



HAL
open science

Évaluation des risques de transfert des produits phytosanitaires vers les eaux de surface à l'échelle du parcellaire d'un petit bassin viticole dans le Bordelais

M. Torchy

► **To cite this version:**

M. Torchy. Évaluation des risques de transfert des produits phytosanitaires vers les eaux de surface à l'échelle du parcellaire d'un petit bassin viticole dans le Bordelais. Sciences de l'environnement. 2016. hal-02610121

HAL Id: hal-02610121

<https://hal.inrae.fr/hal-02610121v1>

Submitted on 16 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.



Mémoire d'ENS deuxième année



Evaluation des risques de transfert des produits phytosanitaires vers les eaux de surface à l'échelle du parcellaire d'un petit bassin viticole dans le Bordelais.

Réalisé par
Marjorie Torchy

Sous la direction de Francis Macary, maître de stage,
et d'Olivier Atteia, tuteur pédagogique.



Du 18 mai au 2 septembre 2016
Irstea – unité de recherche Environnement,
Territoires et Infrastructures
50 avenue de Verdun – 36610 Cestas



Source photos : Torchy Marjorie



université
de BORDEAUX



INRA
SCIENCE & IMPACT



lfremer



Préambule

Ce rapport est le résultat d'un travail effectué par un élève ingénieur de 2ème année. Ce document est tel qu'il a été remis par l'élève ingénieur et ne comporte aucune correction ni commentaire de l'ENSEGID. Ce rapport ne doit donc être considéré que comme un exercice de formation.

Remerciements

Je tiens en premier lieu à remercier Francis MACARY, mon maitre de stage, pour m'avoir aidé et accompagné tout au long de ce stage. Je le remercie pour ses conseils avisés, pour l'apport de ses connaissances, mais également pour le temps qu'il a mis à ma disposition malgré son emploi du temps chargé. Je remercie aussi Olivier ATTEIA mon tuteur pédagogique pour les informations et ses conseils qui m'ont permis de préparer l'entretien pour obtenir ce stage.

Merci à Hélène GAMBIER avec qui j'ai effectué ce stage, pour ses nombreux conseils, pour sa disponibilité et pour l'aide qu'elle m'a apportée lorsque je me retrouvais en difficulté. Je tiens également à la remercier pour sa bonne humeur quotidienne et son dynamisme.

J'adresse aussi mes remerciements à tous les partenaires du projet PhytoCOTE. Je remercie en particulier Philippe CHERY d'avoir pris le temps de nous accorder un entretien et de nous avoir apporté de nombreux conseils sur la problématique des sols. Je voudrais également remercier Kévin PETIT pour ses compétences en informatique et plus particulièrement pour son aide en SIG. De même, je remercie Irène Abi-Zeid Professeur à l'Université Laval à Québec pour nous avoir permis d'utiliser la dernière version du Logiciel d'analyse multicritère « MCDA-ULaval » dédié aux méthode ELECTRE dans le cadre de ce projet de recherche.

Je me dois également de joindre à ces remerciements le personnel de la coopérative des Vignerons de Tutiac pour leur collaboration et pour le temps qu'ils nous ont accordé. Je remercie aussi tous les viticulteurs présents sur la zone d'étude, pour avoir accepté de nous fournir de précieuses informations et pour leur accueil lors des sorties de terrain.

J'adresse également mes remerciements à la direction d'IRSTEA de Cestas, ainsi qu'à l'équipe ETBX qui m'a très bien accueillie tout au long de mon stage et qui a mis à ma disposition le matériel nécessaire à sa réalisation.

Pour finir, je tiens à remercier chacun des stagiaires, doctorants et contractuels pour les bons moments passés ensemble. Merci à Hélène, Kévin, Thao, Antoine, Ida, Arnaud, Juliette, Olivier et Charlotte.

Résumé

Ce rapport présente une démarche multicritère dont objectif est de caractériser la contribution de chaque parcelle agricole au niveau des risques de transfert de produits phytosanitaires jusqu'au cours d'eau, sur un petit bassin viticole situé dans le Blayais. L'usage important de pesticides induit par un système agricole productiviste est accompagné par la détérioration des écosystèmes et des masses d'eaux.

L'analyse présentée dans ce mémoire, a été réalisée dans le cadre du projet interdisciplinaire PhytoCOTE du LabEx COTE de l'université de Bordeaux. Il aborde les différents aspects de la problématique phytosanitaire : usages, transferts, contaminations et remédiation.

L'évaluation des risques a été conduite grâce à une modélisation multicritère spatialisée sous ELECTRE TriC, couplée avec un SIG (ArcGis). Elle permet de classer les parcelles agricoles dans l'une des cinq catégories risque environnemental prédéfinies. Ces affectations sont faites en fonction de six critères pouvant favoriser ou au contraire ralentir les transferts de pesticides : la pente moyenne, la nature du sol, le type de connexion hydrologique, les zones tampons, le mode de conduite de la parcelle et la pression phytosanitaire. Les propriétés physico-chimiques des molécules composant les produits phytosanitaires interviennent sur le transfert. Par conséquent, l'étude de risque est menée suivant deux modalités : le transfert de molécules polluantes à tendance hydrophile et le transfert molécules polluantes à tendance hydrophobe. Différents scénarii d'enherbement de l'inter-rang des parcelles de vigne et de la baisse de pression phytosanitaire sont également modélisés dans cette étude.

La représentation des risques est faite sous forme cartographique. Les résultats peuvent être utilisés comme une aide à la décision par les acteurs locaux, notamment en ce qui concerne les pratiques agroenvironnementales à optimiser pour améliorer la qualité des eaux de surface.

MOTS CLES : produits phytosanitaires, risques environnementaux, eaux de surface, modélisation multicritère, SIG, ELECTRE TriC, PhytoCOTE.

Abstract

This report presents a multi-criteria approach whose goal is to characterize the contribution of each agricultural land to the risk of pesticide transfer to the stream on a small vineyard in the Blayais. The extensive use of pesticides by a productivist agricultural system goes together with the deterioration of ecosystems, surface and ground waters.

The analysis presented in this report was made as a part of the interdisciplinary project PhytoCOTE of LabEx COTE of the Bordeaux University. It approaches various aspects of the phytosanitary problem: uses, transfers, contaminations and remediation.

Risk assessment is conducted by multi-criteria spatial modelling in ELECTRE TriC, coupled with a GIS (ArcGis). Agricultural lands are classified in one of the five environmental risk categories. These assignments are based on six criteria which encourage or slow down pesticide transfers: average slope, soil type, hydrological connection type, buffer zones, driving mode of vineyard plot and phytosanitary pressure. The physicochemical properties of the molecules in the pesticides impact the transfer. Therefore, the risk is evaluated in two ways: the transfer of polluting molecules with a hydrophilic tendency and the transfer of polluting molecules with a hydrophobic tendency. Several scenarios with the presence of grass between rows of vineyard plots or phytosanitary pressure drop are also modeled in the study.

The risks are represented on a map. The results can be used by local actors as a support for decision-making. For example, optimized realistic environmental-friendly agricultural practices can improve the quality of surface water.

KEY WORDS: pesticides, environmental risks, surface water, multi-criteria modelling, GIS, ELECTRE TriC, PhytoCOTE.

Table des matières

Remerciements	2
Résumé/Abstrac	3
Table des matières	5
Table des tableaux	8
Glossaire	9
Introduction	10
1 - PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET DU PROJET	12
1.1 – IRSTEA, un centre de recherche impliqué dans le secteur agroenvironnemental	12
1.2 – Le LabEx COTE, un laboratoire d'excellence travaillant sur les enjeux sociaux et environnementaux de la zone de l'estuaire de la Gironde.	13
1.3 – PhytoCOTE, un projet agroenvironnemental sur la problématique des phytosanitaires	14
1.4 – Objectifs du stage	15
2 – MATERIEL ET METHODES : estimation des risques agroenvironnementaux par une modélisation multicritère spatialisée	16
2.1 – Présentation de la zone d'étude	16
2.2 – Les différentes modalités de transfert des produits phytosanitaires	18
2.3 – Choix de la méthode pour déterminer les risques de transfert de produits phytosanitaires	19
2.3.1 – La modélisation multicritère	19
2.3.2 – Le modèle ELECTRE TriC	21
2.3.3 – Le couplage AMCD-SIG.....	23
2.4 – Les critères retenus	24
2.4.1 – Le choix des critères	24
2.4.2 – La pente	25
2.4.3 – Le sol	25
2.3.4 – La connexion hydrologique	28
2.4.5 – La zone tampon	30
2.4.6 – Le mode de conduite des parcelles	32
2.4.7 – La pression phytosanitaire (l'IFT - substances actives)	34
2.5 – Application d'un seuil véto pour le critère de la pression phytosanitaire	35
2.6 – Pondération des critères et détermination du seuil de crédibilité	36

3 – RESULTATS.....	38
3.1 – Caractérisation du risque de transfert des produits phytosanitaires de la parcelle jusqu’au cours d’eau	38
3.1.1 – Evaluation du risque de transfert des produits phytosanitaires à matières actives à tendance hydrophile.....	39
3.1.2 – Evaluation du risque de transfert des produits phytosanitaires à matières actives à tendance hydrophobe.....	41
3.2 – Influence de l’enherbement de l’inter-rang sur le transfert de molécules peu solubles dans l’eau	43
3.4.1 – Simulation avec un inter-rang désherbé	43
3.4.2 - Simulation avec un inter-rang totalement enherbé	44
3.3 – Influence de l’IFTsa sur le transfert de molécules peu solubles dans l’eau ..	45
4 – DISCUSSION ET PERSPECTIVES	47
4.1 – ELECTRE TriC, une méthode avantageuse mais qui présente des limites	47
4.1.1- ELECTRE TriC, une méthode avantageuse permettant de déterminer les parcelles à risque et les facteurs influençant le transfert	47
4.1.2 – Les limites et les difficultés rencontrées lors de l’analyse	48
4.2 – Les améliorations pouvant être apportées à l’analyse	49
4.3 – Les perspectives	50
Conclusion.....	51
Bibliographie.....	53
Annexes.....	56

Table des illustrations

Figure 1 : Structuration du projet phytoCOTE	14
Figure 2 : Localisation du site d'étude	16
Figure 3 : Carte de la zone d'étude et de l'occupation du sol	17
Figure 4 : Occupation du sol de la zone étudiée	18
Figure 5 : processus de résolution d'un problème décisionnel (Macary, 2013).....	20
Figure 6 : Comparaison de deux actions a et b, sachant que $g_j(a) > g_j(b)$ (Macary, 2013)..	22
Figure 7 : Critères utilisés pour la modélisation du risque de transfert de produits phytosanitaires	24
Figure 8 : Carte du sol.....	26
Figure 9 : Modélisation du sol en quatre scénarii	26
Figure 10 : Les trois niveaux de qualité de la zone tampon	30
Figure 11 : Travail du sol des parcelles de vigne	32
Figure 12 : Carte de risque de transfert de produits phytosanitaires à matière active à tendance hydrophile	39
Figure 13 : Carte de risque de transfert de produits phytosanitaires à matière active à tendance hydrophobe	41
Figure 14 : Carte du risque de transfert de molécules peu solubles dans l'eau avec des inter-rangs désherbés.....	43
Figure 15 : Carte du risque de transfert de molécules peu solubles dans l'eau avec des inter-rangs enherbés	44
Figure 16 : Carte du risque de transfert de molécules peu solubles dans l'eau avec un IFTsa maximum limité à 22	46

Table des tableaux

Tableau 1 : Notation ELECTRE TriC pour le critère pente	25
Tableau 2 : Notation des différents types de sol.....	27
Tableau 3 : Notation ELECTRE TriC pour le critère du sol	28
Tableau 4 : Notation des types de connexion dans la matrice de performance	29
Tableau 5 : Notation ELECTRE TriC pour le critère connexion hydrologique	29
Tableau 6 : Notation de la zone tampon dans la matrice de performance	31
Tableau 7 : Notation ELECTRE TriC pour le critère zone tampon	31
Tableau 8 : Notation du mode de conduite de la parcelle dans la matrice de performance	33
Tableau 9 : Notation ELECTRE TriC pour le critère mode de conduite de la parcelle	34
Tableau 10 : Notation ELECTRE TriC pour le critère IFTsa.....	35
Tableau 11 : Pondération des critères pour le cas des transferts de molécules à tendance hydrophile	37
Tableau 12 : Pondération des critères pour le cas des transferts de molécules à tendance hydrophobe.....	37
Tableau 13 : Résultat de la modélisation des risques de transfert de produits phytosanitaires, pourcentages d'affectations directes et finales	38
Tableau 14 : Pourcentage de surface affecté à chaque catégorie de risque pour le cas des molécules à tendance hydrophile	40
Tableau 15 : Pourcentage de surface affecté à chaque catégorie de risque pour le cas des molécules à tendance hydrophobe	42
Tableau 16 : Affectation à chaque catégorie de risque pour le cas des inter-rangs désherbés	44
Tableau 17 : Affectation à chaque catégorie de risque pour le cas des inter-rangs enherbés	45
Tableau 18 : Affectation à chaque catégorie de risque pour le cas de la limitation des IFTsa à 22.....	46

Glossaire

AMCD : Analyse multicritère pour l'aide à la décision

BSA : Bordeaux Sciences Agro, école nationale supérieure des sciences agronomiques de Bordeaux-Aquitaine.

CIVB : Comité interprofessionnel des vins de Bordeaux

CNRS : Centre National de la Recherche Scientifique.

ELECTRE : ELimination Et Choix Traduisant la REalité.

IDRISI : Logiciel SIG du laboratoire Clark lab, USA.

IFREMER : Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer.

IFT, IFTsa IFTpc : Indice de Fréquence de Traitement (substance active, produit commercial).

INRA : Institut National de la Recherche Agronomique.

IRSTEA : Institut national de Recherche en Science et Technologie pour l'Environnement et l'Agriculture.

LAMSADE : Laboratoire de modélisation des systèmes d'aide à la décision de l'Université Paris-Dauphine-CNRS.

PROMÉTHÉE : Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluation.

SAGE : Schéma d'Aménagement et de Gestion de l'Eau.

SIG : Systèmes d'Information Géographique.

SRF : SIMOS, ROY, FIGUEIRA

SWAT : Soil and Water Assessment Tool

TNT2 : Modèle agro-hydrologique spatialement distribué développé par l'INRA

ZNIEFF : Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique.

Introduction

L'agriculture, composante essentielle de l'économie française, a vu ses pratiques entièrement modifiées depuis la seconde guerre mondiale. Suite à la demande croissante des consommateurs, les agriculteurs se tournent vers un mode de gestion productiviste afin d'augmenter leurs rendements (Desriers, 2007). Parmi les différents types de cultures, la viticulture se positionne comme un élément majeur de l'activité agricole. En effet, en France la viticulture représente 18% des exploitations agricoles (Agreste, 2011) et constitue également le deuxième secteur d'exportation (Mandou, 2014).

Afin de lutter contre les bio-agresseurs des plantes, l'augmentation de la production agricole s'est accompagnée par un usage massif de produits phytosanitaires. Effectivement, la France se place comme le premier pays consommateur de produits phytosanitaires en Europe. L'arboriculture ainsi que la viticulture font parties des cultures qui ont le plus besoin de protection phytosanitaire. Par exemple, la viticulture nécessite en moyenne vingt traitements par an, ce qui représente 20% de la part des pesticides utilisés en France (Aubertot *et al.*, 2005).

L'utilisation de pesticides organiques et inorganiques n'est pas sans conséquences sur l'environnement et la santé humaine. La toxicité de ces molécules sur le consommateur et les écosystèmes est en effet avérée (Aubertot *et al.*, 2005). Les molécules polluantes composant les produits phytosanitaires, sont transférées des parcelles agricoles, où ont lieu les traitements, jusqu'aux cours d'eau et aux nappes souterraines (Grill & Lacas, 2004 ; Van Der Werf, 1996).

La présence de ces molécules dans les milieux aquatiques est constatée par de nombreux organismes tels que les Agences de l'Eau, les Agences Régionales de santé et l'Institut Français de l'Environnement. Les observations mettent en évidence la présence de pesticides dans 92% des points de surveillance des cours d'eau français (CGDD, 2015). Cela a une conséquence directe sur la qualité des eaux : 36% des points d'eau de surface sont considérés de qualité moyenne à mauvaise, et 25% des points d'eau souterrains ont une qualité médiocre à mauvaise (Ifen, 2007). L'utilisation massive de produits phytosanitaires est donc à l'origine de pollutions diffuses sur l'ensemble du territoire.

L'emploi excessif de pesticides est de plus en plus dénoncé par les médias. Ceci est particulièrement le cas pour la viticulture établie dans le Sud-Ouest de la France et notamment celle du Bordelais. En effet, cette région a vu éclater des scandales médiatiques que ce soit par la publication d'articles de presse ou encore par la réalisation de reportages tels que Cash Investigation. Cette pression médiatique pousse les professionnels de la viticulture à réagir, le président du CIVB, Bernard Farges déclare avoir pour objectif « la sortie de l'usage des pesticides ».

Cette pression médiatique s'accompagne de dispositifs mis en place par le gouvernement mais également par la Commission Européenne, afin de restaurer la qualité des eaux. Effectivement, en 2000, la communauté économique européenne a créé la directive cadre qui instaure une politique d'action commune aux états membres, afin d'améliorer la qualité écologique des eaux (Parlement européen, Conseil de l'Union européenne, 2000). En 2009, un plan d'action commun centré sur les produits phytosanitaires est établi par la directive 2009/128/CE (Parlement européen, Conseil de l'Union européenne, 2009). Ce plan porte sur la réglementation de la mise sur le marché

des pesticides, et a pour objectif un usage des produits phytosanitaires en accord avec le développement durable.

En France, le plan interministériel Ecophyto est appuyé par la directive de 2009, celui-ci a pour but une diminution de l'emploi des pesticides dans un système agricole toujours économiquement performant. Une baisse de 50% de l'utilisation de produits phytosanitaires est à l'origine prévue pour 2018. Cependant, les objectifs ne pouvant être réalisés dans les délais impartis, le Plan Ecophyto est reconduit sous la forme du plan Ecophyto II (MAAF & MEDDE, 2015). Le plan Ecophyto II est divisé en deux phases, il prévoit premièrement une réduction de 25% de l'usage des pesticides d'ici 2020, en généralisant et optimisant les techniques agricoles actuelles. Dans un second temps, cet usage devra être réduit à 50%, cette dernière phase repose sur une évolution des systèmes de production. Dans ce cadre, le dispositif DEPHY est mis en place. Ce dernier est un réseau de fermes expérimentales qui teste des méthodes de production en accord avec le développement durable, pour cela elles appliquent des pratiques agricoles agro-écologiques.

Le projet PhytoCOTE mis en œuvre par le LabEx COTE s'inscrit dans ce contexte et étudie les problématiques liées aux produits phytosanitaires sur un plan aussi bien environnemental qu'économique. Le stage « Evaluation des risques de transfert des produits phytosanitaires vers les eaux de surface à l'échelle du parcellaire d'un petit bassin viticole dans le Bordelais » réalisé conjointement avec Hélène Gambier, étudiante en master écologie à l'INPT ENSAT, est inscrit dans ce projet. Le risque se caractérise selon deux composantes : la probabilité d'occurrence de l'évènement et la gravité des effets ou conséquences de cet évènement. L'objectif de ce stage n'est donc pas de quantifier les flux, mais, de caractériser le niveau de risque de transfert de pesticides entre la parcelle viticole et le cours d'eau.

Dans un premier temps, le projet PhytoCOTE, ainsi que le contexte et les objectifs du stage seront définis. Ensuite, une partie traitant des outils utilisés et des méthodes adoptées, sera abordée. Les résultats obtenus quant aux risques transfert de produits phytosanitaires seront présentés dans un troisième temps. Pour finir, une discussion sur les limites rencontrées lors du stage et sur les perspectives sera apportée.

1 - PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET DU PROJET

1.1 – IRSTEA, un centre de recherche impliqué dans le secteur agroenvironnemental

IRSTEA, fondé en 1981, est un Institut national de Recherche en Science et Technologie pour l'Environnement et l'Agriculture. Grâce à ses neuf centres, IRSTEA est représenté en France sur tout le territoire national.

Les recherches effectuées au sein de cet institut sont dirigées selon trois départements : le département Eau, le département Ecotechnologie et le département Territoire. Le centre de Bordeaux possède deux unités de recherche, une basée sur les systèmes aquatiques et les changements globaux (EABX), et l'autre sur l'environnement, les territoires et les infrastructures (ETBX). Ce stage a été effectué au sein de l'unité ETBX, cette dernière est divisée en deux équipes de recherche : EADT « Environnement, Acteurs et Dynamiques Territoriales » et GPIE « Gestion Patrimoniale des Infrastructures liée à l'Eau ». L'équipe d'EADT est répartie sur trois pôles de travail :

- Les territoires forestiers face à la multifonctionnalité et la transition énergétique,
- Territoires littoraux et fluvio-estuariens : entre attractivité, vulnérabilité et protection,
- Performance environnementale et économique de l'agriculture.

C'est plus précisément au sein de ce dernier pôle que le projet PhytoCOTE est intégré. L'agriculture devant faire face à une demande de production croissante, ainsi qu'à de nouvelles exigences environnementales et sociales, le pôle de recherche se fixe trois objectifs. Le premier objectif consiste à évaluer les performances environnementales et globales des activités agricoles. Cette évaluation s'appuie sur le croisement de plusieurs méthodes, notamment sur la modélisation agro-hydrologique des processus de pollutions diffuses, ainsi que sur la modélisation multicritère spatialisée des risques agro-environnementaux et sur l'utilisation d'indicateurs agro-environnementaux. Le deuxième objectif concerne l'évaluation des politiques agro-environnementales. Cette étude est basée sur des méthodes quantitatives d'étude de politiques agro-environnementales qui sont couplées à des processus biophysiques et économiques. Ces travaux permettent de spatialiser différents scénarios d'évolutions de l'agriculture et des pratiques associées. Le troisième objectif est l'analyse des évolutions de l'action publique, ainsi que les relations entre l'agriculture et la société. La réalisation de ces trois objectifs nécessite au sein d'EADT une relation entre plusieurs disciplines telles que l'agronomie, la sociologie, l'économie et la géomatique. C'est donc dans ce contexte d'interdisciplinarité que le projet PhytoCOTE est développé.

1.2 – Le LabEx COTE, un laboratoire d'excellence travaillant sur les enjeux sociaux et environnementaux de la zone de l'estuaire de la Gironde.

Le LabEx COTE est un regroupement d'unités de recherche, celles-ci travaillent sur des thèmes communs. Il réunit l'Université de Bordeaux, Bordeaux Sciences Agro et les principaux instituts nationaux de recherche travaillant sur les écosystèmes terrestres et aquatiques, tels que l'INRA, le CNRS, l'IRSTEA et l'IFREMER. Le LabEx COTE développe des outils et des méthodes permettant une gestion adaptative et durable des écosystèmes. Afin de comprendre et de prédire l'évolution de ces derniers, des indicateurs, des critères et des niveaux de référence de l'état des écosystèmes sont utilisés.

Les recherches sont basées sur la région d'Aquitaine, cette zone constitue une interface entre les trois principaux objets d'études qui sont : les écosystèmes forestiers, les agrosystèmes et les hydrosystèmes continentaux et côtiers. L'étude des écosystèmes forestiers constitue un intérêt majeur, le LabEx COTE a pour objectif de mettre en place une gestion économique et écologique de ces systèmes forestiers. L'analyse des agrosystèmes est également primordiale. En effet, l'agriculture étant une activité économique essentielle de la région et se basant sur un modèle de production intensive, elle constitue une source de pollution diffuse importante (CLE & SMIDDEST, 2013). Pour faire face à cette dernière, des recherches sont menées afin de développer des modèles agricoles alternatifs répondant aux attentes des agriculteurs d'un point de vue quantitatif et qualitatif, tout en garantissant une gestion durable de l'environnement. La préservation des hydrosystèmes est aussi importante pour le LabEx COTE. Ce dernier s'intéresse non seulement aux écosystèmes associés aux eaux de surface et aux écosystèmes marins, mais aussi aux écosystèmes littoraux, présents par exemple au niveau du bassin d'Arcachon ou de l'estuaire de la Gironde. Les études menées ont pour but de garantir une bonne qualité des milieux et d'assurer les activités touristiques et industrielles associées à la ressource en eau. La réalisation de ces différents travaux fait intervenir des disciplines complémentaires telles que la biologie, la chimie, la physique et les sciences sociales. Ceci permet donc d'avoir une approche globale des sciences de l'environnement.

L'estuaire de la Gironde et le bassin versant de la Leyre font partis des principaux sites d'intérêt étudiés par le LabEx COTE. L'estuaire de la Gironde est une zone ayant un rôle important dans l'économie régionale, notamment avec la pêche, les industries et le tourisme. En plus de cette activité économique, la zone estuarienne présente une forte biodiversité, elle possède donc également un intérêt environnemental. Les nombreux acteurs avec des intérêts différents, exercent une forte pression sur l'estuaire. Cette dernière est à l'origine de la dégradation progressive de l'environnement, deux types de pollution sont détectées : une pollution diffuse principalement liée à l'agriculture, qui est essentiellement de la viticulture, et une pollution ponctuelle causée par les rejets des agglomérations et des industries (CLE & SMIDDEST, 2013). La mauvaise qualité des eaux intervient sur le développement des écosystèmes. En effet, la zone estuarienne présente un intérêt pour de nombreuses espèces car il s'agit non seulement d'une zone nourricière et de reproduction, mais également d'un couloir de passage. Pour préserver les écosystèmes et rétablir les milieux naturels et la qualité des eaux, l'installation de zones Natura2000 et ZNIEFF, et différents programmes tels que le SAGE sont mis en place dans la zone de l'estuaire. Le LabEx COTE intervient également dans ce cadre, il développe des outils de gestion durable en essayant de répondre aux attentes des différents acteurs.

1.3 – PhytoCOTE, un projet agroenvironnemental sur la problématique des phytosanitaires

PhytoCOTE est un projet de recherche inscrit au sein du LabEx COTE. Ce programme de recherche est coordonné par Francis Macary, chercheur à IRSTEA, et porte sur l'utilisation des produits phytosanitaires en viticulture. PhytoCOTE est plus précisément basé sur les usages, le transfert, la bioaccumulation, l'écotoxicité de ces produits sur les écosystèmes agricoles et estuariens, mais aussi sur l'évaluation socio-économique et environnementale du changement de pratiques. Ce projet, qui est planifié sur cinq ans, regroupe des équipes de recherche issues de plusieurs établissements tels que l'IRSTEA, l'INRA, l'IFREMER, BSA et l'UMR EPOC.

Le projet phytoCOTE se fixe des objectifs portant sur un point de vue à la fois environnemental et socio-économique. Les objectifs de ce programme étant nombreux, le projet nécessite la collaboration de groupes de travail spécialisés dans des disciplines différentes telles que l'agronomie, l'hydrologie, la chimie environnementale, l'écotoxicologie et l'économie. Ce projet de recherche vise à décrire les différentes pratiques associées à la viticulture et plus précisément celles concernant l'utilisation des produits phytosanitaires. Les conséquences de ces pratiques sur la pression phytosanitaire peuvent donc être appréciées afin d'améliorer leur performance environnementale. Cette démarche a également pour but de déterminer les différentes contaminations, anciennes et récentes, liées aux pesticides dans les compartiments sol, eau et air, ainsi que les flux de contaminants entre ces compartiments. De même, un bilan sur les processus de bioaccumulation et le potentiel toxique des contaminants sur les écosystèmes est prévu. Le projet envisage également une étude socio-économique afin d'évaluer les coûts, mais également l'acceptabilité de la mise en place de pratiques agricoles ayant de meilleures performances environnementales.

Le projet phytoCOTE est organisé en trois Groupes de Tâches GT (Figure 1), où chaque groupe est divisé en plusieurs tâches pouvant faire intervenir des équipes de recherche différentes.

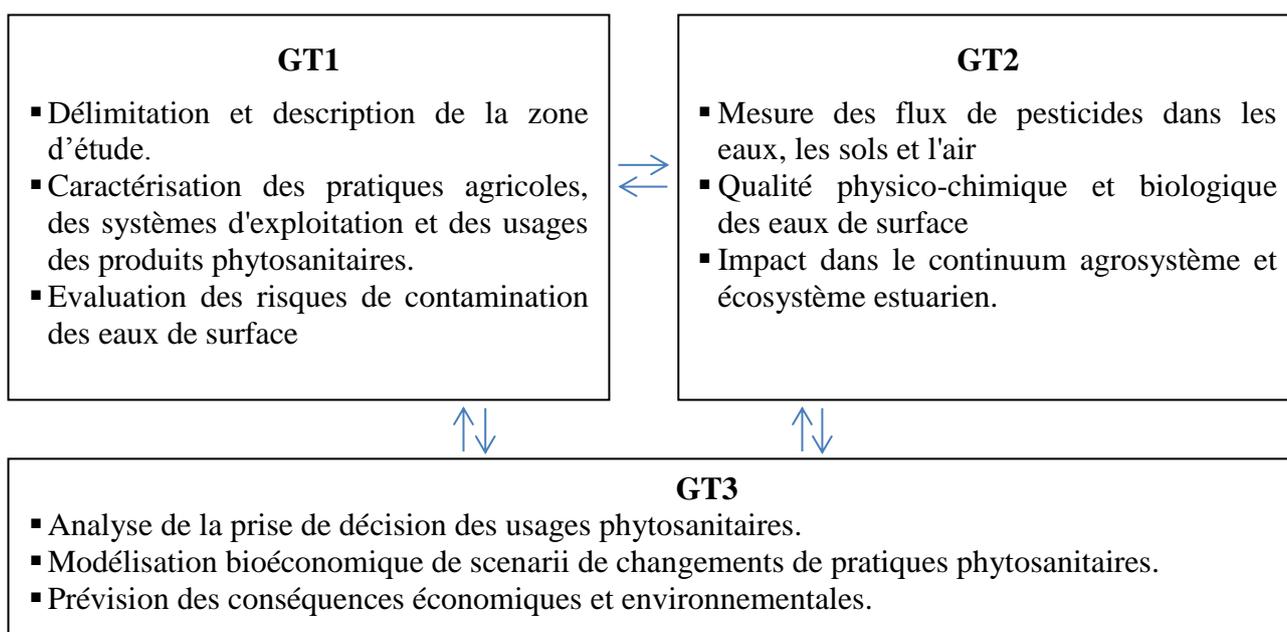


Figure 1 : Structuration du projet phytoCOTE

Le projet phytoCOTE a débuté en 2015, où les premières tâches de GT1 ont commencées à être réalisées. Premièrement la zone d'étude a été délimitée en fonction de plusieurs critères, ces limites ont par la suite été modifiées après des vérifications sur le terrain. Une enquête a ensuite été menée auprès des exploitants agricoles. Des informations concernant leur situation professionnelle, leur exploitation et leurs pratiques agricoles, leurs ont été demandées. Celles-ci serviront à la réalisation des autres tâches du projet. Les enquêtes ont également permis la création d'un parcellaire du site d'étude sous SIG.

1.4 – Objectifs du stage

Le stage se situe dans le groupe de tâche 1. L'objectif principal est l'analyse des **risques du transfert de produits phytosanitaires, de chaque parcelle agricole/viticole jusqu'au cours d'eau et la production de cartes à partir du SIG à l'issue d'une modélisation de type multicritère.**

Cette analyse est réalisée sur l'ensemble de la zone d'étude expérimentale. Le stage a été divisé en plusieurs phases de travail. Au préalable des recherches bibliographiques ont été nécessaires afin de déterminer les facteurs impliqués dans le risque de transfert. La seconde phase de travail a été consacrée à l'acquisition des données, les informations sur les facteurs de risque ont été obtenues de différentes manières. En effet, une partie des données a été extraite des enquêtes effectuées en 2015 et l'autre partie a été acquise lors d'une campagne de terrain sur le site d'étude. Lors de la phase de terrain, les éléments du paysage, ainsi que le mode de conduite relatif à chaque parcelle de vigne ont été relevés. Le déplacement sur le terrain a également permis de compléter les informations des questionnaires, notamment sur l'identité des exploitants de certaines parcelles et sur les traitements phytosanitaires réalisés en 2015. Ces données ont ensuite été traitées, puis la caractérisation des risques a été réalisée grâce à une modélisation multicritère d'aide à la décision.

La production de différentes cartes de risque du transfert a permis de localiser les parcelles viticoles critiques. Ces informations seront ensuite transmises aux autres équipes de recherches travaillant sur le projet. Les résultats des prélèvements de sol et d'eau, afin d'identifier les molécules de contaminants, seront comparés avec les différents niveaux de risque dans les zonages concernés. La cartographie permettra également dans une certaine mesure, de relever dans le cas de ce bassin viticole, les éléments empêchant le transfert de produits phytosanitaires ou au contraire le favorisant. Ces éléments seront par la suite pris en compte dans l'étude socio-économique, notamment pour la mise en place de différents scénarii qui optimiseront la performance environnementale des exploitations.

2 – MATERIEL ET METHODES : estimation des risques agroenvironnementaux par une modélisation multicritère spatialisée

2.1 – Présentation de la zone d'étude

Le site d'étude est localisé dans le Sud-Ouest de la France, dans la région du Blayais à l'Est de l'estuaire de la Gironde, au niveau de la commune de Marcillac (Figure 2).

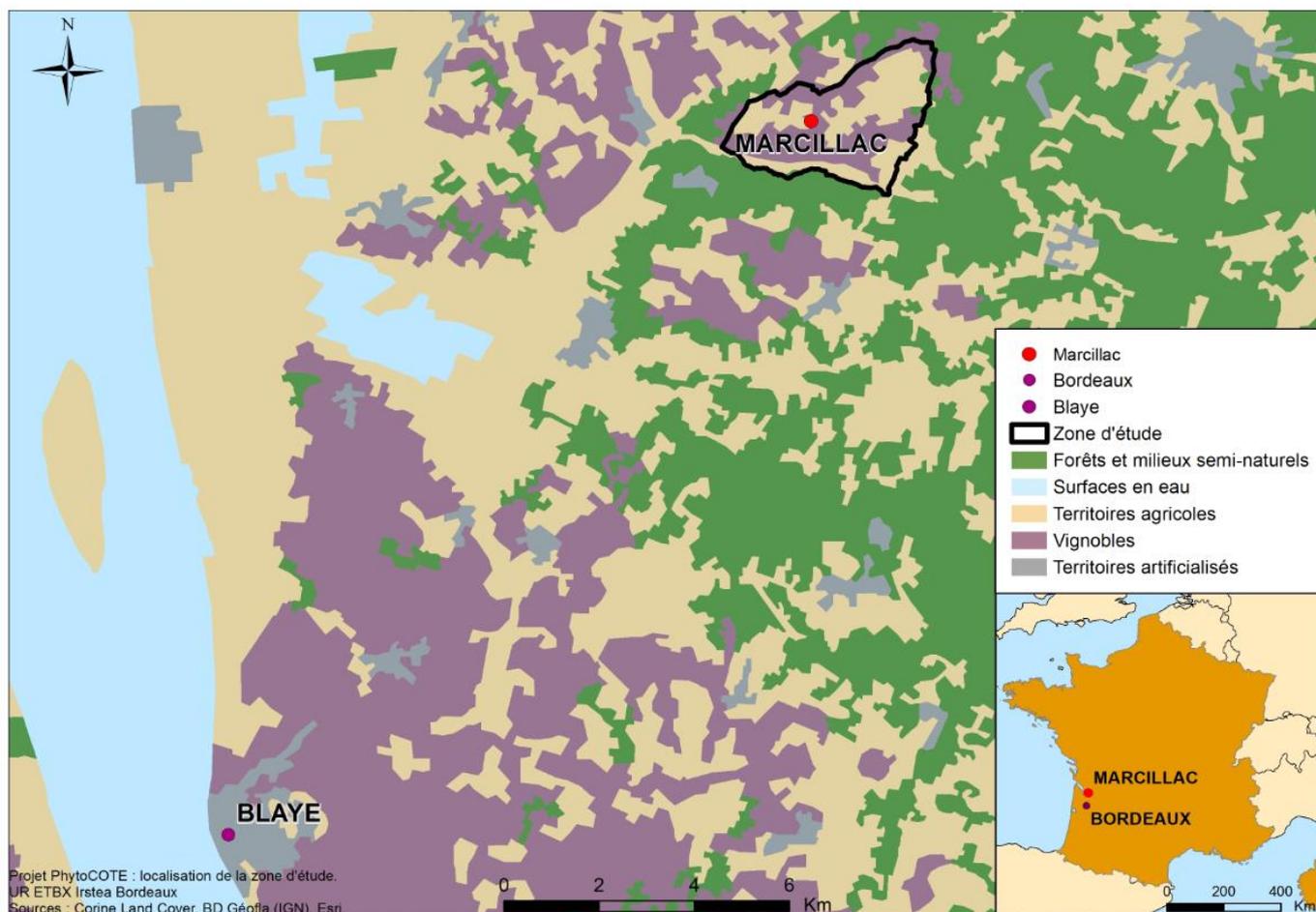


Figure 2 : Localisation du site d'étude

La zone d'étude se situe plus précisément entre la rive droite de la Garonne et la Charente maritime, elle se présente sous la forme d'un petit bassin viticole en contact avec la partie amont de la Liveenne. L'ensemble des eaux s'écoulant sur le bassin versant est collecté par la Liveenne, classée comme zone spécialisée de conservation.

Le bassin viticole de Marcillac possède les différentes caractéristiques nécessaires à la réalisation du projet. Effectivement, le projet PhytocOTE étant inscrit dans le LabexCote, la zone étudiée doit être connectée avec l'estuaire de la Gironde. Cette connexion hydrologique est ici réalisée par la Liveenne.

Le site de Marcillac présente également un intérêt par son contexte socio-économique. L'activité économique de la zone étudiée est fortement dominée par la viticulture. Les vignes représentent la majorité des terres cultivées. En effet, le vignoble situé dans la zone d'appellation contrôlée Blaye-Cote de Bordeaux, possède une surface de

450 hectares. De plus, la présence de la coopérative Les Vignerons de Tutiac, anciennement appelée les Hauts de Gironde, renforce l'activité viticole de la région. La coopérative, créée en 1974 et basée à Marcillac, regroupe 500 viticulteurs adhérents, dont trente-quatre situés sur le bassin viticole étudié. Cette coopérative est également la première cave productive de vin Blaye-Cote de Bordeaux et Cote de Bourg en France. Les Vignerons de Tutiac jouent donc un rôle important sur l'impulsion économique de la région, mais se démarquent aussi d'un point de vue sociétal. Depuis 2008, la coopérative s'inscrit dans une démarche d'agro-écologie, notamment avec la mise en place d'une directive 3D (Destination Développement Durable). Cette démarche vise une agriculture qui respecte l'environnement tout en restant économiquement viable. La coopérative et le syndicat des vins de Blaye – Côte de Bordeaux ont également joué le rôle d'intermédiaire entre les membres du projet PhytocOTE et les viticulteurs.

Le bassin versant étudié est également intéressant de par sa position sur le cours d'eau. Effectivement, la zone de Marcillac constitue l'un des premiers bassins viticoles situés en amont de la Livenne. Ainsi, si des traces de produits phytosanitaires sont détectées dans la Livenne, celles-ci proviendront certainement de la zone d'étude.

D'un point de vue structural, le site est composé de onze types de sol différents, ainsi que de deux cours d'eau permanents et de huit cours d'eau temporaires. La Livenne, située au sud du bassin viticole (Figure 3), et Les Souches, qui traverse le bassin du nord vers le sud, constituent de larges dépressions dans lesquelles de l'eau s'écoule toute l'année. Au contraire, les cours d'eau temporaires s'apparentent à des fossés collecteurs.

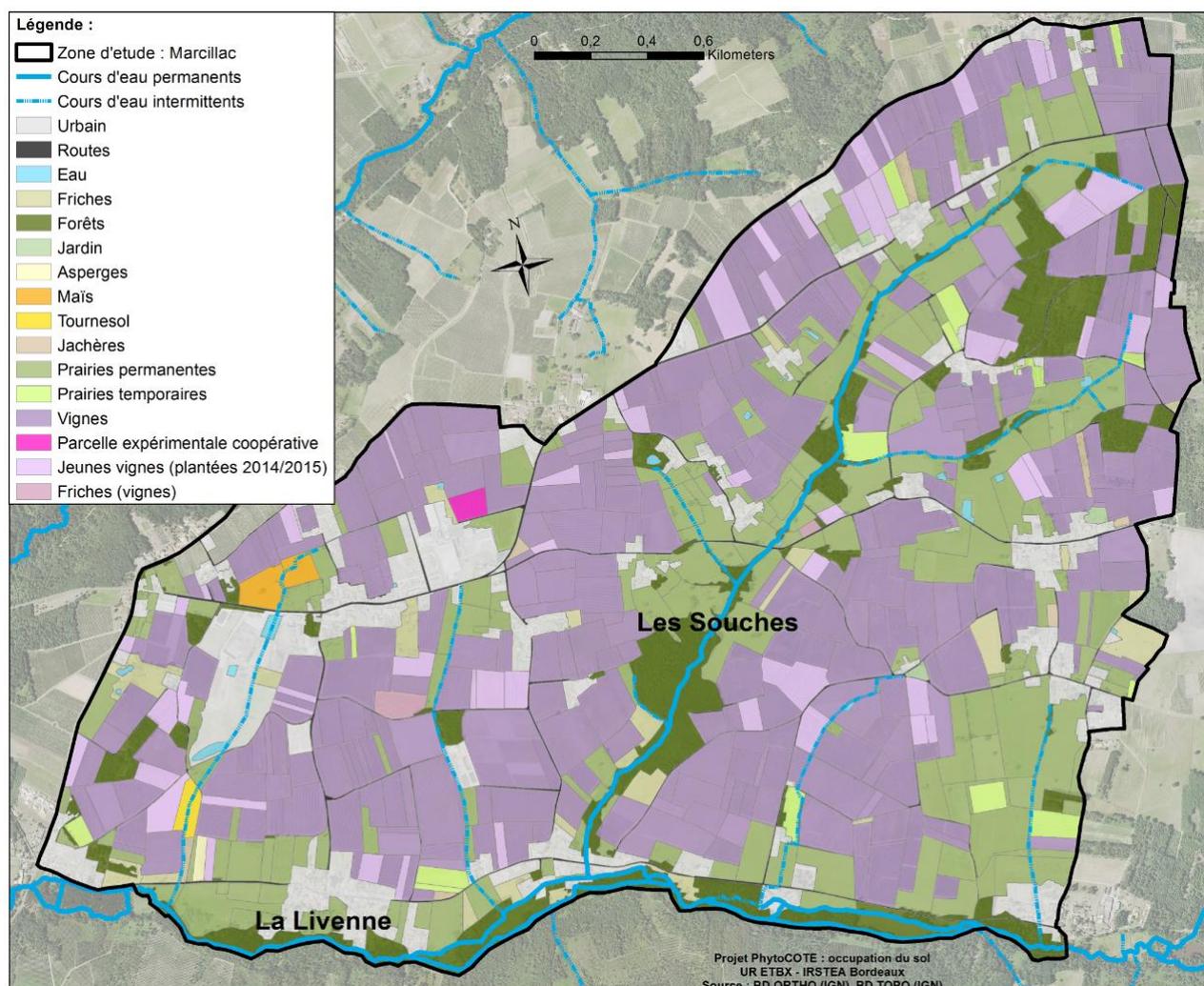


Figure 3 : Carte de la zone d'étude et de l'occupation du sol

Ce bassin expérimental possède une surface de 830 hectares, soit 8.3 Km². L'occupation du sol est majoritairement représentée par la vigne et les prairies. En effet, la vigne recouvre 51% de la surface totale de la zone étudiée et la prairie 13% (Figure 4). Mise à part deux parcelles de céréales (maïs et tournesols) et une parcelle d'asperges, l'ensemble de la surface agricole utile est occupé par de la vigne.

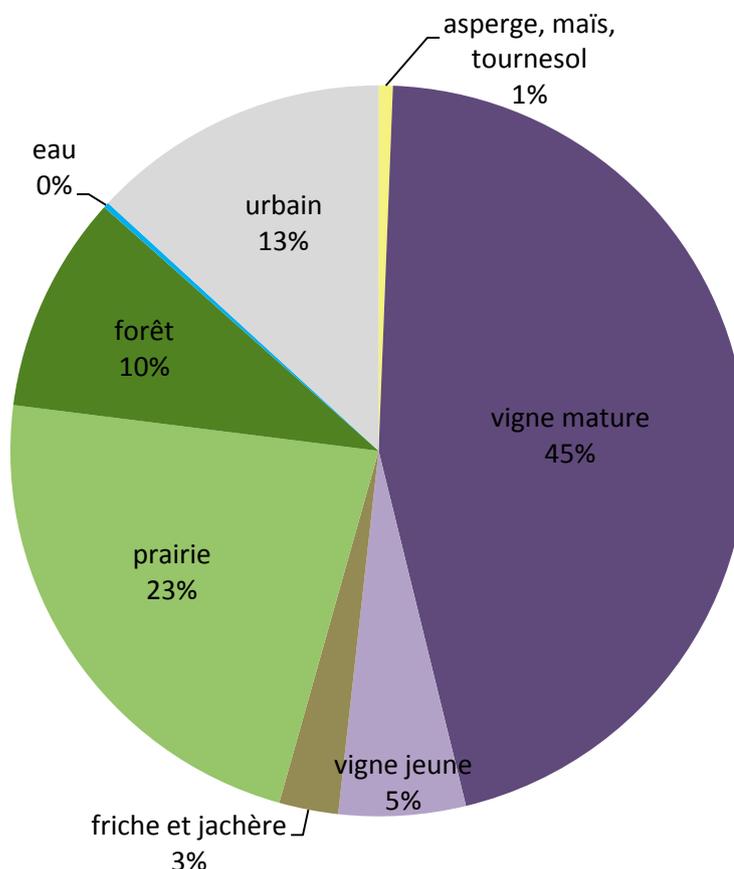


Figure 4 : Occupation du sol de la zone étudiée

Au total, 391 parcelles de vignes, avec une surface moyenne par vigne de un hectare, ont été dénombrées sur le site. Parmi ces parcelles, 329 correspondent à des vignes matures, 61 à des vignes jeunes, et une à la parcelle expérimentale conduite par la coopérative. Cette parcelle expérimentale est une exploitation où différents modes de conduite sur plusieurs cépages sont testés, et où la biodiversité est développée et les intrants de produits phytosanitaires sont diminués. Une vigne est considérée comme jeune de la plantation jusqu'à ce qu'elle puisse produire des fruits, ce stade dure en général 3 ans. La vigne devient ensuite mature et apte à la production de raisin. Les parcelles présentes sur le bassin viticole sont conduites par 41 exploitants différents, 34 sont adhérents à la coopérative les Vignerons de Tutiac et 7 sont indépendants.

2.2 – Les différentes modalités de transfert des produits phytosanitaires

Le transfert de produits phytosanitaires est contrôlé par des facteurs intrinsèques aux matières actives des pesticides, il dépend également de facteurs liés au milieu physique et

aux pratiques agricoles. Trois modes de transfert se distinguent (CORPEN, 1996 ; Macary, 2013) :

- La **percolation** : c'est un mécanisme d'infiltration des molécules en profondeur. La progression des contaminants est largement dépendante des caractéristiques du sol et des propriétés des molécules. Ce mode de transfert intervient essentiellement pour la contamination des eaux souterraines. Dans certains cas, suite à un phénomène de sorption et d'adsorption des molécules sur le substrat, les polluants seront stoppés avant d'atteindre la nappe.

- Le **ruissellement de subsurface** : ce mode transfert intervient lorsqu'un horizon imperméable situé sous un horizon perméable est proche de la surface. Des écoulements peuvent se produire à l'interface de ces deux couches et participer à la pollution des eaux de surface.

- Le **ruissellement à la surface du sol** : il existe deux types de ruissellement de surface. Le premier est le ruissellement hortonien, il se produit quand l'intensité des pluies est supérieure à la capacité d'infiltration du sol. Le deuxième est le ruissellement en zone saturé, il intervient lorsque le sol est entièrement saturé et il ne dépend pas de l'intensité de la pluie.

Un autre mode de transport peut intervenir, il s'agit du transfert des produits dans l'air (CORPEN, 2007a). Dans certaines conditions plus de 50% des produits lors d'un traitement peuvent être transportés par les airs (Van Der Werf, 1996). Cependant, ce dernier étant difficilement quantifiable à l'échelle de la parcelle, il ne sera pas pris en compte dans l'étude. La pollution de l'air sera tout de même caractérisée ultérieurement dans le groupe de tâche 2 avec l'utilisation de capteurs passifs aériens.

Le transfert des produits phytosanitaires vers les eaux de surface peut donc se faire de deux manières différentes : par le ruissellement de subsurface et par le ruissellement de surface. En fonction de la solubilité des molécules chimiques dans l'eau et de leur adsorption sur les particules de sol, ces dernières sont transportées différemment (CORPEN, 1996). En effet, des molécules à tendance hydrophile sont presque totalement dissoutes dans l'eau. Au contraire, des molécules à tendance hydrophobe sont retenues sur les particules de sols qui sont elles mêmes transportées dans l'eau suite au ruissellement. Ainsi, l'étude du risque de transfert des pesticides sera abordée sous deux angles : le transfert des molécules à tendance hydrophile et le transfert des molécules à tendance hydrophobe.

2.3 – Choix de la méthode pour déterminer les risques de transfert de produits phytosanitaires

2.3.1 – La modélisation multicritère

L'analyse multicritère pour l'aide à la décision, AMCD, est une méthode qui vise à résoudre des problèmes complexes par l'intermédiaire de processus de décision faisant intervenir le décideur. Ces méthodes, dont les concepts ont été initiés à la fin des années 60, sont premièrement utilisées afin de prédire et de probabiliser le comportement futur des consommateurs. Elles sont ensuite développées dans le monde industriel, essentiellement pour résoudre des problèmes financiers. Ce n'est qu'à partir des années 80 que l'analyse multicritère commence à être appliquée à des problèmes spatiaux notamment pour des

questions d'aménagements territoriaux ou environnementales (Greene *et al.*, 2011 ; Macary *et al.*, 2014a). Cette méthode d'analyse possède les avantages d'améliorer l'objectivité du processus de prise de décision et de préciser le rôle et la responsabilité du décideur.

Les AMCD sont des méthodes d'analyse adaptées aux études agro-environnementales telle que PhytoCOTE. En effet, elles utilisent aussi bien des données quantitatives que des données qualitatives. De plus, ces analyses peuvent prendre en compte des paramètres considérés comme conflictuels et qui ont un niveau d'importance différent les uns des autres.

Afin de résoudre le problème posé, des **actions** et des **critères** vont être définis (Figure 5). Une action est la représentation d'une éventuelle solution qui intervient dans le processus d'aide à la décision. Dans le cadre de l'étude des risques de transfert, les parcelles constituent des actions. Les critères sont des paramètres qui caractérisent et évaluent les différentes actions (Macary, 2013 ; Maystre *et al.*, 1994 ; Roy, 1985).

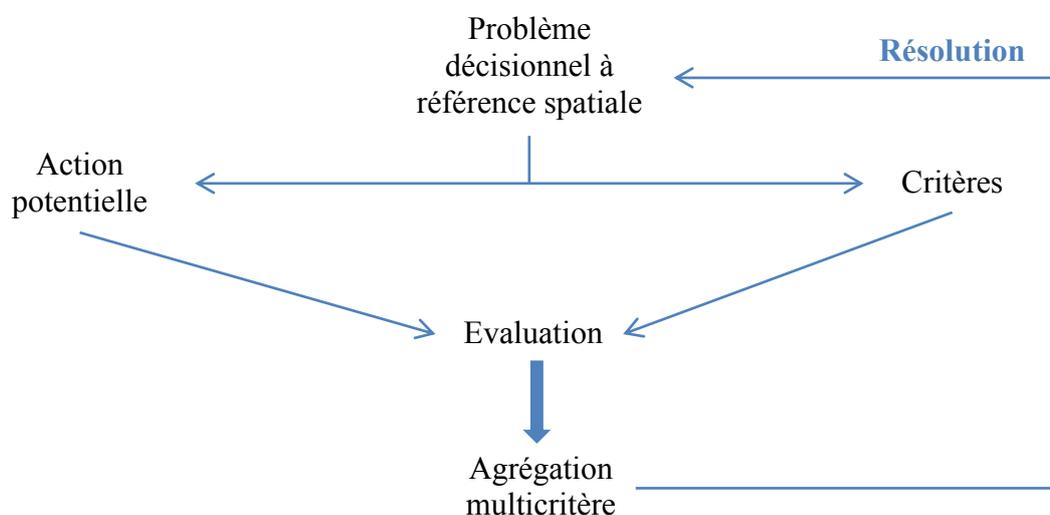


Figure 5 : processus de résolution d'un problème décisionnel (Macary, 2013)

La résolution du problème (Figure 5), qui se traduit par un ensemble d'actions et de critères, peut se faire selon quatre problématiques de référence (Roy, 1985) :

- La problématique du choix : cette problématique consiste à sélectionner un sous ensemble d'actions le plus petit possible dans lequel se trouve la meilleure solution. Si le sous ensemble est constitué d'une seule action, cette dernière est considérée comme la meilleure. Au contraire, si le sous-groupe se compose de plusieurs actions, celles-ci sont des solutions équivalentes et préférables à toutes les autres.
- La problématique du tri : au préalable, plusieurs catégories sont définies à partir des critères. Chaque action est ensuite triée et affectée à une seule catégorie. La solution ici ne réside plus en une action considérée meilleure que les autres, elle est établie par l'attribution de toutes les actions à différentes catégories.
- La problématique du rangement : les actions sont comparées les unes par rapport aux autres dans le but de les classer selon un ordre de préférence. Deux actions peuvent posséder le même rang de classement et être considérées comme équivalentes.
- La problématique de description : il s'agit de décrire chacune des actions ainsi que leurs conséquences. Cette problématique consiste plus à aider le décideur à formuler un problème plutôt que de le résoudre.

De nombreux modèles multicritères existent, la plupart sont construits selon l'une des trois approches suivantes. La première approche est celle du critère unique, cette méthode d'école américaine utilise des programmes mathématiques où toutes les actions sont comparables, elles sont donc toutes classées par la méthode d'analyse. La situation où deux actions sont incomparables n'est pas admise. Cette approche applique également une fusion des critères, empêchant donc d'expliquer la part d'intervention de chaque critère dans le résultat. La deuxième approche est celle du surclassement (Greene *et al.*, 2011 ; Macary, 2013). Cette approche d'école Européenne admet les situations d'incomparabilité des actions. Dans ce cas le choix final du classement où de l'attribution de l'action revient au décideur. Une dernière approche, celle du jugement local interactif, diffère des deux autres dans le sens où l'avis du décideur est jugé comme primordial et intervient à chaque étape de l'analyse.

L'analyse des risques de transfert des produits phytosanitaires est réalisée selon une **problématique de tri**, chaque parcelle (action ou alternative où se prennent les décisions) est ici attribuée à une catégorie de risque. La résolution du problème est également faite suivant une **approche de surclassement**. Ainsi une parcelle à la limite entre deux catégories de risque n'est pas automatiquement attribuée à l'une d'entre elles par le modèle. C'est l'analyste qui affecte l'action à la catégorie qu'il juge la mieux adaptée. Deux types de méthodes répondent à ces critères : les méthodes PROMETHEE et ELECTRE. Cependant, les méthodes ELECTRE font intervenir un seuil d'indifférence apportant un certain degré de précision, et sont utilisées depuis une quinzaine d'années par l'équipe EATBX pour répondre à des problématiques similaires à celle de PhytoCOTE. Pour ces raisons c'est la méthode ELECTRE, développée par le Dr Bernard ROY au LAMSADE, qui a été choisie.

2.3.2 – Le modèle ELECTRE TriC

ELECTRE est une méthode discrète et de surclassement. Elle fait intervenir un nombre fini d'actions et compare celles-ci deux à deux. Une action en surclasse une autre si la majorité de ses critères est meilleure et que les autres ne sont pas trop mauvais (Roy, 1985).

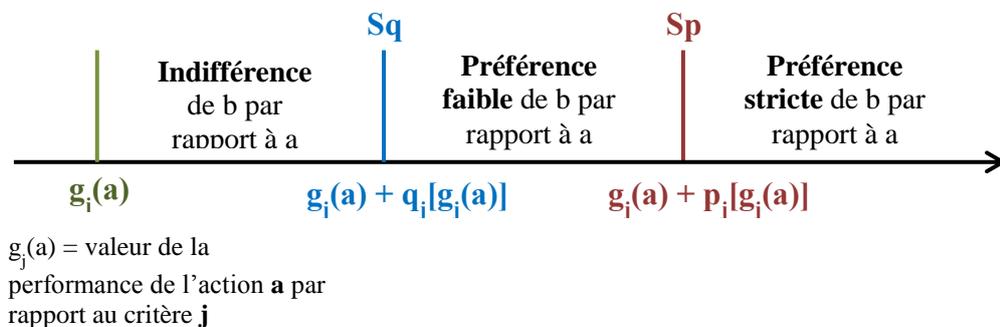
Il existe plusieurs méthodes dérivées d'ELECTRE, celle utilisée pour le projet procède selon une problématique de tri, il s'agit de la méthode ELECTRE TriC du logiciel MCDA-ULaval. Cette méthode est basée sur la création de catégories de référence auxquelles sont affectées toutes les actions. Ainsi les actions ne sont pas comparées entre elles deux à deux, mais sont comparées à chacune des catégories de référence (Almeida-Dias *et al.*, 2010).

Chaque catégorie est représentée par une **action de référence**. Cette dernière est définie par des **valeurs caractéristiques** représentatives de la catégorie, une valeur caractéristique étant donnée pour chaque critère. Pour la réalisation de la carte des risques de transfert, cinq catégories ont été créées : risque très faible, risque faible, risque moyen, risque fort et risque très fort. Pour chaque critère, des **valeurs de performance** sont affectées à toutes les actions, celles-ci sont ensuite groupées au sein d'un tableau appelé **matrice de performances**.

L'affectation des actions à chaque niveau de risque s'établit selon deux règles : la **règle descendante** et la **règle ascendante** (Almeida-Dias *et al.*, 2010). Lors de la règle descendante, une action est attribuée à la plus forte catégorie de risque à laquelle elle peut correspondre. Au contraire, la règle ascendante sélectionne la plus faible catégorie de

risque. Si les deux catégories retenues par les deux règles sont les mêmes, alors l'action est définitivement affectée à cette dernière. Dans le cas contraire, il s'agit d'une situation d'incomparabilité, c'est à l'analyste de choisir la catégorie à laquelle l'action doit être associée.

Compte tenu de l'imperfection des données, pouvant être due à leur incertitude ou à la définition des critères, des **seuils d'indifférence** S_q et des **seuils de préférence** S_p sont définis (Figure 6):



■ L **Figure 6 : Comparaison de deux actions a et b , sachant que $g_j(a) > g_j(b)$ (Macary, 2013)**

- Le seuil d'indifférence S_q permet de déterminer la différence de performance à partir de laquelle deux actions sont considérées comme différentes.
- Le seuil de préférence S_p traduit la différence de performance à partir de laquelle une action est strictement préférée à une autre.

Ces seuils introduisent la notion de préférence faible. Ainsi, la confrontation d'une action par rapport à une catégorie peut être décrite par quatre situations : l'indifférence, la préférence faible, la préférence stricte et l'incomparabilité.

Les seuils sont considérés comme des fonctions de performance et sont calculés sous la forme de fonctions affines :

$$q_j[g_j(a)] = \alpha_q \times g_j(a) + \beta_q \quad \text{et} \quad p_j[g_j(a)] = \alpha_p \times g_j(a) + \beta_p$$

avec α et β des coefficients fixés par l'utilisateur et j le critère pour lequel les seuils sont calculés.

Un seuil veto peut également être introduit, ce dernier permet de surclasser une action par rapport à une autre à partir de la différence de performance d'un seul critère. Cette différence est jugée tellement significative que la comparaison des autres critères devient négligeable. Le seuil veto n'est pas attribué à tous les critères.

Certains critères sont considérés comme plus importants que d'autres par les experts. De ce fait, des poids sont attribués à chaque critère afin de rendre compte de leur contribution, plus ou moins importante, dans le risque de transfert.

Un indice de crédibilité λ est aussi demandé à l'utilisateur. Cet indice est compris entre 0 et 1, et représente le pourcentage de poids des critères qui valide l'affectation d'une parcelle.

2.3.3 – Le couplage AMCD-SIG

L'étude des risques de transfert de produits phytosanitaires constitue une problématique agro-environnementale nécessitant une approche spatialisée. La spatialisation des données est réalisée à partir du logiciel de SIG ArcGis.

Les systèmes d'informations géographiques présentent de nombreuses fonctions (Sobrie, 2011). Les SIG sont capables d'organiser un grand nombre de données et d'en extraire facilement les informations. Ils permettent une visualisation de ces données, qu'elles soient à référence spatiale ou attributaire. Cette visualisation se fait généralement sous la forme de cartes où sont mises en évidence les caractéristiques des entités géographiques. Les SIG peuvent également être utilisés pour résoudre des problèmes. Pour cela, des requêtes spatiales, des combinaisons de données, ainsi que des analyses (mesure de distance, analyses statistiques...) sont effectuées.

Pour l'étude des risques de transfert de pesticides, l'utilisation d'un système d'information géographique est indispensable. En effet, des informations telles que la pente ont pu être extraites à l'aide des outils d'ArcGis. De même, le croisement de différentes couches d'informations a permis d'obtenir la valeur de certains critères à l'échelle de la parcelle. Les SIG ont donc participé à la construction de la matrice de performance.

Cependant, les SIG ne peuvent pas réaliser à eux seuls l'analyse complète des risques. Effectivement, les problématiques agro-environnementales à caractère spatial sont considérées comme étant de nature multicritère (Macary, 2013). L'usage des SIG seuls ne permet pas de résoudre ce problème complexe de manière aussi rigoureuse et précise comme le font les AMCD. Utilisés seuls, les modèles d'analyse multicritère d'aide à la décision sont également limités, notamment en ce qui concerne la restitution sous forme spatiale des résultats. Ainsi l'analyse se base sur un couplage AMCD-SIG.

Les couplages AMCD-SIG sont utilisés depuis plusieurs années pour étudier des problématiques très variées. Ils ont par exemple été employés pour déterminer le risque d'érosion au sein de bassin versant (Laaribi, 2000). Ce couplage a également déjà permis d'apprécier le risque de transfert de produits phytosanitaires sur des bassins versant dans les Coteaux de Gascogne (Macary *et al.*, 2013).

Il existe deux type de couplages : le premier consiste à combiner un modèle multicritère complet et le SIG sans les intégrer au sein d'un seul logiciel, de façon à bénéficier des performances des deux logiciels; le second est élaboré sous la forme d'un SIG auquel un module d'analyse multicritère est intégré. Le modèle américain IDRISI correspond au second cas de couplage. Ce modèle, qui a été utilisé par l'équipe GEODE de Toulouse, est plus adapté pour de vastes espaces. Or dans le cas de PhytoCOTE, la zone étudiée est plutôt restreinte. Pour cette raison un couplage AMCD-SIG non intégré a été choisi pour l'étude des risques de transfert.

L'interaction entre le système d'information géographique et la méthode d'analyse multicritère se fait de la façon suivante : suite à l'acquisition de données quantitatives et qualitatives qui sont mises en forme sur ArcGis, la matrice de performance est construite. Cette matrice est ensuite soumise à l'AMCD, cette dernière attribue un niveau de risque à chaque parcelle. Pour finir, à l'aide du SIG, les résultats sont obtenus sous la forme d'une cartographie du risque.

2.4 – Les critères retenus

2.4.1 – Le choix des critères

Afin d'analyser les risques de transfert de pesticides, six critères sont retenus. Ces critères sont significatifs et il est possible de leur attribuer des valeurs de performance pour chaque parcelle. Pour être pertinent un critère doit répondre à plusieurs conditions. Il doit être **discriminant**, en effet, afin de déterminer plusieurs classes de risque il est nécessaire que les performances induites par chaque critère ne soient pas homogènes sur la zone étudiée. Les données relatives aux critères doivent également être **accessibles**. Pour pouvoir définir des valeurs de référence pour chaque niveau de risque, une **bibliographie** donnant une preuve de la relation entre le transfert de pesticides et le critère, doit être disponible. Enfin, tous les critères doivent être le plus possible **indépendants** les uns des autres.

Ces critères tiennent compte aussi bien du milieu physique dans le lequel se trouve la parcelle (pente, connexion au cours d'eau, nature du sol), que des pratiques agricoles et des zones tampons (Figure 7).

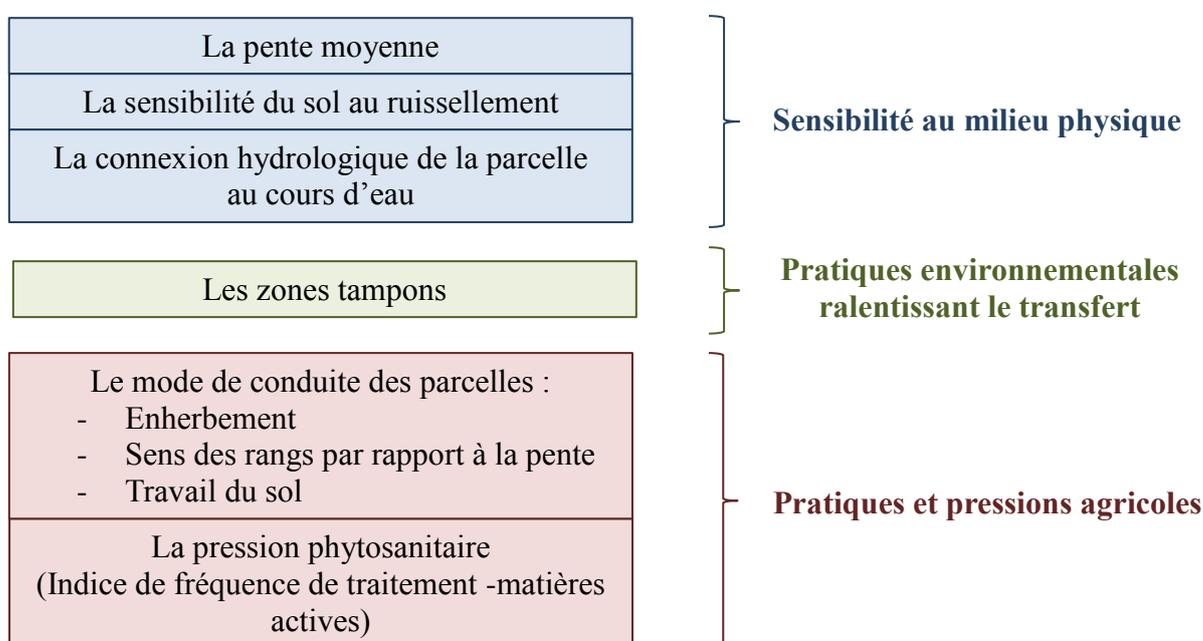


Figure 7 : Critères utilisés pour la modélisation du risque de transfert de produits phytosanitaires

Chaque action (parcelle) reçoit une note par critère, appelée **performance**. La notion de parcelle agricole est ici prise au sens large c'est-à-dire par rapport à la représentation de l'occupation du sol sur le bassin versant expérimental, elle peut être : une culture annuelle ou pérenne, une prairie ou une surface boisée.

Chaque critère va être décrit. Si les données relatives au critère sont de nature quantitative, la valeur numérique de la donnée constitue la valeur de performance. Au contraire, si les données sont qualitatives, il est nécessaire de créer une notation afin d'affecter une valeur numérique à une valeur qualitative. Le risque est caractérisé en cinq catégories, ce qui correspond à la définition généralement utilisée pour les approches de risque environnemental. Pour tous les critères, cinq catégories de risque, ainsi que des seuils d'indifférence et de préférence sont déterminés.

2.4.2 - La pente

La pente est un critère important pour évaluer les risques de transfert de produits phytosanitaires. Celle-ci intervient directement sur les écoulements de surface qui se produisent après un évènement pluvieux. Plus la pente sera importante, plus les vitesses des écoulements seront fortes (CORPEN, 1996). Or la vitesse des écoulements de surface influence le transfert de pesticides. En effet, lorsque ces vitesses sont élevées, les molécules polluantes à tendance hydrophile n'ont pas le temps de se fixer au substrat et d'être détériorées. Elles sont donc plus facilement transférées jusqu'au cours d'eau. Ainsi, pour de fortes pentes le risque de transfert sera élevé.

Pour l'appréciation de ce critère, il a été décidé de retenir la pente moyenne pour chaque parcelle (vignes, prairies et forêts). Les parcelles viticoles possédant des surfaces proches, qui sont en moyenne de un hectare, et les pentes étant globalement homogènes et orientées dans le même sens sur une parcelle, la pente moyenne se révèle être un bon indicateur.

Les pentes moyennes ont été calculées avec le logiciel de SIG ArcGis. Les calculs ont été réalisés sur un modèle numérique de terrain d'une précision de 5m, à l'aide des outils de *Spatial Analyst*. Les pentes moyennes sont données en pourcentage.

Valeurs caractéristiques des niveaux de référence :

La valeur des cinq niveaux de référence est déterminée grâce aux seuils naturels de Jenks. A partir de la distribution des pentes moyennes, cinq classes, dont les bornes correspondent aux seuils de Jenks, sont définies. Electre TriC ne prenant pas de bornes mais une seule valeur pour chaque catégorie de référence, les médianes de chaque classe sont prises comme valeurs de référence.

Tableau 1 : Notation ELECTRE TriC pour le critère pente

Catégorie	Niveau de risque	valeur caractéristique (%)
C1	risque très fort	12,0
C2	risque fort	8,5
C3	risque moyen	5,5
C4	risque faible	3,5
C5	risque très faible	1,5

Seuil d'indifférence Q et seuil de préférence P :

Des seuils fixes sont définis pour ce critère. Pour le seuil d'indifférence les coefficients sont les suivants : $\alpha = 0$ et $\beta = 0.1$, $S_q (0 ; 0.1)$. Deux actions sont donc considérées comme différentes à partir du moment où elles sont séparées de 0.1%. La préférence est quant à elle déterminée lorsqu'un écart de 0.2% est présent entre deux actions, $S_p (0 ; 0.2)$.

2.4.3 - Le sol

La nature du sol intervient dans le transfert de produits phytosanitaires, notamment au niveau du ruissellement, de l'infiltration de sub-surface ou profonde et de la rétention des particules. La zone étudiée est composée de onze sols différents (Figure 8) (Sergent,

1990). La nature et la cartographie de ces sols ont été déterminées avec précision par Denis Sergent, un chercheur de l'INRA.

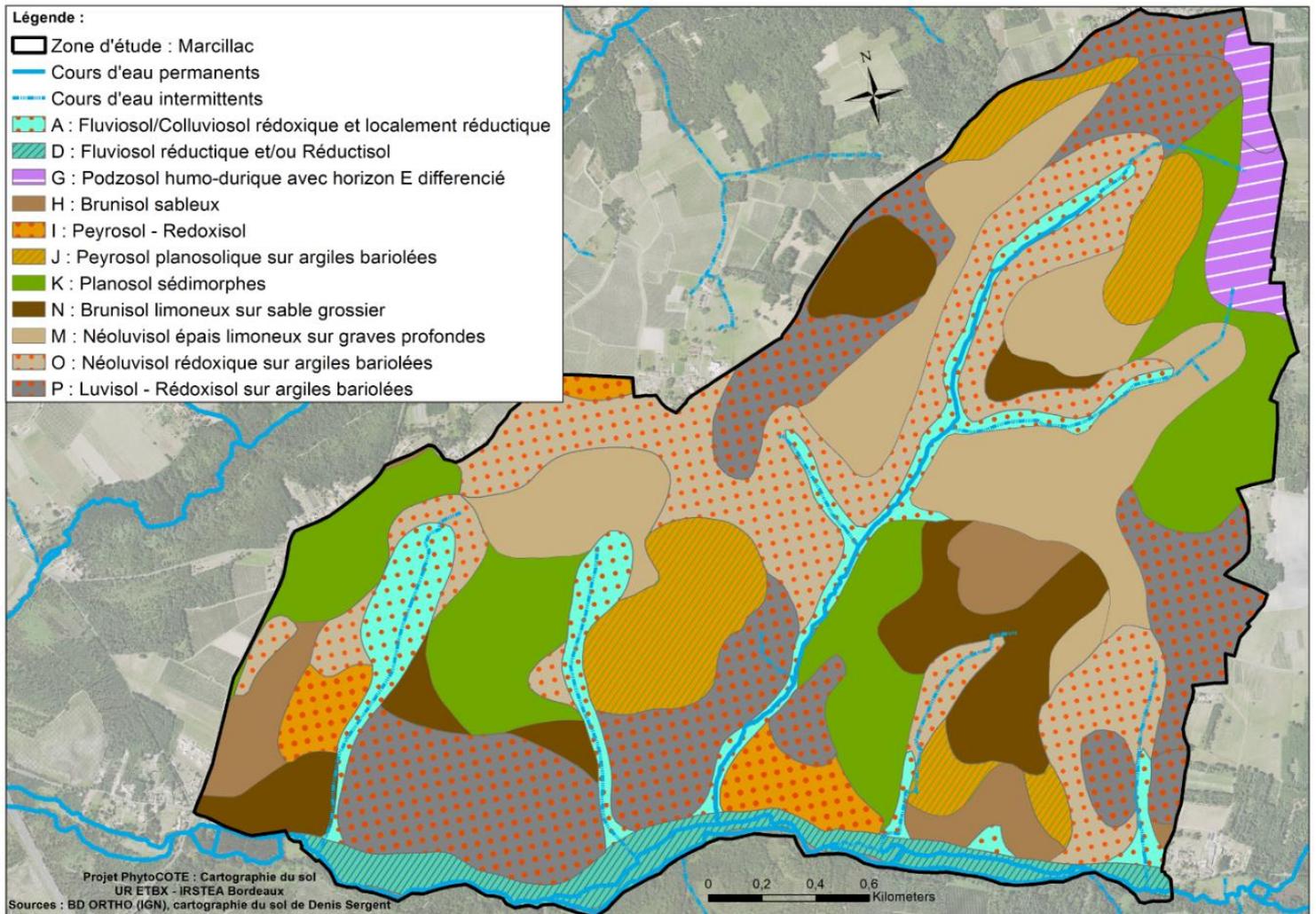


Figure 8 : Carte du sol

Afin de caractériser essentiellement le risque de ruissellement associé à chaque sol, un modèle simplifié a été établi à l'aide de Philippe Chéry, pédologue enseignant à BSA. Le sol est modélisé en deux horizons perméables ou imperméables, quatre scénarii se présentent (Figure 9) :

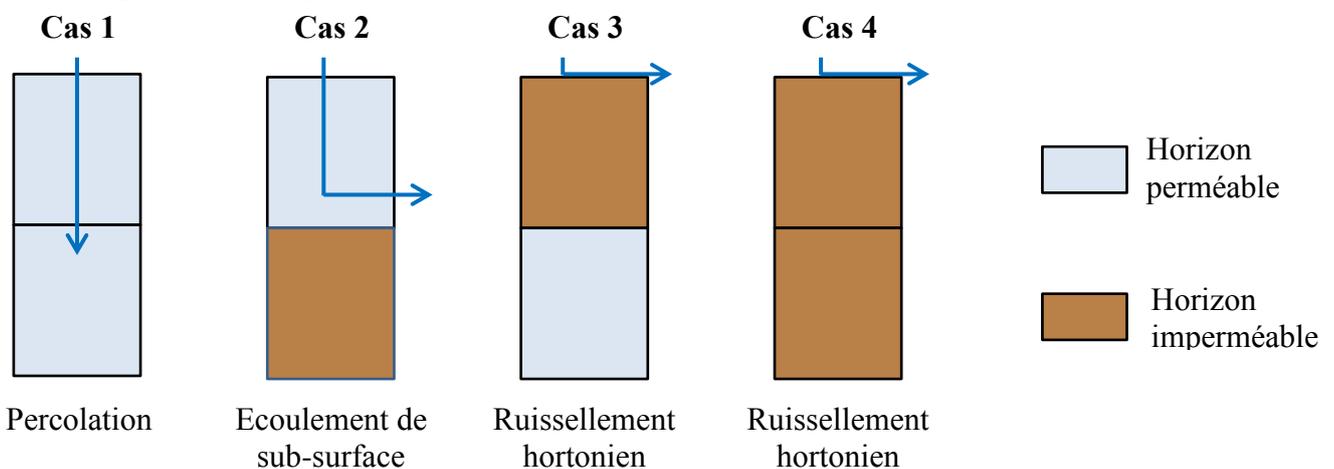


Figure 9 : Modélisation du sol en quatre scénarii

La perméabilité des sols est évaluée à partir de la texture des horizons. Ainsi un sol limoneux ou sableux est considéré comme perméable, alors qu'un sol argileux est défini comme imperméable. Les quatre scénarii conduisent à trois conséquences au niveau du ruissellement :

- Cas 1 : il y a percolation, les eaux s'infiltrent en profondeur. Cette infiltration peut éventuellement permettre à l'eau de s'épurer. Ce cas présente un risque faible de ruissellement et de transfert de produits phytosanitaires en surface.
- Cas 2 : les eaux s'infiltrent dans le premier horizon, puis sont stoppées au deuxième, il se produit alors un écoulement de sub-surface. Un risque moyen de ruissellement est associé à ce scénario.
- Cas 3 et cas 4 : un horizon imperméable affleure. Ainsi, lors d'événements pluvieux, l'apport en eau est supérieur à la capacité d'infiltration, un ruissellement hortonien est produit. Ces deux cas de figure sont associés à un risque de ruissellement élevé.

Pour apporter plus de précision au critère sol, le cas 2 est subdivisé en trois sous catégories. Ces sous catégories prennent en compte la profondeur à laquelle se trouve l'horizon imperméable.

Les notes suivantes sont attribuées pour chaque cas de figure (Tableau 2) :

Tableau 2 : Notation des différents types de sol

<i>Cas</i>	<i>Sol</i>	<i>Profondeur de l'horizon imperméable</i>	<i>Risque de ruissellement</i>	<i>Note</i>
3 et 4	D	NC	fort	7
2	K	< 20 cm	assez fort	5
	J et A	entre 20 et 60 cm	moyen	4
	G, O et P	> 60 cm	assez faible	3
1	H, I, N et M	NC	faible	1

Les sols ayant les notes les plus élevées sont associés aux risques les plus forts. Afin de discriminer au mieux les sols, les notes entre les cas 1-2 et 2-3 sont séparées de deux points, et celles entre deux sous catégories sont espacées de un point. Pour les parcelles possédant plusieurs sols, une moyenne prenant en compte la surface couverte par chaque sol est effectuée.

Valeurs caractéristiques des niveaux de référence :

De même que pour la pente, cinq valeurs caractéristiques sont attribuées aux niveaux de référence (Tableau 3). Un risque fort de ruissellement est associé à un risque de transfert de pesticides élevé.

Tableau 3 : Notation ELECTRE TriC pour le critère du sol

<i>Catégorie</i>	<i>Niveau de risque</i>	<i>valeur caractéristique</i>
C1	risque très fort	7
C2	risque fort	5
C3	risque moyen	3
C4	risque faible	2
C5	risque très faible	1

Seuil d'indifférence Q et seuil de préférence P :

Lors du choix de la notation, une préférence a déjà été inscrite, de cette façon le seuil d'indifférence est défini comme tel : $S_q(0 ; 0)$. Le seuil de préférence est créé de manière à introduire une préférence faible entre les risques de ruissellement assez faible, moyen et assez fort, et une préférence stricte entre les risques de ruissellement faible-assez faible et fort-assez fort. Pour cela, la valeur 0.2 est attribuée au coefficient β , $S_p(0 ; 1.9)$.

2.3.4 – La connexion hydrologique

La connexion de la parcelle au cours d'eau intervient directement dans le transfert de produits phytosanitaires. Cette connexion est évaluée selon différents paramètres :

- **l'éloignement de la parcelle** au cours d'eau. La parcelle peut être directement située le long de la rivière, dans ce cas la connexion est très élevée.
- les **éléments anthropiques** tels que les fossés, les routes et les chemins. Ces éléments interviennent différemment sur la connexion. En effet, ils peuvent faciliter les transferts en canalisant les écoulements jusqu'au cours d'eau, ou au contraire jouer le rôle de barrières en faisant obstacle aux flux.
- les **éléments naturels** tels que les talwegs, les talus, les prairies naturelles et les forêts. Les talwegs et les talus concentrent les eaux de ruissellement et accélèrent les écoulements. Dans le cas contraire, lorsque les parcelles sont uniquement connectées à une prairie naturelle ou à une forêt, les eaux de ruissellements sont considérablement ralenties, voire entièrement stoppées et peuvent être épurées. Ainsi, les eaux émanant de la parcelle n'atteignent que très rarement le cours d'eau.

En ce qui concerne les fossés des points supplémentaires sont à prendre en compte. Pour qu'il y ait une connexion entre la parcelle et le cours d'eau, le fossé doit premièrement être connecté. De plus, ces derniers possèdent deux rôles antagonistes. En effet, ils peuvent faciliter le transfert de produits phytosanitaires ou au contraire retenir et dégrader les polluants (Garon-Boucher, 2003). Les paramètres permettant de déterminer le rôle de ces fossés sont la surface et le temps de contact entre les eaux et le fossé, mais également l'entretien de celui-ci. Pour tenir compte de ces deux fonctions, la distance de fossés séparant la parcelle du cours d'eau a été calculée.

Les différents types de connexion ont été déterminés à partir d'observations sur le terrain, mais aussi à l'aide de calculs de distance sur le logiciel SIG, notamment pour le calcul de la distance de fossé entre la parcelle et le cours d'eau.

La connexion étant une donnée qualitative, les notes suivantes (Tableau 4) sont attribuées à chaque type de connexion pour pouvoir réaliser la matrice de performance :

Tableau 4 : Notation des types de connexion dans la matrice de performance

<i>type de connexion</i>	<i>longueur de fossé (parcelle - cours d'eau)</i>	<i>connexion</i>	<i>note</i>
le long du cours d'eau (ou traversé par le cours d'eau temporaire)		a : connexion forte à très fort	10
talus peu large et pentu en bord du cours d'eau		b : connexion forte	8
fossé talweg	≤ 100 m	c : connexion assez forte	6
	> 100 m	d : connexion moyenne	5
chemin, route		e : connexion faible	3
espace tampon (prairie naturelle, forêt)		f : connexion très faible	2
pas connectée		g : connexion nulle	1

Les fortes connexions sont ici associées aux risques de transfert les plus élevés. Comme précédemment, des écarts sont introduits entre les notes afin de discriminer au mieux les différentes connexions.

Valeurs caractéristiques des niveaux de référence :

Le Tableau 5 regroupe les valeurs caractéristiques associées à chaque niveau de risque :

Tableau 5 : Notation ELECTRE TriC pour le critère connexion hydrologique

<i>Catégorie</i>	<i>Niveau de risque</i>	<i>valeur caractéristique</i>
C1	risque très fort	10
C2	risque fort	8
C3	risque moyen	5
C4	risque faible	3
C5	risque très faible	1

Seuil d'indifférence Q et seuil de préférence P :

De même que précédemment, $S_q (0 ; 0)$. Le seuil $S_p (0 ; 1.9)$ permet de déterminer une préférence faible entre les types de connexion e-f et f-g, et une préférence stricte entre a-b, b-c, c-d et e-f.

2.4.5 – La zone tampon

Les zones tampons jouent un rôle de frein au transfert de contaminants, voire de piégeage. Ces zones sont localisées le long des parcelles, de façon à intercepter les écoulements provenant de ces dernières. Une zone tampon ne doit pas nécessairement être située en bordure du cours d'eau (CORPEN, 2007b), ainsi deux types de zones tampons sont recensées sur le site d'étude : les bandes enherbées le long du cours d'eau et les tournières des parcelles de vigne. Toutes les parcelles viticoles observées étant entourées par des tournières, ce type de zone tampon s'est révélé être un des dispositifs majeurs pour freiner les écoulements.

Les zones tampons ne constituent pas seulement un frein aux écoulements, elles interviennent également dans la rétention et la dégradation des molécules polluantes. Le phénomène de rétention est principalement dû à l'infiltration des eaux de ruissellement. Il dépend également, dans une moindre mesure, de la sédimentation des particules et de l'adsorption des molécules polluantes sur les végétaux et sur les particules du sol (Grill & Lacas, 2004).

L'efficacité des zones tampons dépend de plusieurs paramètres. Elle est liée aux caractéristiques du ruissellement, notamment au débit de celui-ci et à la concentration en molécules polluantes. Également, elle est associée à des propriétés intrinsèques à la zone tampon :

- **La largeur.** Plus cette dernière est élevée, plus la zone tampon est efficace et intercepte les produits phytosanitaires. Cette largeur est estimée sur le terrain et elle est mesurée dans le sens de la pente. D'après des expérimentations réalisées dans l'ouest de la France, une zone tampon de 6m possède environ une efficacité relative à 50% (Grill & Lacas, 2004). Il a donc été décidé d'attribuer un niveau de protection moyen aux zones tampons ayant une largeur de 6m. L'intervalle de largeur présent sur la zone étudiée va de 1m à 20m.

- **La qualité** influence positivement l'efficacité de la zone tampon. Trois niveaux de qualité sont retenus pour l'étude (Figure 10) :

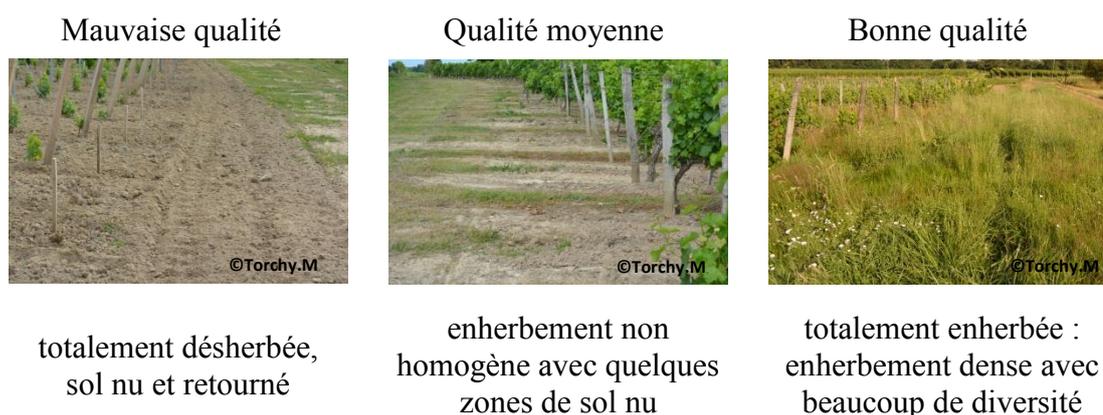


Figure 10 : Les trois niveaux de qualité de la zone tampon

La combinaison de ces deux derniers paramètres est utilisée afin d'évaluer le niveau de protection associé aux zones tampons (Tableau 6).

Tableau 6 : Notation de la zone tampon dans la matrice de performance

<i>Largeur</i>	<i>Qualité</i>	<i>Niveau de protection</i>	<i>Note</i>
≤ 3 m	Mauvaise	Très faible	19
	Moyenne		18
	Bonne		17
] 3 ; 5 m [Mauvaise	Faible	15
	Moyenne		14
	Bonne		13
[5 ; 7 m [Mauvaise	Moyenne	12
	Moyenne		11
	Bonne		10
[7 ; 9 m [Mauvaise	Forte	8
	Moyenne		7
	Bonne		6
≥ 9 m	Mauvaise	Très forte	4
	Moyenne		3
	Bonne		2
Parcelle non concernée			0

La largeur constitue ici le paramètre principal pour mesurer l'efficacité de ces zones de protection.

Valeurs caractéristiques des niveaux de référence :

En ce qui concerne l'attribution des valeurs de références (Tableau 7), les zones tampons avec un niveau de protection faible sont associées au risque de transfert le plus élevé.

Tableau 7 : Notation ELECTRE TriC pour le critère zone tampon

<i>Catégorie</i>	<i>Niveau de risque</i>	<i>valeur caractéristique</i>
C1	risque très fort	18
C2	risque fort	14
C3	risque moyen	11
C4	risque faible	7
C5	risque très faible	3

Seuil d'indifférence Q et seuil de préférence P :

La notation utilisée traduisant déjà une différence entre chaque type de zone tampon, les coefficients α et β du seuil d'indifférence sont égales à 0, $S_q(0 ; 0)$. Une préférence faible est introduite pour des zones tampons ayant le même intervalle de largeur mais une

qualité différente. La préférence entre deux zones tampons ayant un intervalle de largeur différente, est quant à elle jugée comme stricte, $S_p(0 ; 1.9)$.

2.4.6 – Le mode de conduite des parcelles

Le mode de conduite d'une parcelle influence le transfert des produits phytosanitaires qui en sont issus. Ce critère est spécifique aux parcelles de vigne et quatre pratiques agricoles sont prises en compte :

- **L'orientation des rangs par rapport à la pente.** Trois cas de figure se présentent. Premièrement, lorsque les rangs de vigne sont disposés parallèlement à la pente, les écoulements sont concentrés dans les inter-rangs. Le ruissellement est également favorisé par la présence d'ornières, où les eaux sont canalisées et s'infiltrent moins en raison de la compaction du sol. Le deuxième cas correspond à la configuration où les rangs sont placés perpendiculairement à la pente. Dans ce cas, les écoulements sont freinés par les rangs de vigne qui sont en général situés sur des micro-reliefs. Le transfert de pesticides est ici limité. Le dernier cas correspond à une situation intermédiaire, les rangs sont orientés de façon oblique par rapport à la pente.

- **L'enherbement de l'inter-rang.** L'enherbement de l'inter-rang est décrit de trois façons différentes. Les inter-rangs peuvent être soit tous enherbés, soit enherbés un inter-rang sur deux ou soit tous désherbés. Plus la surface en herbe est importante, plus les écoulements sont ralentis et l'infiltration est meilleure. Les surfaces enherbées se présentent comme des « freins » aux transferts. Ainsi, les parcelles avec des inter-rangs totalement désherbés font l'objet de ruissellements plus importants, que les parcelles où il y a un enherbement.

- **L'enherbement du cavaillon.** Le cavaillon est la partie du sol localisée sous les pieds de vigne. Ce dernier peut être enherbé ou désherbé. Comme pour l'inter-rang, l'herbe ralentit le ruissellement.

- **Le travail du sol de l'inter-rang** intervient sur la battance. Le phénomène de battance se produit lorsque des gouttes d'eau détachent des particules de sol et les projettent aux alentours. Ces particules fines provoquent le colmatage de la porosité en surface, il se forme alors une couche imperméable appelée « croûte de battance ». Ce processus limite l'infiltration et favorise le ruissellement (Le Bissonnais *et al.*, 2002). Cette pratique agricole est ici divisée en deux catégories : le travail fin et le travail grossier (Figure 11).

Travail fin



Travail grossier



Figure 11 : Travail du sol des parcelles de vigne

Un travail fin a tendance à favoriser le processus de battance, et au contraire un travail plus grossier et motteux entraîne une meilleure résistance à ce phénomène (Armand, 2010).

Ces quatre pratiques agricoles ont été observées sur chacune des parcelles viticoles. La note de ce critère dans la matrice de performance (Tableau 8) est déterminée par la combinaison des différents paramètres.

Tableau 8 : Notation du mode de conduite de la parcelle dans la matrice de performance

<i>Enherbement de l'inter-rang</i>	<i>Orientation des rangs par rapport à la pente</i>	<i>Enherbement du cavaillon</i>	<i>Travail du sol dans l'inter-rang</i>	<i>Note</i>
désherbé	parallèle	désherbé	fin	33
			grossier	32
	oblique	désherbé	fin	30
			grossier	29
	perpendiculaire	désherbé	fin	27
			grossier	26
1 inter-rang sur 2	parallèle	désherbé	fin	24
			grossier	23
		enherbé	fin	22
			grossier	21
	oblique	désherbé	fin	19
			grossier	18
		enherbé	fin	17
			grossier	16
	perpendiculaire	désherbé	fin	14
			grossier	13
		enherbé	fin	12
			grossier	11
enherbé	parallèle	désherbé	NC	9
		enherbé		8
	oblique	désherbé		6
		enherbé		5
	perpendiculaire	désherbé		3
		enherbé		2
non concerné				0

L'importance attribuée à chacun de ces paramètres n'est pas la même. La pratique ayant le plus de conséquences sur les écoulements est la qualité d'enherbement des inter-rangs, elle est ensuite suivie par l'orientation des rangs, puis par l'enherbement du cavaillon et le travail du sol.

Valeurs caractéristiques des niveaux de référence :

Les valeurs des cinq niveaux de référence sont indiquées dans le tableau 9, comme précédemment, les notes les plus élevées correspondent aux risques de transfert les plus importants.

Tableau 9 : Notation ELECTRE TriC pour le critère mode de conduite de la parcelle

<i>Catégorie</i>	<i>Niveau de risque</i>	<i>valeur caractéristique</i>
C1	risque très fort	29
C2	risque fort	23
C3	risque moyen	16
C4	risque faible	9
C5	risque très faible	2

Seuil d'indifférence Q et seuil de préférence P :

De même que pour les critères précédents, $S_q(0; 0)$ et la notion de préférence faible et stricte est introduite par le seuil de préférence suivant : $S_p(0; 1.9)$.

2.4.7 – La pression phytosanitaire (l'IFT - substances actives)

Il existe différents indicateurs permettant d'évaluer la pression phytosanitaire : le nombre de traitements par hectare, la quantité de substance active par hectare, l'IFT appliqué aux produits commerciaux et l'IFT appliqué aux substances actives. La pression phytosanitaire exercée sur le bassin viticole est ici caractérisée par l'indice de fréquence de traitement appliqué aux substances actives, l'**IFTsa**. Contrairement aux indicateurs basés sur le nombre de traitements et la quantité de matière active, l'IFTsa prend en compte la dose de substances actives utilisée lors des traitements, mais aussi le fait que deux substances actives peuvent avoir des doses d'efficacité très différentes. Les produits commerciaux contiennent souvent plusieurs matières actives. Or l'utilisation d'un IFT appliqué aux produits commerciaux, IFTpc, ne va pas tenir compte du nombre de substances actives. En effet, un produit composé de deux substances actives A et B, possédera un IFTpc plus faible que deux produits contenant chacun une substance active A ou B (Guichard, 2010). L'utilisation de l'IFTsa permet donc de pallier à ce problème et d'évaluer la pression phytosanitaire le plus précisément possible tout en étant simple d'utilisation.

IFTsa représente le nombre de doses homologuées de substances actives appliqué sur une parcelle (Guichard, 2010). L'IFTsa se calcule de la manière suivante :

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

L'IFTsa d'une parcelle est ensuite obtenu par la somme des différents IFTsa calculés pour chaque substance active.

La dose homologuée représente la dose qui doit être appliquée pour protéger efficacement une culture définie, contre un organisme cible donné (Pingault, 2007a). Il n'existe pas de base de données sur les doses homologuées des matières actives, cependant plusieurs organismes, tel que l'IFV, utilisent les doses homologuées des produits commerciaux dans lesquels elles apparaissent. Même si les doses homologuées sont celles

des produits, un produit contenant deux substances actives possédera deux IFTsa. Ces doses de référence sont obtenues à partir de l'index phytosanitaire ACTA 2016 (Baudet & Béranger, 2015).

L'IFTsa est déterminé pour toutes les parcelles agricoles et concerne les traitements effectués en 2015. Il est compris entre 10.1 et 29.7, cette différence observée est principalement due aux modes de conduites des viticulteurs (agriculture biologique, raisonnée ou conventionnelle). Les traitements réalisés en 2015 n'ont pas pu être récupérés auprès de tous les exploitants, pour les quelques parcelles dont les données étaient manquantes un IFTsa moyen de 20 a été appliqué. Pour les quelques parcelles de cultures céréalières et d'asperges, un IFTsa moyen et régional a été attribué.

Valeurs caractéristiques des niveaux de référence :

Les IFTsa forts caractérisent des pressions phytosanitaires élevées, et donc des risques de transfert de pesticides importants. Les valeurs caractéristiques suivantes sont attribuées aux niveaux de référence (Tableau 10) :

Tableau 10 : Notation ELECTRE TriC pour le critère IFTsa

<i>Catégorie</i>	<i>Niveau de risque</i>	<i>valeur caractéristique</i>
C1	risque très fort	27
C2	risque fort	23
C3	risque moyen	19
C4	risque faible	15
C5	risque très faible	10

Seuil d'indifférence Q et seuil de préférence P :

Le seuil d'indifférence est choisi de façon à ce que deux actions soient considérées comme différentes à partir du moment où la différence de la valeur de leur IFTsa est égale à 0.5, $S_q (0 ; 0.5)$. La préférence stricte est déterminée pour un écart de 0.95 entre les valeurs, $S_p (0 ; 0.95)$. Cet écart est jugé suffisamment significatif pour permettre à une action de changer de catégorie de risque.

2.5 – Application d'un seuil véto pour le critère de la pression phytosanitaire

Afin d'empêcher le surclassement de parcelles possédant un indice de fréquence de traitement nul, voire très faible (céréales), vers des catégories de risque élevé, un seuil véto est appliqué à ce critère. Grâce à celui-ci, les parcelles sans traitement (prairies et forêts) sont affectées à la catégorie de risque la plus faible. Ceci est toujours vrai, même lorsque ces parcelles possèdent une très forte vulnérabilité. Ce seuil permet donc à une action de ne pas être surclassée même si tous les autres critères valident le surclassement (Roy, 1985).

Il est primordial de bien choisir la valeur de ce seuil pour qu'il soit efficace sans pour autant restreindre le modèle et modifier l'affectation des parcelles de vignes aux différentes catégories de risque. Pour cela, plusieurs règles doivent être respectées :

- Afin de ne pas être trop restrictif et de s'appliquer entre deux niveaux de risque qui se suivent, le seuil véto doit être supérieur aux écarts séparant deux valeurs caractéristiques de deux classes de risque consécutives.

- Le seuil doit toutefois être inférieur à la différence entre deux valeurs caractéristiques appartenant à des catégories non consécutives pour empêcher le surclassement des prairies et des forêts.

Aux vues de toutes ces informations, il a été décidé de choisir un seuil véto avec un coefficient β égal à 7, $S_v(0 ; 7)$. Pour confirmer ce choix trois tests ont été réalisés avec les seuils suivants : $S_v(0 ; 7)$, $S_v(0 ; 5)$ et $S_v(0 ; 9)$. Pour $\beta=9$, des prairies et des forêts sont surclassées à des niveaux de risque élevés. Pour $\beta = 5$, le seuil véto trop restrictif affecte l'attribution de parcelles de vigne. Le seuil $S_v(0 ; 7)$ quant lui, permet aux prairies et aux forêts de ne pas être surclassées et ceci sans restreindre le modèle. Le choix du seuil a donc été confirmé.

2.6 – Pondération des critères et détermination du seuil de crédibilité

Des poids sont attribués à chaque critère en fonction de l'importance de leur rôle dans les transferts de produits phytosanitaires. La distribution des poids des critères diffère en fonction de la nature des molécules polluantes qui sont impliquées. Ainsi, les molécules peu solubles dans l'eau font l'objet d'une pondération différente des molécules qui sont au contraire plutôt solubles.

L'attribution des poids a été réalisée à l'aide du logiciel SRF. Ce logiciel conçu par la collaboration de Jean Simos, Bernard Roy et José Figueira, est particulièrement adapté aux méthodes Electre en ce qui concerne le choix de la pondération (Figueira & Roy, 2002). Le logiciel SRF nécessite toutefois l'avis d'experts, il fonctionne de la manière suivante :

- Les critères sont premièrement classés des moins au plus importants.
- Des écarts sont ensuite déterminés entre chaque critère qui se succède. Ces écarts traduisent la différence de contribution entre deux critères. Par exemple, il peut être décidé que le critère IFTsa est trois fois plus important que le critère concernant la nature du sol.
- Il est également nécessaire de renseigner le coefficient Z, ce dernier rend compte de la différence d'importance entre le premier et dernier critère.

A partir de ce travail réalisé par l'analyste et les experts, le logiciel calcule le poids de chaque critère. Le choix de ces poids a fait l'objet d'un travail conséquent pour le projet de recherche européen INTERREG-SUDOE Agua Flash (2009-2012), dans lequel Francis Macary coordonnait le groupe de tâches relatif aux risques de transferts des contaminants (azote, pesticides) vers les eaux de surface. Cette étude portait en partie sur les transferts de produits phytosanitaires sur des vignobles des Coteaux de Gascogne (bassin versant de la Save de 1150 km² et un bassin versant expérimental de 3 km² à Auradé). Le projet PhytoCOTE, réalisé dans les mêmes conditions qu'Auradé, possède les mêmes applications et utilise le même modèle d'analyse que ce dernier. Le travail effectué sur l'ancienne étude a donc servi de base pour le raisonnement de la pondération spécifique à cette étude.

Que ce soit pour le transfert de molécules plutôt hydrophiles ou bien pour celui des molécules peu solubles, le critère majeur est celui qui caractérise la pression

phytosanitaire, l'IFTsa. Dans les deux cas, l'IFTsa explique à peu près un tiers de l'affectation des parcelles aux catégories de risque. Le poids des autres critères diffèrent.

Pour le transfert de molécules considérées comme plutôt solubles, le deuxième critère contribuant le plus au transfert est celui de la connexion hydrologique (Tableau 11). En effet, sous forme soluble les pesticides sont directement transportés par les eaux, celles-ci rejoignent plus ou moins facilement le cours d'eau en fonction du type de connexion. La pente est ensuite le critère le plus important, celle-ci intervient également de manière directe sur les écoulements. Après la pente, les autres critères sont classés dans l'ordre suivant : le mode de conduite de la parcelle, la zone tampon et pour finir le sol.

Tableau 11 : Pondération des critères pour le cas des transferts de molécules à tendance hydrophile

<i>Critère</i>	<i>poids du critère en %</i>
Pression phytosanitaire	30
Connexion hydrologique	22
Pente moyenne	18
Mode de conduite de la parcelle	13
Zone tampon	10
Sol	7

En ce qui concerne le transfert de molécules polluantes peu solubles, ces dernières sont principalement transportées par les particules de sol. Dans ce cas, le sol est considéré comme le deuxième critère le plus important (Tableau 12), la composition de ce dernier est en effet directement reliée à la libération de particules. Le mode de conduite d'une parcelle apparaît également comme primordial. Par exemple, si les inter-rangs sont enherbés le départ de particules sera nul. Il en est de même pour le travail du sol, si celui-ci est fin il favorisera les transferts. La pente, la zone tampon et la connexion sont jugées comme ayant moins d'importance.

Tableau 12 : Pondération des critères pour le cas des transferts de molécules à tendance hydrophobe

<i>Critère</i>	<i>poids du critère en %</i>
Pression phytosanitaire	28
Sol	22
Mode de conduite de la parcelle	19
Pente moyenne	14
Zone tampon	10
Connexion hydrologique	7

L'indice de crédibilité est également fixé par des experts, il correspond au pourcentage de poids des critères qui valident l'affectation d'une parcelle à une catégorie de risque. Lors du choix de ce dernier, un compromis doit être fait entre le nombre d'actions directement attribuées à une seule classe et la pertinence de l'affectation. En effet, Pour des λ proches de 0.5, un grand nombre d'actions seront directement affectées, cependant ces affectations ne seront validées que par un faible pourcentage du poids des critères.

De même que pour la pondération, un travail conséquent a été fait sur le projet Agua Flash pour déterminer cet indice. L'indice a alors été fixé à 0.7 (Macary *et al.*, 2013). Cette valeur est reprise pour le projet PhytoCOTE. Des tests faisant varier ce coefficient ont permis de valider le choix $\lambda = 0.7$.

3 – RESULTATS

3.1 – Caractérisation du risque de transfert des produits phytosanitaires de la parcelle jusqu'au cours d'eau

Le risque de transfert de pesticides a été évalué en prenant en compte à la fois les molécules hydrophiles et les molécules hydrophobes. Deux analyses de risque ont donc été réalisées à l'aide du logiciel MCDA-ULaval 0.6.1 permettant l'application de la méthode ELECTRE TriC et les résultats ont été cartographiés avec le logiciel de SIG ArcGis.

L'affectation des parcelles aux catégories de risque s'effectue en deux phases. Dans un premier temps, une partie des parcelles sont directement affectées par le modèle à une seule catégorie de risque. Le pourcentage de cette affectation est donné par l'indice UC (Unique Category). L'indice ACR I (ligne ACR I : accuracy I) représente le pourcentage de ces parcelles directement affectées par le modèle et validées par l'expert.

Dans un second temps, l'analyste affecte lui-même dans une catégorie les parcelles pour lesquelles le modèle propose plusieurs possibilités, compte tenu des relations de surclassement qui prennent en compte la préférence faible, l'indifférence et l'incomparabilité entre actions. ACR II (ligne ACR II : accuracy II) définit alors le pourcentage d'affectations qui sont validées par l'expert et qui ont associées une parcelle à une catégorie proposée par le modèle. Cet indice s'applique à toutes les parcelles. Par exemple si ACR II vaut 96%, cela signifie que 4% des parcelles ont été affectées par les experts dans une catégorie non proposée par le modèle.

Le tableau suivant (Tableau 13) donne la valeur des trois indices qui viennent d'être cités.

Tableau 13 : Résultat de la modélisation des risques de transfert de produits phytosanitaires, pourcentages d'affectations directes et finales

	<i>Transfert de molécules à tendance hydrophiles</i>	<i>Transfert de molécules à tendance hydrophobes</i>
UC	69,0 %	68,3 %
ACR I	67,0 %	67,2 %
ACR II	96,1 %	97,2 %

Que ce soit pour le transfert de molécules polluantes à tendance hydrophile ou de molécules à tendance hydrophobe, l'indice UC est supérieur à 65%. Ainsi, le modèle utilisé semble pertinent. Dans les deux cas, ACR I n'est pas égal à UC car des parcelles de vigne affectées directement à la catégorie C5 ont finalement été attribuées à C4. En effet, il a été considéré qu'à partir du moment où une parcelle reçoit un traitement, cette dernière ne peut appartenir qu'aux catégories 1, 2, 3 et 4. De même, la valeur d'ACR II n'est pas de 100%, ceci est souvent dû à une surestimation du risque par le modèle.

3.1.1 - Evaluation du risque de transfert des produits phytosanitaires à matières actives à tendance hydrophile

La carte de risque (Figure 12) présentée ci-dessous met en évidence la sensibilité du bassin viticole aux transferts de molécules qui ont tendance à être solubles. La zone d'étude semble moyennement soumise aux risques de transfert suivant les hypothèses de l'étude. Effectivement, la majorité des parcelles, soit 92% de la surface agricole (Tableau 14), sont caractérisées par un risque moyen, faible ou très faible. Cela tient à l'importance des zones tampons constituées par les tournières présentes sur chaque parcelle et à une connectivité relativement faible avec les cours d'eau, malgré un IFTsa qui peut paraître élevé.

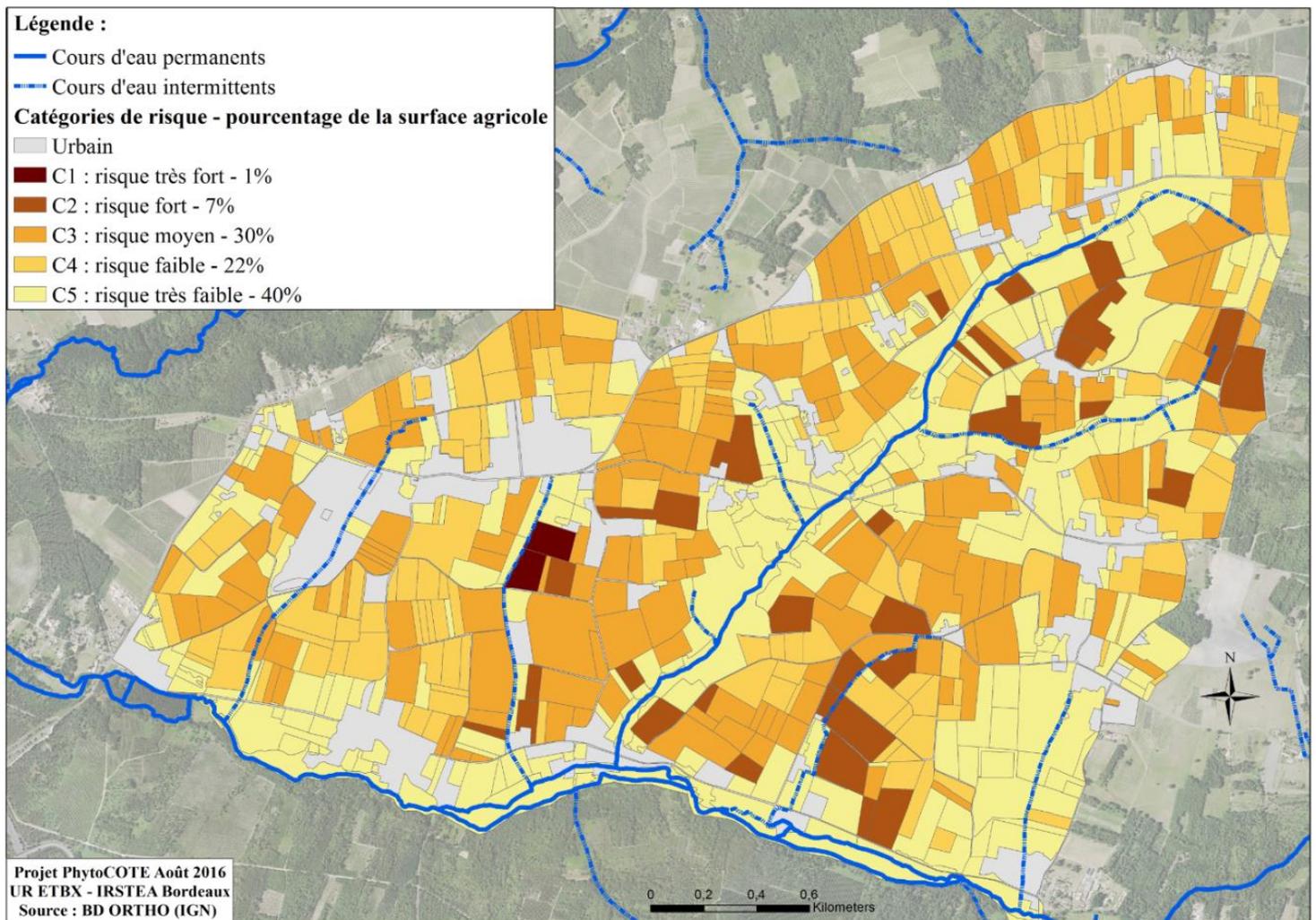


Figure 12 : Carte de risque de transfert de produits phytosanitaires à matière active à tendance hydrophile

Seulement 35 parcelles de vigne (Tableau 14) sur 391 au total, présentent un risque fort et très fort. Ces parcelles représentent moins de 10% de la surface agricole de la zone étudiée.

Tableau 14 : Pourcentage de surface affecté à chaque catégorie de risque pour le cas des molécules à tendance hydrophile

<i>Catégorie de risque</i>	<i>Nombre de parcelles</i>	<i>Surface (ha)</i>	<i>Surface agricole (%)</i>
<i>C1</i>	2	3,6	1
<i>C2</i>	33	52,1	7
<i>C3</i>	188	212,2	30
<i>C4</i>	164	160,9	22
<i>C5</i>	303	290,2	40
<i>Total</i>	690	719,0	100

Les deux parcelles, 3201 et 3206, affectées au niveau de risque le plus fort possèdent les mêmes caractéristiques. Ces parcelles sont localisées le long du cours d'eau, leur IFTsa est très élevé (28.9) et la pente sur laquelle elles sont situées est relativement forte. De plus, la zone tampon n'est pas suffisante pour stopper les flux et le mode de conduite de ces deux vignes favorise les écoulements. Ainsi, tous les critères concordent à l'affectation de ces actions à la catégorie C1.

Les parcelles associées au niveau de risque fort présentent des hétérogénéités, trois cas de figure se présentent :

- Cas 1 : les parcelles ont un fort IFTsa et sont moyennement connectées au cours d'eau. Le mode de conduite est marqué par un enherbement d'un inter-rang sur deux ou par des inter-rangs tous désherbés, de plus, les rangs sont généralement orientés dans le sens de la pente.

- Cas 2 : les parcelles de vigne possèdent également un fort IFTsa. Contrairement au cas précédent les inter-rangs sont enherbés. L'enherbement ralentit les écoulements, mais la connexion est plus directe et les pentes sont relativement importantes.

- Cas 3 : les vignes présentent un IFTsa moyen. Cependant leur connexion au cours d'eau est très forte (parcelles souvent le long ou très proches du cours d'eau), les inter-rangs sont désherbés un inter-rang sur deux et les rangs sont orientés parallèlement à la pente. La majorité des parcelles sont également caractérisées par une pente élevée.

L'attribution au niveau de risque fort se fait à partir de quelques critères qui contribuent au transfert, et non à partir de tous les critères comme dans le cas du risque très fort.

3.1.2 - Evaluation du risque de transfert des produits phytosanitaires à matières actives à tendance hydrophobe

La carte suivante (Figure 13) met en évidence le risque de transfert de molécules polluantes peu solubles.

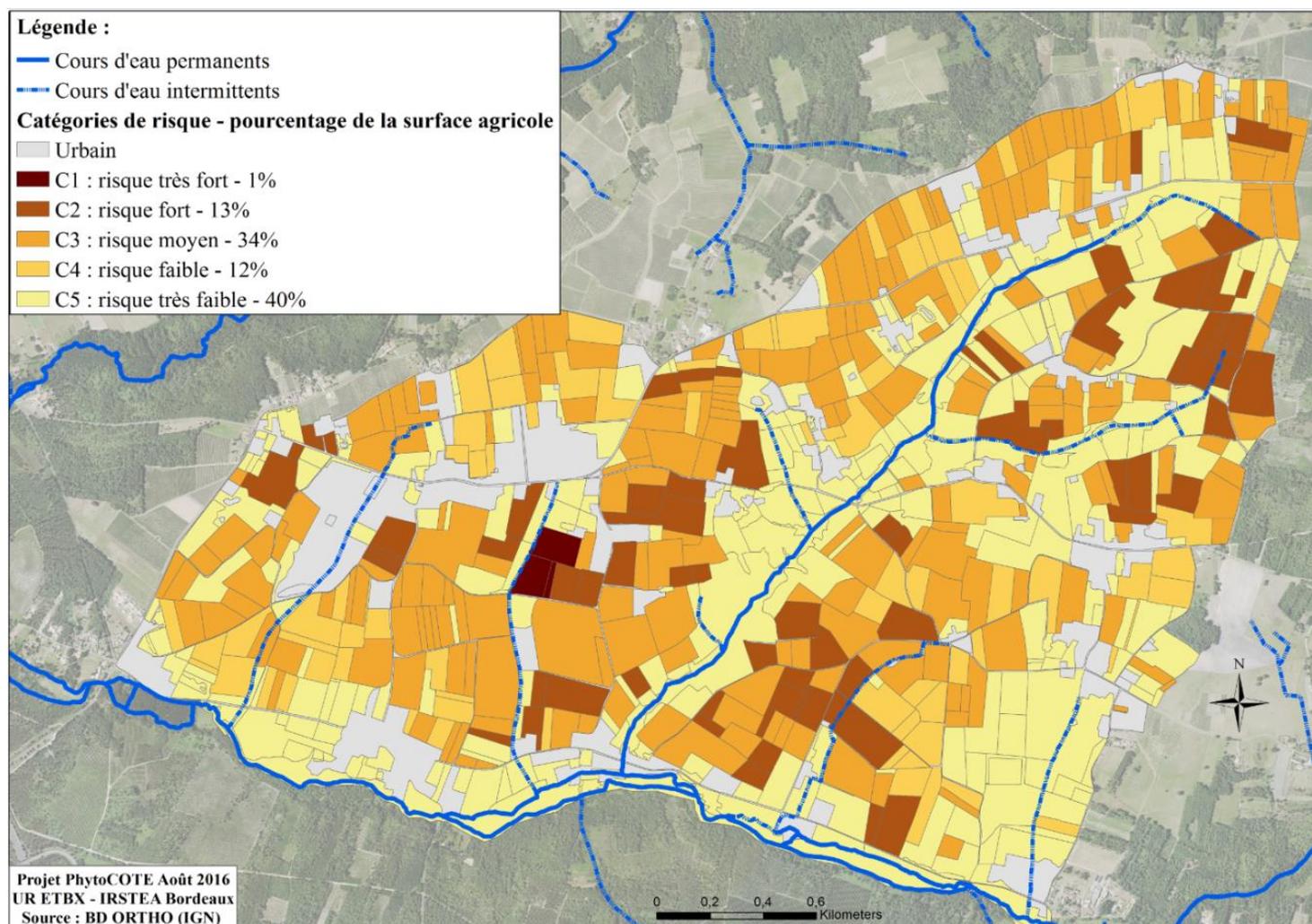


Figure 13 : Carte de risque de transfert de produits phytosanitaires à matière active à tendance hydrophobe

Le bassin viticole de Marcillac semble plus sensible aux risques de transfert de molécules peu solubles suivant les processus d'érosion. En effet, les parcelles affectées aux catégories C1 et C2 représentent 13% de la surface agricole (Tableau 15). Cependant, la majorité des parcelles restent classées dans des catégories de risque intermédiaire ou faible.

Tableau 15 : Pourcentage de surface affecté à chaque catégorie de risque pour le cas des molécules à tendance hydrophobe

<i>Catégorie de risque</i>	<i>Nombre de parcelles</i>	<i>Surface (ha)</i>	<i>Surface Agricole (%)</i>
C1	3	3,9	1
C2	74	90,2	13
C3	230	244,8	34
C4	80	89,9	12
C5	303	290,2	40
total	690	719,0	100

Trois parcelles de vigne sont associées à un risque très fort. Elles sont caractérisées par un IFTsa qui est globalement supérieur à 28 et une pente élevée. Ces parcelles sont également sur un sol jugé à risque et les modes de conduite qui y sont appliqués favorisent le transfert et le départ de particules. Les autres critères, dont les poids sont plus petits, valident aussi le classement de ces vignes en risque élevé.

Comme précédemment, les soixante-quatorze parcelles affectées au niveau de risque fort présentent des caractéristiques différentes. Quatre classes se distinguent :

- Cas 1 : l'IFTsa est très élevé (supérieur à 26), les parcelles sont situées sur un sol qui possède un risque de ruissellement important. La pente est élevée et les zones tampons sont considérées comme faibles ou moyennes. Le mode de conduite est caractérisé par des inter-rangs tous désherbés ou désherbés un inter-rang sur deux et les rangs sont dans le sens de la pente.

- Cas 2 : les parcelles possèdent un IFTsa relativement fort. Elles sont également soit désherbées un inter-rang sur deux, soit entièrement désherbées et les rangs sont orientés parallèlement à la pente. Ici le sol est associé à un risque moyen de transfert et les pentes sont légèrement plus élevées que pour le cas précédent.

- Cas 3 : le mode de conduite de ces parcelles est le même que pour les cas précédents. Cependant dans ce cas de figure, la pente est forte, l'IFTsa possède une valeur moyenne et le sol présente généralement un risque de ruissellement élevé. De plus, la protection effectuée par les zones tampons est considérée comme mauvaise.

- Cas 4 : les parcelles sont caractérisées par des inter-rangs enherbés. Toutefois ce mode de conduite, considéré comme un frein aux écoulements, est accompagné par des IFTsa très élevés et des pentes relativement importantes. De plus, ces parcelles sont directement connectées au cours d'eau.

Dans les trois premiers cas, la connexion hydrologique varie. Cependant, lorsque celle-ci est moyenne ou plutôt faible, elle est compensée par des sols à risque élevé, par des pentes importantes et par des zones tampons peu efficaces.

3.2 – Influence de l'enherbement de l'inter-rang sur le transfert de molécules peu solubles dans l'eau

Le mode de conduite est un critère important sur lequel le décideur peut agir pour faire évoluer le risque de transfert associé à sa parcelle. Afin de mettre en évidence l'importance du mode de conduite dans les transferts de produits phytosanitaires, des analyses supplémentaires ont été réalisées. Le mode de conduite possédant un poids plus important dans l'étude du risque de transfert de molécules peu solubles, les tests ont été effectués avec le même paramétrage que pour cette dernière. Cependant les notes du mode de conduite des parcelles de vigne ont été modifiées dans la matrice de performance. Deux analyses ont été réalisées, l'orientation des rangs par rapport à la pente de chaque parcelle est conservées, tandis que les paramètres suivants sont fixés pour toutes les parcelles de vigne :

- Test 1 : les inter-rangs et le cavaillon sont désherbés, le travail du sol est fin.
- Test 2 : les inter-rangs sont enherbés, le cavaillon est désherbé et le travail du sol est fin.

3.4.1 – Simulation avec un inter-rang désherbé

La carte de risque de transfert obtenue (Figure 14) pour le test 1 permet de constater une augmentation des parcelles affectées au risque fort et très fort.

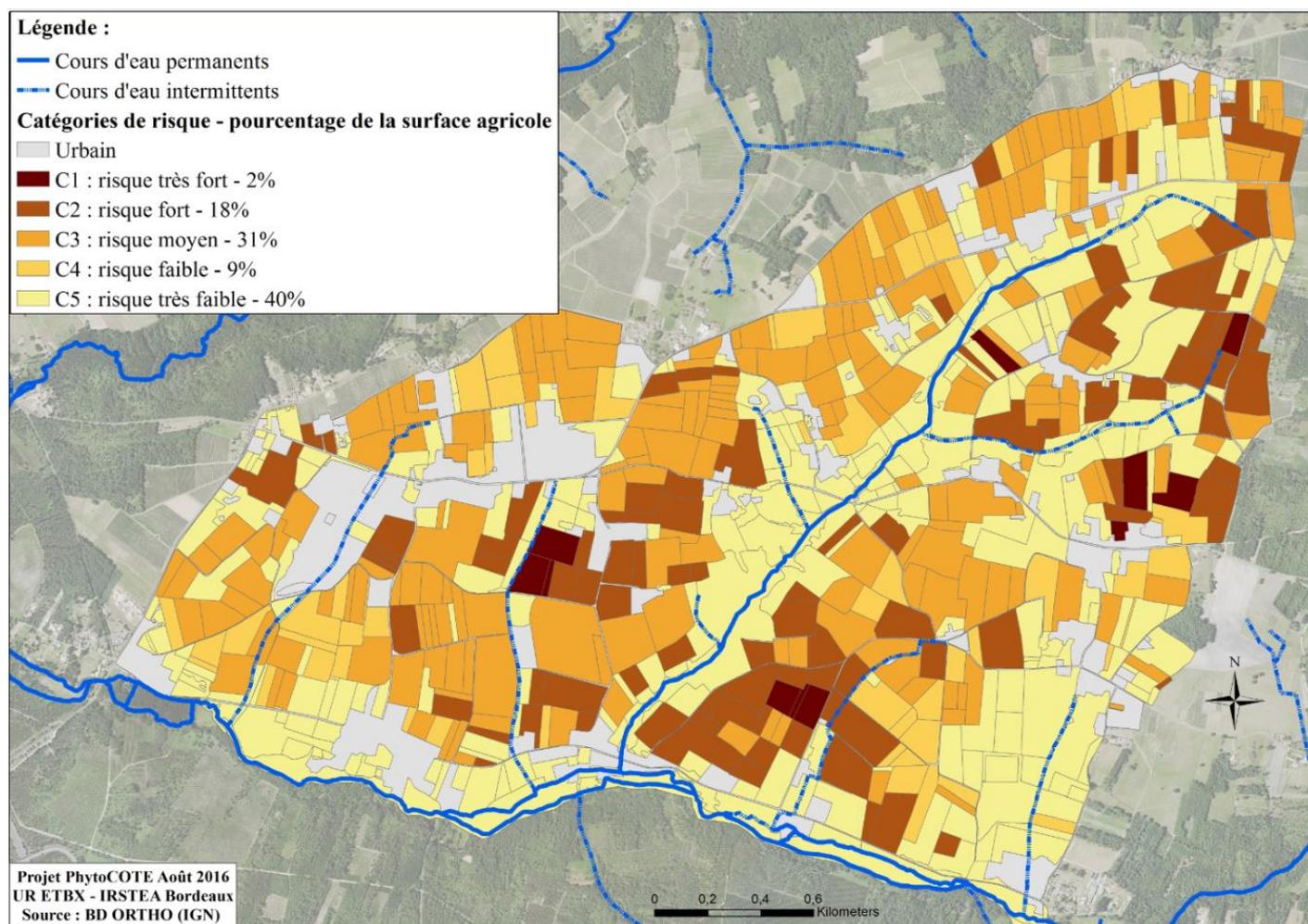


Figure 14 : Carte du risque de transfert de molécules peu solubles dans l'eau avec des inter-rangs désherbés

La surface agricole classée en risque fort et très fort passe à 20%, elle compte désormais plus de cent parcelles (Tableau 16). Ainsi, cette surface augmente donc de 7% par rapport à l'analyse initiale du transfert de molécules peu solubles.

Tableau 16 : Affectation à chaque catégorie de risque pour le cas des inter-rangs désherbés

Catégorie de risque	Nombre de parcelles	Surface (ha)	Surface agricole (%)
C1	11	12,7	2
C2	104	126,1	18
C3	212	225,0	31
C4	60	65,1	9
C5	303	290,2	40
Total	690	719,0	100

Au total, 65 parcelles changent de catégorie de risque. Parmi celles-ci, 63 augmentent d'un seul niveau de risque et 2 de deux niveaux. La majorité des modifications de catégories représente un passage du niveau de risque moyen au niveau de risque fort. Les parcelles qui ont été affectées à un niveau de risque supérieur étaient à l'origine enherbées un inter-rang sur deux ou totalement enherbés, et sont localisées à proximité des cours d'eau.

3.4.2 - Simulation avec un inter-rang totalement enherbé

Le risque de transfert diminue fortement avec l'enherbement des inter-rangs. Dans les conditions de ce deuxième test, il n'y a plus de parcelles catégorisées en risque très fort (Figure 15).

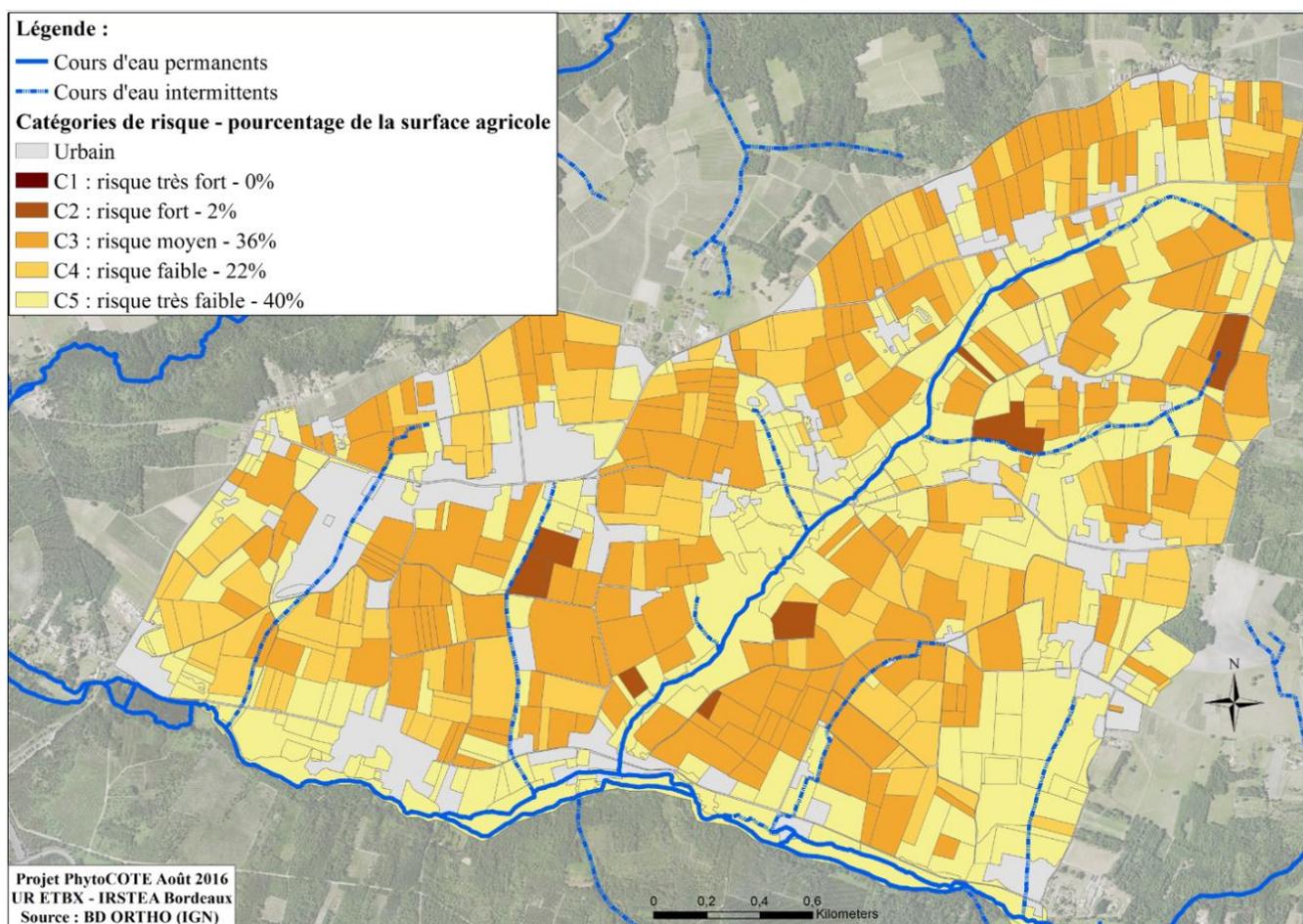


Figure 15 : Carte du risque de transfert de molécules peu solubles dans l'eau avec des inter-rangs enherbés

Avec un enherbement de tous les inter-rangs, il n'y a plus que onze parcelles de vigne qui sont affectées à un risque de transfert fort (Tableau 17). Celles-ci représentent seulement 2% de la surface agricole, ainsi, avec les paramètres du Test 2, le risque fort est diminué de 11% par rapport à la modélisation initiale des transferts des molécules peu solubles. Les trois parcelles qui étaient classées dans la catégorie C1 sont désormais associées à une catégorie C2.

Tableau 17 : Affectation à chaque catégorie de risque pour le cas des inter-rangs enherbés

<i>Catégorie de risque</i>	<i>Nombre de parcelles</i>	<i>Surface (ha)</i>	<i>Surface agricole (%)</i>
C2	11	13,3	2
C3	238	258,0	36
C4	137	157,0	22
C5	304	290,8	40
<i>Total</i>	690	719,0	100

Au total, 119 parcelles changent de niveaux de risque, 112 de ces parcelles sont réaffectées à une catégorie diminuée d'un niveau de risque et 7 de deux niveaux de risque. La majorité des modifications concerne le passage de la catégorie C2 à C3 et de C3 à C4. Les parcelles qui ont été classées dans un niveau de risque inférieur sont celles désherbées un inter-rang sur deux ou entièrement désherbées. Les parcelles qui restent classées en risque fort possèdent les caractéristiques suivantes : certaines étaient déjà enherbées, les autres possèdent un fort IFTsa auquel s'ajoute soit un sol sensible au ruissellement, soit une pente élevée.

3.3 – Influence de l'IFTsa sur le transfert de molécules peu solubles dans l'eau

Un troisième test a été réalisé afin de mettre en évidence l'influence de l'IFTsa sur l'attribution des parcelles à une catégorie de risque. Il est intéressant de tester le paramètre caractérisant la pression phytosanitaire car une marge d'action sur l'IFTsa est envisageable.

Comme pour les deux tests précédents les pondérations et les seuils utilisées sont les mêmes que celles choisies pour l'étude du risque de transfert de molécules à tendance hydrophobe. Seules les valeurs de performance de l'IFTsa sont modifiées. En effet, l'IFTsa des parcelles de vigne est limité à une valeur maximale, cette valeur maximale correspond à la moyenne de l'IFTsa de toutes les parcelles qui est de 22. Ainsi, si une parcelle de vigne possède un IFTsa inférieur à 22, elle conserve son IFTsa initial, dans le cas contraire son IFTsa est fixé à 22.

La carte de risque obtenue avec les paramètres du Test 3 permet d'observer une diminution des parcelles classées en risque de transfert élevé (Figure 16). Comme pour le Test 2, aucune parcelle ne présente un risque très fort.

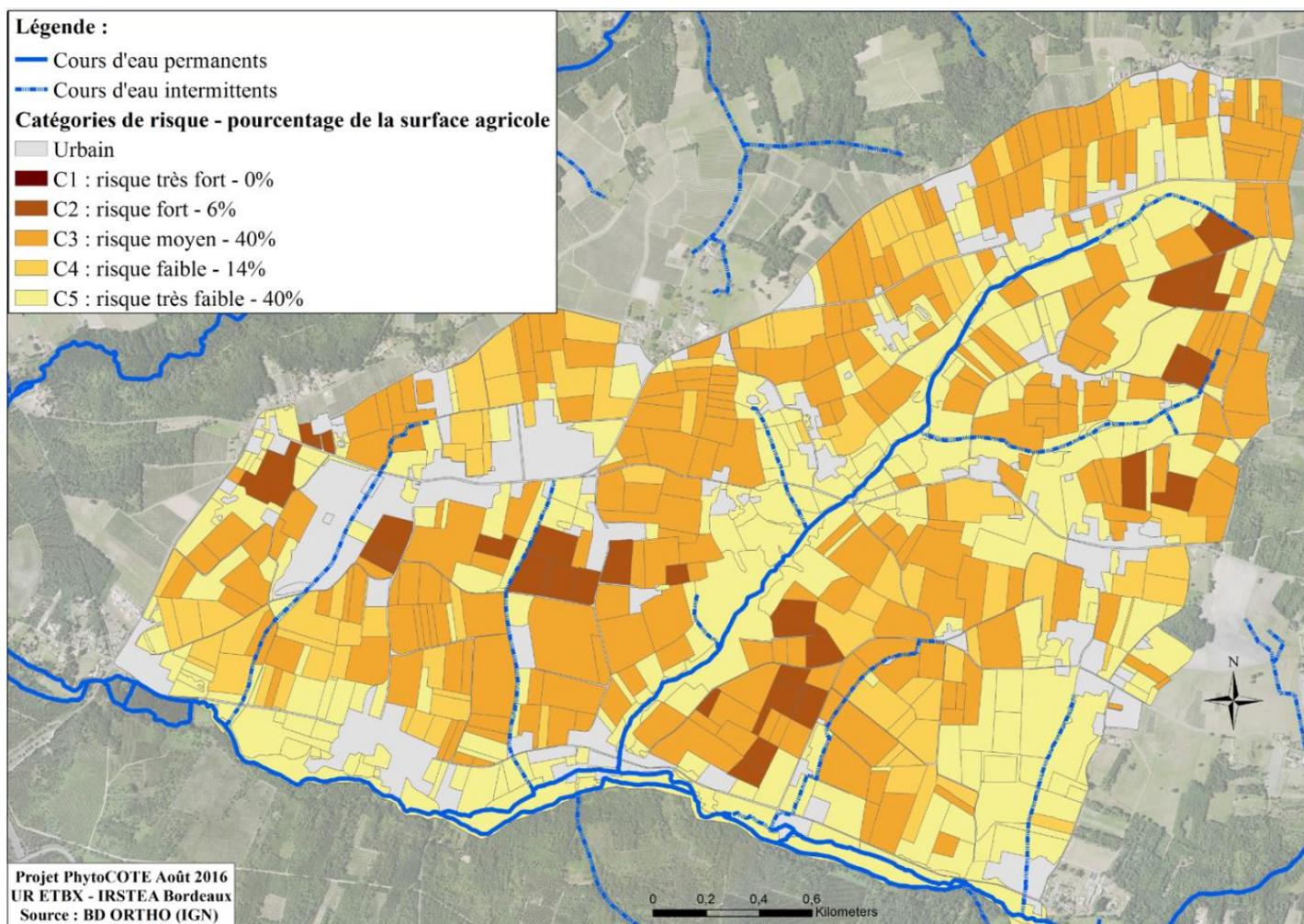


Figure 16 : Carte du risque de transfert de molécules peu solubles dans l'eau avec un IFTsa maximum limité à 22

La surface agricole associée à un niveau de risque forte ne représente plus que 6% (Tableau 18), ceci correspond à 38 parcelles. Ce pourcentage diminue donc de 7% par rapport à la carte de risque initiale de molécules peu solubles.

Tableau 18 : Affectation à chaque catégorie de risque pour le cas de la limitation des IFTsa à 22

Catégorie de risque	Nombre de parcelles	Surface (ha)	Surface agricole (%)
C2	38	40,4	6
C3	258	287,4	40
C4	90	100,4	14
C5	304	290,8	40
<i>Total</i>	690	719,0	100

En limitant l'IFTsa maximum à 22, 55 parcelles sont affectées à une catégorie diminuée d'un niveau de risque. La plus grande partie des parcelles ayant un niveau de risque modifié, sont passées de la catégorie C2 à C3. Les parcelles qui ont été réaffectées à un niveau de risque différent sont celles possédant un IFTsa élevé. Les parcelles qui sont restées en risque fort sont situées sur un sol présentant un risque de ruissellement élevé, leur pente et leur IFTsa sont importants et la protection effectuée par les zones tampons est considérée comme mauvaise.

4 – DISCUSSION ET PERSPECTIVES

Les méthodes d'AMCD ont été créées initialement pour des applications dans les domaines de l'économie, de la finance, des transports, de l'énergie et des aménagements territoriaux. Plus récemment appliquées au secteur de l'environnement (Laaribi, 2000 ; Macary, 2013), elles permettent d'évaluer les niveaux de risque de contamination des milieux naturels par des contaminants, voire des processus érosifs.

4.1 – ELECTRE TriC, une méthode avantageuse mais qui présente des limites

La méthode d'analyse multicritères ELECTRE TriC a permis d'affecter chaque parcelle à une catégorie de risque défini auparavant. ELECTRE TriC s'avère être une méthode précise qui prend en compte une multitude de données tout en conservant les différentes nuances des informations. Ce mode d'analyse accorde également à l'analyste le choix de l'affectation finale lorsque le modèle hésite entre plusieurs niveaux de risque, ou bien lorsque la catégorie choisie par ELECTRE TriC n'est pas jugée correcte par l'analyste. Cependant, pour pouvoir attribuer manuellement une parcelle à une catégorie de risque, une bonne connaissance du terrain est requise.

4.1.1- ELECTRE TriC, une méthode avantageuse permettant de déterminer les parcelles à risque et les facteurs influençant le transfert

ELECTRE TriC est une méthode présentant de nombreux avantages. Effectivement, elle intègre des critères qui sont à la fois qualitatifs et quantitatifs, elle prend en compte les différences de contribution de chaque critère en leur attribuant un poids. Cette méthode permet également de considérer l'incertitude liée aux données en instaurant des seuils d'indifférences et de préférences. Le paramétrage minutieux de tous ces paramètres est à l'origine d'une bonne affectation directe des parcelles. En effet, pour les cinq analyses, plus de 65% des parcelles sont directement attribuées à une seule catégorie. De plus, parmi celles-ci très peu ont été jugées mal classées. Ainsi, ELECTRE TriC est une méthode bien adaptée aux problématiques environnementales et dans ce cas particulier à l'étude du risque de transfert de produits phytosanitaires.

L'analyse des résultats a mis en évidence l'importance du choix de la pondération. Le classement d'une parcelle dans un niveau de risque est essentiellement expliqué par les critères qui ont les poids les plus forts. Ainsi, pour le risque de transfert de molécules à tendance hydrophile, l'affectation est principalement faite en fonction de l'IFT, de la connexion hydrologique et de la pente. Dans le cas du transfert de molécules peu solubles, l'association d'une parcelle à une catégorie est surtout contrôlée par l'IFT, par le sol et par le mode de conduite des parcelles.

L'indépendance des critères ainsi que leur agrégation partielle sont des composantes essentielles de l'analyse. En effet, elles facilitent l'interprétation des résultats, notamment la détermination de la part de chaque critère qui contribue au risque. Ceci permet également d'observer l'influence d'un critère sur le risque indépendamment des autres critères, de cette façon, trois tests ont été réalisés sur le transfert de molécules peu solubles. Il est donc possible de modéliser facilement un changement des pratiques agricoles entraînant une modification du risque de transfert. Le scénario de l'enherbement total de l'inter-rang, ainsi que celui de la limitation de l'IFTa maximal à 22, constituent tous les

deux un exemple de mise en œuvre réduisant le risque de transfert de pesticides. Parmi ces deux moyens, l'enherbement de l'inter-rang apparaît comme particulièrement efficace.

L'intervention de l'analyste pour le classement final des actions constitue également un avantage indéniable. Cela permet en effet d'obtenir une plus grande précision sur les résultats et de contrôler les propositions d'affectation du modèle. Cependant, les affectations manuelles représentent un travail conséquent. Effectivement, bien qu'il n'y ait que 20 à 30% des parcelles qui ne sont pas directement associées à une catégorie de risque, le grand nombre de parcelles fait que pour chacune des études, plus de cent parcelles ont dû être affectées manuellement.

4.1.2 – Les limites et les difficultés rencontrées lors de l'analyse

Bien que les avantages de la méthode utilisée soient indéniables, l'analyse présente également quelques limites. La première difficulté rencontrée concerne l'acquisition et le traitement des données. En effet, la collecte des données effectuée sur 690 parcelles, a nécessité beaucoup de temps sur le terrain et s'est souvent révélée laborieuse. Par exemple, pour obtenir les traitements réalisés en 2015 qui ont permis le calcul de l'IFTsa, la coopérative de Tutiac, ainsi que de nombreux viticulteurs ont dû être contactés individuellement, et quelques viticulteurs n'ont pas accepté de donner les informations. De plus, un problème sur la précision de ces données s'est également posé. Outre les incertitudes liées à des mesures telles que celle de la longueur des zones tampons, la question de la fiabilité de certaines données a été énoncée, notamment pour le recensement des traitements faits en 2015. En raison du manque de données, l'affectation de l'IFTsa aux parcelles de vigne présente également dans certains cas une limite. Effectivement, pour un même exploitant, l'IFTsa est généralement différent en fonction du cépage, or la cartographie des cépages sur les parcelles était incomplète. Ainsi, lorsque la reconnaissance des cépages sur le terrain n'a pas été possible, un IFTsa moyen du viticulteur a été appliqué à ses parcelles.

La définition des critères est une étape primordiale de l'analyse, pourtant elle s'est avérée délicate. Les critères doivent répondre à certaines caractéristiques, il faut en effet qu'ils soient discriminants, que les données les décrivant soient accessibles et qu'ils soient indépendants. Ainsi un critère sur le type de pulvérisateurs de produits phytosanitaires, présentant un intérêt pour l'analyse, n'a pas pu être retenu faute de renseignements suffisants lors des enquêtes. La prise en compte du type de pulvérisateur utilisé pour les traitements, permettrait de caractériser la dérive de pesticides. La dérive représente la part de produits volatilisés dans l'environnement sans se déposer sur la plante, les polluants sont dans ce cas transportés par les airs (Van Der Werf, 1996). Cependant, un viticulteur peut utiliser différents pulvérisateurs en fonction du stade physiologique de la vigne, ceci rend donc la notation de ce critère compliquée. De plus, aucune étude comparative de ces matériels ne permet de déterminer quel type de pulvérisateur est le plus efficace ; associer une valeur de référence à une catégorie de risque est donc difficile. De même, il n'y a pas de références bibliographiques sur les échelles de risque lié à l'IFTsa, ce critère ne pouvant être écarté de l'étude, une définition des niveaux de risque selon une appréciation personnelle a été faite.

Une autre limite de cette analyse est l'homogénéité dans le mode de conduite de la vigne sur le bassin viticole. En effet, la majorité des viticulteurs sont adhérents à la coopérative « Les Vignerons de Tutiac ». Or cette dernière suggère une ligne de conduite qui concerne notamment le mode de conduite raisonné des parcelles de vigne. De ce fait, la diversité des pratiques agricoles est réduite, hormis quelques exploitations en mode

biologique. D'autres, telle que la biodynamie, ne sont pas représentées sur la zone étudiée. Cela explique aussi l'élargissement des investigations hors du bassin versant expérimental.

Lors de l'analyse des résultats, les parcelles avec une valeur très élevée de l'IFTsa sont souvent affectées aux catégories de risque fort et très fort. Certaines de ces parcelles s'avèrent être surclassées par le modèle Electre TriC, notamment celles qui ne sont pas connectées au cours d'eau. Le surclassement de ces actions constitue donc une autre limite au modèle, ceci est peut-être dû à l'attribution d'un poids trop élevé à la pression phytosanitaire.

La modélisation multicritère des risques parcellaires telle que nous l'avons pratiquée nécessite une très bonne connaissance du terrain, elle ne peut donc être appliquée que sur des zones d'étude de taille restreinte, eu égard aux notations in situ. Pour les études conduites sur des territoires beaucoup plus vastes, d'autres méthodes sont employées. Parmi celles-ci, la méthode PHYTOPIXAL est basée sur une analyse de risque réalisée à partir d'images satellitaires. Ce dernier a été utilisée pour le projet Agua Flash afin de caractériser le risque de transfert de produits phytosanitaires sur le bassin versant de la Save (Macary *et al.*, 2014b). Il possède une superficie de 1 150km², une étude très fine des différents facteurs intervenant dans les transferts ne peut donc pas être effectuée. Pour ce projet, le risque évalué par la pente, la nature du sol, la distance au cours d'eau et la pression phytosanitaire, a été calculé pour chaque pixel. Un zonage du risque a ensuite été réalisé à partir de l'agrégation de ces pixels. La méthode IDRISI permet également de caractériser des risques environnementaux à une grande échelle. IDRISI est un logiciel de SIG auquel est intégré un module d'analyse multicritère. Giupponi a utilisé cette méthode, sur un bassin versant de 184 km², pour évaluer l'influence de systèmes agricoles alternatifs par rapport à des systèmes conventionnels sur le risque de transferts de polluants (Giupponi *et al.*, 1999). Contrairement à ELECTRE TriC, ces deux méthodes sont bien adaptées pour de vastes territoires, cependant, il n'est pas possible d'atteindre le même degré de précision que pour l'étude réalisée sur le bassin expérimental de Marcillac.

4.2 – Les améliorations pouvant être apportées à l'analyse

Le nombre de parcelles affectées à une catégorie est très hétérogène suivant le niveau de risque concerné. Pour les cinq études de risque réalisées, la catégorie de risque moyen C3 est celle qui possède le plus de parcelles après la catégorie de risque très faible. Or il est difficile de discerner si ce niveau de risque moyen est plus caractérisé par des parcelles proches du risque fort ou par des parcelles proches du risque faible. Afin de classer plus précisément cette catégorie médiane de risque, une analyse multicritère suivant une problématique de rangement pourrait être réalisée sur les parcelles de cette classe. En utilisant la méthode Electre III développée par Bernard Roy, il est possible d'obtenir un reclassement des parcelles du risque le plus fort au risque le plus faible au sein de la catégorie intermédiaire. Cela a d'ailleurs déjà été réalisé (Macary *et al.*, 2010).

Cette méthode fait également intervenir une pondération, ainsi que des seuils d'indifférence, de préférence et de véto. Cependant, au lieu d'être comparées à des valeurs de référence, les parcelles sont comparées entre elles deux à deux (Maystre *et al.*, 1994 ; Roy, 1985). De cette manière, l'identification des parcelles se rapprochant du risque fort est possible. Cette analyse supplémentaire permettrait donc d'affiner les résultats et de cibler avec plus de précision les parcelles où le risque de transfert est potentiellement élevé. Elle n'a pas été réalisée faute de temps.

L'analyse, basée sur une évaluation de la pression phytosanitaire faite par l'IFTsa, ne prend pas en compte la toxicité des molécules polluantes. En effet, l'IFT représente l'intensité d'utilisation des produits, il ne permet pas d'évaluer toutes les caractéristiques spécifiques aux substances actives telles que la volatilité, la toxicité ou encore la capacité de sorption (Guichard, 2010 ; Pingault, 2007b). Dans son étude sur le « lagon de Venise », Giupponi tient compte de la toxicité des pesticides pour évaluer la pression phytosanitaire (Giupponi *et al.*, 1999). Il utilise des indices pour déterminer la toxicité des produits sur les mammifères et les espèces aquatiques, ces indices sont directement intégrés au sein de l'analyse multicritère. Cette approche mériterait d'être analysée.

Les tests réalisés sur les valeurs du seuil véto et de l'indice de crédibilité ont mis en évidence la sensibilité du modèle face à ces deux paramètres. Effectivement, de légères variations de ces deux valeurs influencent l'affectation des parcelles dans les catégories de risque. Ces premières observations demandent cependant à être complétées par une analyse de sensibilité. De même, le paramétrage du modèle mériterait d'être soumis à une analyse de robustesse. La robustesse mesure la stabilité du modèle suite à la modification des données ou des paramètres choisis par l'analyste. Si ces modifications n'influencent pas de façon significative les résultats, alors le modèle est dit robuste (Maystre *et al.*, 1994). Ces deux analyses supplémentaires n'ont pas pu être réalisées dans les délais du stage.

Une adaptation à la méthode ELECTRE TriC aurait également pu être utilisée afin de comparer les résultats obtenus. ELECTRE Tri nC permet de caractériser les catégories d'affectation par n valeurs de référence et non seulement une valeur centrale (TriC) (Almeida-Dias *et al.*, 2012). Ceci pourrait peut-être permettre d'affiner la définition des différents niveaux de risque et donc d'améliorer la précision des résultats.

4.3 – Les perspectives

La validation du modèle n'a pour le moment été faite que par les experts suite à la consultation des différentes cartes de risque et de leur connaissance du terrain. Il est par la suite prévu de comparer les résultats obtenus avec ceux des analyses de la qualité physico-chimique et biologique des eaux de surface et de sols. En effet, il sera intéressant d'observer si une parcelle associée à un niveau de risque fort est corrélée avec des analyses de sol et d'eau révélant la présence de produits phytosanitaires. Les analyses de sols et de qualité de l'eau sont prévues au sein du GT 2 mais non disponibles actuellement. Elles permettront de compléter la validation de notre étude.

L'étude de risque a permis de caractériser les transferts, cependant cette dernière ne permet pas de quantifier les flux de produits phytosanitaires. Il est donc prévu de compléter les résultats obtenus avec une modélisation hydrologique qui donnera une approximation quantitative des transferts. L'utilisation du modèle SWAT, déjà employé au sein de l'équipe ETBX, avait premièrement été considérée. Cependant ce modèle hydrologique n'est pas adapté pour calculer les flux à l'échelle du parcellaire sur un petit bassin versant. Pour pallier à ce problème, un modèle hydrologique distribué, tel que le modèle TNT2 développé à l'INRA, serait nécessaire. Mais, ce modèle nécessite de renseigner de nombreux champs tels que le détail du sol pour chaque parcelle, cependant, les données ne sont pas souvent disponibles à cette échelle.

Conclusion

Le contexte socio-économique des systèmes agricoles productivistes a favorisé un usage massif des produits phytosanitaires. Cette utilisation s'accompagne d'une détérioration de la qualité des masses d'eau, dont les eaux de surface. Ces différentes constatations justifient la mise en place du projet de recherche PhytoCOTE. Dans le cadre de ce projet, ma mission consistait à réaliser un état des lieux du risque de transfert des pesticides à l'échelle d'un bassin versant expérimental de 8 km². Cette analyse de base permettra par la suite l'orientation des autres groupes de travail.

Afin de comprendre les effets du paysage ainsi que des pratiques agricoles sur la qualité des eaux de surface, et d'identifier les agrosystèmes émetteurs de polluants, une démarche multicritère a été adoptée. La sensibilité d'une parcelle à l'émission de produits phytosanitaires a été évaluée selon deux modalités : le transfert de molécules à tendance hydrophile et le transfert de molécules à tendance hydrophobe. Les résultats mettent en évidence une sensibilité de la zone d'étude plus élevée pour le transfert de molécules à tendance hydrophobe. Cependant, que ce soit pour l'étude des risques de molécules plutôt solubles ou peu solubles, moins de 15% de la surface agricole est associé à un risque fort ou très fort.

La méthode ELECTRE TriC particulièrement bien adaptée à cette étude agroenvironnementale, donne une estimation du risque de transfert qui semble proche de la réalité. Elle a l'avantage de mettre en œuvre des informations aussi bien qualitatives que quantitatives et de conserver toutes les nuances des données. Cette démarche demande toutefois une connaissance très fine du terrain et la définition de certains paramètres de l'étude semble parfois discutable du point de vue de l'objectivité. La représentation cartographique des résultats présente l'avantage d'une compréhension simple et efficace, elle facilite également la communication avec les autres acteurs du projet. La validation des résultats, étape indispensable de la modélisation, nécessite de connaître des résultats des analyses physico-chimiques et biologiques des eaux de surface prévues dans le projet au sein du GT2. Le jugement des experts peut confirmer des tendances de risque, mais elles ne permettent pas une validation exhaustive.

La parcelle agricole se révèle être une échelle où une action locale suivant une problématique agroenvironnementale est réalisable. Suite à cette analyse de risque, une étude socio-économique sera mise en place. Cette dernière évaluera la faisabilité des changements de pratiques agricoles tels que l'enherbement de l'inter-rang ou la réduction des intrants de produits phytosanitaires, dont les effets sur le risque de transfert ont été caractérisés lors de ce stage. Il est également prévu de présenter les résultats des risques de transfert aux exploitants et de leur proposer des scénarii d'évolution des pratiques. Si ces scénarii sont acceptés par les agriculteurs, il serait intéressant de refaire cette analyse de risque sur les années suivantes afin de constater les conséquences de l'évolution des pratiques agricoles.

Ce stage de deuxième année réalisé au sein de l'équipe ETBX s'est avéré être une expérience enrichissante. Les connaissances acquises lors de ma formation ont pu être mises en application et être approfondies, notamment celles qui concernent les problématiques agroenvironnementales et la géomatique. Lors de mon séjour à IRSTEA, j'ai également acquis de nouvelles connaissances et compétences dans le domaine de l'agronomie et sur les démarches multicritères. De plus, grâce à cette expérience, j'ai pu

être confronté à la mise en œuvre d'un projet de recherche et travailler avec de nombreux acteurs ayant des intérêts différents. J'ai pu observer la nécessité d'avoir un travail collectif au sein d'un projet de recherche, et mesurer combien la coordination de tous les acteurs est parfois difficile notamment en raison leur disponibilité. Ma participation au projet PhytoCOTE fut donc bénéfique pour mon apprentissage que ce soit sur un point professionnel ou personnel.

Bibliographie

- Agreste, 2011. Recensement agricole 2010 : Viticulture, forte identités géographiques (271).
- Almeida-Dias J., Figueira J.R., Roy B., 2012. A multiple criteria sorting method where each category is characterized by several reference actions: The Electre Tri-nC method. *Eur. J. Oper. Res.* 217(3) : 567-579.
- 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.
- Armand R., 2010. Étude des états de surface du sol et de leur dynamique pour différentes pratiques de travail du sol. Mise au point d'un indicateur de ruissellement. *AgroParisTech*.
- Aubertot J.-N., Barbier J.-M., Carpentier A., Gril J.-J., Guichard L., Lucas P., Savary S., Voltz M., Savini I., 2005. Réduire l'utilisation des pesticides et en limiter les impacts environnementaux. *Rapp. L'expertise Réalis. Par L'INRA Cemagref À Demande Ministère L'agriculture Pêche MAP Ministère L'écologie Dév. Durable MEDD Déc.*
- Baudet A., Béranger M., 2015. Index Phytosanitaire ACTA 2016, 52ème édition. ACTA, Paris : 1004 pages.
- CGDD, 2015. Les pesticides dans les cours d'eau français en 2013. *Commis. Général Au Développement Durable* (697).
- CLE, SMIDDEST, 2013. Schéma d'aménagement et de gestion des eaux « Estuaire de la Gironde et milieux associés » : Plan d'aménagement et de gestion Durable - PAGD, Règlement.
- CORPEN, 2007a. Les phytosanitaires dans l'air : origine, surveillance et recommandations pratiques en agriculture.
- CORPEN, 2007b. Les fonctions environnementales des zones tampons : Les bases scientifiques et techniques des fonctions de protection des eaux.
- CORPEN, 1996. Qualité des eaux et produits phytosanitaires : proposition pour une démarche de diagnostic.
- Desriers M., 2007. L'agriculture française depuis cinquante ans: des petites exploitations familiales aux droits à paiement unique. *Agreste Cah. 2* : 3-14.
- 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.
- Garon-Boucher C., 2003. Contribution à l'étude du devenir des produits phytosanitaires lors d'écoulements dans les fossés : caractérisation physico-chimique et hydrodynamique. *Université Joseph Fournier - Grenoble1, Grenoble* : 282 pages.
- Giupponi C., Eiselt B., Ghetti P.F., 1999. multicriteria approach for mapping risks of agricultural pollution for water resources : The Venice Lagoon watershed case study. *J. Environ. Manage.* 56(4) : 259-269.

- Greene R., Devillers R., Luther J.E., Eddy B.G., 2011. GIS-Based Multiple-Criteria Decision Analysis: GIS-based MCDA. *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. [pratiquesenherbees.pdf](#).
- Guichard L., 2010. Caractérisation des pratiques de protection des cultures et de leur évolution : Méthodologie de diagnostic et propositions visant à améliorer l'impact environnemental des systèmes de culture et d'élevage (Rapport scientifique final), Programme Evaluation et réduction des risques liés à l'utilisation des pesticides. *Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de la mer et INRA*.
- Ifen, 2007. les pesticides dans les eaux : données 2005.
- Laaribi, 2000. SIG et analyse multicritère, Hermès Sciences : 192 pages.
- Le Bissonnais Y., Thorette J., Bardet C., Daroussin J., 2002. L'érosion hydrique des sols en France. *IFEN, INRA*.
- MAAF, MEDDE, 2015. Plan Ecophyto II.
- 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). *INP-Toulouse* : 277 pages.
- Macary F., Almeida Dias J., Figueira J.R., Roy B., 2014a. 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.
- Macary F., Almeida-Dias J., Rui-Figueira J., Roy B., 2010. An application of multi-criteria analysis in environmental management within a Water Development and Management Scheme, in France, using Electre Tri-C and Electre III methods, with a GIS.
- Macary F., Almeida-Dias J., Uny D., Probst A., 2013. Assessment of the 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.* 73 3(2-3) : 178-211.
- Macary F., Morin S., Probst J.L., Saudubray F., 2014b. A multi-scale method to assess pesticide contamination risks in agricultural watersheds. *Ecol. Indic.* 36 : 624-639.
- Mandou C., 2014. Le management du vin : entre terroir et mondialisation, une filière en pleine mutation.
- 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.
- Parlement européen, Conseil de l'Union européenne, 2009. Directive 2009/128/CE du parlement européen et du conseil instaurant un cadre d'action communautaire pour parvenir à une utilisation des pesticides compatible avec le développement durable, JO L 309 du 24.11.2009 : 71-86.

- Parlement européen, Conseil de l'Union européenne, 2000. directive 2000/60/CE du parlement européen et du conseil, établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau, JO L 327 du 22.12.2000 : 1-73.
- Pingault N., 2007a. Améliorer la qualité de l'eau: Un indicateur pour favoriser une utilisation durable des produits phytosanitaires. *Atelier OCDE* 19-21.
- Pingault N., 2007b. Améliorer la qualité de l'eau: Un indicateur pour favoriser une utilisation durable des produits phytosanitaires. *Atelier OCDE* 19-21.
- Roy B., 1985. Méthodologie multicritère d'aide à la décision. *Economica, Paris* : 423 pages.
- Sergent D., 1990. Etude pédologique et des potentialités viticoles de la région du Nord-Blayais (Diplôme d'Etudes Approfondies Œnologie - Ampélogie). *INRA, Cellier Vinicole des Hauts de Gironde, Université de Bordeaux II, Institut d'Œnologie* : 88 pages.
- Sobrie O., 2011. Intégration d'outils d'aide à la décision dans un système d'information géographique. *Faculté Polytechnique de Mons, Mons (Belgique)* : 140 pages.
- Van Der Werf H.M., 1996. Assessing the impact of pesticides on the environment. *Agric. Ecosyst. Environ.* 60(2-3) : 81-96.

Annexes

Annexe A : Article de presse dans l'Express : Bordelais : le CIVB évoque pour la première fois « une sortie de l'usage des pesticides ».

Par AFP, publié le 25/04/2016 à 20:46 , mis à jour à 20:46.

http://www.lexpress.fr/actualites/1/culture/bordelais-le-civb-evoque-pour-la-premiere-fois-une-sortie-de-l-usage-des-pesticides_1786195.html#WLYsZLdRG7ZEcCq7.03

Bordeaux - Le Comité interprofessionnel du Vin de Bordeaux (CIVB), représentant de la filière viticole bordelaise, s'est positionné pour la première fois lundi pour "une sortie de l'usage des pesticides" dans le vignoble girondin, sans toutefois avancer d'échéance.

La filière viticole bordelaise est sous la pression grandissante d'associations et de riverains, qui dénoncent les effets toxiques d'herbicides et fongicides de synthèse sur la santé et l'environnement.

Assurant que le CIVB est engagé depuis plusieurs années sur une réflexion pour diminuer les traitements phytosanitaires, son président, Bernard Farges a estimé que *"notre filière des vins de Bordeaux dans son intégralité a les mêmes attentes que les associations qui nous interpellent". "Oui, la filière des vins de Bordeaux a pour objectif la diminution forte, voire la sortie de l'usage de pesticides"*, a-t-il déclaré.

"Nous avons donc un objectif commun avec nombre d'associations nous interpellant sur le sujet. Notre chemin pour y arriver peut être différent de celui réclamé par ces associations, toutefois l'objectif est commun", a-t-il assuré lors de l'assemblée générale du CIVB lundi à Bordeaux.

"Cet objectif, partagé par tous, ne sera pas atteint en opposant les modèles, qu'ils soient conventionnels, certifiés, bio, biodynamie. Les solutions seront diverses et complémentaires", a-t-il ajouté, citant notamment l'engagement de la filière en faveur de la recherche sur les *"cépages résistants ou tolérants"*, permettant de limiter l'usage des produits phytosanitaires.

Le président du CIVB n'a toutefois pas mentionné d'échéance: *"Cet objectif, la diminution forte voire la sortie des pesticides, ne sera pas atteint en quelques semaines, ni avec des mesures simplistes, mais bien avec des choix, des engagements, des investissements à court terme, à moyen terme, à long terme, de l'ensemble de la filière"*.

Il a notamment appelé les membres de la filière à être, *"à court terme, exemplaires sur nos comportements près des lieux de vie"*.

La préfecture de Gironde avait pris le 22 avril un arrêté qui renforce les mesures applicables aux abords des établissements scolaires prises en juin 2014, après que des enfants d'une école à Villeneuve-de-Blaye eurent été incommodés par des traitements de viticulteurs jouxtant leur établissement.

Associations et riverains réclamaient que les vignes à proximité de lieux sensibles ne soient plus élevées qu'en agriculture biologique.

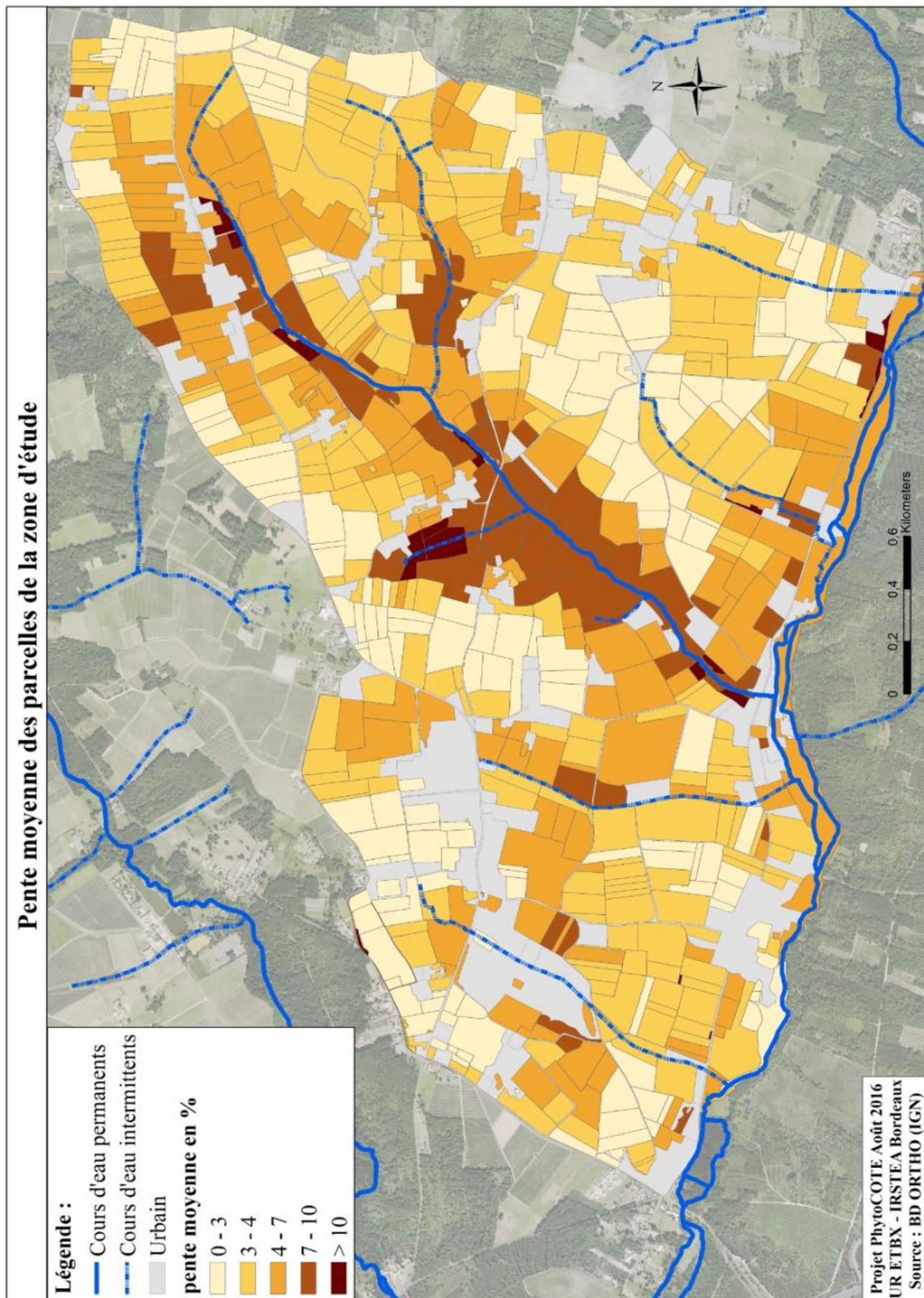
La France est le second plus gros consommateur européen de pesticides derrière l'Espagne, le 9^{ème} à l'hectare. La Gironde est-elle le plus grand département viticole de France et, si la viticulture ne représente que 3% de la surface agricole en France, elle **consomme 20% des pesticides.**

Annexe B : extrait de la matrice de performance

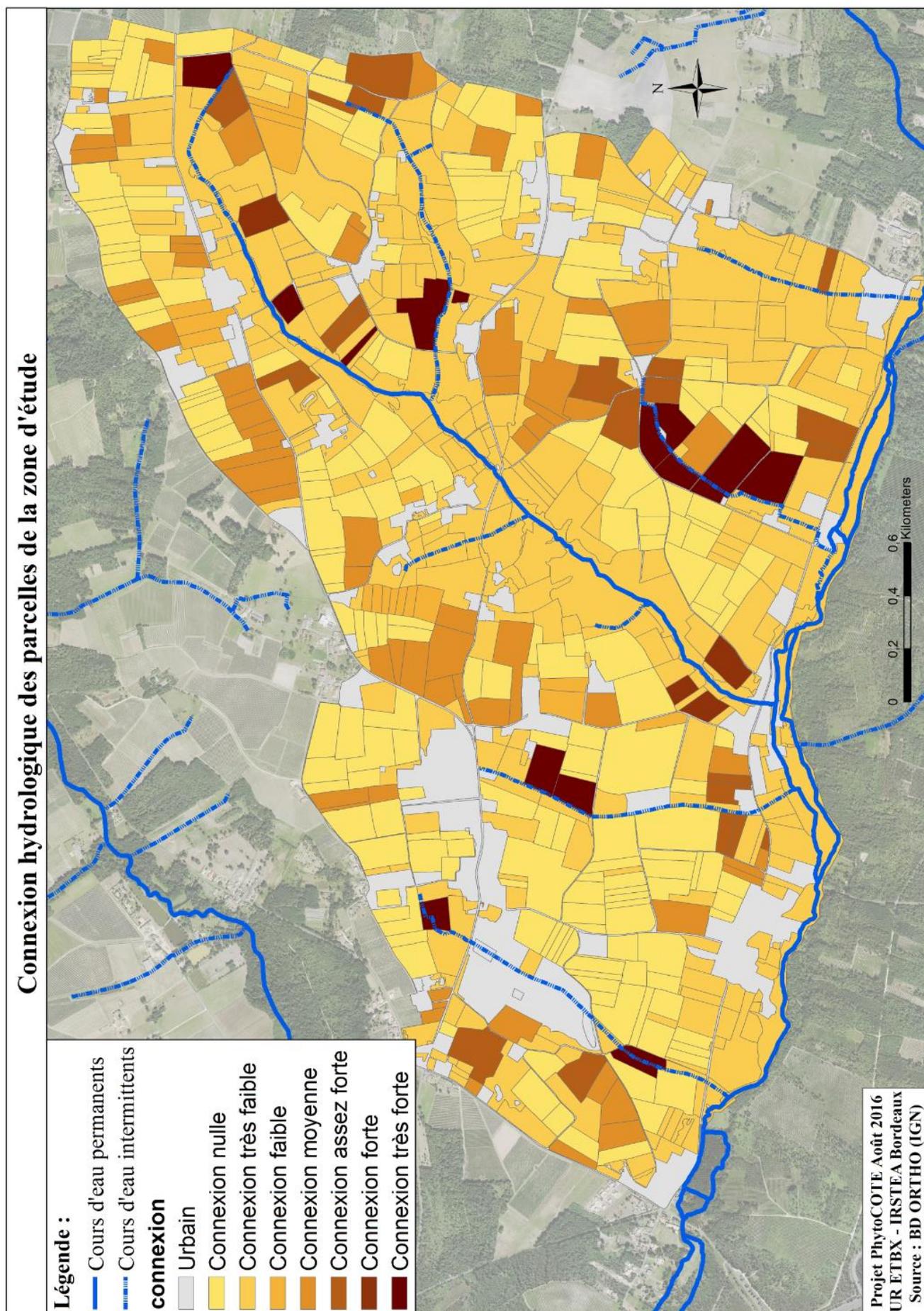
Pour tous les critères, une valeur de performance est attribuée à chaque parcelle.

<i>action</i>	<i>pente</i>	<i>sol</i>	<i>Connexion hydrologique</i>	<i>zone tampon</i>	<i>Mode de conduite</i>	<i>IFTsa</i>
101	3	3,5	1	3	23	19,002
433	7,21	1	1	4	33	20,4
439	5,22	2,6	1	15	24	20,4
505	5,12	3	5	18	13	17,892
604	3,06	4	2	11	19	23,4
858	3,83	5	2	3	23	27,03
911	3,12	3	1	2	22	7,9
922	3,67	4	10	11	22	7,9
1012	2,82	3	2	2	0	0
1108	2,2	1	2	2	0	0
1201	3,27	3	5	10	9	22,3
1401	3,59	2,2	1	6	9	21,55
1602	5,04	3	3	11	24	29,69
1801	3,5	3	6	7	24	13,32
1906	4,44	3	2	2	0	0
2602	6,37	2	1	10	24	20,21
2702	2,75	4	1	3	19	22
3201	9,35	4	10	7	19	28,92
3202	6,52	4	1	20	32	28,92
3206	6,15	4	10	6	24	28,92
3501	4,74	3	1	3	0	5
10146	3,41	3	2	2	0	0
10772	17,52	1	2	2	0	0
11101	4,14	3	2	2	0	0
13841	4,4	1	2	2	0	0
14338	2,28	5	2	2	0	0

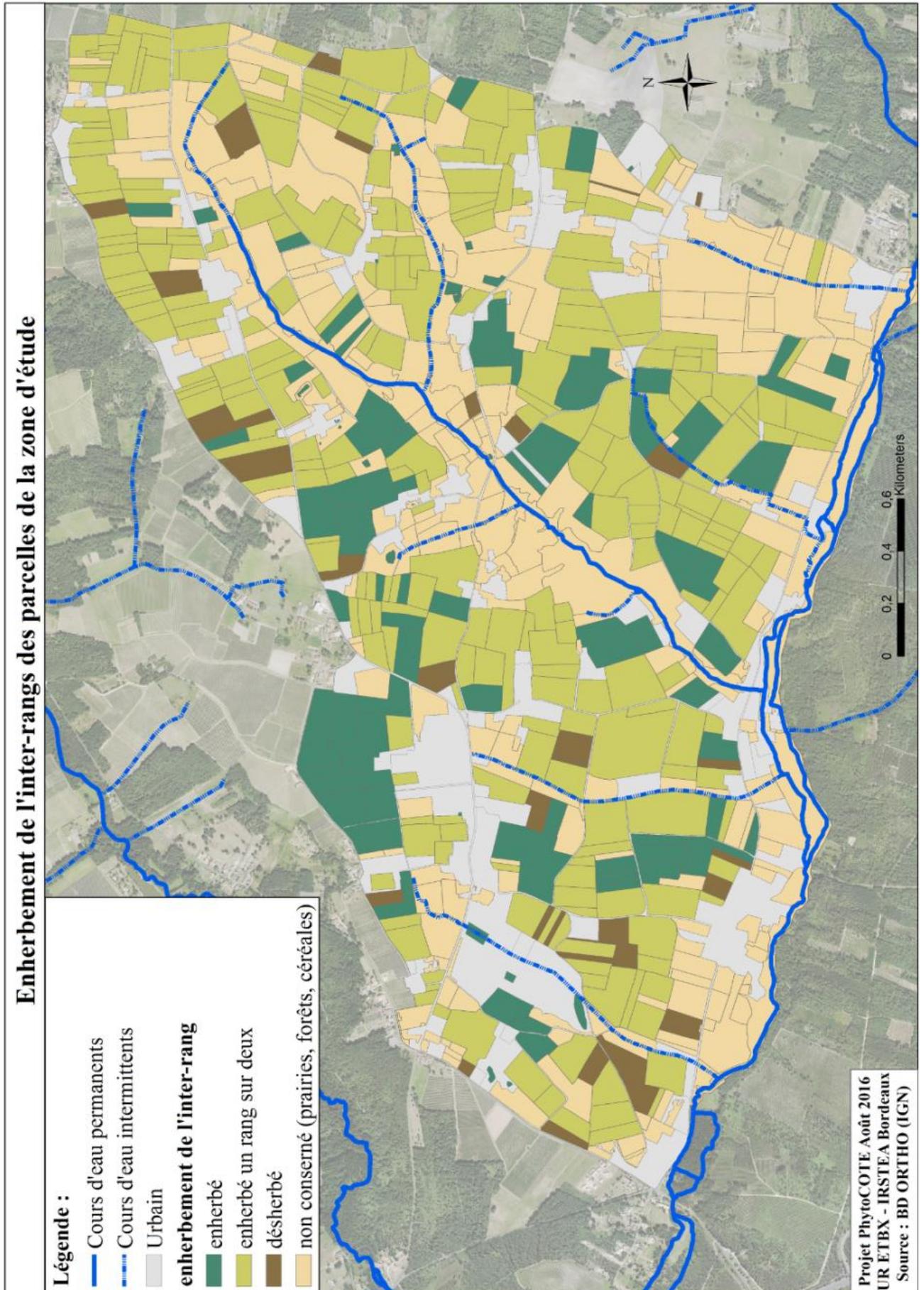
Annexe C : Carte des pentes moyennes des parcelles de la zone d'étude



Annexe D : Carte de la connexion hydrologique des parcelles de la zone d'étude



Annexe E : Carte de l'enherbement de l'inter-rang des parcelles de la zone d'étude



Annexe C : Carte de l'IFTsa des parcelles de la zone d'étude

