

Végéphy – 24^e CONFÉRENCE DU COLUMA
JOURNÉES INTERNATIONALES SUR LA LUTTE CONTRE LES MAUVAISES HERBES
ORLÉANS – 3, 4 et 5 DÉCEMBRE 2019

EVALUATION DES RISQUES DE TRANSFERT D'HERBICIDES PAR MODELISATION (MODELE MACRO)

J. MARKS-PERREAU¹, M. HENAFF², A. LIOEDDINE³, B. REAL⁴, C. L'HERBIER⁵, E. MITKO⁶

¹ Arvalis – Institut du végétal station expérimentale, 91720 Boigneville j.marksperreau@arvalis.fr

² Agrosolutions - 83 avenue de la grande armée, 75782 Paris CEDEX 16 mhenaff@agrosolutions.com

³ Agrosolutions - 83 avenue de la grande armée, 75782 Paris CEDEX 16 alioeddine@agrosolutions.com

⁴ Arvalis – institut du végétal Estrées Mons, 80 208 Péronne b.real@arvalis.fr

⁵ Arvalis - Institut du végétal Station du Magneraud 17 700 Saint Pierre d'Amilly c.lherbier@arvalis.fr

⁶ Agrosolutions - 83 avenue de la grande armée, 75782 Paris CEDEX 16 emitko@agrosolutions.com

RESUME

La gestion des pollutions diffuses par les herbicides dans les masses d'eau est un enjeu de société. L'offre de service Prec'eau®, développée par Agrosolutions et Arvalis sous la marque AGTIP, permet d'évaluer le risque de pollution diffuse par modélisation mécaniste à partir du modèle Macro 5.2 vers les eaux souterraines et de surface (par réseau de drainage). Le modèle MACRO 5.2, paramétré par des méthodes mises au point par Agrosolutions ainsi que l'utilisation de données climatiques spatialisées sur les dix dernières années et du référentiel sol d'Arvalis assure un fonctionnement optimal du modèle. La vraisemblance des résultats est assurée par confrontation avec des données de mesure de la qualité de eaux souterraines issues de la plateforme ADES et des données de mesure de la qualité des eaux d'ARVALIS. Des indicateurs de risque quantitatifs sont ensuite calculés pour le reporting des résultats à différentes échelles : parcelle, culture, type de sol, etc. Une matrice de résultats, qui comprend des codes couleurs de risque, permet aux conseillers agricoles de proposer des programmes de désherbage à moindre risque pour les ressources en eau.

Mots-clés : qualité de l'eau, modélisation, herbicides, gestion du risque, pratiques alternatives

ABSTRACT

The management of diffuse pollution by herbicides in water bodies is a social issue. The Prec'eau® service offer, developed by Agrosolutions and Arvalis, enables to evaluate the risk of diffuse pollution to groundwater and surface water (by drainage network) by mechanistic modeling from the Macro 5.2 model. The MACRO 5.2 model, parameterized by Agrosolutions methods, as well as the use of spatialised climatic data over the last ten years and the Arvalis soil reference system, ensures an optimal running of the model. The likelihood of the results is ensured by comparison with groundwater quality data extracted from ADES and with ARVALIS databases. Quantitative risks indicators are then calculated for the reporting of results at different scales: plot, crop, soil type, etc. A matrix of results, which includes color risk codes, enables agricultural advisers to offer lower risk weed control programs for water resources.

Key words: water quality, modelling, herbicides, risk management, alternative practices

INTRODUCTION

Dans le but de respecter les engagements pris par la France dans le cadre de la Directive Cadre sur l'Eau (2000/60/CE), le gouvernement a mis en place les plans Ecophyto I et II, dont le dernier plan a pour objectif de réduire l'usage des produits de protection des plantes de 50 % sur le plan national à l'horizon 2025. Afin de limiter au maximum les risques de contamination de la ressource en eau, il semble également nécessaire de mettre en place un certain nombre de mesures visant à réduire l'impact de l'utilisation des produits phytopharmaceutiques, notamment herbicides (décalage des dates d'application, réduction de dose, substitution de substances actives à risque, ...). Un diagnostic des risques de transfert qui prend en compte le contexte pédoclimatique doit être effectué en amont afin de proposer des mesures de gestion adaptées aux spécificités locales.

De nombreux indicateurs et modèles ont été créés pour caractériser le risque de transfert de pesticides dans les eaux superficielles et souterraines (Devillers et al., 2005 ; Keichinger et al., 2013). Le projet EQUIPE a cherché à évaluer la qualité prédictive d'indicateurs pesticides traitant des transferts vers les eaux de surface ou souterraines et du modèle MACRO 5.2, en confrontant les sorties de ces indicateurs et de ce modèle aux données de transferts mesurées sur trois sites expérimentaux pilotés par Arvalis. Les résultats du projet montrent que, globalement, les différents indicateurs prédisent mal les transferts réels de substances actives vers les eaux (Pierlot et al. 2017). Seule la modélisation MACRO 5.2, paramétrée par des méthodes mises au point par Agrosolutions et qui prend en compte de manière fine les différents mécanismes de transferts, arrive à des résultats satisfaisants dans les milieux pédoclimatiques étudiés dans le cadre du projet. Les indicateurs qui présentent un degré d'élaboration suffisant pourront être utilisés dans des actions de conseil et de conception de système de culture.

Agrosolutions s'est associé à Arvalis pour développer l'offre Prec'eau®, une solution adaptée pour effectuer un diagnostic des risques de transfert d'herbicides à différentes échelles : parcelle, exploitation, bassin versant et territoire et apporter un conseil aux acteurs des territoires. L'offre Prec'Eau combine l'utilisation d'un modèle complexe et correctement paramétré, MACRO 5.2, et une validation des résultats par les expertises d'Agrosolutions et d'Arvalis.

MATERIEL ET METHODE

A. Le modèle MACRO 5.2.

MACRO 5.2. est un modèle mécaniste (Larsbo et Jarvis, 2003) et unidimensionnel qui simule le déplacement de l'eau et des différentes formes de produits phytopharmaceutiques à l'échelle de la parcelle au pas de temps journalier. Ce modèle permet de caractériser le devenir de ces produits dans les zones non saturée et saturée du sol, vers les eaux souterraines et les eaux de drainage, en prenant en compte les contextes pédoclimatiques (précipitations, températures, ETP, propriétés des sols), les matières actives appliquées et leurs paramètres intrinsèques (mobilité, rémanence), les conditions d'applications et les cultures cibles. Ce modèle, qui intègre dans son approche les écoulements préférentiels (macropores), traite séparément les flux d'eau et de produits phytopharmaceutiques des macroporosités de ceux des microporosités. Les paramètres hydrodynamiques influant sur les écoulements sont calculés pour chaque horizon grâce à des fonctions de pédotransferts. MACRO est un modèle reconnu puisqu'il fait partie des modèles utilisés aux niveaux européen et français (ANSES) pour évaluer les risques de contaminations des eaux souterraines dans le cadre du processus d'homologation des produits phytopharmaceutiques.

Représentation des écoulements et des transferts de solutés dans les équations du modèle

Lorsqu'un épisode de précipitation survient, une partie de l'eau est reprise sous forme d'évapotranspiration, calculée par l'équation de Penman-Monteith. Celle-ci est divisée entre l'eau

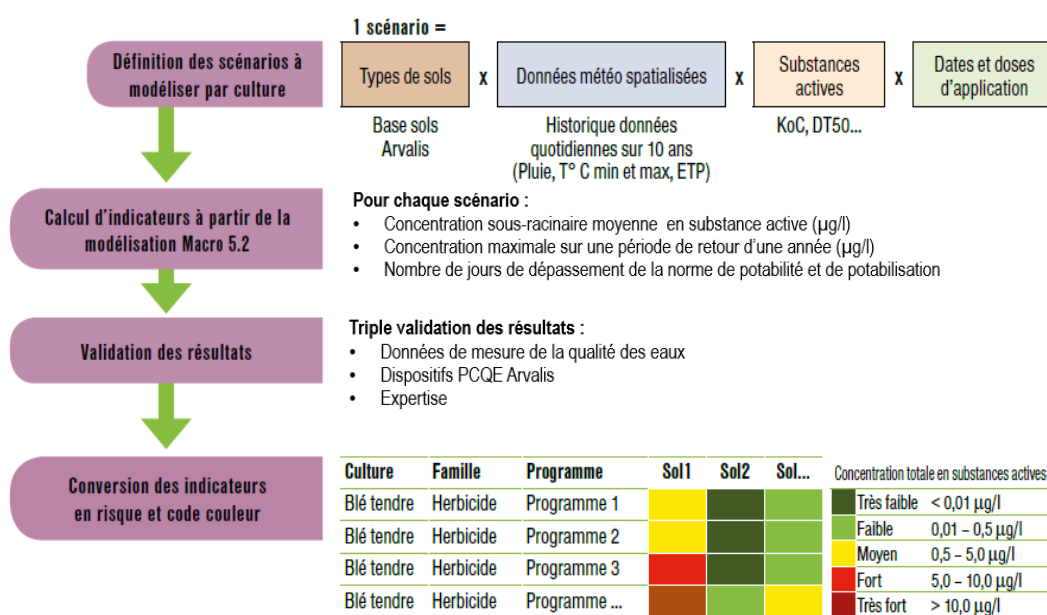
présente à la surface et celle interceptée par la canopée. Une fois dans le sol, l'eau peut être soit évacuée en profondeur (drainage, percolation vers la nappe), soit absorbée par les cultures. La capacité d'absorption dépendra de la demande évaporative, de la distribution racinaire et de la teneur en eau du sol. L'infiltration est calculée en haut de profil, à chaque pas de temps, en fonction de la conductivité de surface moyenne du sol. La porosité totale de chacun des horizons est scindée en deux domaines, les micropores et les macropores, chacun étant caractérisé par une cinétique différente. Lorsque les micropores sont saturés, l'eau s'écoule instantanément dans la macroporosité. L'écoulement dans les macropores est un écoulement essentiellement gravitaire. MACRO 5.2 calcule le transport des solutés dans les micropores par l'équation de convection-dispersion. Un terme puits/source permet de représenter l'absorption par les plantes, les pertes par évaporation, le drainage et le lessivage vers la nappe, ainsi que les échanges entre les micropores et les macropores. Un deuxième facteur permet de rendre compte de l'adsorption par le sol. Le flux dans les macropores est calculé par l'équation de convection, la dispersion étant considérée comme nulle. Une homogénéisation s'effectue sur la première couche numérique de sol : la quantité de soluté dans les micropores est fonction de la lame d'eau infiltrée dans la matrice et de la concentration dans la pluie nette (ou dans l'irrigation). Dans les macropores, un équilibre instantané s'effectue entre l'eau entrante et l'eau résidant dans le sol. Les échanges de solutés entre les deux domaines poraux sont basés sur le phénomène de convection-diffusion.

Méthode de travail Prec'eau®

La méthode de travail pour réaliser l'évaluation du risque se décompose en 3 étapes : 1 - définition des scénarios à modéliser ; 2 - modélisation des scénarios avec MACRO 5.2 et calcul d'indicateurs de risque ; 3 - validation des résultats par comparaison avec des données réelles mesurées.

Figure 1 : Mode opératoire d'une étude Prec'eau, qui utilise MACRO 5.2 pour modéliser les transferts des substances actives dans différents types de sol

Procedure of a Prec'eau study, which uses MACRO 5.2 to model the active ingredient transfer in different types of soil



B. Etape 1 : définition des données de paramétrage et des scénarios

Les données climatiques

Les données météorologiques sont essentielles pour obtenir des résultats représentatifs du secteur d'étude. Les paramètres nécessaires à intégrer dans la modélisation à un pas de temps journalier sont : les précipitations (en mm), l'évapotranspiration (en mm), les températures minimales et maximales (en °C). Elles sont issues d'un algorithme de calcul développé par ARVALIS sur la base des stations physiques de Météo France. Elles sont acquises sur une période de 10 ans afin d'appréhender la variabilité interannuelle du climat.

Les types de sol

La nature du sol a un rôle majeur dans les transferts de produits phytopharmaceutiques. C'est en effet au sein de la couche pédologique que se joue l'essentiel des phénomènes qui vont déterminer les niveaux de transferts d'eau et de produits phytopharmaceutiques quittant la parcelle. Grâce aux données climatiques et pédologiques, MACRO 5.2. réalise au pas de temps journalier la simulation de l'état hydrique des sols. Les types de sols doivent être décrits par horizon et selon l'ensemble des facteurs décrits dans le tableau 1. Ce paramétrage est effectué grâce à la base de données Sol d'Arvalis, riche de 550 types de sols référencés au niveau national et présentant de manière précise les caractéristiques pédologiques des principaux types de sol français.

Tableau 1 : Données d'entrées nécessaires à la caractérisation des sols, pour chaque horizon

Input data needed for soil characterization, for each soil horizon

Indicateurs	Unité
Texture	% Argile
	% Limon
	% Sable
Drainage	Ecartement des drains
	Profondeur des drains
Densité apparente	Kg/dm ³
Epaisseur de l'horizon	cm
pH	
Teneur en Matière Organique	% Carbone Organique
Pierrosité	% de cailloux
Substrat géologique	Nature du sous-sol

Les programmes phytopharmaceutiques

Ils sont caractérisés par un produit, composé d'une ou plusieurs matières actives, appliqué sur une culture, à une date et dose donnée. MACRO 5.2. intègre la simulation du cycle de croissance des plantes et leur influence sur le transfert des produits phytopharmaceutiques. Plus de 80 cultures sont paramétrées dans les bases de données selon une trentaine de paramètres qui vont du développement foliaire de la plante à son fonctionnement racinaire (absorption d'eau du sol).

Le croisement de ces différents paramètres va aboutir à la construction d'un ensemble de scénarios. Un scénario est le croisement entre une station météo, un type de sol, une culture, une matière active, une date et une dose d'application.

C. Etape 2 : Modélisation des scénarios et calcul d'indicateurs

Compte tenu de la variabilité des situations pédoclimatique et des scénarios d'applications de produits phytopharmaceutiques présents sur un territoire, le nombre de scénarios à modéliser peut-être important et représenter un temps de traitement significatif. Pour pallier ce problème, des méthodes de paramétrage et d'automatisation de la chaîne de traitement de données ont été mis au point afin de permettre un traitement en masse des données entraînant ainsi une réduction importante du temps de modélisation.

Types de transferts

Le modèle MACRO 5.2. modélise le transfert de matière active par lixiviation (ESO) et flux de drainage (ESU). En revanche, MACRO 5.2. ne modélise pas les flux de matières actives en ruissellement hortonien, ni en ruissellement par saturation.

Indicateurs de risques

MACRO 5.2. modélise pour chaque scénario d'application, les flux d'eau et les flux de matière active au pas de temps journalier vers le compartiment sous-racinaire. Les modélisations sont répétées sur 10 années de chroniques météorologiques.

Pour chaque scénario, et pour chaque type de transfert (lixiviation et drainage) le résultat des modélisations se présente sous la forme de chroniques journalières sur une période de 10 ans des variables suivantes :

- Flux d'eau (en mm)
- Flux de matières actives (μg)
- Concentration de matière active ($\mu\text{g/L}$)

Pour traduire ces résultats journaliers en indicateurs de risque par scénario, des indicateurs globaux ont été défini afin de caractériser le risque moyen d'un scénario d'application. Selon les transferts étudiés (drainage ou lixiviation) et l'hydrogéologie du secteur, ils sont choisis parmi les indicateurs suivants :

- concentration moyenne pondérée ($\mu\text{g/L}$) aux flux d'eau sur 10 ans de simulation
- fréquence de dépassement du seuil de potabilité sur 10 ans de modélisation, c'est-à-dire la moyenne sur 10 ans du nombre de jours par an pour lesquels la concentration modélisée dépasse le seuil de $0,1 \mu\text{g/L}$.
- concentration maximale journalière ($\mu\text{g/L}$) sur une période de retour statistique d'un an, qui traduit l'intensité des pics des pollution

Selon le contexte hydrogéologique du secteur, l'un ou l'autre des indicateurs cités ci-dessus est choisi. L'indicateur de concentration moyenne sur 10 ans sera utile dans le cas de transferts lents vers la nappe alors que les indicateurs de fréquence de dépassement et de concentration maximale seront plus appropriés pour caractériser le risque de transfert dans le cas de flux rapides (drainage ou contextes karstiques par exemple).

Pour évaluer le risque de transfert des matières actives vers les eaux souterraines en contexte de transfert lent vers la nappe, la grille de correspondance entre l'indicateur « concentration moyenne pondérée aux flux d'eau sur 10 ans de simulation » et le niveau de risque pour la qualité de l'eau captée est donné par le tableau 2.

Tableau 1 : Correspondance entre la concentration moyenne sous-racinaire sur une période de 10 ans et le niveau de risque pour l'eau captée

Correspondence between the average sub-root concentration over a 10-year period and the level of risk

Classe de concentration (µg/l) (MA seule)	Interprétation
< 0,01	Très faible
0,01 – 0,1	Faible
0,1 – 2	Moyen
2,0 – 10,0	Fort
> 10	Très fort

Pour faciliter la lecture des résultats à l'échelle du conseil, le risque de transfert a également été agrégé à l'échelle du produit. Par exemple, pour un produit qui contient deux matières actives :

PPP = matière active A à la dose x g/ha + matière active B à la dose y g/ha ;

Le risque de transfert vers les eaux souterraines d'un produit s'obtient en réalisant la somme des concentrations obtenues à l'échelle des matières actives, soit :

concentration moyenne sous-racinaire PPP = concentration moyenne sous-racinaire matière active A à la dose x g/ha + concentration moyenne sous-racinaire matière active B à la dose y g/ha

Cette somme de concentrations, effectuée pour un même ensemble sol / date / dose des scénarii du produit, est effectuée sur la base d'un même flux d'eau.

Cette concentration sous-racinaire en matières actives du PPP est convertie par la suite en un indicateur de risque selon la grille présentée en tableau 3.

Tableau 2 : Classe de risque pour les sommes de concentration de matières actives

Risk class for concentration sums of active ingredients

Classe de concentration (µg/l) (Somme des MA)	Interprétation
< 0,01	Très faible
0,01 – 0,5	Faible
0,5 – 5,0	Moyen
5,0 – 10,0	Fort
> 10	Très fort

Pour évaluer le risque de transfert des matières actives vers les eaux superficielles par drainage artificiel (transfert rapide), ce sont les indicateurs de concentration maximale annuelle sur une période de retour d'un an et le nombre de jours par an de dépassement de la norme de potabilité qui sont utilisés pour déterminer le niveau de risque (tableau 4).

Tableau 3 : Correspondance entre la fréquence de dépassement de la norme de potabilité, la concentration maximale sur une période de retour d'un an et le niveau de risque pour l'eau de surface

Correspondence between the frequency of the potability standard exceedance, the maximum concentration over a return period of one year and the level of risk for surface water.

	Classes	Concentration maximale sur une période de retour d'un an (µg/l)				
		< 0,01	[0,01 ; 0,1[	[0,1 ; 2[	[2 ; 10[	>10
Nombre de jours moyen par an avec une concentration supérieure à la norme de potabilité	0	Très faible	Très faible			
	< 10		Faible	Moyen	Moyen	Fort
	[10 ;50[		Faible	Moyen	Fort	Fort
	[50 ;100[			Fort	Fort	Très fort
	>100			Fort	Très fort	Très fort

Pour évaluer le risque de transfert à l'échelle du produit phytosanitaire vers les eaux superficielles par drainage, le calcul retient le niveau de risque maximal parmi les différentes matières actives qui composent le produit.

D. Etape 3 : Validation de la vraisemblance des résultats de la modélisation

Afin de valider la vraisemblance des résultats de la modélisation avec MACRO 5.2., 3 étapes de validation des résultats sont réalisées.

La première étape consiste en la confrontation du risque de transfert des matières actives évalué par MACRO 5.2 avec les données de mesure de la qualité des eaux du territoire. Pour réaliser cette étape, une extraction de l'ensemble des données de mesure de la qualité des eaux disponibles sur la plateforme ADES pour le territoire concerné est réalisée. La plateforme ADES (Accès aux Données sur les Eaux Souterraines) réunit les données quantitatives et qualitatives de nombreux partenaires, tels que les Agences de l'Eau, les Directions Régionales de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL), les Agences Régionales de Santé (ARS)¹, les collectivités territoriales (conseils départementaux, régionaux, syndicats de gestion d'aquifères, communautés de communes, parcs naturels), etc.

Les données sont ensuite filtrées pour ne conserver que les résultats d'analyses des substances actives phytopharmaceutiques étudiées et modélisées par MACRO 5.2. La plateforme ADES stocke les résultats de mesure de la qualité des eaux depuis 1990 environ. Toutes les analyses sont conservées pour mener la confrontation (de 1990 jusqu'aux analyses les plus récentes).

Pour chacune des substances actives modélisées et recherchées sur le territoire, plusieurs indicateurs sont calculés :

- période de recherche : dates de première analyse et de dernière analyse
- nombre d'analyses de la matière active et nombre de date de prélèvement pour lesquelles la matière active a été recherchée / nombre de dates de prélèvement total sur la période de recherche
- nombre de quantifications sur la période de recherche
- période des quantifications : date de la première quantification et de la dernière
- nombre de dépassements de la norme de potabilité (0,1µg/L) sur la période de recherche
- moyenne des concentrations mesurées (analyses qualifiées dans le domaine de validité, soit quantifiées)
- fréquence des analyses avec quantification de la substance active : nombre d'analyses avec quantification / nombre d'analyses total

La confrontation des résultats de modélisation avec les mesures de la qualité des eaux consiste ensuite à classer les substances actives selon les catégories suivantes :

¹ données de la base SISE-EAUX, du ministère chargé de la Santé, base alimentée par le contrôle sanitaire, concernant les eaux souterraines captées pour la production d'eau potable (uniquement les données sur les eaux brutes)

- catégorie A : substances actives modélisées par MACRO au moins une fois à risque (moyen, fort ou très fort) et quantifiées au moins une fois sur la période recherche (classe concordante)
- catégorie B : substances actives modélisées par MACRO au moins une fois à risque (moyen, fort ou très fort) et jamais quantifiées sur le territoire (classe non concordante)
- catégorie C : substances actives jamais modélisées à risque fort ou très fort par MACRO et jamais quantifiées sur le territoire (classe concordante)
- catégorie D : substances actives jamais modélisées à risque fort ou très fort par MACRO et quantifiées au moins une fois sur le territoire (classe non concordante)

Le travail d'analyse consiste à expertiser plus finement les substances actives classées dans les catégories B et D pour lesquels une non-concordance a été détectée. Dans le cas de substances actives classées dans la catégorie B, la non-concordance peut s'expliquer par une faible utilisation de la substance active à l'échelle du territoire, une utilisation sur des sols peu vulnérables ou une utilisation récente, qui implique que d'éventuelles mesures et quantifications récentes n'ont pas encore été ajoutées à la plateforme ADES. Dans le cas de substances actives classées dans la catégorie D, la non-concordance peut s'expliquer, si les quantifications sont peu nombreuses et ponctuelles, par des pollutions ponctuelles ou des dérives de pulvérisation. Si les quantifications sont nombreuses (>5) sur le territoire et qu'aucun scénario ne modélise la substance active à risque, des vérifications additionnelles sont menées pour valider le paramétrage de la matière active (Koc et DT50). Si les valeurs paramétrées varient par rapport à certaines références de la littérature, les modélisations sont relancées avec un nouveau paramétrage et les résultats à nouveau analysés. Pour les cas de non-concordance qui subsistent à la suite de ces vérifications, les étapes suivantes de confrontation avec les données du réseau PCQE d'Arvalis (réseau de sites Pratiques Culturelles et Qualité de l'Eau) et d'expertise permettent soit de valider le résultat de la modélisation, soit de l'invalidé. Dans les études réalisées à ce jour, aucun cas de modélisation invalidée n'a été défini.

Les résultats de la modélisation sont ensuite comparés avec les analyses réalisées sur un site ou plusieurs sites PCQE. En effet depuis les années 90, Arvalis étudie les transferts de produits phytopharmaceutiques sur ces sites instrumentés. Ces dispositifs expérimentaux permettent d'acquérir des références techniques et scientifiques sur l'impact des pratiques agricoles sur la qualité de l'eau dans différents contextes pédoclimatiques et différents systèmes de culture. Arvalis dispose ainsi de 145 000 analyses sur 155 matières actives et quelques métabolites dans cinq contextes pédoclimatiques différents (tableau 5).

Tableau 5 : Description des sites expérimentaux PCQE

Description of the PCQE experimental sites

Site	Type de sol	Instrumentation	Représentativité au niveau national (ha)
La Jaillière (44)	limono-argileux hydromorphe drainée ou non	10 parcelles - collecte des eaux de drainage et de ruissellement	2 600 000
Magneraud (17)	argilo-calcaire	14 plaques lysimétriques - collecte des eaux de percolation	660 000
Thibie (Projet Phyt'Eau-Réf - 51)	rendosol sur sol de craie à poches de cryoturbation	32 plaques lysimétriques - collecte des eaux de percolation	363 000
Lyon Saint-Exupéry (69)	alluvion fluvio-glaciaire	26 plaques lysimétriques - collecte des eaux de percolation	133 000
Geispitzen (68)	limon battant	3 parcelles - collecte des eaux de ruissellement	50 000

Ces deux étapes complétées par l'expertise d'Agrosolutions et d'Arvalis permettent de valider et/ou de nuancer les résultats de la modélisation.

RESULTATS

Au cours de la campagne 2017-2018, un projet pilote a été mené sur une Aire d'Alimentation de Captage (AAC) du nord de la France. Il était à l'initiative d'une coopérative agricole qui souhaitait effectuer un diagnostic des risques de transfert des produits phytopharmaceutiques afin d'adapter son conseil auprès des agriculteurs du territoire et ainsi réduire le risque de contamination des eaux souterraines. Cette coopérative a ainsi fait appel à Agrosolutions et Arvalis pour mettre en place une démarche Prec'Eau®.

L'AAC étudiée présente une superficie d'environ 10 000 hectares dont environ 6500 hectares de SAU, soit 65 % de la surface totale. Le territoire comporte environ 10 types de sol différents, avec un profil pédologique dominant constitué de limons profonds parfois hydromorphes. On note par ailleurs la présence de sols plus superficiels représentés par des rendosol issus de la craie. Neuf cultures principales sont présentes sur l'AAC : blé tendre, orge d'hiver, colza, betterave, pomme de terre, maïs, lin textile de printemps, pois protéagineux et orge de printemps.

Dans cette étude, le croisement de l'ensemble des données d'entrée (climat, type de sol, culture, matière active, dose et date d'application) a abouti à la construction de plus de 30 000 scénarios à modéliser. Les résultats de la modélisation ont ensuite été validés par confrontation avec les analyses d'eau issues du réseau de surveillance de la qualité de l'eau sur l'AAC et avec les résultats issus du réseau d'expérimentation PCQE d'Arvalis.

Sur les 148 substances actives modélisées dans l'étude, seules 66 sont recherchées régulièrement dans les mesures de surveillance de la qualité des eaux réalisées sur le territoire. La répartition des 66 substances actives selon les catégories définies précédemment est présentée dans le tableau 6.

Tableau 6 : Confrontation entre les résultats de modélisation et les mesures de surveillance de la qualité de l'eau
Confrontation between modeling results and water quality monitoring measures

Catégorie	Signification	Nombre de substances actives concernées	%
A	Substance active modélisée par MACRO au moins une fois à risque (moyen, fort ou très fort) et quantifiée au moins une fois sur la période recherche (classe concordante)	13	20 %
B	Substance active modélisée par MACRO au moins une fois à risque (moyen, fort ou très fort) et jamais quantifiées sur le territoire (classe non concordante)	9	14 %
C	Substance active jamais modélisée à risque (moyen, fort ou très fort) par MACRO et jamais quantifiée sur le territoire (classe concordante)	44	67 %
D	Substance active jamais modélisée à risque (moyen, fort ou très fort) par MACRO et quantifiée au moins une fois sur le territoire (classe non concordante)	0	0 %

80 % des substances actives modélisées pour lesquelles des mesures de la qualité des eaux existent sur le territoire, présente des résultats de risques modélisés par MACRO 5.2. concordants avec les analyses du territoire. Seules 9 substances actives sont modélisées à risque par MACRO 5.2. sur au

moins un type de sol sans être quantifiées dans les points de mesure de la qualité des eaux. Pour ces substances actives, l'écart entre le résultat de modélisation et les analyses peut s'expliquer par l'écart entre les pratiques réelles et les scénarios modélisés. En effet, les scénarios modélisés sont parfois fictifs (matière active jamais appliquée sur un type de sol qui entraîne un risque plus élevé) ou peu déployés sur le territoire (très peu de surfaces concernées par l'application de la substance active).

Toutes substances actives confondues, les résultats de la modélisation montrent une différence importante du risque de transfert moyen selon le type de sol. Les limons profonds non hydromorphes présentent globalement peu de risque de transfert alors que les sols superficiels comme les rendosols sont bien plus vulnérables.

DISCUSSION

Les résultats d'une démarche Prec'eau® permettent de cibler les types de sols et les matières actives qui présentent le plus de risque pour la qualité de l'eau à l'échelle du territoire. Les acteurs du conseil sont ainsi en mesure d'identifier des voies de progrès et de proposer, si nécessaire, des stratégies ou programmes de protection des cultures alternatifs pour les parcelles ou les exploitations situées sur des secteurs à risque : modification de la date d'application, réduction de la dose ou encore changement de substance active. Les programmes alternatifs doivent être élaborés de façon concertée avec les agriculteurs concernés afin de lever les freins à leur mise en œuvre et de trouver un compromis entre la réduction des impacts agricoles, les risques de résistance sur les parcelles et la préservation de l'efficacité technico-économique de l'exploitation.

Intégré plus systématiquement dans le conseil auprès des agriculteurs, ce type de démarche permettra ainsi de contribuer à la préservation des ressources en eau.

BIBLIOGRAPHIE

Devillers, J., Farret, R., Girardin, P., Rivière, J.-L., Soulas, G., 2005. *Indicateurs pour évaluer les risques liés à l'utilisation des pesticides*. Lavoisier, Londres, Paris, New-York.

Keichinger, O., Benoit, P., Boivin, A., Bourrain, X., Briand, O., Chabert, A., Domange, N., Dubus, I.G., Gouy, V., Guichard, L., Pitrel, M., Pleyber, E., Roulier, S., Zahm, F., Bockstaller, C., 2013. *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 28, 1-13.

Larsbo M., Jarvis N., 2003. *MACRO 5.0. A model of water flow and solute transport in macroporous soil. Technical description*. Swedish University of Agricultural Sciences, 52 p.

Pierlot F., Marks-Perreau J., Réal B., Carluier N., Constant T., Lioeddine A., Van Dijk P., Villerd J., Keichinger O., Cherrier R., Bockstaller C., 2017. *Predictive quality of 26 pesticide risk indicators and one flow model: A multisite assessment for water contamination*. Science of the Total Environment 655–665