Modèles spatialisés de gestion pluriannuelle et de gestion intra-annuelle

Dans le cadre d'un projet de recherche (TRam Apr Pesticides 2009), nous avons construit deux modèles de bassin par agrégation d'unité spatiales emboîtées.

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. 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).

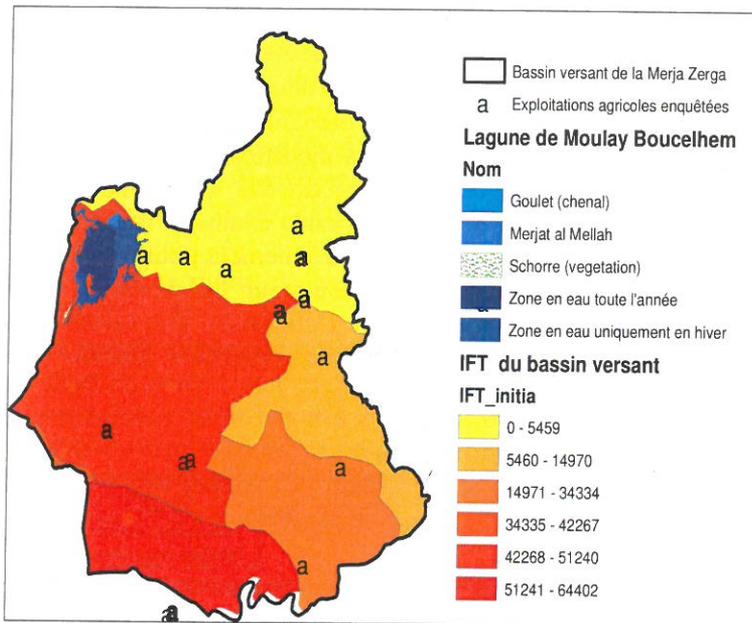


Figure 3 : Répartition spatiale de la pression Phytosanitaire (IFT)

Le modèle permet d'évaluer la répartition spatiale et temporelle de la pression phytosanitaire, des risques santé humaine et environnementaux (Fig. 3 et 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).

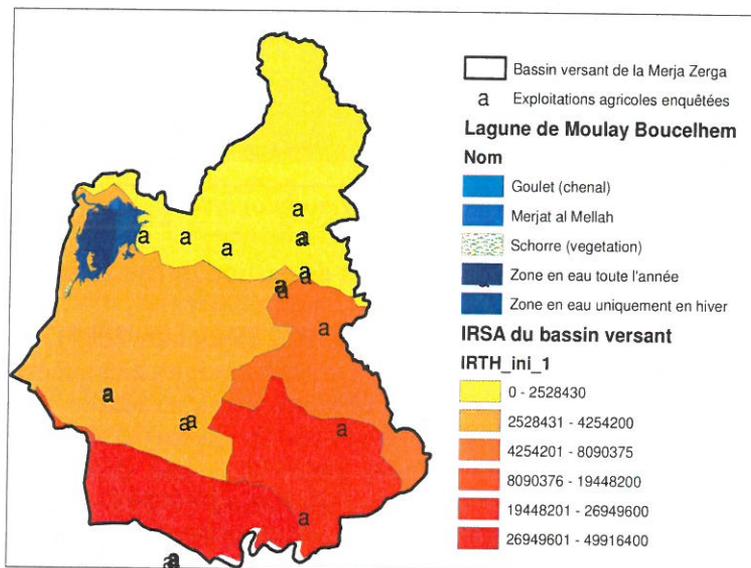


Figure 4 : Répartition spatiale du risque santé humaine

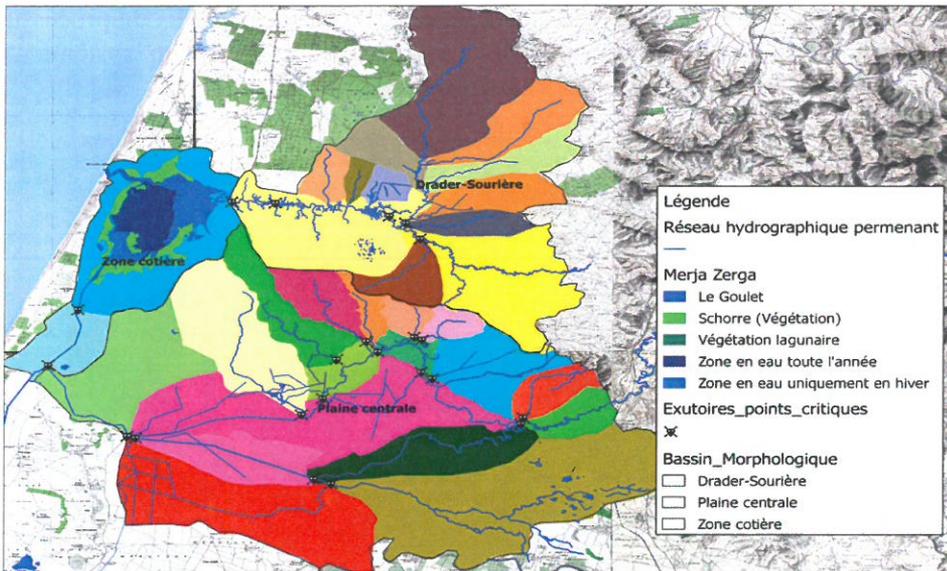


Figure 5 : Caractérisation des sous bassins et des exutoires

Le deuxième modèle sur le bassin versant de l'étang de l'Or en France (Fig. 6), a été orienté vers l'analyse de scénarios de gestion des itinéraires techniques au niveau spatial et temporel. 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 (Fig. 7 à 9) nous avons pu ainsi évaluer le calendrier des impacts en terme de risque santé (IRSA) et de risque environnemental (IRTE) en terme de calendrier. 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. La limite opérationnelle de ces démarches réside aujourd'hui essentiellement dans la gestion de l'information car le principal problème réside dans le fait que l'acteur devant gérer le problème (le régulateur) n'observe pas parfaitement les actions entreprises par les « Pollueur diffus », et les pollueurs possèdent une information privée à laquelle le régulateur n'a pas accès (Ali, 2008). Pour surmonter ce problème la démarche doit s'inscrire dans un processus de construction d'une Intelligence Territoriale. « *L'intelligence territoriale est un moyen pour les chercheurs, pour les acteurs et pour la communauté territoriale d'acquérir une meilleure connaissance du territoire, mais également de mieux maîtriser son développement. L'appropriation des technologies de l'information et de la communication, et de l'information elle-même, est une étape indispensable pour que les acteurs entrent dans un processus d'apprentissage qui leur permettra d'agir de façon pertinente et efficace.* *L'intelligence territoriale est notamment utile pour aider les acteurs territoriaux à projeter, définir, animer et évaluer les politiques et les actions de développement territorial durable.* »⁴ (Girardot, 2000). La construction d'un système d'information

⁴ Jean-Jacques Girardot est économiste et notamment coordinateur scientifique de l'Enti (European Network for Territorial Intelligence) <http://www.territorial-intelligence.eu>

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.

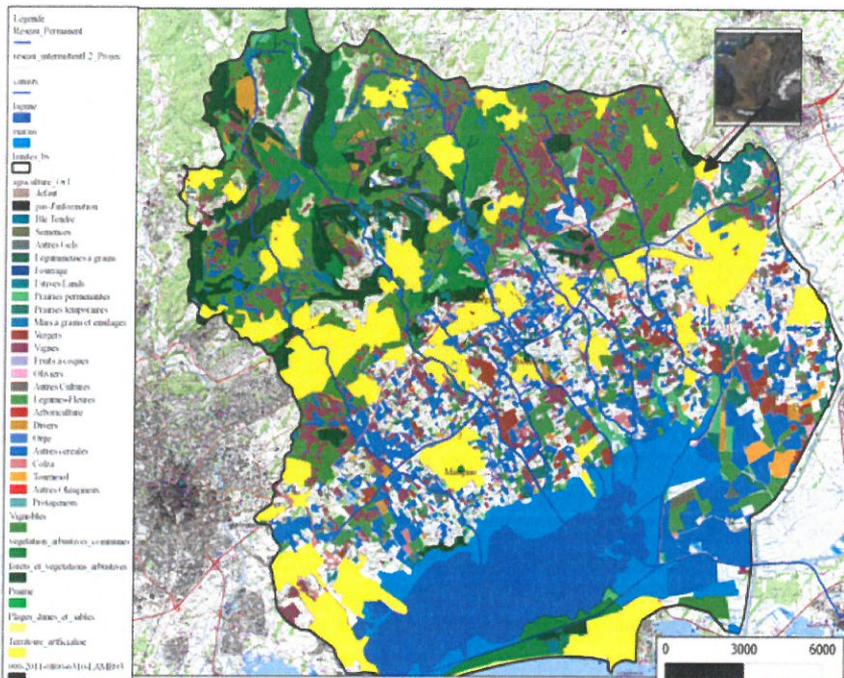


Figure 6 : Bassin versant de l'Etang de l'Or

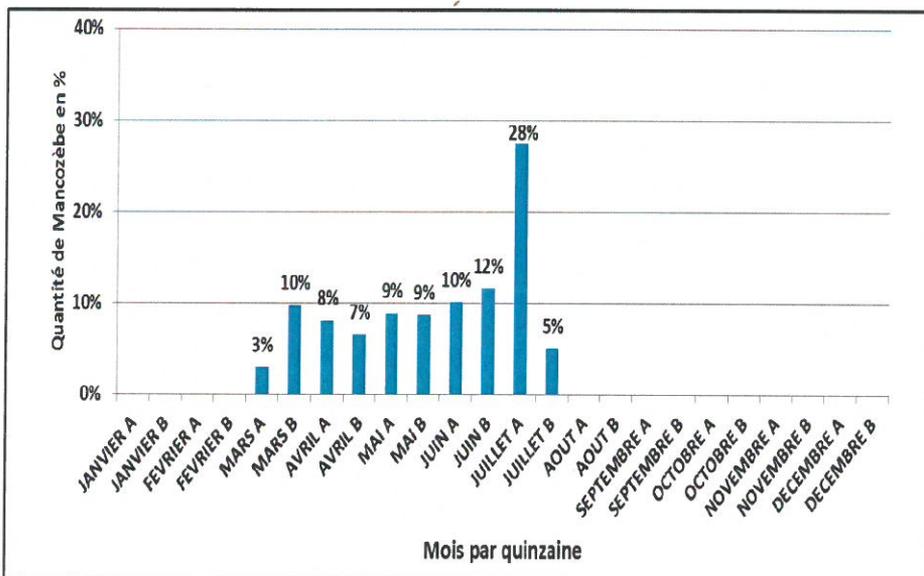


Figure 7 : Calendrier d'utilisation du Mancozèbe sur le bassin versant

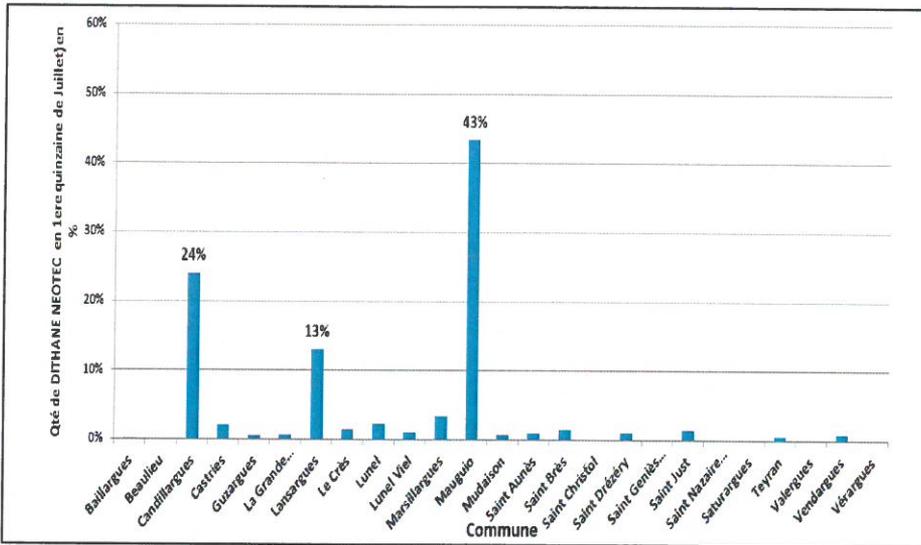


Figure 8 : Lieu d'utilisation du Mancozèbe la première quinzaine de juillet

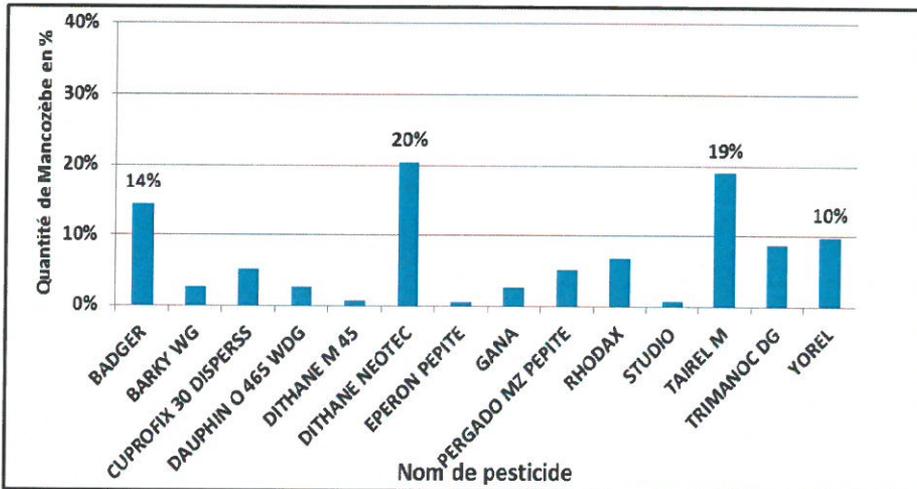


Figure 9 : Produits Phytosanitaires à base de Mancozèbe

Bibliographie

- Ali M. 2008. Mécanismes collectifs pour la gestion des pollutions diffuses. Thèse (Dr en Economie et Gestion) : Université de Montpellier 1 (France). 133 p.
- Ayadi H., Le Bars M., Le Grusse Ph., Mandart E., Fabre J., Bouaziz A, Bord J-P. 2013. SimPhy: a simulation game to lessen the impact of phytosanitaires on health and the environment – The case of Merja Zerga in Morocco, Environ. Sci. Pollut. Res., 21, 4950-4963.
- Ayadi H., Le Grusse Ph., Fabre J., Mandart E., Bouaziz A., Bord J-P. 2012. Indicateurs et diagnostic de la pollution phytosanitaire diffuse d'origine agricoles: construction d'un indicateur de risque de toxicité environnementale (IRTE). Congrès du Groupe Français des Pesticides : Nouveaux Enjeux et Stratégies Novatrices pour la Protection des Plantes

- Cultivées dans un Contexte de Développement Durable, 2012/05/30-2012/06/01, Poitiers (France).
- 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. *Irrigation*, 973.
- 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.
- Barreteau O., Cernesson F., 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.
- Bravard J.-P., Petit F. 2000. "Les cours d'eau : dynamique du système fluvial". Paris, A. Colin: 220 pages
- Capillon A. 1993. Typologie des exploitations agricoles. Contribution à l'étude des problèmes techniques. Thèse de doctorat en sciences agronomiques, INA-PG, Paris.
- 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: pp. 223-238
- 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.
- De Marsily G. 1986. *Quantitative Hydrogeology - Groundwater Hydrology for Engineers*. Academic Press, 440 p.
- Girardot J.-J. 2000. Principes, Méthodes et Outils d'Intelligence Territoriale. Évaluation participative et Observation coopérative. In: *Conhecer melhor para agir melhor*, Actes du séminaire européen de la Direction Générale de l'Action Sociale du Portugal, EVORA (Portugal), 3-5 mai 2000, DGAS, LISBONNE, décembre 2000, 7-17.
- Gras R., Benoît M., Deffontaines J.-P., Duru M., Lafarge M., Langlet A. Osty P.-L. 1989. Le fait technique en agronomie ; activités agricoles, concepts et méthodes d'étude. Ed. L'Harmattan, Paris: 184 pages.
- Heydel L. 1998. Diagnostic et maîtrise des contaminations des eaux souterraines par les résidus d'atrazine. Thèse INPL, Vandoeuvre-Les-Nancy: 159 p.
- Houdart M., Lassoudière A., 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. 38^e Annual Meeting Caribbean Food Crops Society, « Quel devenir pour l'agriculture caribéenne ? Qualité, économie, progrès social, environnement », Trois-Ilets, Martinique." AMADEPA, pp. 282-289.
- 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: 318 p + annexes.

- Lasserre F., Brun A. 2007. La gestion par bassins versants: un outil de résolution des conflits. *Lex Electronica*, 12 (2), 1-19.
- Leile L.A., 1986. 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.
- 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, pp. 3-16.
- Le Grusse P. 2001. Du "local" au "global": les dynamiques agro-alimentaires territoriales face au marché mondial. Quels instruments d'aide à la décision pour l'élaboration de stratégies territoriales. In: Padilla M. (ed.), Ben Saïd T. (ed.), Hassainya J. (ed.), Le Grusse P. (ed.). Les filières et marchés du lait et dérivés en Méditerranée : état des lieux, problématique et méthodologie pour la recherche. Montpellier : CIHEAM, 2001. pp. 239-257. (Options Méditerranéennes: Série B. Etudes et Recherches; n. 32). <http://om.ciheam.org/om/pdf/b32/CI011674.pdf>
- Le Grusse P., Belhouchette H., Le Bars M., Carmona G., 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". *Int. J. Agricultural Resources, Governance and Ecology*, 5 (2-3), 247-271.
- Mignolet M., Guiot S., 1995. Politiques régionales et coût du capital : un outil d'évaluation, *Région et développement économique*, 1, 91-121.
- Levy J., Lussault M. 2003. Dictionnaire de la géographie et de l'espace des sociétés. Paris, Ed. Bellin.
- Meybeck M. 1995. Global lake distribution. In: A. Lerman, D. Imboden, J. Gat (eds) *Physics and Chemistry of Lakes*. Springer-Verlag, pp. 1-35.
- 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.
- Perrot C., Landais E. 1993. Exploitations agricoles : pourquoi poursuivre sur la recherche sur les méthodes typologiques ? *Les Cahiers de la Recherche Développement*, 33, 13-23.
- Sebillotte M. 1974. Agronomie et agriculture, analyse des tâches de l'agronomie. *Cahiers ORSTOM, série biologie*, 24, 3-25.
- Tortrat F. 2005. Modélisation orientée décision des processus de transfert par ruissellement et subsurface des herbicides dans les bassins versants agricoles. Thèse de doctorat Agrocampus Rennes.
- Turpin N., Bouraoui F., 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, 19-30.