



HAL
open science

GUIDE : développement d'un outil d'aide à la sélection d'indicateurs de risques liés à la présence des produits phytopharmaceutiques dans les milieux aquatiques - Mise au point, applications et perspectives

O. O. Keichinger, Pierre Benoit, A. A. Boivin, X. X. Bourrain, O. O. Briand, A. A. Chabert, N. N. Domange, I. I. Dubus, V. V. Gouy, Laurence L. Guichard, et al.

► To cite this version:

O. O. Keichinger, Pierre Benoit, A. A. Boivin, X. X. Bourrain, O. O. Briand, et al.. GUIDE : développement d'un outil d'aide à la sélection d'indicateurs de risques liés à la présence des produits phytopharmaceutiques dans les milieux aquatiques - Mise au point, applications et perspectives. Innovations Agronomiques, 2013, 28, pp.1-13. hal-01000786

HAL Id: hal-01000786

<https://hal.science/hal-01000786>

Submitted on 28 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

GUIDE : développement d'un outil d'aide à la sélection d'indicateurs de risques liés à la présence des produits phytopharmaceutiques dans les milieux aquatiques - Mise au point, applications et perspectives

Keichinger O.¹, Benoit P.², Boivin A.³, Bourrain X.⁴, Briand O.⁵, Chabert A.⁶, Domange N.⁷, Dubus I.⁸, Gouy V.⁹, Guichard L.¹⁰, Pitrel M.¹¹, Pleyber E.¹², Roulier S., Zahm F.¹³, Bockstaller C.¹⁴

¹ Chercheur indépendant, 5 rue Arthur Graff, 67600 Sélestat

² INRA, UMR Environnement et Grandes Cultures INRA AgroParisTech, 78850 Thiverval-Grignon

³ ANSES - DPR 253, avenue du Général Leclerc, 94704 Maisons Alfort

⁴ Agence de l'eau Loire Bretagne, avenue Buffon, 45063 Orléans

⁵ MAAPRAT, 78 rue de Varennes, 75349 Paris 07 SP

⁶ ACTA, ICB-VetAgroSup, 1 avenue Bourgelat, 69280 Marcy l'Etoile

⁷ ONEMA/Direction de l'Action Scientifique et Technique, 5 square Felix Nadar, 94300 Vincennes

⁸ Footways, 10 avenue Buffon 45071 Orléans

⁹ IRSTEA, Unité MAEP, 5 rue de la Doua 69626 Villeurbanne

¹⁰ INRA, UMR 211, Agronomie, Bâtiment EGER, BP01 78850 Thiverval-Grignon

¹¹ Agence de l'eau Rhin Meuse, rue du ruisseau – Rozérieulles, 57161 Moulins-les-Metz

¹² MEDDE - DGALN - DEB La Grande Arche, 92055 La Défense Cedex

¹³ IRSTEA, Unité ADBX, 50 avenue de Verdun – Gazinet, 33612 Cestas

¹⁴ INRA, UMR 1121, Agronomie et Environnement, BP 20507, 68021 Colmar

Correspondance : christian.bockstaller@colmar.inra.fr

Résumé

Dans le domaine de l'évaluation des risques liés à la présence des produits phytopharmaceutiques dans les milieux aquatiques comme pour d'autres problématiques environnementales, de très nombreux indicateurs ont été développés depuis une vingtaine d'années. Pour aider les utilisateurs à choisir l'indicateur le plus approprié à leur questionnement, le projet GUIDE a développé un outil disponible sur internet comprenant des fiches descriptives des indicateurs disponibles, mettant à jour l'ouvrage de Devillers et al. (2005) mais constituant aussi et surtout une aide au choix interactive. Deux applications dans le cadre du plan Ecophyto 2018 sont issues de ce travail : l'une porte sur le choix d'indicateurs de risque vis-à-vis de la qualité de l'eau à intégrer dans l'outil Coclick'eau pour soutenir la construction des plans d'action sur les aires d'alimentation des captages (Action 21); l'autre porte sur le choix d'indicateurs à utiliser au niveau national pour déterminer l'évolution des risques pour la qualité de l'eau liée à l'évolution de l'utilisation des produits phytopharmaceutiques.

Mots-clés: indicateur, risque, produit phytopharmaceutique, transfert, qualité de l'eau

Abstract: Guide: development of a decision tool to select indicators of risks associated to phytopharmaceutical products in aquatic environments. Setting, uses and prospects

A great number of indicators have been developed during the last twenty years for many environmental issues, including for the assessment of the risk associated with pesticide use. The GUIDE project aimed at developing a web site to help potential users to select indicators meeting their needs. The tool updating the book of Devillers et al. (2005) and available on internet, comprises a set of factsheets describing the various indicators, and an interface to help users in selecting an indicator. Two applications in the context of the Ecophyto 2018 national plan have been performed: the first example concerns the selection of risk indicators addressing water quality that have to be integrated into the

Coclick'eau tool to support the construction of action plan for catchment area (Action 21). In the second example, indicators were proposed to provide information on the change in pesticide risk for water quality linked to the reduction of pesticide use.

Keyword: indicator, risk, pesticide, transfer, water quality

Introduction

L'utilisation de produits phytopharmaceutiques a contribué fortement au processus d'intensification de l'agriculture (augmentation de la production agricole) mais elle s'est accompagnée également d'une diffusion de résidus dans l'environnement et l'apparition d'effets non intentionnels sur celui-ci ainsi que sur la santé humaine. Pour pallier ces problèmes ainsi que la dépendance à l'usage des pesticides, le plan Ecophyto 2018, mis en place à la suite du Grenelle de l'environnement, vise à diminuer le recours aux produits phytopharmaceutiques, tout en continuant à assurer un niveau de production élevé tant en quantité qu'en qualité. Parmi les compartiments environnementaux qui peuvent être touchés par les produits phytopharmaceutiques, les milieux aquatiques (eaux souterraines et de surface) sont l'objet d'une attention particulière. La mesure directe de la présence des résidus de pesticides, et encore plus de leurs impacts, n'offre pas forcément une image complète dans l'espace et le temps et elle est coûteuse à mettre en œuvre. C'est pourquoi de nombreux acteurs ont proposé l'utilisation d'indicateurs de risque comme une approche complémentaire aux mesures de terrain. Ainsi, depuis vingt ans, de nombreux indicateurs ont été développés. Mais sous ce terme sont regroupés des outils très divers par leur nature, leur structure, les variables prises en compte, les échelles, les modes d'agrégation, le contexte et les objectifs poursuivis (Levitan, 2000 ; Reus et al., 2002 ; Bockstaller et al., 2008a, 2009). Il existe un grand nombre d'outils comme le montre l'ouvrage de Devillers et al. (2005) ; ce foisonnement rend difficile pour les utilisateurs le choix de la, ou des méthodes les plus pertinentes qui permettraient de répondre à leur questionnement, d'autant plus que cet inventaire, très descriptif, ne donne par exemple que peu d'informations sur les limites d'utilisation et de validité des indicateurs recensés.

C'est à partir de ce constat que le projet GUIDE a été initié par l'ONEMA et l'INRA (UMR Agronomie et Environnement Nancy-Colmar) avec comme objectif principal de fournir un outil opérationnel d'aide à la sélection des indicateurs les plus pertinents pour évaluer les risques liés à la présence des produits phytopharmaceutiques dans les milieux aquatiques.

Un groupe de travail rassemblant des experts de la recherche et d'institutions travaillant sur la problématique de la qualité de l'eau a été mis en place afin de mener un travail collectif de description et d'analyse de chaque indicateur disponible à partir (i) des besoins exprimés par les utilisateurs (données mobilisables, échelles spatiales et temporelles de calcul et de lecture, résultats attendus,...), (ii) des objectifs et des contraintes de chaque utilisateur (acteurs du développement agricole, collectivités territoriales, ...). Ces données, collectées pour chaque indicateur, ont ensuite été le support de base pour la mise au point d'un outil d'aide au choix pour les utilisateurs.

L'objectif du présent article est dans un premier temps de présenter la démarche et l'outil puis, dans une seconde partie, de présenter deux applications concrètes. La première concerne le niveau local, avec la sélection d'indicateurs simples à intégrer dans l'outil Coclick'eau pour soutenir la construction des plans d'action sur les aires d'alimentation des captages (Action 21). La seconde porte sur la sélection d'indicateurs nationaux de risque afin de compléter les indicateurs d'utilisation prévus (comme le NODU¹) dans le cadre du suivi du plan Ecophyto 2018.

¹ NODU : NOmbre de Doses Unité. Le NODU permet d'apprécier l'intensité de l'utilisation des produits phytopharmaceutiques, rapportant la quantité vendue de chaque substance active à une "dose unité" qui lui est propre et s'affranchissant ainsi de l'effet éventuelles substitutions de substances actives (<http://agriculture.gouv.fr/Indicateurs>).

1. Mise au point de l'outil GUIDE

Afin d'appuyer ce projet, le groupe technique d'experts a eu pour rôle de définir les critères d'évaluation des indicateurs ainsi que la forme et le contenu de l'outil de sélection. Les indicateurs retenus se limitent à l'évaluation des milieux aquatiques.

1.1 La demande

Un travail préliminaire a été réalisé afin d'identifier les besoins et les attentes des futurs utilisateurs de l'outil de choix des indicateurs. Les méthodes de construction et d'évaluation développées pour une même thématique sont souvent assez différentes que ce soit dans le choix des variables, le mode d'agrégation et bien sûr dans l'objectif initial à l'origine de l'indicateur. Ce constat a nécessité de définir précisément les conditions dans lesquelles les indicateurs ont été mis au point afin de déterminer leurs limites d'utilisation et de validité. Sur la base des usages actuels des indicateurs (Zahm, 2003 ; Aubertot et al., 2005; Attoumani, 2008 ; document SDAGE des Agences de l'eau; Axes de recherche du plan Ecophyto), quatre types d'objectifs ont été identifiés :

- Conduire un diagnostic et mettre en place un observatoire qui permettent *a posteriori* (= en *ex post*) de réaliser un état des lieux identifiant les pratiques, les cultures ou les systèmes de culture qui peuvent poser des problèmes ;
- Mettre en place des programmes qui permettent *a priori* (= en *ex ante*) d'identifier les actions les plus bénéfiques à promouvoir, voire d'interdire les plus préjudiciables à l'atteinte des objectifs ;
- Suivre des actions et des programmes afin d'évaluer leurs performances environnementales ainsi que l'efficacité de ceux-ci ;
- Sensibiliser des acteurs et communiquer vers le grand public, les professionnels ou les décideurs.

Une enquête complémentaire a été conduite auprès de certaines catégories d'utilisateurs (agences de l'eau, services techniques de chambre d'agriculture, instituts techniques et de recherche, associations, diverses administrations ou domaines de lycées agricoles). Cette enquête interrogeait (i) les attentes vis-à-vis des indicateurs (en termes d'usages, d'échelles, de données ou de résultats) et (ii) l'importance attribuée à certaines caractéristiques des indicateurs (fondement scientifique, mise en œuvre, utilité, compréhension, ...).

A partir de l'analyse des réponses (21 sur 45 questionnaires envoyés), certaines tendances se dégagent. Concernant les utilisations, les utilisateurs potentiels conduisent surtout un processus d'évaluation et souhaitent mobiliser des indicateurs pour établir un diagnostic, ou suivre des actions mises en place. Les indicateurs sont le plus souvent renseignés sur un pas de temps annuel, même si les travaux s'inscrivent dans la durée (rotation sur une parcelle, évolution de l'indicateur au cours du temps). Concernant les échelles spatiales, les évaluations se font plutôt au niveau de la parcelle ou de l'exploitation. C'est encore plus flagrant pour le recueil de l'information qui, dans 3 cas sur 4, se situe à cette échelle locale. A l'inverse, l'échelle de restitution se situe entre exploitation et territoire (3/4). Ceci s'explique par le fait que peu de données sont disponibles (sous forme de bases de données exploitables) au delà de la parcelle ou de l'exploitation. De même, les données disponibles se limitent souvent au sol (prise en compte du milieu) et aux pratiques culturales (d'où l'échelle parcellaire). Pour le format de sortie des résultats, les valeurs brutes, données avec lesquelles les utilisateurs sont les plus familiers, sont les plus demandées ainsi que les notes, qui permettent de faciliter la compréhension du niveau de risque et la communication.

1.2 L'offre

Un recensement exhaustif des indicateurs concernant les pesticides et évaluant au moins un des deux compartiments « eaux souterraines » ou « de surface » a été réalisé, en se basant sur la liste initiale de l'ouvrage de Devillers et al. (2005) et sur celle établie par l'ANSES pour le groupe de travail

"indicateurs" de l'Axe 1 du plan Ecophyto 2018, complétées par des recherches diverses (publications, internet, ...; Tableau 1).

Tableau 1 : Liste des 46 indicateurs ayant fait l'objet d'une fiche et intégrés au logiciel de tri (les indicateurs "nouveaux" par rapport à ceux listés dans Devillers et al. (2005) sont soulignés).

AARI	EPRIP	I-Phy	<u>PIRI</u>	SIRIS
ADCSOR	EYP	<u>IRPeQ</u>	<u>FOOTWAYS-PITSA</u>	SRI
<u>ARTHUR</u>	FA-IL	<u>JPC</u>	PMR	SYNOPS
CHEMS-1	F-PURE	Laskowski	POCER	SyPEP
<u>CSS</u>	GHI	NRI	<u>PRIBEL</u>	SYSCOR
<u>DAE-G</u>	GUS	PAF	Rating Systems	<u>THP</u>
DIAPHYT	<u>HAIR</u>	PEI	Responsible Choice	
EcoRR	HD (1)	p-EMA	RETOX	
EEP	HD (2)	PERI	<u>Rpest</u>	
EIQ	Hornsby	<u>PRSCalifornia</u>	SCS/ARS/CES	

Afin de permettre une évaluation exhaustive des indicateurs avec la possibilité de les comparer, un modèle de fiche a été proposé, discuté et validé par l'ensemble des auteurs (membres du groupe technique). Cette fiche (Annexe 1) se compose d'une partie descriptive (utilisateurs potentiels, échelles spatiales et temporelles, types d'évaluation, de variables nécessaires et de résultats), d'un volet relatif à l'évaluation (sur la validation, la mise en œuvre ou l'interprétation des résultats), d'un tableau recensant l'ensemble des variables nécessaires au calcul (liées au produit, au milieu et à l'usage) et d'un commentaire sur la méthode de calcul, les variables et les limites d'utilisation.

1.3 L'outil GUIDE

Afin de permettre aux futurs utilisateurs d'établir une sélection en ligne parmi l'ensemble des indicateurs recensés, un logiciel fonctionnant sur accès Web est proposé. Il permet à partir d'un questionnaire de saisie en ligne d'établir une liste restreinte d'indicateurs les plus pertinents par rapport aux réponses fournies par l'utilisateur. Ce questionnaire se décline en 6 thèmes : les objectifs de l'évaluation, le choix des enjeux, les échelles d'étude, les données prises en compte, l'expression des résultats et la mise en œuvre (Figure 1). Pour chaque thème, une ou plusieurs questions sont posées avec possibilité de réponse à choix multiples. A l'aide des fiches renseignant chaque indicateur, une base de données a été développée. Elle permet d'identifier parmi les 46 indicateurs, ceux qui répondent ou non aux 75 possibilités issues des 14 questions. La démarche proposée est progressive : l'utilisateur est amené à répondre aux questions à choix multiples (uniquement à celles qu'il considère comme pertinentes pour sa sélection et non à toutes) et de façon itérative le nombre d'indicateurs qui répond à ses critères s'affiche. Il peut également à tout moment consulter cette liste restreinte et accéder aux fiches descriptives des indicateurs.

Le site web présente une page d'accueil expliquant le contexte du projet GUIDE et propose également des liens utiles vers différents organismes ainsi qu'une liste de bases de données où l'on peut trouver les caractéristiques physico-chimiques et toxicologiques des substances actives et les usages des produits phytopharmaceutiques. Un prototype de ce site a été achevé et est accessible à l'adresse suivante : <http://www.myrmesys.com/guide/>. Un travail de test auprès d'utilisateurs et une mise à jour sont prévus en 2013, ainsi que l'hébergement définitif de l'outil sur la plateforme PLAGE².

² PLAGE est un site internet dédié à l'évaluation de la durabilité des pratiques agricoles et plus particulièrement à l'évaluation de leurs impacts agri-environnementaux. Il a été développé par Agro-Transfert Picardie en collaboration avec l'INRA, des

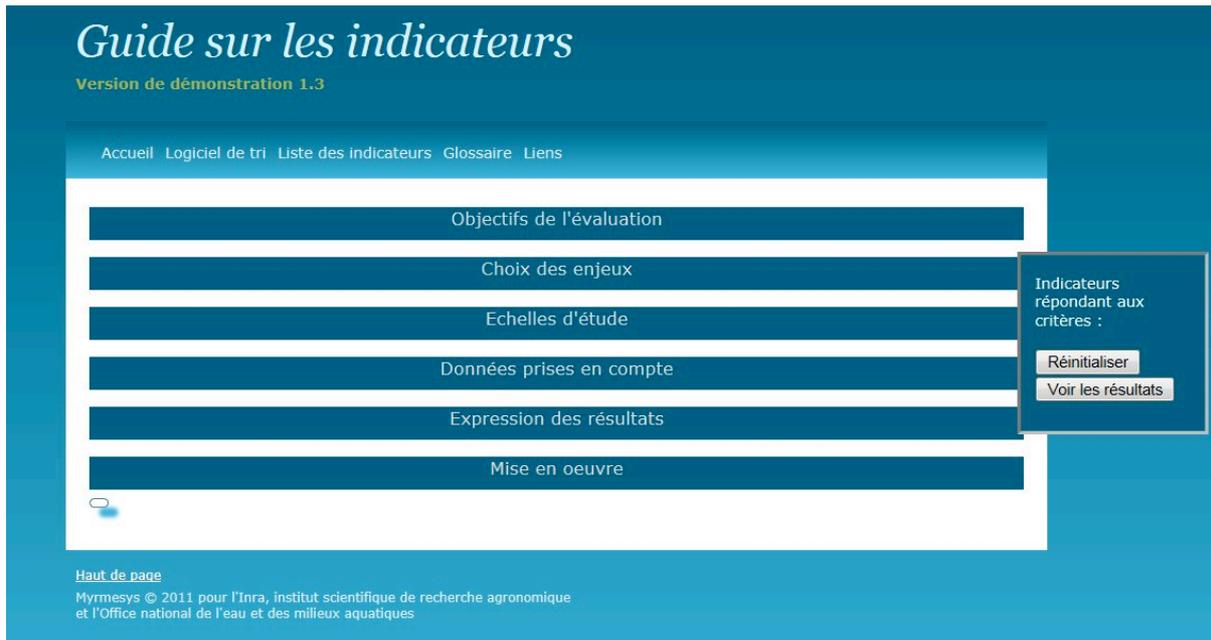


Figure 1 : Capture d'écran du logiciel de tri.

2. Applications

Une application de cette aide au choix d'indicateurs pertinents a été menée dans le cadre de deux types de situation d'usage répondant à deux objectifs spécifiques.

2.1 Aide au choix pour intégrer des indicateurs de risque à l'outil Coclick'eau d'aide au développement de scénarios de réduction d'usage de produits phytopharmaceutiques (Action 21 Ecophyto 2018)

2.1.1 Le contexte

L'Action 21 du plan Ecophyto 2018, pilotée par la Direction de l'Eau et de la Biodiversité du Ministère en charge de l'Ecologie, a pour objectif de cibler les efforts de réduction d'utilisation des produits phytopharmaceutiques sur des territoires identifiés comme prioritaires, en particulier sur les aires d'alimentation de captage (AAC) destinées à l'alimentation en eau potable.

Pour accompagner cette action, un outil (dénommé CoClik'eau) a été proposé afin d'appuyer la mise en place de plan d'actions territoriaux. Elle permet aux acteurs locaux de construire collectivement et d'évaluer *ex ante* différents scénarios de changement des pratiques agricoles adaptés à leurs objectifs et/ou contraintes locales de mise en œuvre. Elle est basée sur une adaptation territoriale du travail national réalisé lors de l'expertise Ecophyto R&D (Butault et al., 2010), et repose sur la caractérisation technique et l'évaluation des performances environnementales et socio-économiques de différents modes de conduite des cultures selon les différents milieux identifiés sur une AAC. Les résultats de ce paramétrage sont utilisés par un modèle d'optimisation sous contraintes pour obtenir la combinaison des modes de conduite par culture et milieu correspondant à différents jeux d'objectifs et de contraintes au niveau du territoire de l'AAC, exprimés par des variables économiques, de pression environnementale ou de risque définies par les acteurs de l'AAC.

2.1.2 L'objectif

Les indicateurs retenus par les acteurs de l'AAC pour l'évaluation multicritère couvrent des dimensions environnementales et socio-économiques mais ils restent jusqu'à présent limités, pour le volet environnemental, à des indicateurs de pressions liées aux pratiques agricoles. La nécessité, sur les AAC, de ne pas prendre en compte seulement la réduction d'utilisation de produits phytopharmaceutiques dans la construction des scénarios, mais aussi des critères de potentiel de transfert vers les eaux liés aux pratiques, a posé la question de la disponibilité d'indicateurs pertinents. De tels indicateurs, notamment ceux de nature à évaluer les risques de transfert et appropriables par les acteurs eux-mêmes, pourraient être proposés aux acteurs des AAC pour leur permettre de prendre en compte le potentiel de transfert dans les propositions de changements d'itinéraires techniques, en évitant par exemple l'introduction de molécules préjudiciables pour l'eau sur des zones à enjeux eau, et d'inclure ce potentiel de transfert dans le travail d'optimisation.

L'objet de cette première étude était de proposer un ou plusieurs indicateurs simples et rapides à mettre en œuvre permettant d'enrichir la caractérisation des modes de conduite décrits dans la matrice technique. A partir du recensement effectué dans le projet GUIDE, de l'outil GUIDE et de son expertise, le groupe a fait le point sur les indicateurs faciles à mettre en œuvre et aujourd'hui mobilisables pour évaluer les risques de transferts verticaux (infiltration/drainage) et par ruissellement. Parmi les critères supplémentaires de sélection, ces indicateurs devaient proposer une évaluation des substances propre à chaque voie de transfert et ils ne devaient pas intégrer le milieu dans leur calcul car dans le cadre d'une démarche de protection des captages, des cartes de vulnérabilité intrinsèques sont déjà établies par type de transferts, et des zones prioritaires d'action sont déjà délimitées.

2.1.3 Les indicateurs proposés

Le groupe de travail a proposé des méthodes permettant d'intégrer une déclinaison environnementale « eau » (le potentiel de transfert des substances utilisées) à l'indicateur d'usage (IFT³), seul indicateur environnemental calculé sur ces AAC. Au final, six indicateurs pour les transferts verticaux et quatre pour les transferts horizontaux répondent au cahier des charges précisé dans le paragraphe 2.1.2, c'est pourquoi la plupart d'entre eux ont des modes de calcul assez simples, ce qui permet une mise en œuvre facile (Tableau 2). Une description du mode de calcul des méthodes a été proposée dans une note au Comité de Pilotage de l'Action 21⁴. L'utilisation de ces indicateurs nécessite de disposer de certaines variables comme les caractéristiques physico-chimiques des substances actives. C'est pourquoi une liste de bases de données accessibles et consultables (travaux de l'Observatoire des Résidus de Pesticides-ORP) a été proposée afin que les utilisateurs puissent disposer facilement de ces données.

³ IFT : Indice de Fréquence de Traitement

⁴ Proposition d'indicateurs de risque de transfert des pesticides vers les eaux par le groupe technique GUIDE - Note destinée aux Copil de l'action 21 (Plan Ecophyto 2018) et aux captages test, 2011. Keichinger O., Benoit P. (INRA), Briand O. (ANSES), Boivin A. (ANSES), Bourrain X. (AELB), Chabert A. (ACTA), Bockstaller C. (INRA), Domange N. (ONEMA), Dubus I. (Footways), Gouy V. (IRSTEA), Guichard L. (INRA), Pitrel M. (AERM), Pleyber E. (MEEDTL/DGALN), Zahm F. (IRSTEA) 17p.

Tableau 2 : Liste des indicateurs proposés par le groupe de travail GUIDE et pouvant être intégrés à l'outil Coclick'eau.

		Méthode	Disponibilité de l'outil	
Transferts verticaux (lessivage et drainage)	Indicateurs à utiliser en l'état	GUS	Facile à mettre en œuvre	
		Hornsby	Facile à mettre en œuvre	
		NRI	Facile à mettre en œuvre	
		DAE-G	Sur Internet	
		ARTHUR	Calculateur Excel	
	Indicateurs pour pondérer/segmenter l'IFT	SIRIS-Pesticides ESO	Sur Internet	
		Basé sur GUS	Facile à mettre en œuvre	
		Basé sur le module ESO modifié d'I-Phy	Calculateur Excel	
		Basé sur ARTHUR	Calculateur Excel	
		Basé sur DAE-G	Sur Internet	
Transferts horizontaux (ruissellement)	Indicateurs à utiliser en l'état	ADSCOR	Facile à mettre en œuvre	
		NRI	Facile à mettre en œuvre	
		ARTHUR	Calculateur Excel	
		SIRIS-Pesticides ESU	Sur Internet	
	Indicateurs pour pondérer/segmenter l'IFT	Basé sur ARTHUR	Calculateur Excel	
		Basé sur le module ESU modifié d'I-Phy	Calculateur Excel	
		Basé sur SIRIS-Pesticides ESO	Sur Internet	
		Basé sur SIRIS-Pesticides ESU	Sur Internet	

2.2 Aide au choix d'indicateurs de risque accompagnant l'indicateur national de suivi du plan Ecophyto : le NODU

2.2.1 Le contexte

Cette seconde application s'inscrit aussi dans le plan Ecophyto et plus précisément dans l'action 9 de l'Axe 1 portant sur le développement "des indicateurs de risque permettant d'évaluer quantitativement la réduction de l'impact des produits phytopharmaceutiques sur les différents compartiments de l'environnement et sur la santé".

2.2.2 L'objectif

Dans le cadre du plan Ecophyto, il est prévu de rendre compte de la pression exercée par l'utilisation des produits phytopharmaceutiques en zone agricole par différents indicateurs de pression, au 1^{er} titre desquels figure le NODU, complété par la quantité de substances actives (QSA) ou localement l'IFT. Parallèlement aux changements de pratiques il s'agit de s'assurer que ces changements ont aussi un effet bénéfique en termes de limitation de l'impact pour le compartiment eau. Aussi, il a été proposé d'accompagner au niveau national le NODU par des indicateurs de risque. L'outil GUIDE a ainsi été mobilisé pour sélectionner les indicateurs les plus pertinents pour répondre à cet objectif.

2.2.3 Les indicateurs proposés

Le groupe de travail du projet GUIDE a apporté son concours afin d'aider à sélectionner un ou plusieurs indicateurs de risque pour accompagner le NODU. Un travail préparatoire a été réalisé par la sélection des critères pertinents sur lesquels faire le choix de ces indicateurs, relatifs à la nature de la commande : une évaluation nationale de l'évolution du risque pour l'eau liée aux éventuelles évolutions de pratiques mesurées par le NODU. Une base de données a ensuite été créée, croisant ces critères avec les indicateurs listés dans GUIDE. La liste suivante d'exclusions successives a été construite à

partir d'une analyse du cahier des charges intrinsèques à la demande et a ainsi permis de sélectionner 6 indicateurs parmi les 60 identifiés au départ :

- exclusion si le module « eau » est identique à celui d'un autre indicateur (redondance) ;
- exclusion en l'absence d'adaptation de l'indicateur à toutes les cultures ;
- exclusion en cas de recours à un modèle additionnel, sans lequel il est impossible de renseigner l'indicateur ;
- exclusion en cas de non prise en compte de données d'utilisation ou de vente pour le renseignement de l'indicateur ;
- exclusion en cas de nécessité de données relatives au milieu pour renseigner l'indicateur (ex : type de sol, pente, distance au cours d'eau, etc.) ;
- exclusion en cas de non fourniture d'une estimation d'une exposition (pour pouvoir ensuite calculer un rapport de type exposition/danger ou un score s'en approchant) ;
- exclusion en cas de non distinction entre eaux souterraines et eaux de surface.

A partir de cette présélection, 4 indicateurs ont été retenus, trois pour les eaux souterraines (NRI, Laskowski et SIRIS) et trois pour les eaux de surface (NRI, SRI et SIRIS). Ceux-ci font actuellement l'objet d'une phase de test à partir d'un calcul de leurs valeurs pour toutes les substances vendues sur la période 2008-2011 et une comparaison de leur évolution à celle du NODU sur la même période.

3. Pistes de recherche identifiés par le groupe au niveau des indicateurs

A partir des informations collectées et analysées pour les 46 indicateurs (une fiche réalisée pour chacun d'entre eux) il est possible de mettre en évidence certaines limites.

La première concerne la question de la prise en compte du processus de changement d'échelle dans le calcul des valeurs. Parmi les indicateurs concernés, plusieurs reposent sur une évaluation à l'échelle de la parcelle en utilisant des données "fines" car issues de mesures locales ou répondant à des questions précises (matériel utilisé, date d'application,...). Ces résultats par parcelle peuvent ensuite être agrégés à une échelle supérieure simplement par la somme des valeurs par parcelle pondérées par la surface de la parcelle. Il existe deux limites à ce mode opératoire. La première est opérationnelle car elle nécessite le recueil d'une quantité importante de données "fines" sur des territoires étendus. La seconde limite est qualitative car le changement d'échelle nécessite de prendre en compte des variables et processus complémentaires. Ces derniers restent dans leur majorité encore à définir car des processus, pour la plupart extra-parcellaires, entrent en jeu. Si des travaux sur cette problématique ont déjà été réalisés (Wohlfahrt et al., 2010 ; méthode proposée par la société Footways) ils ne sont pas nécessairement opérationnels ou nécessitent le recours à une prestation qui met en œuvre des algorithmes gourmands en temps de calcul.

Cette question du changement d'échelle renvoie également au développement de méthodes d'agrégation de valeurs calculées sur des objets spatiaux de tailles différentes. Ce processus d'agrégation permet de passer sur le principe des constituants au tout. Il concerne des entités spatiales (entités fusionnées) ou thématiques (données agrégées). Deux types de difficultés sont généralement rencontrées lors la résolution de ce processus d'agrégation : (i) la première renvoie à la question du traitement des interactions entre les processus : représenter le processus de transfert de pesticides de façon agrégée ne peut se "réduire" à prendre en compte de façon sommative les valeurs parcellaires calculées, le tout est souvent différent de la somme des parties car il existe une hiérarchie dans la position spatiale des parcelles dans leur contribution aux risques (Dumanski et al., 1998). Ainsi, Dalgaard et al. (2003) mettent en avant trois types de procédures d'agrégation : la procédure linéaire, la procédure non-linéaire et la procédure "hiérarchique". La procédure d'agrégation linéaire (souvent mobilisée) correspond à la somme des parties. La procédure d'agrégation non-linéaire renvoie au principe que la variable étudiée n'est pas une fonction linéaire de l'unité ou objet de base calculé, mais

qu'elle prend des valeurs différentes en fonction de seuils. Dans ce cas, la méthode d'agrégation doit prendre en compte les caractéristiques intrinsèques des objets élémentaires étudiés. Quant à la procédure "hiérarchique", elle est la plus englobante et la plus complète car elle tient compte des relations entre les objets ou unités élémentaires (Fotsing et al., 2003).

Une seconde piste de recherche, déjà relevée par Devillers et al. (2005), est l'évaluation de la qualité prédictive des indicateurs. Un travail a été initié (Girardin et al., 2007) suite à cette première synthèse, pour quelques indicateurs (ADSCOR, EIQ, EPRIP et I-Phy) en zone viticole, en comparant les résultats des indicateurs avec des mesures à l'exutoire de trois petits bassins versants ou dans des placettes pour les eaux de ruissellement selon la démarche des tests de vraisemblance (Bockstaller et al. 2008 a et b, Zahm et al., 2009). Les résultats des comparaisons sont assez mitigées et variables selon les indicateurs. Cette variabilité s'explique en partie par l'utilisation de données à l'échelle du bassin versant. Ce travail serait donc à poursuivre en élargissant le jeu de données au niveau parcellaire et à d'autres filières de production que la viticulture. Cependant, ces indicateurs reposent souvent sur des simplifications en termes de nombres et de types de variables d'entrée sélectionnées en fonction de leur accessibilité, ou par leur mode d'agrégation très simple (somme ou multiplication de scores), ou enfin par la fixation de certaines variables (e.g., pluie 3 jours après le traitement). Si le nombre de variables et la complexité de l'outil ne sont pas synonymes de meilleure qualité prédictive (Cannavo et al., 2008 ; Makowski et al., 2009), la simplification à outrance sous forme de sommes de scores peut aussi poser souci.

Une troisième piste consisterait à reprendre la démarche de construction des indicateurs. Au lieu de partir d'une base de connaissances et de l'expertise du groupe de concepteurs, il serait aussi possible de procéder par des approches déductives à l'aide de méthodes de fouilles de données appliquées à une base regroupant un ensemble de variables explicatives de pratiques, de milieu et les résultats de transfert pour en dériver des arbres de décision et ainsi sélectionner les variables les plus pertinentes (une approche de ce type est en cours de test au sein du projet Myriphique financé dans le cadre du programme national « Pesticides » ; Carluet et al., 2011), notamment pour développer des indicateurs adaptés à des contextes nationaux. Cette démarche reste cependant tributaire des données disponibles. Pour en élargir la portée, certains auteurs ont proposé de créer une base de données à partir de simulations (Wohlfahrt et al., 2010 ; Lindahl et Bockstaller, 2012).

Conclusions

Le projet GUIDE présenté dans cet article s'inscrivait dans la suite des travaux de Devillers et al. (2005) sur l'analyse des indicateurs de risques liés à l'utilisation de produits phytopharmaceutiques. Plus qu'une simple mise à jour, il a permis de proposer une aide à la sélection interactive disponible sur internet pour aider les utilisateurs potentiels dans le choix d'un indicateur adapté à leurs besoins. Les deux applications présentées ont illustré l'intérêt de la démarche, mais plus encore la nécessité de finaliser la liste d'indicateurs par un recours aux experts. La base d'informations sur les indicateurs construite pour alimenter l'outil GUIDE nécessitera une mise à jour régulière afin d'intégrer l'arrivée de nouveaux indicateurs et les résultats de projets visant à évaluer les indicateurs de manière plus précise, notamment leur qualité prédictive par comparaison avec des jeux de données de mesure de transfert de substances actives vers les eaux.

Références bibliographiques

Attoumani A., 2008. Les usages des méthodes d'évaluation agri-environnementale. Contribution à l'élaboration d'un guide pour le choix de ces méthodes: Mémoire de fin d'études, AgroCampus Rennes, Lasalle Beauvais, 132 p.

- Aubertot J.-N., Barbier J.-M., Carpentier A., Gril J.-J., Guichard L., Lucas P., Savary S., Savini I., Voltz M. (Éditeurs), 2005. Pesticides, agriculture et environnement. Réduire l'utilisation des pesticides et limiter leurs impacts environnementaux. Expertise scientifique collective, synthèse du rapport, INRA et Cemagref (France), 64 p.
- Bockstaller C., Guichard L., Makowski D., Aveline A., Girardin P., Plantureux S., 2008a. Agri-environmental indicators to assess cropping and farming systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 28, 139–149.
- Bockstaller C., Wohlfahrt J., Hubert A., Hennebert P., Zahm F., Vernier F., Mazzella M., Keichinger O., Girardin P., 2008b. Les indicateurs de risque de transfert de produits phytosanitaires et leur validation : exemple de l'indicateur I-Phy. *Ingénierie*, 103–114.
- Bockstaller C., Stapleton L.M., Van Der Heide M., Geniaux G., Bellon S., Josien E., Raley M., Alkan-Olsson J., 2009. From a disaggregated set of indicators to a synthetic, composite assessment of sustainability: Paths and pitfalls. In M. K. Van Ittersum, J. Wolf, and H. H. Van Laar, (Eds.), *Conference on Integrated Assessment of Agriculture and Sustainable Development: Setting the Agenda for Science and Policy (AgSAP 2009)*. Egmond aan Zee, The Netherlands, 10-12 March 2009, Wageningen University and Research Center, Wageningen, pp. 178-179.
- Butault J.-P., Dedryver C.A., Gary C., Guichard L., Jacquet F., Meynard J.-M., Nicot P., Pitrat M., Reau R., Sauphanor B., Savini I., Volay T., 2010. *Ecophyto R&D. Quelles voies pour réduire l'usage des pesticides ? Synthèse du rapport d'étude*, France, INRA Editeur, 90 p.
- Cannavo P., Recous S., Parnaudeau V., Reau R., 2008. Modeling N dynamics to assess environmental impacts of cropped soils. *Advances in Agronomy* 97, 131–174.
- Carluer N., Gouy V., Miralles A., Pinet F., Bimonte S., Gascuel-Oudou C., Grimaldi C., Coquet Y., Benoit P., Real B., Maillet-Mezeray J., Marquet N., Guyot C., Vernier F., 2011. Building risk indicators of surface water contamination by pesticides at the small catchment scale. Taking in account spatial and temporal dimensions. Support for risk assessment and management : MIRIPHYQUE project. Joint Euraqua-PEER Scientific Conference, Innovative approaches for the management of environmental risks from plant protection products, 26-28 Oct 2011, Montpellier, France.
- Dalgaard T., Hutchings N.J., Porter J.R., 2003. Agroecology, scaling and interdisciplinarity. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 100, 39–51.
- Devillers J., Farret R., Girardin P., Rivière J.-L., Soulas G., 2005. Indicateurs pour évaluer les risques liés à l'utilisation des pesticides, Lavoisier Tec&Doc, Paris, 278 p.
- Dumanski J., Pettapiece W.W., McGregor R.J., 1998. Relevance of scale dependent approaches for integrating biophysical and socio-economic information and development of agroecological indicators. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 50, 13–22.
- Girardin P., Devillers J., Thybaud E., Soulas G., 2007. Programme "Indicateurs et pesticides" Phase II : Validation et proposition d'amélioration d'indicateurs "pesticides", Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, 71 p.
- Fotsing E., Cheylan J.P., Wouter T., DeGroot P.V.H., 2003. Un dispositif multi-échelle d'analyse des dynamiques agraires en zone des savanes de l'extrême nord du Cameroun, 6èmes Rencontres de Théo Quant., Février 2003, 16 p.
- Leviton L., 2000. "How to" and "why": assessing the enviro-social impacts of pesticides. *Crop Protection* 19, 629–636.
- Leviton L., Merwin I., Kovach J., 1995. Assessing the relative environmental impacts of agricultural pesticides: The quest for a holistic method. *Agriculture Ecosystems and Environment* 55, 153-168.
- Lindahl A.M.L., Bockstaller C., 2012. An indicator of pesticide leaching risk to groundwater. *Ecological Indicators* 23, 95-108.
- Makowski D., Tichit M., Guichard L., Van Keulen H., Beaudoin N., 2009. Measuring the accuracy of agro-environmental indicators. *Journal of Environmental Management* 90, 139-146.
- Reus J., Leenderste P., Bockstaller C., Fomsgaard I., Gutsche V., Lewis K., Nilsson C., Pussemier L., Trevisan M., Van Der Werf H., Alfaro F., Blümel S., Isart J., McGrath D., Seppälä T., 2002. Comparing and evaluating eight pesticide environmental risk indicators developed in Europe and recommendations for future use. *Agriculture Ecosystems and Environment* 90, 177–187.

Wohlfahrt J., Colin F., Assaghir Z., Bockstaller C., 2010. An indicator inferred from hydrological mechanistic model simulation to assess spatial agricultural management impact on pesticide runoff. *Ecological Indicators* 10, 826–839.

Zahm F., 2003, Méthodes de diagnostic des exploitations agricoles et indicateurs : panorama et cas particulier appliqués à l'évaluation des pratiques phytosanitaires. *Ingénieries* 33, 13–34

Zahm F., Vernier F., Saudubray F., Peyrey C., Petit K., Girardin P., Hubert, A., Da Costa J.P., 2009. Évaluation des modules eaux de surface de quatre indicateurs phytosanitaires (ADSCOR, EIQ, EPRIP, I-PHY) en bassin viticole. In : Ouvrage Collectif : Pesticides et Environnement, Ed. Guy Soulas, réalisé à partir communication du 37ème congrès du Groupe Français des Pesticides, Faculté d'œnologie, pp. 128-140.