

Indicateurs et diagnostic de la pollution phytosanitaire diffuse d'origine agricoles: construction d'un indicateur de risque de toxicité environnementale (IRTE)

Ayadi Habiba (1, 2), Le Grusse Philippe (1), Fabre Jacques (4), Mandart Elisabeth (1, 3), Bouaziz Ahmed (5), Bord Jean-Paul (2)

(1) CIHEAM-IAMM : Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier, 3191 Route de Mende, 34093 Montpellier cedex 5 - ayadi@iamm.fr; (2) UM3, Route de Mende, 34199 Montpellier cedex 5 ; (3) CNRS, 1919 Route de Mende 34293 Montpellier cedex 5 ; (4) DIATAE, 3191 Route de Mende, 34093 Montpellier cedex 5 ; (5) IAV Hassan II, BP 6202-Instituts, 10101-Rabat, MAROC.

1 - Introduction

L'augmentation des problèmes de pollution phytosanitaire diffuse engendrant une dégradation des écosystèmes naturels (Carson R., 1962) a entraîné le développement d'un grand nombre d'indicateurs d'évaluation des risques environnementaux associés aux phytosanitaires (Samuel, O. et *al.*, 2007., Duchesne, L. et *al.*, 2003). L'état des lieux des indicateurs disponibles ainsi que des domaines qu'ils couvrent a été fait par plusieurs chercheurs (Duchesne, L. et *al.*, 2003 ; Devillers, J. et *al.*, 2005 ; Clergué B., et *al.*, 2005 ; Levrel H., 2006 ; Zahm F. et Gassiat A., 2009). En revanche les critères de choix d'un indicateur selon Duchesne et *al.* 2003 et Zham et Gassiat (2010) ont montré que les indicateurs permettant une évaluation globale des risques des phytosanitaires au niveau de différentes échelles spatiales sur différents types d'écosystèmes ne sont pas très nombreux. En effet, l'étude faite par Devillers et *al.*, 2005 a montré que le compartiment « eaux de surfaces » intéressent 80% des indicateurs étudiés, le compartiment « eaux souterraines » 58 %, le compartiment sol 35 % alors que le compartiment « air » ne présente que 19%. Le même auteur précise que ces indicateurs ne s'appliquent généralement que sur une seule échelle spatiale ou à un organisme vivant et ceux utilisés au niveau du bassin versant sont rares ou ont été développés dans un contexte particulier afin de répondre à un objectif précis (Devillers, J. et *al.*, 2005). Les acteurs de terrain (agriculteurs, gestionnaires de l'eau, etc) ont besoin d'indicateurs génériques, simples d'utilisation à différentes échelles spatiales (de la parcelle culturale au bassin versant) et modulables suivant les conditions de l'environnement récepteur.

Le présent travail décrit la conception d'un indicateur d'évaluation des risques liés aux phytosanitaires sur les écosystèmes naturels et l'environnement. Il s'agit d'un Indicateur de Risque de Toxicité Environnementale (IRTE¹), conçu en se basant sur des travaux norvégiens (NAIS, 2004), québécois (Samuel, O. et *al.*, 2007), du groupe de travail européen FOCUS (FOCUS, 1997 et 2003) et de la commission européenne sur l'homologation des phytosanitaires (CE, 1994). Cet indicateur se veut générique, modulable suivant les pratiques phytosanitaires, l'échelle spatiale et les conditions de l'environnement récepteur. Il permet d'évaluer a priori et a posteriori les risques de toxicité sur différents organismes vivants spécifiques des compartiments sol, air et eaux, ainsi que le comportement des molécules phytosanitaires dans l'environnement par mobilité, persistance et bioaccumulation.

2 - Conception de l'IRTE

L'IRTE est un indicateur à notation, qui prend en compte comme données d'entrées plusieurs variables critiques telles que les caractéristiques de la matière active (propriétés physicochimiques et écotoxicologiques), de la préparation commerciale (concentration de la matière active, dose appliquée..), du lieu d'application (plein champs, sous serre...) et du type

¹ Logiciel EToPhy dépôt APP n° IDDN.FR.001.060017.000.D.C.2011.000.31500

de culture (culture basse, arboriculture...). Il est également conditionné par l'environnement récepteur : facteur d'interception de la culture, potentiel de dérive, de ruissellement et de drainage, profondeur de pénétration du pesticide, densité apparente et profondeur de la colonne d'eau et de la colonne des sédiments (FOCUS 1997 et 2003). Il attribue à ces variables une note avant de les intégrer au calcul à partir d'un ratio toxicité/exposition (CE, 1994).

A cette fin une délimitation de classes de Ratios Toxicité/Exposition (RTE) a été réalisée en se basant sur le tableau des Ratios Toxicité/Exposition (RTE) utilisé par la commission européenne dans le cadre d'homologation des produits phytosanitaires (voir tableau 1).

Tableau 1 : Ratios Toxicité/Exposition de références définies réglementairement dans la directive d'homologation des produits

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

Avec : CSEO: Concentration Sans effet Observé d'une matière active ; DL50 et CL50: respectivement Dose et Concentration Létales entraînant la létalité de 50 % d'une population expérimentale, et DH m.a : Quantité de matière active (m.a) contenue dans une dose homologuée (exprimée g/ha).

Les valeurs de toxicités (CL50, DL50, CSEO) sont déterminées à partir de la base européenne Footprint. Elle a été intégrée directement dans le logiciel de calcul de l'IRTE « EtoPhy ».

Les valeurs de l'exposition, exprimées par les concentrations prévisibles dans l'environnement (CPE), sont déterminées par les méthodes du groupe FOCUS. Pour déterminer l'exposition à laquelle les organismes cibles sont soumis, il est nécessaire de calculer les concentrations initiales au jour j (après l'application) et les concentrations à court termes après 24 heures, 2 et 4 jours et à long terme après 7, 14, 21, 28, et 42 jours.

Pour l'environnement « sol », la valeur du CPEsol est calculée selon la méthode du groupe de travail européen FOCUS développée en 1997 (FOCUS, 1997):

$$CPE_{solj} = CIP_{sol} \times (1 - e^{-nkt}) / kt$$

Avec CPEsol : concentration prévisible dans l'environnement sol; CIPsol : concentration initiale prévisible dans l'environnement sol ; j : le nombre de jour après l'application ; n : nombre d'application ; K : coefficient de dégradation de la matière active donné par: $\ln 2 / DT50 = 0.693 / DT50$; t : temps entre passages de traitements en 365 jours et n : nombre d'applications

L'exposition induite par l'environnement « eau » correspond à la concentration de la matière active prévisible dans une ressource d'eau (lac, rivière, ...) : CPEeau. Le calcul des concentrations maximales prévisibles dans l'environnement aquatique (CPE) est fait par adaptation de la méthode « Step 1-2 » du groupe de travail européen FOCUS développée en 2003 (FOCUS, 2003).

$$QMP_esu(j) = \left\{ \sum_{j=j_{max}+1}^{j_{max}+i} QMP_esu_24(j) \right\} / i$$

$$QMP_SED(j) = \left\{ \sum_{j=j_{max}+1}^{j_{max}+i} QMP_SED_24(j) \right\} / i$$

Avec $QMP_SED_24(j)$: concentration Moyenne de Phytosanitaires dans les sédiments le jour j (ug / kg) ; $QMP_esu(j)$: Quantité Moyenne de Phytosanitaires pondérée dans l'eau de surface au cours des jours j (ug / L) et $QMP_SED(j)$: Quantité Moyenne de Phytosanitaires pondérée dans les sédiments au cours des jours j (ug/ L) ; $QMP_esu_24(j)$: concentration de phytosanitaires moyenne en eau de surface le jour j (mg / L) ; j : nombre de jours de simulation ; i : nombre de jours après le maximum absolu ; j_{max} : journée pour laquelle le maximum absolu de la concentration dans l'eau de surface (ou les sédiments) a été calculé ;

L'IRTE calcule six variables de sortie représentant les risques potentiels d'une matière active sur les organismes vivants et son comportement dans l'environnement. Les risques potentiels sont calculés pour trois types d'organismes vivants : les invertébrés terrestres (vers de terre et abeille domestique), les oiseaux herbivores (Colin de Virginie) et granivores (canard Colvert) et les organismes aquatiques (poissons, daphnies, algues et plantes aquatiques). Le comportement dans l'environnement est déterminé par la persistance dans le sol, la mobilité et la bioaccumulation des molécules phytosanitaires. Ces variables peuvent être considérées comme des IRTE par organisme ou compartiment (voir figure 1).

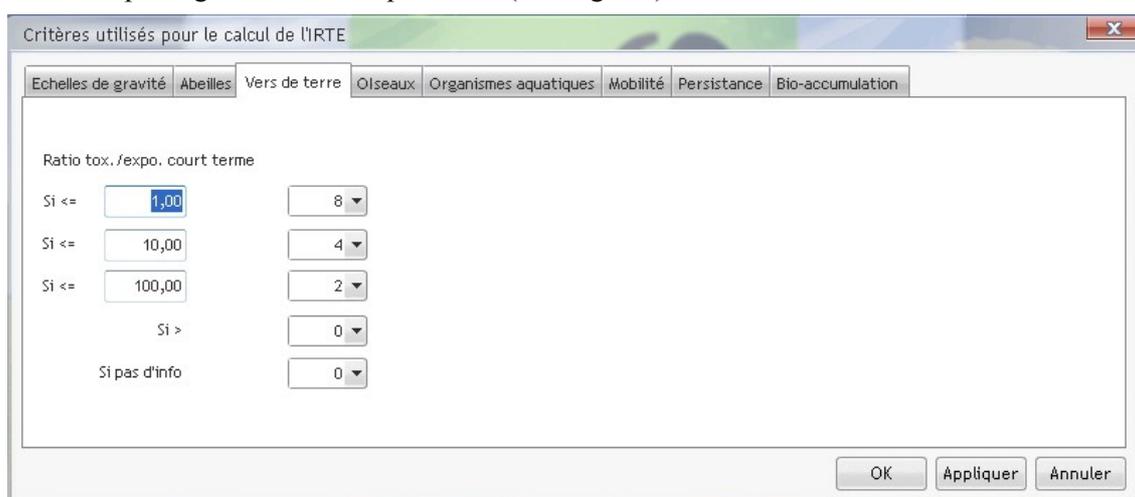


Figure 1: une interface des critères utilisés pour le calcul de l'IRTE par organisme ou compartiment

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

$$\text{Equation générale 1: } IRTE_{aigu\ m.a} = [1.75*(Ta+Oaou\ Oct)+Aa+M+P+B+1]^2$$

$$\text{Equation générale 2: } IRTE_{chronique\ m.a} = [1.75*(Tch+Och)+Ach+M+P+B+1]^2$$

$$\text{Equation générale 3: } IRTE_{globale\ m.a} = [1.75*(Ta+Oaou\ Oct)+(Tch+Och)+Aa+ Ach+M+P+B+1]^2$$

Avec Ta , Oa et Aa : variables désignant le risque potentiel de toxicité aiguë d'une matière active sur respectivement les organismes terrestres, les oiseaux et les organismes aquatiques; Oct : Variable représentant le risque potentiel de toxicité à court terme d'une matière active sur les

oiseaux ; Tch, Och et Ach: Variables représentant le risque potentiel de toxicité chronique d'une matière active sur respectivement les organismes terrestres, les oiseaux et les organismes aquatiques.

Pour avoir une plus grande distribution des valeurs et mettre en évidence les phytosanitaires à fort risque potentiel, la somme des variables est élevée au carré. Dans l'évaluation des risques une plus grande importance est portée aux organismes terrestres du fait que ce sont les plus directement exposés lors d'un traitement. Les variables T et O sont donc multipliés par 1.75. Cette valeur multiplicative porte donc à 60% les impacts écotoxicologiques de l'indicateur IRTE et à 40% les variables physico-chimiques (M, P, B) relatives au devenir environnemental (Samuel, O. et *al.*, 2007.).

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

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

Le calcul de l'IRTE aigu, l'IRTE chronique et l'IRTE global d'un territoire (parcelle culturale, exploitation agricole, bassin versant, ...) se fait par pondération de l'IRTE_{p.c} par le nombre de traitements dans une période donnée (saison, campagne agricole), la surface traitée, le type de sol, et le coefficient de vulnérabilité intrinsèque de la parcelle culturale. Le coefficient de vulnérabilité au transfert des phytosanitaires est un score de l'évaluation d'un risque parcellaire de contamination des eaux déterminé suivant la méthode SIRIS² (Aurrousseau P. et *al.*, 1998).

Dans le modèle de calcul « EtoPhy », l'organisation des données se fait sous forme d'arborescence de dossiers globaux d'exploitations et de sous dossiers par parcelles culturales (voir figure 2)

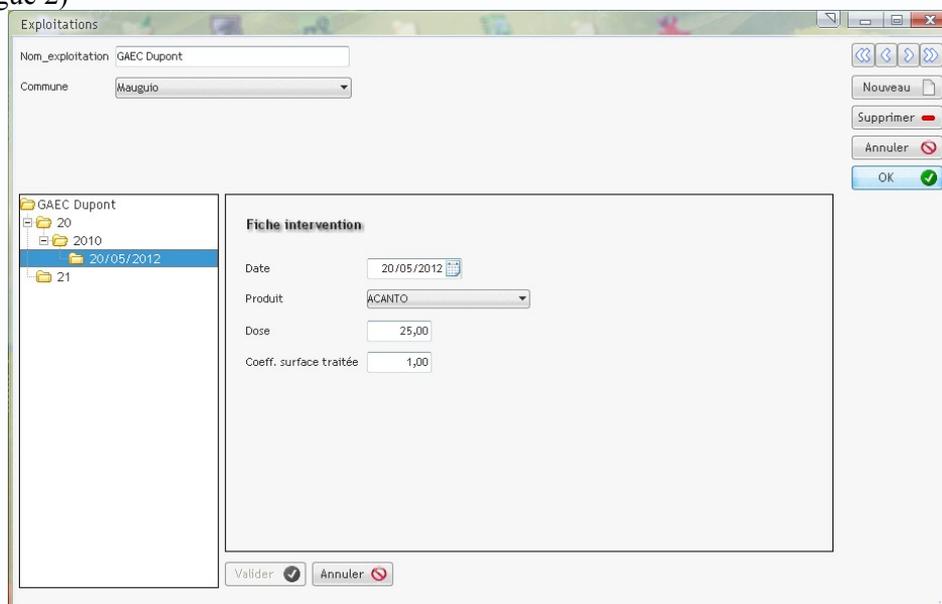


Figure 2 : Organisation des données concernant les exploitations et les parcelles dans EtoPhy

² SIRIS : Système d'Intégration des Risques par Interaction des Scores

2 - Diagnostic de la pollution phytosanitaire diffuse : Application et calibrage

L'IRTE a pour objectif d'être utilisé comme outil pour la gestion des assolements et des pratiques phytosanitaires dans l'espace et dans le temps en fonction de la localisation géographique des cultures et de la vulnérabilité du milieu récepteur à la pollution phytosanitaire diffuse. Cet indicateur d'évaluation de la toxicité environnementale spatialisée doit permettre de mettre en exergue l'iniquité spatiale afin de pouvoir intégrer ce paramètre dans la réflexion sur l'application des politiques publiques.

Dans le cadre du plan EcoPhyto 2018, et suite à un APR pesticide, L'IRTE est actuellement testé dans une région du sud-est de la France particulièrement vulnérable et fragile : le bassin versant de l'étang de l'Or, zone à agriculture intensive (voir figure 3) en amont d'une lagune Ramsar, classée à haut risque en terme de pollution phytosanitaire.

Pour renseigner le modèle de calcul de l'IRTE, un projet de Système d'Information Géographique (SIG) a été développé. L'objectif de ce projet est la construction d'une base de données géo-référencée permettant une description détaillée de l'agriculture d'un territoire générant de la pollution phytosanitaire diffuse, ainsi que l'analyse spatiale des caractéristiques du milieu récepteur (pente, exposition, distance par rapport à une source d'eau,...). A cette fin plusieurs sources d'informations ont été mobilisées: des cartes topographiques de l'Institut Géographie National (IGN), les bases de données sous format vecteur de l'occupation des sols Corine Land Cover de 2006³, et de l'Agence du service du Paiement pour les cultures subventionnées à l'échelle de la parcelle culturale (RPG)⁴, la base de données du réseau hydrographique permanent de l'Agence de l'eau du Rhône Méditerranéen et Corse (ARMC)⁵ et Un Modèle Numérique Terrain (MNT) d'une résolution horizontale de 25m (Institut Géographie National), la base de données des sols de Languedoc-Roussillon gérée par l'Association L-R SIG et la Maison de la Télédétection.

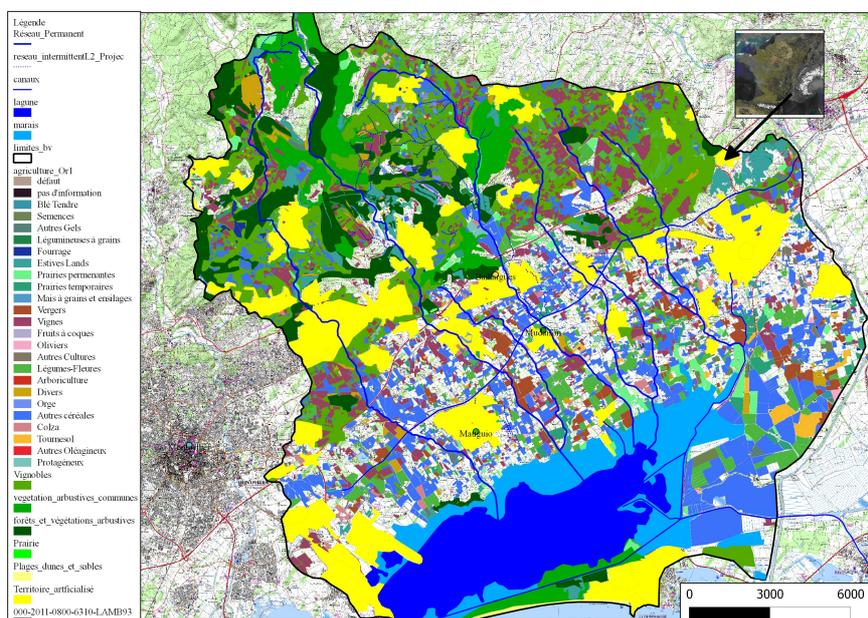


Figure 3 : Agriculture intensive en amont de l'étang de l'Or (Sources des données : IGN BD Carthage, Corine Land Cover 2006, Agence du service du Paiement RPG, Agence de l'eau RMC, Réalisation : Ayadi, 2012)

³ Site Corine Land Cover : <http://www.stats.environment.developpement-durable.gouv.fr/bases-de-donnees/occupation-des-sols-corine-land-cover/telechargement-des-donnees/telechargement-des-donnees-france-metropolitaine.html>

⁴ Site de l'Agence de Service et de Paiement: www.asp-public.fr

⁵ Site ARMC : ftp://mad_donnees_sdage_dce:MaD4Dce2@ftp.eaurmc.fr/.

2 - Conclusion

L'IRTE est un outil de diagnostique et d'évaluation à priori des risques des phytosanitaires sur la biodiversité et l'environnement. Il se décline en plusieurs sous indicateurs (IRTE aigu, IRTE chronique et IRTE global). Il peut être calculé pour une espèce, un compartiment naturel ou pour un écosystème au niveau d'un territoire. Il s'agit aussi d'un outil d'aide à la décision dans le choix des assolements et de leurs répartitions dans l'espace pour une gestion de l'iniquité spatiale. Il sert aussi d'outil d'évaluation à postériori des mesures d'atténuation du risque.

Mots-clés : Indicateur; Pollution phytosanitaire diffuse, IRTE, Politiques publiques, EcoPhyto

Références Bibliographiques

- Aurousseau P., Gascuel-Oudou C. & Squidant H., 1998.** Eléments pour une méthode d'évaluation d'un risque parcellaire de contamination des eaux superficielles par les pesticides. Etude et gestion des sols, 5, 3, pp ; 143-156
based on basal area growth pattern. Canadian Journal of Forest Research, 33 pp: 2074-2080.
- Carson R., 1962.** *Silent Spring*, Boston, *Houghton Mifflin*, (réimprimer. Mariner Books, 2002) (ISBN 0-618-249060) Traduction française éditions wildproject. 2009.
- Clergué B., Amiaud B., Pervanchon F., Lasserre-Joulin F., Plantureux S., 2005.** Biodiversity: function and assessment in agricultural areas. A review. Agronomy for Sustainable Development 25, 1-15.
Commission européenne (CE), 1994. Directive du Conseil du 15 juillet 1991 concernant la mise en marché des produits phytopharmaceutiques, 91/414/CEE, 207 p.
- Devillers, J., R. Farret, P. Girardin, J.-L. Rivière, et G. Soulias., 2005.** Indicateurs pour évaluer les risques liés à l'utilisation des pesticides Ed Tec et Doc.
- Duchesne, L., R. Ouimet et C. Morneau, 2003.** Assessment of sugar maple health
- FOCUS, 1997.** Soil persistence models and EU registration. The final report of the work of the Soil Modelling Work group of FOCUS (FORum for the Co-ordination of pesticide fate models and their Use). 77 p.
- FOCUS, 2003.** Appendix I Steps 1-2 in FOCUS manual. 28 p. <http://viso.ei.jrc.it/focus/>
- Levrel H., 2006.** Construire des indicateurs durables à partir d'un savoir issu de multiples pratiques : le cas de la biodiversité. Annales des Mines – Série Gérer & Comprendre, n°85, pp.51-62.
- Norwegian Agricultural Inspiration Service (NAIS), 2004.** Pesticides Rik Indicators for Heath and Environment – Norway, 12 p.
- Samuel, O., Dion, S., ST-Laurent, L., April, M. H., 2007.** Indicateur de risque des pesticides du Québec– IRPeQ – Santé et environnement Québec. ISBN 978-2-550-48928-3 (PDF) <http://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/602-IndicateurDeRisqueDesPesticides.pdf>
- Zahm F., Gassiat A., 2009.** Les indicateurs d'évaluation des mesures agro-environnementales : retour d'expérience et conséquences du nouveau cadre communautaire, Colloque 9^{ème} journées Françaises de l'évaluation, SFE, Marseille, 14 p.
- Zahm F., Gassiat A., 2010.** Mobiliser des indicateurs pour évaluer les effets propres des mesures agro-environnementales en France, Revue d'Économie Régionale et Urbaine, n° 3, pp. 439-471.