

Colloque : Contaminations, environnement, santé et société. De l'évaluation des risques à l'action publique

Colloque international, 4-6 juil. 2018, Toulouse (31)

Session 2 - De l'aléa au risque : la contribution des différentes disciplines pour une compréhension et une évaluation intégrée du risque

Evaluation des risques de contamination des eaux de surface par les produits phytosanitaires. Application à un bassin versant viticole (projet PhytoCOTE).

Nawel AOUADI¹, Francis MACARY¹, Juliette GAILLARD², Marie-Hélène DEVIER², Hélène BUDZINSKI²

¹ UR ETBX Environnement, territoires et infrastructures
IRSTEA, 50 avenue de Verdun, F-33612 Gazinet Cestas Cedex

² UMR 5805 EPOC, Equipe LPTC
Université de Bordeaux - CNRS, 351 Cours de la Libération, F-33405 Talence Cedex

1. Problématique et enjeu

L'évolution de la production qualitative viticole, s'est faite durant plusieurs décennies sous l'effet de multiples facteurs : meilleurs choix de porte-greffes adaptés à une maîtrise de la vigueur des cépages, eux-mêmes issus de clones sélectionnés ; techniques culturales favorisant le bon état sanitaire des raisins (effeuillage, maîtrise de la végétation, enherbement le plus souvent un rang sur deux pour diminuer la vigueur) ; contrôle des pathogènes cryptogames et ravageurs des plantes par l'usage de produits phytosanitaires : fongicides, insecticides, mais aussi la gestion de la concurrence des adventices¹ concernant les éléments minéraux, l'eau, l'espace de développement sous le rang en vigne, par l'usage d'herbicides, dont le glyphosate². En mode conventionnel, l'usage des produits chimiques de synthèse, malgré un mode raisonné assez fortement répandu est important : l'Indice de fréquence de traitement (IFT) qui est un indicateur de pression phytosanitaire, représente le nombre de doses homologuées appliquées / ha sur une année agricole. Cet IFT par exemple en viticulture bordelaise est voisin de 16 (4 à 5 pour les céréales paille).

Ces pesticides, faciles à utiliser et très efficaces, ont été appliqués durant cette période de façon systématique suivant des recommandations, généralement à l'encontre de considérations agronomiques et écologiques. Mais l'usage bénéfique de ces molécules pour le contrôle des pathogènes et adventices concurrentes de la vigne trouve aussi ses conséquences dans la contamination des écosystèmes et particulièrement les hydrosystèmes, ainsi que sur la santé humaine. De multiples recherches et études en

¹ Adventice : mauvaise herbe concurrentielle pour les plantes cultivées pour l'eau et les nutriments.

² Glyphosate : matière active très soluble dans l'eau ainsi que son métabolite AMPA. Il est notamment commercialisé sous la marque Roundup.

témoignent largement à travers le monde (Van der Werf, 1996 ; Beernaerts et al., 2001; Barriuso, 2004 ; Auberthot et al., 2005 ; Centofanti et al., 2008 ; Hildebrandt, 2008 ; OCDE, 2008).

Les transferts des pesticides d'origine agricole essentiellement depuis les parcelles culturales vers les cours d'eau sont connus (*Arousseau, 1998; Carluet et Gouy, 2001 ; Gouy et Gril, 2001; Grebil et al., 2001; Voltz et Louchart, 2001; Calvet et al., 2002; Gril et Lacas, 2004*).

La toxicité des molécules pour les utilisateurs, les consommateurs, et les milieux biotiques est désormais avérée (*Barriuso, 2004; Aubertot et al., 2005; Baldi et al., 2012, 2014*).

Les pesticides ont ainsi des effets délétères (directs et indirects) sur de nombreux organismes non cibles des milieux récepteurs. Même pour des contaminations faibles (en termes de concentrations), des impacts sur le biote sont souvent observés, et d'autant plus marqués que les molécules se trouvent généralement dans le milieu sous forme de mélanges, ayant des effets souvent additifs ou synergiques.

Malgré la mise en œuvre de politiques publiques pour réduire les intrants phytosanitaires, les constats de la pollution des milieux aquatiques régulièrement publiés suite aux synthèses des différents acteurs sur le terrain (Agences de l'eau, Agences Régionales de santé) présentent un bilan très lourd de cette situation récurrente depuis les dernières décennies (*CGDD, 2013*).

La présence des pesticides est généralisée dans les eaux de surface (91% des points de mesure en contiennent) et dans les eaux souterraines (pour 55% des points) sur l'ensemble du territoire métropolitain. Ainsi, 36% des points en eaux de surface ont une qualité moyenne à mauvaise (*CE, 2000*), et 25% pour les eaux souterraines présentent une qualité médiocre à mauvaise (*CGDD, 2010, 2017*).

Faisant suite au Grenelle de l'Environnement (*MEDDTL, 2007*), le ministère français de l'agriculture a mis en place le programme Ecophyto (*MAP, 2008*) destiné à l'origine à diminuer de 50% en 10 ans la quantité de pesticides agricoles utilisés en France, puis révisé en 2015 (*MAAF, MEDDE, 2015*). En fait ces quantités n'ont cessé d'augmenter jusqu'en 2015, puis amorcent une tendance à la baisse, notamment pour les fongicides (*CGDD, 2017*). Une nouvelle version du plan a été proposée : l'objectif de réduction de moitié de l'utilisation de pesticides par l'agriculture française est maintenu mais il est reporté à l'horizon 2025 avec une étape intermédiaire qui vise une baisse des pesticides de 20 à 25%.

Une telle orientation en vue de passer d'un système global productiviste à un système plus durable nécessite de profondes mutations dans les pratiques de protection phytosanitaire et de façon plus globale, de production (*Butault et al., 2010 ; MAAPRAT-MEDD, 2011*). Fin 2012, le Ministre en charge de l'Agriculture a lancé le projet agro-écologique pour la France en ciblant le retour de l'agronomie au cœur des processus, en relation avec la prise en compte de l'Écologie afin de valoriser au mieux les agroécosystèmes (*MAAF, 2012*).

2. La notion de risque

De façon générale, la définition suivante est assez fréquente dans la littérature : "Un risque est la probabilité d'occurrence d'un effet nocif résultant de l'exposition d'une entité

(hommes, population, écosystème) à un danger qui peut être un agent physique, chimique ou une action quelconque" (Calvet, 2002).

Le risque résulte du croisement entre un phénomène aléatoire et la vulnérabilité d'un élément considéré, face à un enjeu. Dans le cas des risques naturels, l'aléa (ou danger) représente le phénomène naturel (inondation, avalanche,...) apprécié par sa fréquence et ses descripteurs physiques. Les enjeux représentent les personnes, biens, activités, patrimoine, susceptibles d'être affectés par un phénomène naturel. La vulnérabilité exprime le niveau d'effet prévisible du phénomène sur les enjeux. Ce concept peut être appliqué à de nombreux domaines, dont celui de l'agro-environnement (où un des enjeux est par exemple la qualité des eaux superficielles en vue de leur usage pour l'alimentation humaine et animale).

Les travaux du CORPEN³ (2003) ont permis d'arrêter une terminologie spécifique à la question des risques agro-environnementaux (AE). Elle concerne notamment les effets des pratiques agricoles sur la qualité des eaux. Ainsi, un *potentiel de contamination* permet d'estimer la possibilité d'altération des usages. Ce potentiel dépend de la conjonction entre d'une part la vulnérabilité intrinsèque d'un milieu (c'est à dire la possibilité de ce milieu d'être atteint par des polluants, sans préjuger de l'intensité de cette altération) et d'autre part, la pression exercée par des activités anthropiques sur le milieu, dont les pratiques agricoles (excédents azotés, produits phytosanitaires...). Les enjeux environnementaux retenus dans notre champ de recherche concernent la ressource en eau d'un point de vue qualitatif. La confrontation entre le potentiel de contamination et ces enjeux environnementaux, constitue *le risque de contamination* des eaux (Fig. 1).

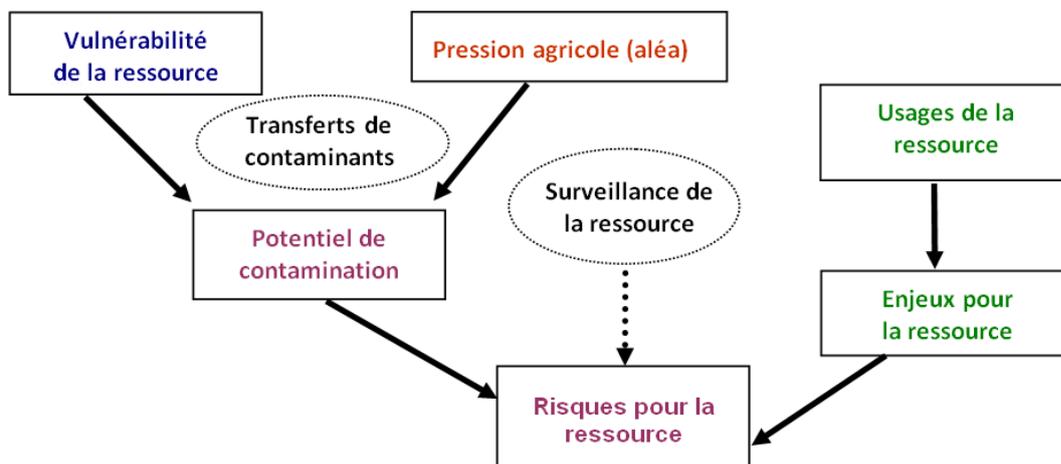


Figure 1. Modèle conceptuel d'évaluation des risques agro-environnementaux pour la ressource en eau (Macary, 2013, d'après CORPEN, 2003)

³ CORPEN : Comité d'orientation pour des pratiques respectueuses de l'environnement

3. Le projet PhytoCOTE

Dans ce contexte, le projet pluridisciplinaire PhytoCOTE, émanation du laboratoire d'excellence en sciences de l'environnement LabEx COTE de l'université de Bordeaux et Instituts de recherche associés a été mis en œuvre en 2015 pour une durée de cinq ans.

Ce projet pluridisciplinaire (agronomie, hydrobiologie, chimie environnementale, écotoxicologie, économie) vise à comprendre les risques de contamination des écosystèmes par les pesticides utilisés en viticulture, et les capacités de changement de pratiques. Ainsi, les études portent sur l'usage des produits phytosanitaires dans les agrosystèmes viticoles, leurs transferts dans les écosystèmes connexes (eau, air, sol), leur bioaccumulation et leur potentiel toxique chez les organismes aquatiques. Le site d'étude est localisé dans le Blayais, région viticole située sur la rive droite de l'estuaire de la Gironde.

La structuration est faite en trois volets :

- Agro-environnement : Analyse de l'agroécosystème ; connaissance des pratiques viticoles : évaluation des risques de transfert des pesticides vers les eaux de surface ; évaluation des performances des systèmes viticoles.
- Chimie de l'environnement et écotoxicologie : Suivi des pesticides dans le sol et biodisponibilité ; transferts et impacts dans l'air, l'eau, le sol et le biote ; évaluation du potentiel toxique.
- Agro-économie : Analyse de la prise de décision des applications phytosanitaires ; évaluation bioéconomique de scénarii de changements de pratiques phytosanitaires.

L'analyse de la cartographie des risques, de la concentration en pesticides, de la modélisation des modes de conduite viticole (conventionnel, agrobiologie, agroécologie,...) et du comportement décisionnel des agriculteurs face aux choix des méthodes de protection phytosanitaire, devrait permettre d'établir des scénarii de changements de ces pratiques. Le but *in fine* est de proposer aux viticulteurs des mesures concrètes de nature agroécologiques pour une réduction des usages de ces produits phytosanitaires et d'analyser comment ces mesures pourraient être influencées par les politiques publiques.

Ce papier présente un focus sur le volet agro-environnement et plus particulièrement sur l'évaluation des risques de contamination des eaux de surface par les pesticides utilisés en viticulture.

4. Méthode mise en œuvre pour évaluer les risques de contamination des eaux de surface

Dans le cadre du projet PhytoCOTE, suivant le cadre conceptuel précédent de l'approche du risque en agro-environnement, nous avons mis en œuvre une méthode d'évaluation multicritère de la contribution de parcelles agricoles/viticoles au risque de contamination des eaux de surface, appliquée au bassin versant expérimental de Marcillac (850 ha), dans le Blayais à partir de plusieurs critères d'importance.

Les méthodes d'analyses multicritères d'aide à la décision (AMCD) sont utilisées pour assister un/des acteur(s) dans la prise de décisions et organiser au mieux les différents

critères et paramètres à prendre en compte (Roy, 1985). Bien qu'initialement développées pour résoudre des problèmes de décisions d'ordre économique, financier, ou d'aménagement du territoire, les méthodes d'AMCD sont maintenant utilisées dans de nombreux cas, notamment pour des questions environnementales (Maystre et al., 1994 ; Laaribi, 2000 ; Greene et al., 2011 ; Macary et al., 2010, 2013, 2014). Un atout majeur de ce type d'analyse est sa capacité d'intégrer aussi bien des données quantitatives que qualitatives.

Nous avons mobilisé la méthode d'analyse multicritère pour l'aide à la décision (AMCD), ELECTRE-TRI C (Almeida-Dias et al., 2010) couplée à un Système d'Information Géographique (SIG) afin de pouvoir traiter l'information spatialisée, et restituer les niveaux de risque pour chaque parcelle via une cartographie spécifique. L'évaluation des performances de chaque parcelle pour chaque critère est notée dans une matrice des performances. Elle sert de base de données pour procéder à l'analyse. L'objectif de la méthode est d'affecter chacune des parcelles du BVE dans l'une des cinq catégories de risque prédéfinies suivant des valeurs de référence indiquées pour chaque critère. Les préférences vis-à-vis d'une alternative *a* (ici parcelle agricole) par rapport à celle représentative de chaque catégorie de risque, sont déterminées par des relations de surclassement deux à deux,

Cette approche a déjà été utilisée sur plusieurs projets par l'équipe (Macary et al. 2010, 2013, 2014) dans des conditions similaires en systèmes de grandes cultures et élevage intensifs. Nous avons alors adapté des critères spécifiques à la viticulture et au BVE. La méthode est décrite avec précision dans les références ci-dessus.

Données : Les données recueillies proviennent d'une part d'enquêtes sur les pratiques culturales auprès tous les viticulteurs professionnels et doubles actifs ou retraités possédant une parcelle de vigne sur le BVE, afin que toute la surface puisse être renseignée, soit 36 personnes rencontrées uniquement sur le BVE. Afin d'analyser d'autres systèmes de production, notamment en mode biologique, 6 enquêtes complémentaires ont été conduites dans la région viticole du Blayais, hors de ce BVE. Par ailleurs les informations relatives aux objets paysagers ont été relevées *in situ*.

Un acteur socio-professionnel d'importance sur ce territoire : la cave coopérative de Tutiac est un partenaire essentiel dans ce projet, notamment pour l'organisation des visites chez les adhérents en période végétative, et pour le recueil d'informations sur les pratiques de protection phytosanitaires, dont usage des produits commerciaux.

Les critères retenus : Tous les paramètres relatifs à la mise en place de l'AMCD pour les risques de transferts des phytosanitaires des parcelles vers les eaux de surface n'ont pas été retenus. Seuls ceux qui permettent de discriminer les parcelles les unes des autres, et pour lesquels les données de base sont récupérables, sont conservés, le but étant bien de différencier et trier les parcelles suivant des catégories de risque. De plus, suivant l'une des règles de base majeure de l'AMCD, seuls les critères indépendants les uns des autres ont été retenus, de façon à pouvoir expliquer la part de chacun dans le résultat.

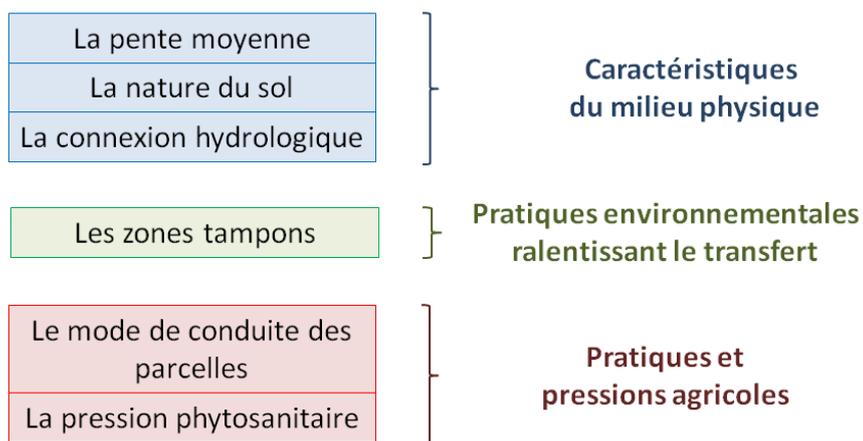
Six critères ont été retenus. Certains traduisent les caractéristiques physiques des parcelles, d'autres sont relatifs aux pratiques anthropiques : les pratiques agricoles dont la pression phytosanitaire, ou encore les pratiques environnementales (enherbement, zones tampons...). La majorité des critères sont qualitatifs. Par conséquent, différentes sous-classes ont été détaillées et évaluées pour chacun, permettant la notation des parcelles. Les sous-classes sont classées de la plus mauvaise à la meilleure, vis-à-vis du transfert potentiel de phytosanitaires et ont une note type. Les notes les plus élevées correspondent aux niveaux de risques les plus forts. Les scores ou notes attribués pour chaque parcelle et chaque critère sont renseignés dans la matrice des performances, qui servira de base à l'analyse multicritère.

Les six critères sont :

- Microtopographie appréciée par la pente moyenne de chaque parcelle,
- Pédologie qui induit la sensibilité du sol au ruissellement
- La connexion hydrologique de la parcelle, appréciée suivant 6 types de connexion :
 - parcelle le long du cours d'eau,
 - talus peu large et pentu en bord du cours d'eau
 - connexion par un fossé, voire un talweg,
 - présence d'espace tampon (prairie naturelle, forêt)
 - parcelle pas connectée avec le cours d'eau.
- Les zones tampons
 - Favorisent la rétention des particules et facilitent l'infiltration
 - 2 facteurs : largeur + qualité
- Le mode de conduite de la parcelle, suivant 4 pratiques agricoles recensées :
 - Orientation des rangs de vigne en fonction de la pente
 - Enherbement de l'inter-rang
 - Enherbement du cavaillon
 - Travail du sol de l'inter-rang
- La pression phytosanitaire : Indice de Fréquence de Traitement (*MAP, 2008*)

$$IFT = \frac{\text{Dose appliquée} \times \text{Surface traitée}}{\text{Dose homologuée} \times \text{Surface de la parcelle}}$$

La figure 3 présente une synthèse de ces critères.



Différenciation des pesticides :

- Molécules à tendance hydrophile
- Molécules à tendance hydrophobe

Figure 3. Critères retenus dans l'analyse multicritère pour évaluer la contribution de chaque parcelle viticole au risque de contamination des eaux de surface

Pondération des critères retenus : les différents critères sont pondérés (Fig 4) en utilisant la méthode SRF⁴ (Figueira, Roy, 2002) à partir d'analyses d'experts.

Critères	Poids des critères :	
	molécules à tendance hydrophile	molécules à tendance hydrophobe
Pente moyenne	18	14
Type de sol	7	22
Connexion hydrologique	22	7
Zone tampon	10	10
Pression phytosanitaire	30	28
Mode de conduite	13	19

Figure 4. Pondération des critères suivant la nature des molécules

5. Résultats obtenus

Les résultats issus de la modélisation multicritère couplée au SIG permettent d'être présentés sous forme cartographique. Nous avons ainsi obtenus une série de cartes de risques suivant la nature hydrophile ou hydrophobe des molécules et suivant le mode d'enherbement ainsi qu'une simulation de réduction significative de la pression phytosanitaire.

Nous illustrons ici ces résultats par la carte des risques de transfert des molécules à tendance hydrophobe (Fig. 5). Pour ce profil de molécules plus fortement adsorbées sur les particules de terre, la nature des sols renforce les processus d'érosion, et leur transfert : 14%

⁴ Méthode SRF : Simos - Roy - Figueira

de la surface agricole est classée en C1 et en C2 (risques forts et très fort). L'IFT est élevé et les pentes des terrains y sont fortes avec des connexions hydrologiques importantes. Le risque très faible / nul ne concerne que les parcelles non traitées.

La C3 qui représente un risque moyen est importante, comme sur toutes les autres cartes car elle correspond à plus de la moitié des parcelles, dont une part significative à la limite d'un basculement de classe de risque, suivant les pratiques culturales exercées. De ce fait, on note ici l'importance des pratiques agro-écologiques dont l'enherbement des rangs voire des cavaillons sur ces terrains érosifs qui permettent d'atténuer le niveau de risque et de passer d'un risque fort à un risque moyen. En deçà, les caractéristiques intrinsèques du milieu font souvent obstacle à une réduction supérieure du niveau de risque.

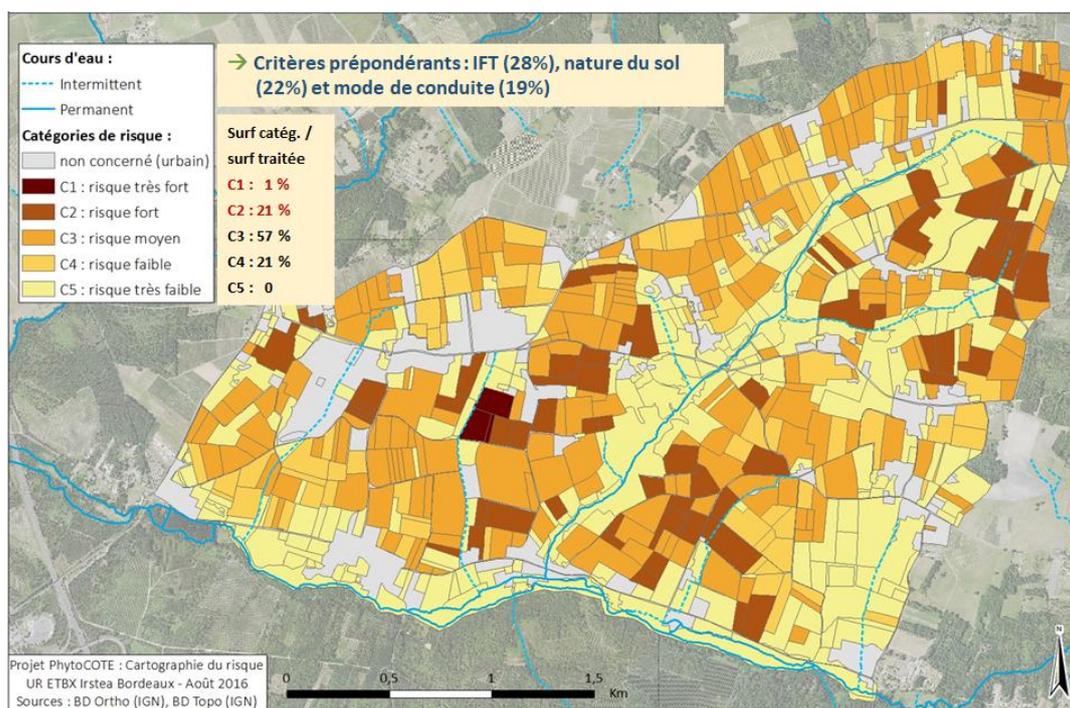


Figure 5. Carte du risque de transfert des pesticides vers les cours d'eau du BVE. Scenario de molécules à tendance hydrophobe

L'une des simulations faite sur la réduction de l'IFT, permet de voir l'impact immédiat sur la réduction du risque fort / très fort au niveau du BVE qui passe de 22% de la surface à 9% (Fig 6.) Cela tient de façon logique à son niveau élevé de pondération (28 à 30% de l'ensemble des critères).

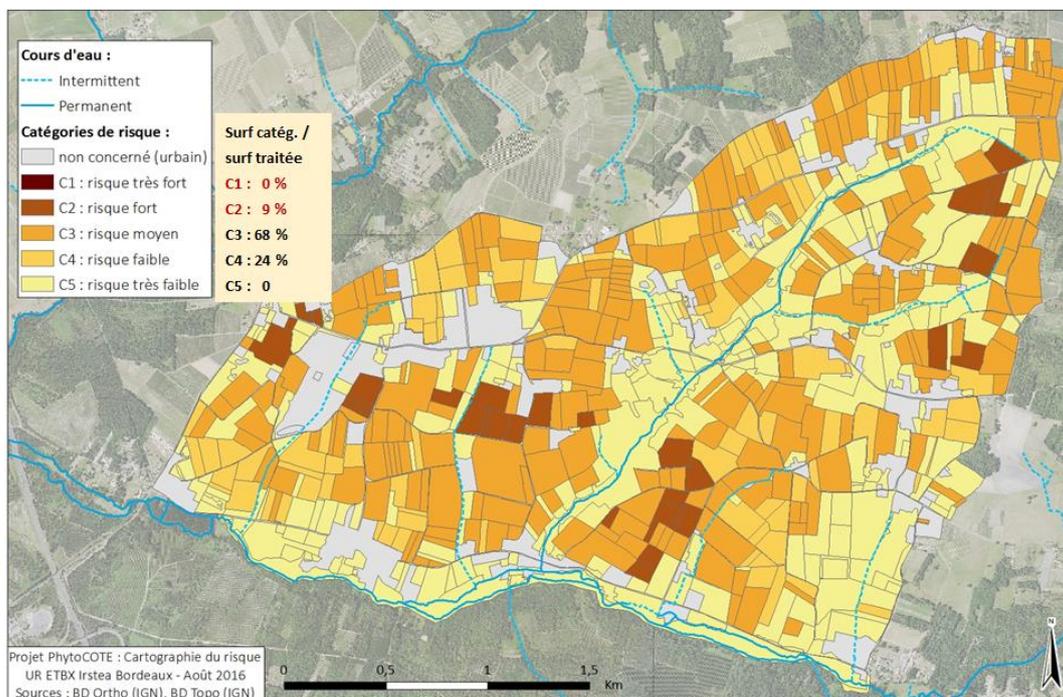


Figure 6. Carte du risque de transfert des pesticides vers les cours d'eau du BVE. Scénario d'une baisse de la pression phytosanitaire - molécules à tendance hydrophobe

6. Conclusions

La modélisation multicritère spatialisée de la contribution de chaque parcelle agricole/viticole sur le BVE de Marcillac a permis de mettre en évidence l'effet significatif des pratiques de protection phytosanitaires (évaluées par l'Indice de Fréquence de Traitement) et des pratiques agro-environnementales (degré d'enherbement des rangs, du cavaillon, état des zones tampons, travail du sol). Ces pratiques jouent ainsi un effet levier significatif pour atténuer les risques de contaminations environnementales, indépendamment des caractéristiques intrinsèques du milieu (pentes des terrains, nature des sols, degré de connexion hydrologique entre chaque parcelle et les cours d'eau).

La dérive des pulvérisateurs n'a pas pu être intégrée dans cette étude, liée notamment au type d'appareil utilisé, car chaque exploitation dispose le plus souvent de plusieurs types d'appareils (aéroconvecteurs à jet projeté, appareils anciens à jet porté, appareils pneumatiques, pulvérisateurs en mode confiné à récupération de bouillie). L'impossibilité de prise en compte de façon rationnelle de la pratique de pulvérisation conduirait ici à maximiser les risques d'erreurs de traitements.

Néanmoins ces résultats échangés avec les acteurs de terrain permettent de nourrir les discussions sur la nécessaire évolution des pratiques agronomiques afin d'atténuer les risques de contaminations environnementales mais également des populations, à commencer par les personnels assurant les traitements et travaillant dans les vignes. Cette prise de conscience collective est désormais croissante et la présentation des résultats de risques encourus est un stimulateur vers une réflexion non seulement en vue d'un changement de pratiques, mais parfois de mode de production. Car si les recherches menées

durant la décennie 2000 ont permis de mettre surtout en évidence les contaminations environnementales, les travaux suivants abordent clairement les risques de santé humaine en collaboration avec les chimistes de l'environnement, les toxicologues, et les épidémiologistes de l'INSERM⁵ (2013).

7. Perspectives

Le volet agronomique se poursuit actuellement avec une évaluation multicritère de la performance économique et environnementale d'une quarantaine exploitations viticoles professionnelles⁶ enquêtées à l'échelle du Blayais. Ces exploitations ont été choisies suivant les différents modes de production : conventionnel plus ou moins raisonné, biologique et biodynamique, démarche agro-écologique.

L'analyse permettra alors d'effectuer un classement de ces exploitations et d'en extraire les bonnes pratiques agricoles et environnementales significatives en vue de concevoir et d'évaluer de nouveaux systèmes viticoles conciliant rentabilité économique et réduction des intrants chimiques bénéfique à la diminution des risques de contamination environnementale et humaine;

Mots-clés :

Risques environnementaux ; Contaminations ; Pesticides ; Viticulture ;

Remerciements : Ce travail a été réalisé dans le cadre du projet PhytoCOTE avec le soutien financier de l'ANR dans le cadre du programme investissement d'avenir au sein du Laboratoire d'Excellence COTE (ANR-10-labx-45), et le soutien financier de la Région Nouvelle-Aquitaine.

Merci également à nos collègues stagiaires en Master sciences de l'environnement : Hélène Gambier et Marjorie Torchy pour le travail de terrain nécessaire à l'implémentation des critères et au traitement multicritère et cartographique.

Références bibliographiques

- Almeida-Dias J., Figueira J.R., Roy B. (2010) Electre Tri-C: A multiple criteria sorting method based on characteristic reference actions. Eur. J. Oper. Res. 204(3) : 565-580.
- Aubertot J.N., Barbier J.M., Carpentier A., Gril J.J., Guichard L., Lucas P., Savary S., Voltz M., Savini I. (2005) Pesticides, agriculture et environnement : Réduire l'utilisation des pesticides et en limiter les impacts environnementaux, Expertise scientifique collective, synthèse. Ministère de l'agriculture et de la pêche, Ministère de l'écologie et du développement durable, INRA, Cemagref.
- Arousseau P., Gascuel-Odoux C., Squvidant H. (1998). Eléments pour une méthode d'évaluation d'un risque parcellaire de contamination des eaux superficielles par les pesticides. Etude Gest. Sols 5(3) : 143-156.

⁵ INSERM : Institut National de Santé et de Recherche Médicale.

⁶ Exploitations viticoles professionnelles : celles dont le revenu principal provient majoritairement de l'activité viticole.

- Barriuso, E. (Eds) (2004) Estimation des risques environnementaux des pesticides. INRA éditions, Paris, 113 p.
- Baldi, I., Lebailly, P. (2007) Cancers et pesticides - La revue du praticien - Vol. 57, n° 15 juin, pp. 40-44.
- Baldi, I., Lebailly, P., Rondeau, V., Bouchard, V., Blanc-Lapierre, A., Bouvier, G., Canal-Raffin, M., Garrigou, A. (2012) Levels and determinants of pesticide exposure in operators involved in treatment of vineyards: results of the PESTEXPO Study - Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology - Vol., n° pp. 1-8.
- Beernaerts, S., Debongnie, P., De Vleeschouwer, C., Delvaux, A., Pussemier, L. (2001) Réduction de la présence de résidus de produits phytosanitaires dans un petit bassin agricole belge - Ingénieries-EAT - Vol. Phytosanitaires, n° spécial 2001, pp. 135-142.
- 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 INRA, 90 p.
- Calvet, R., coord. (2002) Caractéristiques générales des modèles décrivant les transferts des pesticides, in Modélisation des transferts de pesticides dans l'environnement. Ed ÉCRIN, Association ÉCRIN (Echange et Coordination Recherche - Industrie), Paris, pp. 147-165.
- Carluer, N., Gouy, V. (2001) Transfert des produits phytosanitaires, diagnostic de pollution et solutions correctives., colloque: 31ème congrès Groupe Français des Pesticides : Transfert des produits phytosanitaires, diagnostic de pollution et solutions correctives, Lyon, 15-17 mai 2001, Cemagref Lyon Qely, Cemagref Editions, Antony, pp. 419 p.
- CE (2000) Directive 2000/60/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau, JOCE n° L 327 du 22/12/2000, Bruxelles, 72 p.
- Centofanti, T., Hollis, J. M., Blenkinsop, S., Fowler, H. J., Truckell, I., Dubus, I. G., Reichenberger, S. (2008) Development of agro-environmental scenarios to support pesticide risk assessment in Europe - Science of The Total Environment - Vol. 407, n° 1, pp. 574-588.
- CGDD (2010) Les pesticides dans les milieux aquatiques. Données 2007, Commissariat Général au Développement Durable. MEDD, 49 p.
- CGDD (2015) Les pesticides dans les cours d'eau français en 2013 (Observation et statistiques - Environnement No. 697), Chiffres & Statistiques. Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie, Service de l'observation et des statistiques.
- CGDD (2017) Pesticides : évolution des ventes, des usages et de la présence dans les cours d'eau depuis 2009, MEEM, Ministère 4p.
- CORPEN (Eds) (2003) Des indicateurs pour des actions locales de maîtrise des pollutions de l'eau d'origine agricole : éléments méthodologiques - Application aux produits phytosanitaires. Ministères en charge de l'agriculture et de l'environnement, Paris, 115 p.
- Figueira J., Roy B. (2002) Determining the weights of criteria in the ELECTRE type methods with a revised Simos' procedure. Eur. J. Oper. Res. 139(2) : 317-326.
- Gouy, V., Gril, J. J. (2001) Diagnostic de la pollution diffuse par les produits phytosanitaires et solutions correctives - Ingénieries-EAT - Vol. Phytosanitaires : transferts, diagnostic et solutions correctives, n° Spécial 2001, pp. 81-90.
- Grebil, G., Novak, S., Perrin Ganier, C., Schiavon, M. (2001) La dissipation des produits phytosanitaires appliqués au sol - Ingénieries-EAT - Vol. Phytosanitaires : transferts, diagnostic et solutions correctives, n° Spécial 2001, pp. 31-44.

- Greene R., Devillers R., Luther J.E., Eddy B.G., 2011. GIS-Based Multiple-Criteria Decision Analysis. *Geogr. Compass* 5(6) : 412-432.
- Grill J., Lacas J., (2004) Intérêt des zones tampons enherbées et boisées pour limiter le transfert diffus des produits phytosanitaires vers les milieux aquatiques : de l'état des connaissances aux recommandations pratiques enherbées.
- Hildebrandt, A., Guillamón, M., Lacorte, S., Tauler, R., Barceló, D. (2008) Impact of pesticides used in agriculture and vineyards to surface and groundwater quality (North Spain) - *Water Research* - Vol. 42, n° 13, pp. 3315-3326.
- Inserm (2013) Pesticides - Effets sur la santé (Synthèse et recommandations), Expertise collective. Inserm, Paris.
- Laaribi A. (2000) SIG et analyse multicritère. Hermes Science Europe, Paris : 190 pages.
- MAAF (2012) Agricultures, produisons autrement : projet agro-écologique pour la France, Ministère en charge de l'agriculture, 16 p.
- MAAF, MEDDE (2015). Plan Ecophyto II, Agro-écologie.
- MAAPRAT - MEDD (2011) Guide pratique pour la conception de systèmes de culture plus économes en produits phytosanitaires. Application aux systèmes de polyculture, Ministères en charge de l'agriculture et de l'écologie, 116 p.
- Macary, F., Ombredane, D., Uny, D. (2010) A multicriteria spatial analysis of erosion risk into small watersheds in the low Normandy bocage (France) by ELECTRE III method coupled with a GIS - *International Journal of Multicriteria Decision Making* - Vol. 1, n° 1, pp. 25-48.
- Macary, F. (2013) Évaluation des risques de contamination des eaux de surface sur des bassins versants agricoles. Approches multiscalaires par modélisation spatiale et analyse multicritère pour l'aide à la décision, Thèse de Doctorat en Sciences de l'Environnement (Hydrologie, Hydrochimie, Sol, Environnement), Université de Toulouse - INPT, Toulouse, 277 p. + Annexes 244 p.
- Macary F., Almeida-Dias J., Uny D., Probst A. (2013) Assessment of effects of best environmental practices on reducing pesticide contamination in surface water, using multi-criteria modelling combined with a GIS. *Int J Multicriteria Decis. Mak.* 3(2/3): 178-211.
- Macary F., Almeida Dias J., Figueira J.R., Roy B. (2014) A Multiple Criteria Decision Analysis Model Based on ELECTRE TRI-C for Erosion Risk Assessment in Agricultural Areas. *Environ. Model. Assess.* 19(3) : 221-242.
- MAP (2008) Plan Ecophyto 2018 de réduction des usages de pesticides 2008-2018, Ministère de l'agriculture et de la pêche, 21 p.
- Maystre L.Y., Pictet J., Simos J. (1994) Méthodes multicritères ELECTRE: description, conseils pratiques et cas d'application à la gestion environnementale, Collection Gérer l'environnement. Presses polytechniques et universitaires romandes : 323 pages
- MEDDTL (2007) Le Grenelle de l'Environnement. Synthèse, rapport du groupe n°4 : adopter des modes de production et de consommation durables, Ministère français de l'Ecologie du Développement Durable des Transports et du Logement, 167 p.
- OCDE (2008) La performance environnementale de l'agriculture dans les pays de l'OCDE depuis 1990- Chapitre 1, Section 1.3 : Pesticides 70-83 p.
- Roy B. (1985) Méthodologie multicritère d'aide à la décision. Economica, Paris: 423 pages.
- Van Der Werf H.M. (1996) Assessing the impact of pesticides on the environment. *Agric. Ecosyst. Environ.* 60(2-3) : 81-96.