



ECCOTER

Les mesures agroenvironnementales à enjeu « eau/pesticides » : évaluation environnementale et économique de l'impact de modifications des pratiques agricoles par modélisation intégrée à partir de scénarios d'évolution.

Agro-environmental action plans for reducing pesticides in freshwaters: economic and environmental assessment of the impact of agricultural practices changes using integrated modeling and scenarios analysis.

Programme Evaluation et réduction des
risques liés à l'utilisation des Pesticides
APR 2009
Rapport final - Juin 2014

IRSTEA – unité ETBX
(Environnement territoires
et infrastructures) (ex-
adbx) - 50 Avenue de
Verdun – BP 3 – 33610
Cestas

Coordinateurs du projet :
Françoise Vernier et Sylvain
Rousset

Contact :
francoise.vernier@irstea.fr

Date : 19/06/2014

Numéro de contrat Ministère/ADEME/ONEMA : 1414/2010

Table des matières

Synthèse	3
Pour en savoir plus (quelques références).....	13
Résumés.....	14
Résumé court.....	14
Résumé long.....	15
Contexte général.....	15
Objectifs généraux du projet.....	15
Quelques éléments de méthodologie.....	15
Résultats obtenus.....	15
PERSPECTIVES	16
Abstract.....	17
Keywords.....	19

SYNTHESE

TITRE : Les mesures agroenvironnementales à enjeu «eau/pesticides» : Evaluation environnementale et économique de l'impact de modifications des pratiques agricoles par modélisation intégrée à partir de scénarios d'évolution

Agro-environmental action plans for reducing pesticides in freshwaters: economic and environmental assessment of the impact of agricultural practices changes using integrated modeling and scenarios analysis.

ACRONYME : ECCOTER

ANNEES DE DEBUT - FIN DU PROJET : 2010-2014

RESPONSABLES SCIENTIFIQUES : Françoise Vernier et Sylvain Rousset

ORGANISME : IRSTEA – UNITE ETBX (ENVIRONNEMENT TERRITOIRES ET INFRASTRUCTURES)
(EX-ADB) CENTRE DE BORDEAUX

MAIL : francoise.vernier@irstea.fr

LABORATOIRES ET AUTRES ORGANISMES PARTENAIRES :

1	Irstea, Unité ETBX, Environnement, Territoires et Infrastructures, (ex ADBX Aménités et Dynamiques des Espaces Ruraux)
2	UMR d'Agronomie INRA-AgroParisTech
3	Chambre régionale d'agriculture de Poitou-Charentes

MOTS – CLES

Mesures agroenvironnementales territorialisées (MAET)

Evaluation des politiques publiques (*ex ante*)

Modélisation intégrée

Coût-efficacité

Indicateurs spatialisés

Scénarios d'évolution de l'agriculture

EN QUELQUES MOTS :

Le projet développe une approche de modélisation intégrée, pour l'évaluation *ex-ante* de scénarios spatialisés de mise en place de mesures agro-environnementales territorialisées (MAET) sur des territoires à enjeu eau/pesticides. Cette approche est basée sur un référentiel commun de description des milieux, des systèmes et des pratiques agricoles. Elle combine des indicateurs spatialisés (Indice de fréquence de traitement - IFT, Pression par matière active - PREMA, Arthur, indicateur composite développé par l'équipe), un modèle agro-hydrologique (SWAT) pour l'évaluation environnementale des scénarios, et un modèle bioéconomique pour le calcul des coûts privés associés. L'objectif est de pouvoir localiser à l'échelle du sous-bassin versant les scénarios les plus coût-efficaces.

CONTEXTE ET OBJECTIF

Le soutien à l'agroenvironnement avec les MAET a constitué un élément très important du Plan de Développement Rural National. La reconquête de la qualité des milieux lancée par la mise en œuvre de la Directive Cadre sur l'Eau, le plan d'action sur les captages Grenelle et le plan Ecophyto 2018 sont autant de politiques publiques qui demandent des méthodes opérationnelles pour l'évaluation des plans d'action. La territorialisation maintenant affirmée de ces politiques, l'approche par scénarios pour la réalisation des plans d'action, la considération des coûts associés aux mesures proposées, plaident également pour des approches de modélisation intégrée et spatialisée que le projet Eccoter s'est attaché à développer.

Le projet se propose d'apporter des avancées méthodologiques sur les méthodes d'évaluation *ex-ante* de MAET à enjeu eau/pesticides. Son objectif est de développer une approche intégrée par modélisation (agro-hydrologique et bioéconomique) et indicateurs agro-environnementaux spatialisés, pour l'évaluation environnementale et économique de scénarios agricoles et l'appui à la décision publique. Ces scénarios, établis en concertation avec les acteurs locaux à partir de l'examen de mesures agro-environnementales à enjeu « qualité de l'eau/pesticides », combinent la mise en œuvre localisée de mesures agro-environnementales, des changements de système ou de pratiques et la mise en place d'aménagements (bandes enherbées et localisation de prairies).

METHODES

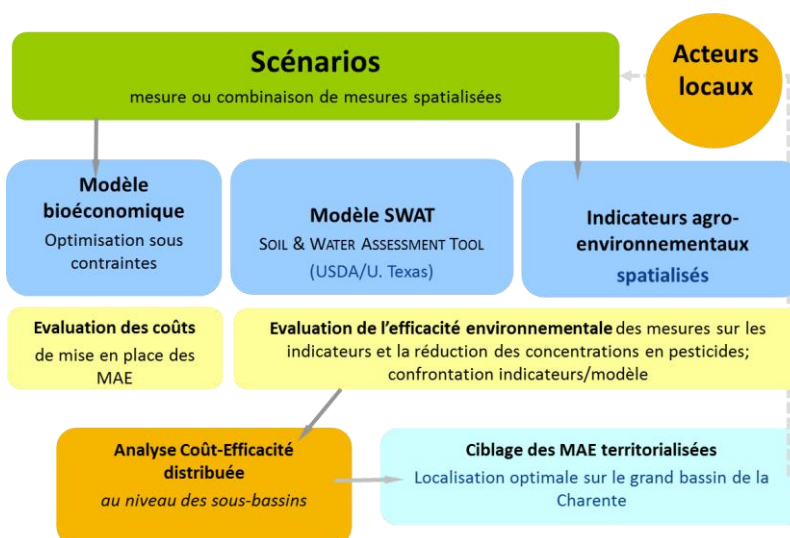


Figure 1 : démarche générale

L'approche intégrée (figure 1), sur la base d'une description commune et à la même échelle spatiale des milieux et des pratiques, permet de coupler des indicateurs agroenvironnementaux spatialisés et une modélisation agro-hydrologique semi-distribuée (SWAT) pour l'évaluation de l' « efficacité » environnementale de scénarios d'évolution de l'agriculture, avec mise en place de mesures agro-environnementales, sur un territoire à enjeu eau-pesticides. Puis elle utilise la programmation mathématique pour le calcul des coûts privés associés à ces scénarios. Une approche typologique par type de sol, rotation et culture permet, dans une première étape, de modéliser les systèmes agricoles et les pratiques associées. Plusieurs scénarios d'évolution des systèmes et des pratiques agricoles sont définis en lien avec les acteurs locaux. Le scénario de référence correspond aux pratiques actuelles. Les scénarios alternatifs peuvent combiner deux scénarios élémentaires (par exemple, le scénario de référence et un scénario « tout MAET») ou encore localiser des MAET dans des zones sensibles, en pente et/ou en bords de cours d'eau. Les scénarios, traduits spatialement en successions culturales et pratiques associées, constituent une référence commune pour l'évaluation par les indicateurs et les modèles.

Des indicateurs de pression (par molécule), d'intensité des pratiques (IFT herbicide et hors herbicide) et de risque potentiel de transfert (indicateur Arthur et indicateur composite de risque potentiel de transfert à l'échelle du bassin versant intermédiaire, développé par l'équipe Irstea) sont calculés pour chaque scénario. Les indicateurs sont calculés à l'échelle de l'îlot RPG (Registre Parcellaire Graphique) puis agrégés à l'échelle du sous-bassin versant pour une analyse conjointe des résultats entre indicateurs et modèles. Le modèle agro-hydrologique SWAT intègre les pratiques spatialisées à l'échelle de l'unité de réponse hydrologique (HRU) via le programme GENLUI2 développé par l'équipe Irstea. Les transferts de dix molécules représentatives sont modélisés sur une période de 27 ans, les concentrations simulées étant calculées sur les dix dernières années. Les transferts et le devenir des molécules sont calculés en phase sol à l'échelle de la HRU, puis dans le cours d'eau. Le bilan hydrique et celui des flux se fait à l'échelle du sous-bassin. La même unité spatiale (HRU) est utilisée pour la modélisation des coûts privés associés, permettant ainsi d'identifier les scénarios les plus «coût-efficaces» vis-à-vis de la pression exercée sur la ressource (estimée par les indicateurs) et vis-à-vis des concentrations dans les cours d'eau calculées à partir des flux modélisés par le modèle SWAT.

PRINCIPAUX RESULTATS, NOTAMMENT POUR LES POLITIQUES PUBLIQUES, LIEN AVEC LE PLAN ECOPHYTO

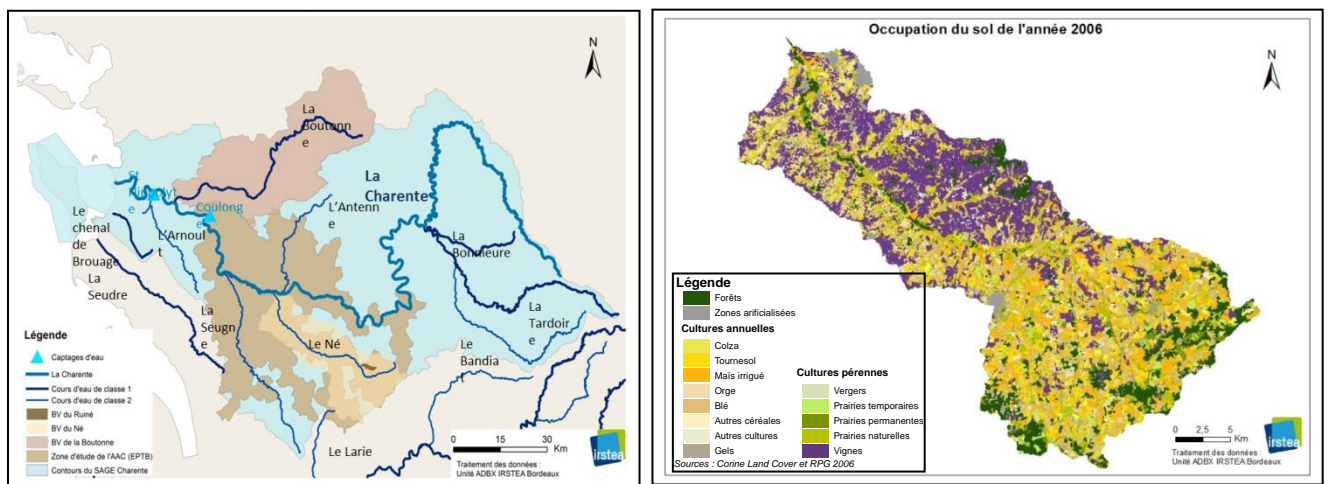


Figure 2 : bassins versants emboîtés (Ruiné, Né, Charente) et Occupation du sol du bassin du Né

Après une mise au point sur un petit bassin versant agricole (le Ruiné), la méthode a été appliquée complètement au bassin versant du Né (Charente) qui est une zone prioritaire d'action (MAET et captage Grenelle). Plusieurs scénarios ont été décrits et évalués (synthèse dans le tableau 1). Un scénario de référence a été défini avec, pour les trois grands types de sol présents, les successions culturales et la description complète d'un itinéraire technique (ITK) pour les cultures composant une succession. Un outil d'enregistrement des pratiques a été développé pour l'échange avec les acteurs locaux. Puis six scénarios alternatifs ont été décrits, avec mise en place de mesures à enjeu eau, Phyto04 et Phyto10 (voir tableau 1). Ces scénarios sont un compromis entre le souhait des acteurs de tester certaines hypothèses et le souhait de l'équipe de tester des scénarios diversifiés et tranchés pour développer la méthode. L'affectation de la rotation-type à chaque îlot présent sur la zone a été automatisée : il est tenu compte de la succession culturale observée (données RPG 2006-2010) et des rotations types décrites par type de sol pour le scénario considéré.

Tableau 1 : Tableau récapitulatif des différents scénarios testés

Scénario	Description du scénario	Modification des pratiques	Modification de l'assolement	Pourcentage d'application
S0	Scénario initial et de référence, efficacité des pratiques agricoles et simulation de l'occupation agricole du Bassin Versant du Né			100% du Bassin Versant
S9	Scénario considérant des conditions extrêmes, et donc des pratiques intensives	Fréquence supérieure des traitements phytosanitaires sur la succession culturale		100% du Bassin Versant
S1A	Combinaison des scénarios S0 et S2	Pratiques S0 et S2	Combinaison rotations du S0 et du S2	75% de la SAU en S0 et 25% en S2 (25% des Grandes Cultures et 25% des Vignes)
S2	Prise en compte des MAET FERTI_01-PHYTO_04 pour les Grandes Cultures et PHYTO_04 et phyto_10 pour la vigne	<u>Objectif MAEt pour l'inter rangs:</u> IFT Herbicide égal à 0 (phyto_10) <u>Objectif MAEt Grandes Cultures:</u> IFT Herbicide de 1,04 Ferti N : territoire maximum 140 UN/ha/an <u>Objectif MAEt Vigne:</u> IFT Herbicide de 0,56	Allongement des rotations soit avec 3 années de luzerne soit 1 année de pois de printemps	100% du Bassin Versant
S3	Con3Aversion d'une partie des surfaces de Vigne (Conventionnel ou MAET) en Vigne Biologique	Oui, mais pas d'ITK décrits pour le BIO, à part azote sous forme organique	Vigne Biologique et Vigne en Conventionnel	20% des vignes en Vigne Biologique, 80% en S0 (Vigne Conventionnel) Grandes Cultures en S0
			Vigne Biologique et Vigne MAET	20% des vignes en Vigne Biologique, 80% en S2 (Vigne MAET) Grandes Cultures en S2
S4	Conversion des surfaces en grandes cultures au bord des cours d'eau en prairies temporaires sous cahier des charges MAET	0 unité d'azote pour les prairies temporaires MAET	Introduction des prairies temporaires MAET	100% des surfaces en Grandes Cultures situées à moins de 20 mètres des cours d'eau, le reste en S0

	IFT			PREMA									
	Herbicide	Hors Herbicide	Azote	Glyphosate	S-metolachlore	Acetochlore	Isoproturon	Mancozebe	2-4-MCPA	Metaldehyde	Aclonifen	Chlorpyriphos-ethyl	Tebuconazole
S0	1,27	9,04	86,55	460,55	126,99	127,06	125,57	1548,48	31,64	47,07	240,77	130,38	52,14
S9	41,89	20,08	-0,12	120,56	39,89	0,04	12,82	0,00	0,00	69,58	-86,80	0,00	100,00
S1A	-6,40	-4,83	-3,32	-7,32	0,85	-23,39	-7	0,00	-2,40	-16,63	-11,47	-15,19	15,19
S2	-44,36	-31,93	27,09	-51,09	-5,92	Absence	Absence	0,00	-41,72	Absence	-84,08	-99,97	100,00
S3A	-3,98	-10,37	-3,52	-10,49	-0,04	0,01	0,02	-11,70	0,03	-0,01	-0,03	-11,69	-11,70
S3B	-47,11	-39,24	29,48	-56,82	-5,96	Absence	Absence	-11,70	-41,44	Absence	-84,09	-99,97	76,60
S4	-14,54	-2,30	15,24	-1,77	-17,10	-39,18	-14,61	0,00	-9,74	-27,08	-20,99	-0,01	0,00

Figure 3 : Résultats de l'efficacité environnementale des scénarios évaluée par les indicateurs

Un programme utilisant le logiciel R a été développé pour le calcul des indicateurs. Les résultats (figure 3) montrent qu'il est possible de discriminer significativement les scénarios à l'aide des indicateurs choisis, ce qui n'était pas évident a priori. Ce résultat reste à confirmer avec un nombre

plus important de scénarios, qui soient aussi moins tranchés (surface en MAET augmentée par tranche de 10%, par exemple). Les scénarios les plus efficaces (S2, « tout MAET » et S3B, tout MAET avec de surcroît 20% de la vigne en « bio ») permettent de réduire l'IFT herbicide respectivement de 44 et 47% tandis que l'IFT hors herbicide est réduit de 32 et 39%. Cette proportion tombe à 5 ou 10% si l'on introduit seulement 25% de MAET ou 20% de vigne bio. On verra cependant que la baisse assez faible de l'IFT pour ce scénario correspond ensuite à une baisse conséquente des concentrations dans le ruisseau, toutes molécules confondues. Le scénario S9, dit « intensif », puisqu'incluant des traitements phytosanitaires à une plus forte fréquence (chaque année), conduit à une augmentation de l'IFT herbicide de 40% et hors herbicide de 20%. La spatialisation des résultats (îlot, sous-bassin) permet une meilleure localisation potentielle des mesures et conforte le choix de cette échelle spatiale du sous-bassin versant comme échelle commune de confrontation des résultats.

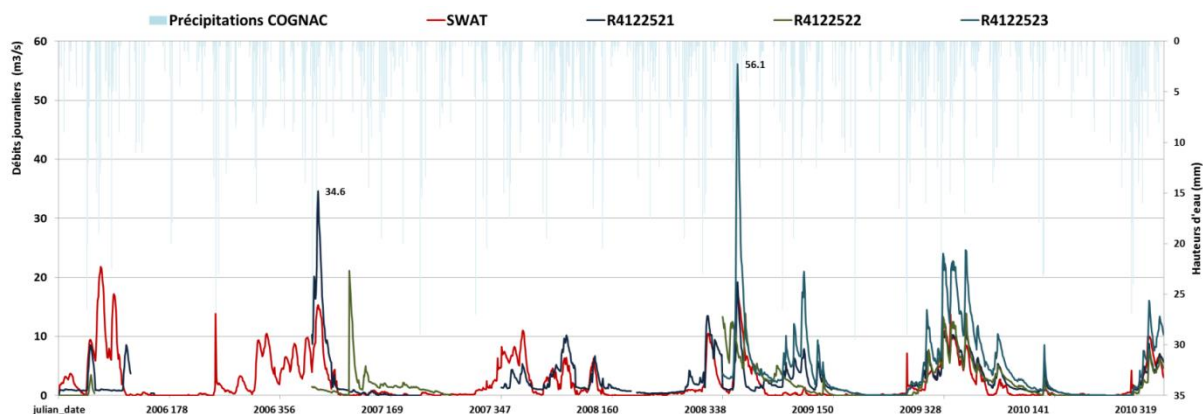


Figure 4 : Validation de 2006 à 2010 aux débits journaliers disponibles aux stations hydrométriques de la banque hydro (commune de Salles d'Angles)

Le modèle SWAT reproduit correctement les débits du Né (confrontation aux chroniques mesurées en figure 4) ainsi que le niveau de contamination dans le cours d'eau selon les données disponibles. Les scénarios les plus efficaces (S2 et S3B) permettent un gain d'environ 4 µg/l toutes molécules confondues contre un gain de 2,5 µg/l pour les scénarios intermédiaires (25% MAET) ou encore pour le scénario de localisation des prairies en bord de cours d'eau (S4) (cf. figure 5). En fonction de l'objectif, il est alors possible de localiser les scénarios les plus efficaces pour réduire l'IFT ou la pression en une molécule particulière, ainsi que l'impact correspondant sur les concentrations dans le cours d'eau. La complémentarité des outils est illustrée par les résultats des tableaux 3 et 5 : une réduction ou augmentation de la pression n'implique pas une réduction ou augmentation similaire des concentrations dans le cours d'eau.

Scénario	Glyphosate	S_meto-lachlore	2-4-MCPA	Aceto-chlore	Aclo-nifene	Chlorpy riphos ethyl	Isopro-turon	Manco-zebe	Metal-dehyde	Tebuconazole
S0	0.10	3.01	0.02	0.81	0.53	0.02	1.37	0.15	1.37	0.02
S2	0.08	2.17	0.00	Absence	0.08	0.00	Absence	0.08	Absence	0.04
S9	0.64	3.90	0.02	0.68	0.03	0.02	2.75	0.14	3.66	0.05
S1A	0.08	2.71	0.01	0.79	0.48	0.02	1.23	0.13	1.23	0.02
S3A	0.11	2.84	0.02	0.81	0.52	0.01	1.37	0.13	1.33	0.01
S3B	0.05	2.82	Absence	Absence	0.08	0.00	Absence	0.13	0.21	0.01
S4	0.10	2.70	0.02	0.81	0.50	0.02	1.33	0.13	1.23	0.02

Figure 5 : Résultats de l'efficacité environnementale des scénarios évaluée par le modèle SWAT (concentrations moyennes simulées à l'exutoire)

La modélisation bioéconomique a permis d'évaluer les coûts privés directs de mise en place des scénarios à l'échelle des sous-bassins et du bassin versant. Les coûts moyens annuels calculés varient entre 0 et 170 € par hectare de mesure implantée. La somme actualisée de ces coûts, calculée sur la période simulée par le modèle SWAT, a été mise en regard de leur efficacité évaluée vis-à-vis soit des objectifs intermédiaires de réduction des pressions polluantes (IFT), soit des objectifs finaux (baisse des concentrations à l'exutoire du bassin). Ainsi, les scénarios les plus «coût-efficaces» sont les scénarios S2 et S3B, suivis par les scénarios S1A (25% MAET) et S4 (prairies localisées en bord de cours d'eau). Ce classement n'intègre cependant pas les coûts publics de mise en place des mesures. Les coûts de transaction peuvent être considérés comme identiques entre scénarios et ne pas être pris en compte.

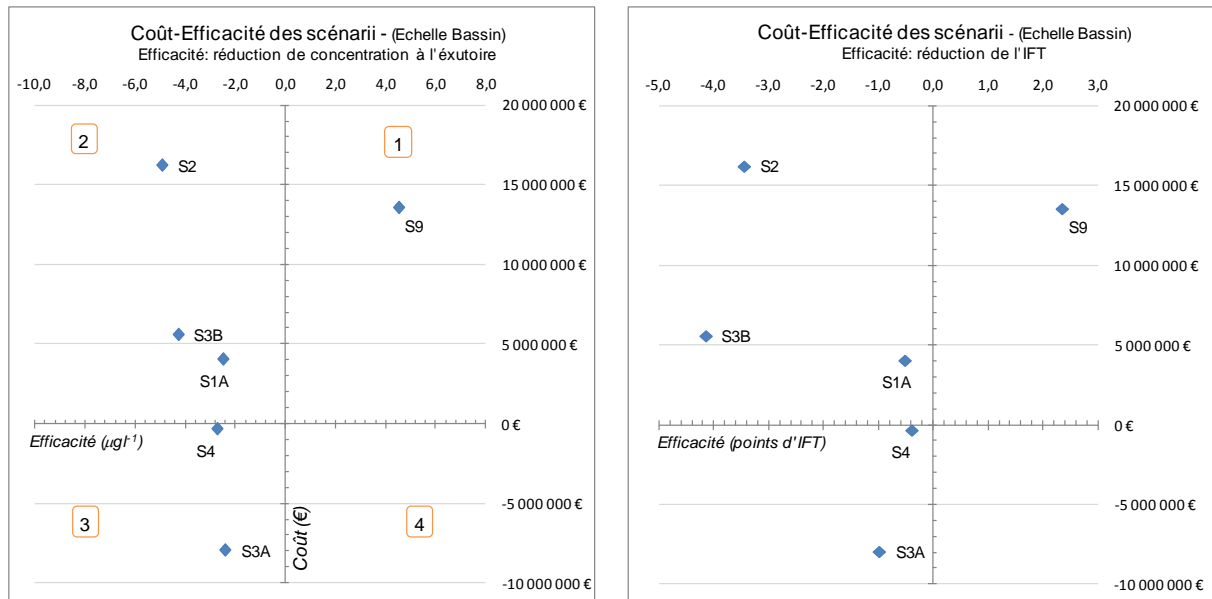


Figure 6 : Coût-efficacité des scénarios à l'échelle du bassin versant (réduction de concentration à l'exutoire et réduction de l'IFT)

Cette représentation graphique permet de représenter l'ensemble des scénarios pour leur coût et leur efficacité à réduire des pressions ou les concentrations en pesticides à l'exutoire du BV. Les scénarios intéressants d'un point de vue économiques seront ainsi dans les quart 1 et 2 à l'opposé des quarts 3 et 4. Les scénarios les plus efficaces seront dans les quarts 2 et 3. Les scénarios les plus coût-efficaces se retrouveront donc dans le quart 2.

PERSPECTIVES DE TRANSFERT :

La méthode et les outils développés sont actuellement mobilisés dans un contexte plus opérationnel d'appui à la mise en œuvre d'un programme d'action sur une zone d'aire d'alimentation de captage (AAC) Grenelle 2 et du schéma d'aménagement et de gestion des eaux (SAGE Charente). Ce projet, financé par l'Agence de l'Eau Adour-Garonne, a pour objectif une application de la méthode en appui aux programmes d'action et l'évaluation des possibilités de transfert aux gestionnaires locaux.

PERSPECTIVES DE RECHERCHE :

Les travaux menés sur un indicateur composite permettant de calculer un risque potentiel de transfert à l'échelle du bassin versant sont à poursuivre, notamment pour corriger la prégnance trop importante des variables structurelles mais la méthode nous paraît prometteuse (un article scientifique est en préparation). Cet enjeu de l'existence de risque potentiel de transfert vers les eaux calculable facilement à l'échelle du bassin versant intermédiaire est important pour la décision publique, comme cela a été confirmé par les représentants des ministères lors du séminaire de

restitution de Juin 2014.

Les développements réalisés en amont du calcul des indicateurs et de la modélisation, par exemple le programme permettant d'analyser les successions culturales du RPG et d'affecter à chaque ilot une rotation-type issue de l'analyse des systèmes sur la zone d'étude, ou encore de nouvelles rotations issues de systèmes innovants que l'on voudrait tester, pourraient également contribuer au développement d'outils plus génériques.

De même, le développement du programme GENLU qui permet d'intégrer dans le modèle SWAT la diversité des pratiques et des systèmes issus des scénarios, des recommandations sur le paramétrage et le choix des échelles spatiales pourraient contribuer à la création d'un guide méthodologique dédié à l'emploi du modèle SWAT dans ce contexte spécifique.

En ce qui concerne la partie bioéconomique, le côté intégratif de la méthode Eccoter est innovant et la synergie avec des travaux similaires dans d'autres contextes de bassin versant ou d'autres systèmes pourrait permettre là aussi une montée en généralité. L'ajout dans le modèle du calcul des coûts publics de mise en place des mesures, spatialisé aux mêmes échelles, serait un « plus » à apporter à la méthode (la remarque a également été faite par les décideurs lors du colloque de restitution).

Il peut enfin être envisagé à plus moyen terme une intégration de scénarios climatiques via la modélisation agro-hydrologique (jeu de données météo intégrant les scénarios du GIEC à l'échelle régionale ?). Ceci pourrait permettre d'utiliser la méthode présentée ici pour tester des systèmes innovants permettant une adaptation à un régime de pluies différent et à des épisodes de sécheresse plus fréquents, ou encore les conséquences du développement éventuel de ravageurs des cultures nécessitant des traitements phytosanitaires adaptés, à une échelle régionale ou de grand bassin versant.

VALORISATION DEJA REALISEE :

La méthodologie mise en œuvre dans le cadre du projet ECCOTER a été présentée à différents opérateurs lors de réunions de travail ; elle a été présentée dans différents séminaires (dont séminaire Polldiff'eau en 2013, tourné vers les décideurs et acteurs locaux) ainsi qu'à une journée d'échanges avec les acteurs locaux en Avril 2014 (St Hippolyte) qui a réuni une quarantaine de personnes. La valorisation commune avec nos partenaires institutionnels (agence de l'eau, chambres d'agriculture, établissement public de bassin) montrent leur implication dans ces travaux. Un séminaire de restitution Maeveau/Eccoter a été organisé en Juin 2014 sur le site de Bordeaux Sciences Agro par Irstea : il a réuni une soixantaine de personnes, scientifiques, administrations et acteurs de terrain sur trois demi-journées. Des articles de vulgarisation (revue bio, revue de l'agence de l'eau Adour Garonne) ainsi qu'un article dans la revue de l'Irstea se sont fait l'écho de ces travaux. Enfin, les travaux ont fait l'objet de communications dans des colloques scientifiques et des publications sont en cours.

RECOMMANDATIONS ET LIMITES EVENTUELLES :

Nos travaux ont montré la nécessité de disposer d'une information transversale et adaptée à l'échelle locale et régionale pour réaliser les couches d'information nécessaires (données de forçage - précipitations, températures minimale et maximale, ETP, rayonnement global- à deux stations au pas de temps journalier, MNT, réseau hydrographique, occupation du sol agricole, irrigation, ITK, sols agricoles et hydrologiques,...) ainsi que des données sur les pesticides et leurs caractéristiques. Si, sur le papier, toutes ces données sont censées être accessibles, dans la pratique, leur mobilisation et leur organisation en base de données demandent du temps et de l'énergie !

Il manque à l'échelle régionale une carte de l'occupation du sol par l'agriculture : plusieurs organismes (Inra, Irstea, chambres) ont développé des programmes qui permettent d'estimer correctement cette occupation du sol et les principales rotations culturales liées aux systèmes agricoles présents, chacun avec son regard ou son objectif. Une mise en commun de ces expériences

pourrait aboutir à un utilitaire complet et accessible par tous.

Il manque également un référentiel unique pour l'accès aux bases de données « pesticides », produits, matières actives, les données réglementaires et aussi physico-chimiques (caractéristiques des molécules...).

Enfin, il manque une organisation de cette information dans un entrepôt de données à l'échelle régionale, dont la structure et le contenu pourraient être définis en utilisant l'expérience des différents organismes. Des bases de données et des compétences existent notamment dans les instituts de recherche. Un projet d'envergure, suscité par les ministères, pour mettre en œuvre dans chaque région un jeu de données adapté serait le bienvenu.

L'existence d'une base de données adaptée à l'échelle régionale permettrait une mise en œuvre de méthodes d'évaluation ex-ante comme celle développée dans Eccoter mais aussi d'autres démarches complémentaires de zone « zoom ». Dans le contexte actuel, le test préalable d'hypothèses de mise en œuvre de mesures environnementales serait une aide pour les décideurs locaux, qui doivent décider quelles mesures seront les plus efficaces pour une reconquête de la qualité des milieux aquatiques dans un contexte budgétaire contraint.

Les limites des travaux sont liées à plusieurs facteurs :

- les limites techniques des outils mobilisés : le nombre des molécules dont on souhaite simuler les transferts car cela implique des conséquences sur la description des itinéraires techniques et la configuration du modèle SWAT en projets, le nombre d'objets spatiaux manipulés (taille de la zone d'étude), la marge d'incertitude liée aux modèles et aux données,
- une application à de plus nombreux scénarios et à de plus nombreux bassins versants est envisagée pour prouver l'efficacité de notre méthode dans un contexte autre que celui du développement méthodologique,
- la transférabilité des outils à des structures de gestion technique (EPTB, bureau d'étude ?) n'a pas été abordée dans ces travaux mais le sera dans le projet en cours (Modchar).

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Publications scientifiques parues

VERNIER, F., MIRALLES, A., PINET, F., CARLUER, N., GOUY, V., MOLLA, G., PETIT, K. - 2013. EIS Pesticides: An environmental information system to characterize agricultural activities and calculate agro-environmental indicators at embedded watershed scales. *Agricultural Systems*, vol. 122, p. 11-21 []

LESCOT, J.M. , BORDENAVE, P., PETIT, K., LECCIA, O. - 2013. A spatially-distributed cost-effectiveness analysis framework for controlling water pollution . *Environmental Modelling & Software*, vol. 41, p. 107-122 []

LESCOT, J.M., BORDENAVE, P., LECCIA, O., PETIT, K. - 2013. Contrôle des pollutions diffuses par les pesticides : une approche coût-efficacité spatialement distribuée . *Economie Rurale*, n° 333, p. 123-150 []

BOITHIAS, L., SAUVAGE, S., SRINIVASAN, R, LECCIA, O., SANCHEZ-PEREZ, J. M. - 2014. Application date as controlling factor of pesticide transfers to surface water during runoff events CATENA Volume: 119- 7p. ISSN: 0341-8162

COLLOQUES

Participations passées à des colloques

LESCOT, J.M., LECCIA, O., VERNIER, F. - 2013. Challenges for integrated assessment and Cost-Effectiveness analysis of mitigation measures for controlling water pollution . Transboundary water management across borders and interfaces: present and future challenges. TWAM2013 International Conference 16/03/2013-20/03/2013, Aveiro, PRT. 5 p. []

LESCOT, J.M., BORDENAVE, P., PETIT, K., LECCIA, O., SANCHEZ PEREZ, J.M., SAUVAGE, S., PROBST, J.L. - 2011. Cost-effectiveness analysis for controlling water pollution by pesticides using SWAT and bio-economical modeling. 2011 International SWAT Conference Soil and Water Assessment Tool 15/06/2011-17/06/2011, Toledo, ESP. 16 p. []

VERNIER, F., LECCIA, O. , GALICHET, B. , KUENTZ, V., PETIT, K., SCORDIA, C., MINETTE, S., PAPIN, F., RETHORET, H. , PAULET, S., ESPALIEU, D. - 2013. Une méthode de modélisation intégrée de scénarios d'évolution de l'agriculture pour l'aide à la décision publique : application à une zone à enjeu « pesticides» dans le bassin de la Charente. 43ème congrès du groupe français des pesticides 29/05/2013-31/05/2013, Albi, FRA. 2 p. []

VERNIER, F., ESPALIEU, D. - 2013. Modélisation intégrée de scénarios d'évolution de l'agriculture pour l'aide à la décision publique : application à des zones à enjeux "eau" dans le bassin de la Charente. Séminaire Poll'diff eau 18/09/2013-19/09/2013, Paris, FRA. 1 p. []

LECCIA, O., VERNIER, F, GALICHET, B., 2013,. Modeling the dynamics of agricultural and practice changes with GENLU2 – a SWAT application. SWAT Conference, July 2013, International SWAT conference – Toulouse, F., 17/07/2013-19/07/2013.

LECCIA, O. , CHATELIER, M. 2014 Modélisation des transferts d'azote du sol à la nappe par couplage SWAT (Irstea) – MARTHE (BRGM) : application sur le bassin de la Boutonne. Juillet - Séminaire COTE & FLUX : Echanges / flux de nutriments et de contaminant entre les compartiments des écosystèmes et impact sur leur fonctionnement – Bordeaux 13p..

CHATELIER, M., LECCIA, O. VERNIER, F. BICHOT, F. 2013b. Modélisation spatialisée des transferts d'azote par couplage SWAT(IRSTEA) et MARTHE(BRGM) : exemple du bassin de la Boutonne. Page 8 in 19ème journées techniques du Comité Français d'hydrogéologie de l'Association Internationale des hydrogéologues, Les eaux souterraines : hydrologie dynamique et chimique, recherche, exploitation et évaluation des ressources. Quoi de neuf ?, 30/05/2013 - 02/06/2013, Bordeaux, FRA.

ARTICLES DE VALORISATION-VULGARISATION

Articles de valorisation parus

- D Espalieu, Revue de l'Agence de l'Eau Adour-Garonne (2014)
- Revue bio Poitou Charentes (2013)

PRESENTATIONS A DES INSTANCES PROFESSIONNELLES OU DE DECISION

Présentation et restitution des résultats du projet (ETPB – Agence de l'eau Adour-Garonne – chambres d'agriculture)

ENSEIGNEMENT - FORMATION

Enseignements/formations dispensés

(+ publications scientifiques en cours)

POUR EN SAVOIR PLUS (QUELQUES REFERENCES)

BOITHIAS, L., SAUVAGE, S., SRINIVASAN, R, LECCIA, O., SANCHEZ-PEREZ, J. M. - 2014. Application date as controlling factor of pesticide transfers to surface water during runoff events CATENA Volume: 119- 7p. ISSN: 0341-8162

LECCIA, O., LESCOT, J.M., VERNIER, F., ROUSSET, S. - 2012. Évaluation environnementale et économique de l'impact de modifications des pratiques agricoles par modélisation intégrée à partir de scénarios d'évolution : Rapport intermédiaire d'activité du projet ECCOTER - Les mesures agro-environnementales à enjeu « eau/pesticides » . 26 p. []

LESCOT, J.M. , BORDENAVE, P., PETIT, K., LECCIA, O. - 2013. A spatially-distributed cost-effectiveness analysis framework for controlling water pollution . *Environmental Modelling & Software*, vol. 41, p. 107-122 []

LESCOT, J.M., BORDENAVE, P., LECCIA, O., PETIT, K. - 2013. Contrôle des pollutions diffuses par les pesticides : une approche coût-efficacité spatialement distribuée . *Economie Rurale*, n° 333, p. 123-150 []

LESCOT, J.M., LECCIA, O., VERNIER, F. - 2013. Challenges for integrated assessment and Cost-Effectiveness analysis of mitigation measures for controlling water pollution . Transboundary water management across borders and interfaces: present and future challenges. TWAM2013 International Conference 16/03/2013-20/03/2013, Aveiro, PRT. 5 p. []

LESCOT, J.M., BORDENAVE, P., PETIT, K., LECCIA, O., SANCHEZ PEREZ, J.M., SAUVAGE, S., PROBST, J.L. - 2011. Cost-effectiveness analysis for controlling water pollution by pesticides using SWAT and bio-economical modeling. 2011 International SWAT Conference Soil and Water Assessment Tool 15/06/2011-17/06/2011, Toledo, ESP. 16 p. []

LESCOT, J.M., ROUIRE, M., RAYNAL, M., ROUSSET, S. - 2013. Bio-economic modeling of wine grape protection strategies for environmental policy assessment. 133rd EAAE Seminar, Developing integrated and reliable modeling tools for agricultural and environmental policy analysis 15/06/2013-16/06/2013, Chania, GRC. []

VERNIER, F., MIRALLES, A., PINET, F., CARLUER, N., GOUY, V., MOLLA, G., PETIT, K. - 2013. EIS Pesticides: An environmental information system to characterize agricultural activities and calculate agro-environmental indicators at embedded watershed scales. *Agricultural Systems*, vol. 122, p. 11-21 []

VERNIER, F., LECCIA, O. , GALICHET, B. , KUENTZ, V., PETIT, K., SCORDIA, C., MINETTE, S., PAPIN, F., RETHORET, H. , PAULET, S., ESPALIEU, D. - 2013. Une méthode de modélisation intégrée de scénarios d'évolution de l'agriculture pour l'aide à la décision publique : application à une zone à enjeu « pesticides» dans le bassin de la Charente. 43ème congrès du groupe français des pesticides 29/05/2013-31/05/2013, Albi, FRA. 2 p. []

VERNIER, F., ESPALIEU, D. - 2013. Modélisation intégrée de scénarios d'évolution de l'agriculture pour l'aide à la décision publique : application à des zones à enjeux "eau" dans le bassin de la Charente. Séminaire Poll'diff eau 18/09/2013-19/09/2013, Paris, FRA. 1 p. []

RESUMES

En français

Les mesures agroenvironnementales à enjeu « eau/pesticides » : Evaluation environnementale et économique de l'impact de modifications des pratiques agricoles par modélisation intégrée à partir de scénarios d'évolution

RESUME COURT

Le projet développe une approche de modélisation intégrée, pour l'évaluation ex-ante de scénarios spatialisés de mise en place de mesures agro-environnementales territorialisées (MAET) sur des territoires à enjeu eau/pesticides. Cette approche est basée sur un référentiel commun de description des milieux, des systèmes et des pratiques agricoles. Elle combine des indicateurs spatialisés (Indice de fréquence de traitement - IFT, PREMA, Arthur, indicateur composite) et un modèle agro-hydrologique pour l'évaluation environnementale des scénarios, ainsi qu'un modèle bioéconomique pour le calcul des coûts privés associés. L'objectif est de pouvoir localiser à l'échelle du sous-bassin versant les scénarios les plus « coût-efficaces ».

MOTS – CLES

Mesures agroenvironnementales territorialisées (MAET)

Evaluation des politiques publiques (*ex ante*)

Modélisation intégrée

Coût-efficacité

Indicateurs spatialisés

Scénarios d'évolution de l'agriculture

RESUME LONG

2 pages reprenant les rubriques de la synthèse – A mettre à jour par rapport à votre projet initial

CONTEXTE GENERAL

La territorialisation maintenant affirmée de ces politiques, l'approche par scénarios pour la réalisation des plans d'action, la considération des coûts associés aux mesures proposées, plaident pour des approches de modélisation intégrée et spatialisée que le projet Eccoter s'est attaché à développer.

OBJECTIFS GENERAUX DU PROJET

Le projet se propose d'apporter des avancées méthodologiques sur les méthodes d'évaluation ex-ante de MAET à enjeu eau/pesticides. Son objectif est de développer une approche intégrée par modélisation (agro-hydrologique et bioéconomique) mais aussi par indicateurs spatialisés, pour l'évaluation environnementale et économique de scénarios agricoles, dans une perspective d'appui à la décision publique. Ces scénarios, établis en concertation avec les acteurs locaux à partir de l'examen de mesures agro-environnementales à enjeu « qualité de l'eau/pesticides », combinent la mise en œuvre localisée de mesures agro-environnementales, des changements de système ou de pratiques et la mise en place d'aménagements (bandes enherbées et localisation de prairies).

QUELQUES ELEMENTS DE METHODOLOGIE

L'approche intégrée permet de coupler des indicateurs agroenvironnementaux spatialisés et une modélisation agro-hydrologique semi-distribuée (SWAT) pour évaluer l'«efficacité» environnementale puis utilise la programmation mathématique pour le calcul des coûts privés associés aux scénarios. Une approche typologique par type de sol, rotation et culture permet de modéliser les systèmes agricoles et les pratiques associées. Les différents scénarios simulés, traduits spatialement en successions culturales et pratiques associées, constituent une référence commune pour les indicateurs et les modèles. Des indicateurs de pression (par molécule), d'intensité des pratiques (IFT) et de risque potentiel de transfert (indicateur Arthur et indicateur composite RPTL développé par l'équipe Irstea) sont calculés pour chaque scénario à l'échelle de l'ilot puis agrégés à l'échelle du sous-bassin pour une analyse conjointe des résultats. Le modèle agro-hydrologique SWAT intègre les pratiques spatialisées à l'échelle de la HRU (unité de réponse hydrologique). Les transferts de 10 molécules représentatives sont modélisés sur une période de 27 ans. Les transferts et le devenir des molécules sont calculés en phase sol à l'échelle de la HRU puis dans le cours d'eau mais le bilan hydrique et celui des flux sont effectués à l'échelle du sous-bassin. La même unité spatiale est utilisée pour la modélisation des coûts privés permettant ainsi d'identifier les scénarios les plus « coût-efficaces » vis à vis de la pression exercée sur la ressource (indicateurs) et des concentrations dans les cours d'eau calculées à partir des flux modélisés par SWAT.

RESULTATS OBTENUS

La méthode a été appliquée sur le bassin versant du Né (Charente). Un scénario de référence (pratiques « actuelles ») a été défini avec, pour les 3 types de sol simplifiés, les successions culturales et la description complète de chaque ITK des cultures composant une succession. Puis six scénarios alternatifs ont été décrits, avec une mise en place de mesures à enjeu eau (Phyto04 et Phyto10). Ces scénarios sont un compromis entre le souhait des acteurs de tester certaines hypothèses et le souhait de l'équipe de tester des scénarios diversifiés et tranchés pour développer la méthode. Les résultats montrent qu'il est possible de classer significativement les scénarios à l'aide des indicateurs.

Les scénarios les plus efficaces (S2, « tout MAET » et S3B, avec de surcroît introduction de la vigne bio) permettent de réduire les IFT (herbicide de 44 et 47% et hors herbicide de 32 et 39%). Cette proportion tombe à moins de 10% si l'on introduit 25% de MAET ou 20% de vigne bio. Le scénario S9, « intensif » fait augmenter l'IFT herbicide de 40% et hors herbicide de 20%. La spatialisation des résultats (ilot, sous-bassin) et les apports des indicateurs de risque potentiel de transfert (ARTHUR et RTPL) permettent une meilleure localisation potentielle des mesures.

Le modèle SWAT reproduit correctement les débits du Né (critère de Nash Sutcliffe 0.8) ainsi que le niveau de contamination dans le cours d'eau. Le programme GENLU2 intègre dans SWAT pour chaque scénario la base agronomique correspondante (modélisation sur 27 ans). Les scénarios les plus efficaces (S2 et S3B) permettent un gain d'environ 4 µg/l contre 2.5 µg/l pour les scénarios intermédiaires (25% MAET) ou la localisation des prairies en bord de cours d'eau (S4). Les résultats obtenus à l'échelle du sous-bassin permettent de localiser les scénarios les plus efficaces pour réduire la pression et/ou les concentrations dans le cours d'eau.

La modélisation bioéconomique permet d'évaluer les coûts privés directs de mise en place des scénarios à l'échelle des sous-bassins et du bassin versant. Les coûts moyens annuels calculés varient entre 0 et 170 € par hectare de mesure implantée. La somme actualisée de ces coûts, calculée sur la période simulée par le modèle SWAT, sont mis en regard de leur efficacité évaluée soit au regard des objectifs intermédiaires de réduction des pressions polluantes (IFT) ou des objectifs finaux (baisse des concentrations à l'exutoire du bassin). Il est ainsi possible de déterminer les scénarios les plus « coût-efficaces » comme les scénarios S2 et S3B (mise en place de mesures MAET et passage de la vigne en « bio »), suivi par les scénarios S1A (25% MAET sur le bassin) et S4 (prairies en bord de cours d'eau). Ce classement n'intègre cependant pas les coûts publics de mise en place des mesures. Les coûts de transaction ont été considérés comme identiques entre scénarios.

PERSPECTIVES

Plusieurs perspectives de recherche peuvent être citées : intégration plus poussée des échelles spatiales pour la sélection des zones d'action, intégration du changement climatique via la modélisation agro-hydrologique, ajout des coûts publics de mise en place de la mesure, mise en place d'un entrepôt de données dédié pour l'analyse des résultats, poursuite des travaux sur l'indicateur composite à l'échelle du bassin versant.

Sur le plan opérationnel, la méthode développée nous paraît pouvoir apporter des éléments d'aide à la décision par l'évaluation ex ante de scénarios agricoles, en amont de la définition d'un programme d'action. La méthode et les outils développés sont actuellement utilisés dans un contexte plus opérationnel d'appui à la mise en œuvre d'un programme d'action sur une zone d'aire d'alimentation de captage (AAC) Grenelle 2 (projet Modchar).

In English

Agro-environmental action plans to reduce pesticides in freshwaters: economic and environmental assessment of the impact of agricultural practices changes using integrated modeling and scenarios analysis.

ABSTRACT

The ECCOTER project is a study aimed at developing an integrated assessment method of evaluating potential Agro-Environmental Action Plans (AEAPs) relating to water quality, specifically in terms of pesticide impacts. This spatially distributed approach was designed to be used in areas where water quality is at particular risk of degradation. It takes into account both the environmental impact of proposed new mitigation measures, using spatialized indicators and an agro-hydrological model (SWAT) and a bio-economic model designed to calculate extra costs for farmer when they implement those measures. A unifying spatial unit (the Hydrologic Response Unit defined by the SWAT model) is used by the calculation of indicators and the two models. The indicators calculated at the plot scale and then aggregated at the sub-basin scale are either related to the pesticide pressure (PREMA), the intensity of practices (IFT), or represent the potential risk of transfer: ARTHUR (developed by the Regional Agricultural Chamber) and a composite indicator designed by Irstea as part of this study. These combined calculations make it possible to identify the most cost effective scenarios for each sub-basin first and then for the whole watershed.

2 pages based on the headings of the synthesis:

Context

Non-point source pollution is a cause of considerable concern with the European Union. This is reflected in increased public and political focus on achieving a more sustainable use of pesticides, along with a reduction in diffuse pollution. The implementation of the EU Directive (2009/128/EC) establishing a framework for Community action to achieve the sustainable use of pesticides and of the Water Framework Directive (EC 2000) requiring Member States to adopt action plans to reduce the use and impact of chemicals in agriculture, has led to increasing public and political focus on achieving these goals.

Objectives

The ECCOTER project aimed at developing an integrated method of evaluating potential new Agro-Environmental Action Plans (AEAPs) to preserve and/or restore water quality, specifically in terms of pesticide pollution. This approach is designed to be used in areas where water quality at particular risk of degradation. It takes into account both the environmental impact of proposed mitigation measures, and the extra cost to farmers of implementing those measures. Such an integrated method for assessment can be particularly useful to public policy decision makers, who need effective tools of targeting their efforts to reduce diffuse pollution.

Methodology

The first step in our study was to work with local stakeholders to create a set of hypothetical scenarios, in which several agro-environmental measures would be applied at watershed level.

Further, agricultural practices were divided into categories, depending on the type of soil, agricultural systems in use, and crop rotation. This categorization was used for both the reference and alternative scenarios.

The scenarios represent measures being applied to all or part of a given watershed. For each scenario, a common dataset is used to calculate indicators, as well as fed into agro-hydrological (SWAT) and economic models, the latter being used to calculate the costs of implementing each scenario. We used a specific computational chain to calculate indicators specific to the plot scale and several levels of aggregation: sub-basin and watershed. The indicators calculated through this process are a pesticide pressure indicator (PREMA), an indicator of the intensity of practices (IFT), and the two further indicators representing potential risk: ARTHUR and a composite indicator designed as part of this study.

The elementary level for calculations was that of the plot, with other levels being calculated through aggregation. We focused on ten different pesticide molecules, which are the most commonly found within the area. Because of the data related to crop rotations which vary over time, we developed an application, called GENLU2, to implement our datasets into the SWAT model, in a way that doesn't affect the controlling factor, the application date. The SWAT model simulates the transfer into freshwaters of ten chosen molecules. The calculation unit for routing the molecules up to the stream is the Hydrological Response Unit (HRU). The global discharge and balances (water, pollutants, etc.) are then calculated and returned at the sub-watershed and basin levels. Effectiveness is represented by either a decrease in the value of indicators (pesticide pressure and potential risk) or by a decrease in pesticide concentration in the river.

The HRU unit is the level used by the bio-economic model to calculate the cost of implementing mitigation measures. Developed with the General Algebraic Modeling System (GAMS), the economic model we used simulates agricultural land use at each HRU level. Assuming that farmers are profit maximizers, the model maximizes Expected Utility by choosing whether or not to implement a particular measure. In addition to standard observed crops and practices, agro-environmental measures are introduced into the bio-economic model, either as new activities (new crops, catch crops, pasture, buffer strips) or by modifying the parameters for practices (reduction of pesticide or fertilizers used) and by adding if necessary, additional constraints (longer rotation, diversification of crops).

Costs calculated by HRU are then added at the watershed and basin levels. which are the most suitable scales for assessing effectiveness on water concentration at the outlet. Cost-effectiveness analysis is considered to be a more appropriate approach to evaluating mitigation measures than cost benefit analysis, as affecting a monetary value to benefits is a difficult and uncertain task. It summarizes results into single useful quantitative indicators for selecting measures, and can be calculated at various scales within the river basin (watersheds, basin).

These combined calculations make it possible to identify the most cost effective scenarios for each sub-basin first and then for the whole watershed. Our case study took place in the Charente river basin in southwest France. We apply the method on the Né watershed which spans 30,000 hectares, and has been designated by the French Authorities as a highly pesticide-sensitive area.

Main results

We defined three main scenarios, referred to as “intensive”, “reference” (based on the situation from 2006 to 2010), and “widespread BMP” (based on all of the measures defined by stakeholders). A number of sub-scenarios were created, combining localized elements from two of these main scenarios (e.g. 80% of the effects of the “current” scenario coupled with 20% of the effects of the “widespread BMP” scenario). Our results show that it is possible to classify scenarios based on their effectiveness, which is represented either by the values of indicators or the presence or absence of the ten defined pesticide molecules within the river.

The most effective scenarios are S2 (the entire basin with BMPs) and S3B (with organic vineyards) allowing a reduction of the IFT value (44 to 47% for the IFT herbicide, and 32 to 39% for the IFT insecticide and fungicide). This decrease is only 5 to 10% for mixed scenarios (25% of the area with BMPs). The intensive scenario increases significantly the value of the IFT indicator (more than 40%), although representing a higher frequency of treatments each year. The use of relevant spatial scales for aggregating the indicators and comparing the results makes it possible to identify the most effective scenarios for each sub-basin. The two combined indicators (ARTHUR and RPTL) are helpful to select the most sensitive areas where measures should be applied.

The SWAT model is relevant for simulating the water discharge in the Né river (Nash Sutcliffe efficiency criteria 0.8) and the pesticide fluxes for the ten selected molecules (over a 27 years simulation period). For each scenario, the GENLU2 module implements the SWAT agronomic database in a “read in” format. The most effective scenarios for reducing the pesticide concentrations in the river are S2 and S3B (-4 µg/l on average for all the molecules). The mixed scenarios (S1A or S4) lead to a lower efficiency (-2.5% µg/l on average). By combining for each scenario, effectiveness with the costs of implementation, it was possible to identify the most cost effective scenarios: S2 and S3B arrived the first, followed by S1A (25% of BMPs) and S4 (grass on the river banks).

Applications for public policies

Our still ongoing work has been presented at a variety of conferences and published in a variety of journals. In view of these encouraging results, the Adour-Garonne river basin agency has decided to fund a research program (Modchar) aimed at both implementing our method on a larger scale, in the context of the action plan set for a water supply area (“AAC Grenelle”) and making our analytical tools available to water managers.

KEYWORDS

Cost-effectiveness

Public policies

Agro-environmental indicators

BMPs

Integrated assessment

Scenarios