



HAL
open science

Rapport d'activité du GT3.1 : Détermination des zones à risque potentiel de contamination des eaux de surface sur le BV la Save (France)

Francis Macary, Odile Leccia

► To cite this version:

Francis Macary, Odile Leccia. Rapport d'activité du GT3.1 : Détermination des zones à risque potentiel de contamination des eaux de surface sur le BV la Save (France). [Rapport de recherche] irstea. 2010, pp.51. hal-02593226

HAL Id: hal-02593226

<https://hal.inrae.fr/hal-02593226v1>

Submitted on 15 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.



Rapport d'activité du GT3.1 :
Détermination des zones à risque
potentiel de contamination des
eaux de surface sur le BV la Save
(France)

Coordination et rédaction du rapport :

Francis MACARY et Odile LECCIA

Cemagref-Bordeaux-UR ADBX

Mars 2010

Table des Matières

INTRODUCTION	3
1. RAPPEL DU PROJET AGUAFLASH : IMPACT DE L'AGRICULTURE SUR LA QUALITE DES EAUX SUPERFICIELLE, EN PERIODES DE CRUE ET OBJECTIFS DU GT 3.1.....	4
<i>1.2. Le projet (de recherche) Aguaflash et l'équipe de participants</i>	<i>4</i>
1.3. État des connaissances pour le GT3.1	4
<i>1.3.1. État des lieux.....</i>	<i>5</i>
1.3.1.1. Présentation de la zone d'étude.....	5
1.3.1.2. La problématique de la pollution des eaux superficielles par les macro-polluants lors d'inondations	8
1.3.1.3. Une pollution difficile à évaluer et à maîtriser.....	9
<i>1.4.2. Objectifs du GT3.1 dans le projet Aguaflash</i>	<i>9</i>
1.4.2.1. Qualifier la notion de risque potentiel de pollution des eaux	10
1.4.2.2. Spatialiser le phénomène à différentes échelles	11
<i>1.5.3. Présentation de la méthode.....</i>	<i>11</i>
1.5.3.1. Méthodes pour aborder le changement d'échelle.....	11
1.5.3.2. Les données et outils à disposition.....	12
1.5.3.3. Les variables retenues pour la construction des indicateurs simples, adaptables aux différentes échelles.....	13
2. INTEGRATION DE L'OCCUPATION DU SOL A L'ECHELLE DE LA SAVE ET DU FLUMEN	14
2.1. Une analyse d'image fonction des objectifs de modélisation	14
2.2. Collecte de données pour la constitution des parcelles d'apprentissage	17
2.3. Classification.....	19
La méthode de classification n'est pas développée dans ce rapport ; nous en présenterons les résultats intermédiaires. Ainsi par exemple ci après la carte d'occupation des sols pour 2009 issue d'un premier classement.	20
3. DÉTERMINATION DES ZONES POTENTIELLES DU RISQUE CONTAMINATION DE POLLUTION DES EAUX DE SURFACE PAR LES INTRANTS D'ORIGINE AGRICOLE A L'ECHELLE DE LA SAVE... 21	21
3.1. Préparation des couches pour la constitution des Objets Spatiaux de Référence.....	21
3.2. Élaboration des indicateurs simples	22
3.2.1. <i>Constitution des indicateurs de sensibilité du milieu</i>	<i>22</i>
3.2.1.1. Pente	22
3.2.1.2. Distance aux cours d'eau	24
3.2.1.3. Pédologie	25
3.2.2. <i>Constitution de l'indicateur « pression phytosanitaire »</i>	<i>28</i>
3.3. Modélisation et cartographie du risque potentiel de pollution	29
3.3.1. <i>Méthode de combinaison des indicateurs simples.....</i>	<i>29</i>
3.3.2. <i>Spatialisation du risque potentiel de contamination de surface par les produits phytosanitaires.....</i>	<i>33</i>
Information.....	1
3.4. Interprétation des résultats cartographiques.....	33
4. DISCUSSION ET PERSPECTIVES	36
4.1. Validation des documents cartographiques produits.....	37
4.2. Les limites de la méthodologie et des outils	38
4.2.1. <i>Incompatibilité des échelles d'analyse avec celles de disponibilité des données.....</i>	<i>38</i>
4.2.2. <i>Transfert de l'information d'une échelle à une autre : les limites de la démarche agrégative.....</i>	<i>38</i>
4.2.3. <i>Subjectivité des critères de zonage et des choix de représentation cartographique : La définition de seuils d'organisation.....</i>	<i>39</i>
4.2.4. <i>Une méthode restreinte à un contexte naturel spécifique.....</i>	<i>39</i>
CONCLUSION	40
TABLE DES ILLUSTRATIONS	42
BIBLIOGRAPHIE	43
SIGLES.....	48

INTRODUCTION

Ce rapport a été rédigé dans le cadre du projet SUDOE Interreg « Aguaflash », initié en avril 2009.

L'objectif global du projet est le développement d'une méthode d'évaluation des risques de dégradation de la qualité des eaux dans les bassins versants agricoles au cours de crues, transposable aux bassins versants de Sudoe. Il répond ainsi à la priorité européenne du renforcement de la protection et de la conservation durable de l'environnement et du milieu naturel du SUDOE dans une problématique de préservation de la qualité de la ressource eau potable en période de crue.

Le projet s'articule en 7 groupes de tâches (GT1 à GT7). Le **GT3** a pour objectif de déterminer des **zones à risque potentiel de contamination des eaux de surface sur les 4 bassins versants (BV) caractéristiques SUDOE** (Save en France, Flumen en Aragon, Alegria au pays basque espagnol, et Enxoé au Portugal). La coordination du GT3 qui associe toutes équipes d'Aguaflash est assumée par le Cemagref-UR ADBX à Bordeaux-Cestas.

Le GT3 est subdivisé en deux sous GT:

- **GT3.1** pour la mise au point de la méthode de détermination des zones à risque potentiel de contamination des eaux de surface sur le BV la Save, puis le test de cette méthode;
- **GT3.2** pour adapter cette méthode aux contraintes et aux caractéristiques physiques différentes des 3 BV espagnols et portugais.

Ce rapport établi suivant l'avancement des travaux en conformité avec le planning général en mars 2010, concerne la méthodologie établie dans le cadre de la GT3.1 avec quelques illustrations cartographiques de premiers résultats relatifs aux zonages des risques potentiels de contamination des eaux de surface sur le BV de la Save. Les valeurs des paramètres d'indicateurs utilisés dans le cadre de cette méthode seront affinées au fur et à mesure des données nouvelles de terrain acquises et de la comparaison avec les premiers résultats concernant le GT4 ou modélisation des relations pression/états.

1. Rappel du projet Aguaflash : Impact de l'Agriculture sur la Qualité des Eaux Superficielles, en périodes de crue, et objectifs du GT3.1

La sensibilisation croissante pour l'eau au niveau international se traduit en Europe par la directive sur la Qualité de l'Eau de 1998 et la Directive Cadre sur l'Eau de 2000 (DCE) qui a fixé pour objectifs aux Etats membres de l'UE l'atteinte du bon état écologique sur les milieux aquatiques et les ressources en eau en 2015 !

De nouveaux besoins de recherche et d'expertise liés à la mise en place de ces textes sont apparus. Pour y répondre, de multiples équipes de recherche inter organismes se sont associées dans le cadre de travaux sur les effets de l'occupation de l'espace et des activités agricoles sur la ressource en eau et des écosystèmes aquatiques. Le projet européen SUDOE Aguaflash en est une illustration.

1.2. Le projet (de recherche) Aguaflash et l'équipe de participants

Sur la plupart des bassins hydrographiques SUDOE, les eaux des milieux naturels utilisées notamment pour l'alimentation en eau potable sont soumises à des risques de contaminations amplifiés en période de crues. L'augmentation rapide et importante des teneurs des contaminants dans les eaux est liée au phénomène naturel que sont les crues. Dans les bassins versants agricoles, ces contaminants sont notamment les produits phytosanitaires et les excédents d'azote non absorbé par les plantes.

Pour les gestionnaires publics se posent les questions fondamentales de la protection des captages en eau potable et l'évaluation des conséquences biologiques de ces risques, aussi bien sur l'eau potable que sur les écosystèmes aquatiques.

Les principaux objectifs de ce projet:

- Ce projet vise à mettre à disposition des différents acteurs des milieux environnementaux et de la gestion des eaux, un outil d'identification et de caractérisation des zones de production des contaminants, dont les pesticides et nitrates et d'évaluation des risques de dégradation de la qualité des eaux en période de crues dans les bassins versant agricoles de Sudoe. Ce prototype représentera un outil d'aide à la formulation de plans pour gérer les points de captage pour les eaux potables face aux risques de contamination des eaux en période de crue.
- D'autre part, les recherches porteront également sur des outils qui permettant de mesurer les conséquences biologiques de ces risques de dégradation rapide et intensive de la qualité chimique et physique de l'eau en période de crues.

Ce projet européen SUDOE fédère six équipes de recherche Françaises, Espagnoles et Portugaises:

- 01- le CNRS (France)-Délégation Régionale Midi-Pyrénées-Laboratoire d'Ecologie Fonctionnelle de Toulouse (ECOLAB), responsable de la coordination du projet.
- 02- l'Institut National Polytechnique de Toulouse - INP (France)-ENSAT

- 03- le Cemagref-Groupement de Bordeaux (France)-UR ADBX
- 04- l'Université du Pays Basque - UPV EHU (Espagne) /Euskal Herriko Unibertsitatea Vicerrectorado de Investigación
- 05- l'Institut Pyrénéen d'Ecologie - IPE CSIC (Espagne) /Agencia Estatal de Investigación CSIC Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- 06- l'Institut National de recherches Biologiques - INRB (Portugal). Instituto Nacional de Investigação Agrária (L-INIA)-Unidade de Ambiente e Recursos Naturais (UARN)

1.3. État des connaissances pour le GT3.1

Les travaux menés jusqu'à présent ont conduit à mettre en place une méthode de diagnostic de la pollution diffuse des eaux de surface par les activités agricoles (essentiellement par les nitrates et les pesticides).

1.3.1. État des lieux

A proximité de l'agglomération toulousaine, la pression foncière déjà présente est de plus en plus importante. Cependant l'agriculture reste la principale activité de notre espace d'étude et les agriculteurs gardent une place prépondérante dans les communes de la Gascogne. Cette agriculture, de type intensive, a généré l'usage important d'intrants tant pour les fertilisations que pour la protection des plantes. Depuis les années 1980, les performances ont été telles que les excédents agricoles sont apparus sur le marché européen, parallèlement à une dégradation des milieux naturels, dont aquatiques. Cela a engendré l'émergence de grands enjeux agro-environnementaux, à l'échelle européenne, voire internationale. L'accès à l'eau potable et la préservation de sa qualité sont devenus des préoccupations planétaires. Les pratiques agricoles comportent désormais des défis agronomiques, économiques et environnementaux.

1.3.1.1. Présentation de la zone d'étude

Le développement expérimental des travaux d'AguaFlash concerne quatre bassins, groupés deux à deux, en fonction de leur échelle géographique:

- Les BV de moyenne échelle (un millier de km²), que sont la Save en Gascogne et le Flumen en Aragon (Espagne)
- Les BV de petite échelle (un ou quelques centaines km²) que sont l'Alegria en pays basque espagnol et l'Enxoé au Portugal.

Ces deux échelles différentes nécessiteront deux approches méthodologiques adaptées à l'échelle pour le calcul du modèle spatial intégrant des indicateurs de vulnérabilité des milieux et de pressions anthropiques d'origine agricole dans le cadre la phase GT3.

Nous détaillerons ici la première partie de cette phase de création de la méthode d'estimation du risque potentiel de contamination des eaux de surface sur le bassin versant de la Save.

Ce BV est le plus grand avec le Flumen, et nécessite, contrairement aux autres BV de petite taille, d'acquérir plus de données de différentes nature auprès de divers organismes, afin de couvrir la zone dans la qualification de la couverture du sol : images satellites, îlots monoculture, enquêtes terrain d'itinéraires techniques, ...

Le BV de la Save bénéficie déjà des retours d'expérience des équipes françaises des projets antérieurs ; nous citerons en particulier le projet IMAQUE de 2004 à 2006, et le projet interrégional Aquitaine- Midi- Pyrénées INSOLEVIE. Nous disposons d'une part importante de données, notamment en ce qui concerne la connaissance de l'occupation des sols pour 2009. De ce fait, nous pouvons tester la méthode, la valider sur ce BV avant de la transposer au BV du FLUMEN en priorité, compte tenu de la même classe de taille que la Save.

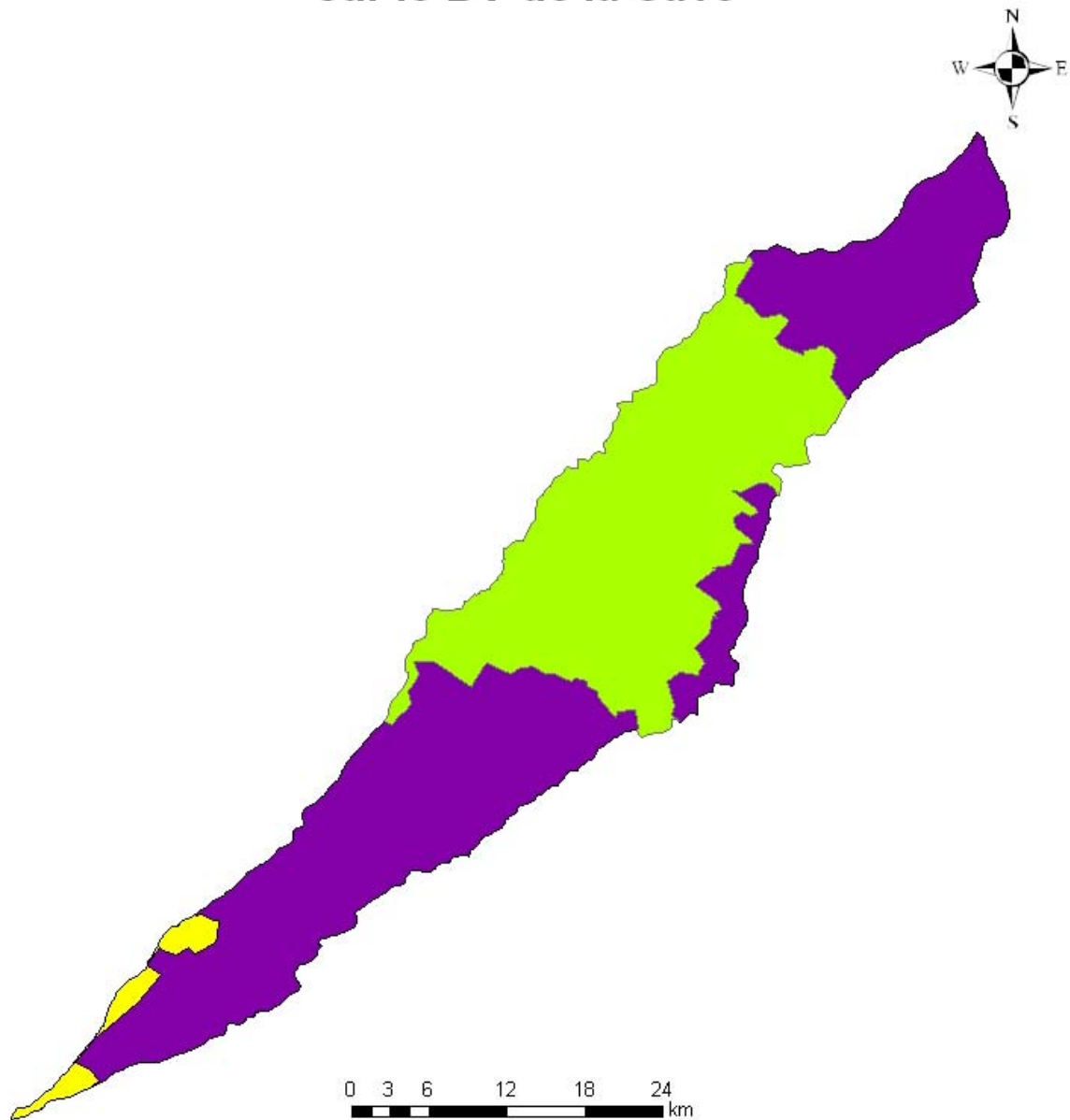
Mais pour le FLUMEN, nous ne disposons pas encore actuellement des données cruciales que sont les îlots monoculture et les itinéraires techniques, et dans une moindre mesure, de la carte pédologique.

Le BV de la Save s'étend depuis le plateau de Lannemezan où la rivière Save ainsi que les autres rivières de Gascogne prend sa source, jusqu'à la Garonne. Il représente une superficie de 1150 km², pour une longueur de 150 km.

Administrativement, le BV traverse 3 départements comme le montre la carte n°1 : essentiellement le Gers et la haute Garonne, et dans la pointe amont, les hautes pyrénées.

La carte n°2 présente la localisation du BV Save dans le réseau hydrographique des rivières de Gascogne.

Répartition des départements sur le BV de la Save

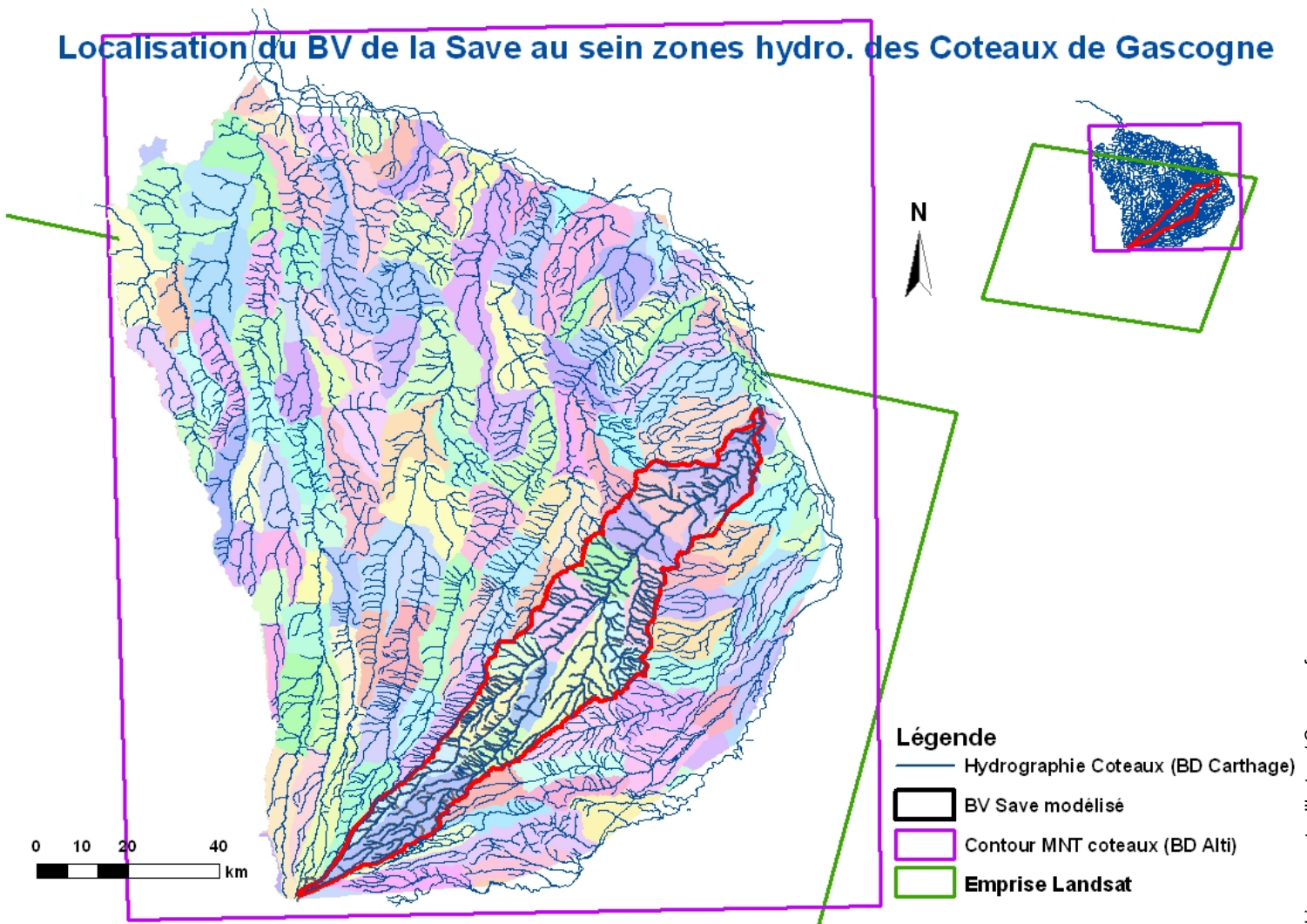


Légende

- Haute_Garonne_dans_BV
- Gers_dans_BV
- Hautes_Pyrenees_dans_BV

Carte n° 1 : Répartition des départements sur le BV de la Save

Localisation du BV de la Save au sein zones hydro. des Coteaux de Gascogne



Carte n°2 : Emprise de la scène satellitale LANDSAT et du MNT sur le BV de la Save inscrit dans les Coteaux de Gascogne

1.3.1.2. La problématique de la pollution des eaux superficielles par les macro-polluants lors d'inondations

Des études et restitutions approfondies ayant déjà été menées sur les problématiques posées par les différents macro polluants et dans un souci de non redondance de l'information nous résumons ci-dessous les principaux éléments permettant de dresser un bilan de la situation actuelle. Nous nous avons choisi d'exposer dans ce rapport la problématique des phytosanitaires.

L'utilisation des produits phytosanitaires en agriculture (herbicides, insecticides, fongicides) s'est généralisée en Europe à partir des années 1950. En fonction des conditions d'utilisation et selon les caractéristiques du milieu, ces substances actives sont susceptibles de se retrouver dans les différents compartiments de l'environnement (air, sol, sédiments...) et notamment dans l'eau et dans les denrées alimentaires. Or, la toxicité des pesticides dispersés dans l'environnement et de leurs métabolites est désormais largement avérée. La France est directement concernée puisqu'elle est aujourd'hui le premier producteur agricole de l'Union Européenne et le premier consommateur d'engrais. Malgré une diminution notable des quantités de pesticides

vendues, avec 77300 tonnes de matières actives commercialisées en 2007, la France est le troisième consommateur mondial et le premier consommateur européen. Les normes sur l'eau potable fixant une limite par matière active de 1 µg/l et de 5 µg/l toutes substances confondues, sont régulièrement dépassées. En vue de répondre à cette problématique de la pollution par les intrants agricoles, on assiste aujourd'hui, à la multiplication des textes à tous les échelons (international, européen...), dont l'une des priorités est la préservation de la qualité de la ressource en eau (Cf. Annexe n°3).

1.3.1.3. Une pollution difficile à évaluer et à maîtriser

Le suivi de la dispersion de milliers de tonnes de pesticides dans l'environnement demeure particulièrement complexe. Il n'existe pas de données suffisamment précises, complètes et fiables sur les pratiques réelles. Pour l'essentiel les chiffres disponibles pour les pesticides sont les ventes déclarées par les firmes phytosanitaires et quelques enquêtes locales sur les pratiques agricoles.

Les analyses des eaux de surface et souterraines se sont généralisées, il n'est toutefois pas possible de dresser un état des lieux satisfaisant de la qualité de la ressource en raison des limites répertoriées ci-dessous (d'après Gouy V. et al., 2000) :

- Le nombre de matières actives homologuées s'élevait en France à environ 906 molécules (Larguier et Michon, 1994) en fin de la décennie 1990. Depuis cette période plus de la moitié ont connu un retrait d'homologation lié à la santé humaine et à des problèmes d'éco-toxicologie.
- L'analyse des résidus dans l'environnement requiert la mise en œuvre d'un protocole qualité exigeant et coûteux
- La méconnaissance des modes de transfert a occasionné dans un premier temps des échantillonnages mal adaptés au suivi de la pollution diffuse.

La principale difficulté réside dans la grande variabilité spatio-temporelle de la contamination. Il est difficile d'évaluer le potentiel de transfert d'un produit puisque le transfert ne dépend pas uniquement des caractéristiques physico-chimiques de la matière active, mais aussi de sa période d'application, de la culture sur laquelle elle est appliquée et du climat, pendant et après son application. L'un des principaux enjeux de la méthode mise en œuvre, jusqu'à présent, réside dans le diagnostic des pratiques agro-environnementales en vue d'estimer les quantités que peuvent représenter les apports en macro polluants.

1.4.2. Objectifs du GT3.1 dans le projet Aguaflash

L'équipe cherche donc à qualifier la notion de risque potentiel de pollution par les macro et micropolluants vis à vis des milieux aquatiques au moyen d'un modèle spatial construit à partir d'indicateurs agroenvironnementaux et à différentes échelles, du Bassin Versant élémentaire au grand BV de rivière (Cf. Carte n°1). Ainsi, l'étude conduite doit répondre aux questions sous-jacentes suivantes mises en avant:

- Quels sont les paramètres physiques, les facteurs anthropiques et les mécanismes mis en jeu dans la contamination des eaux de surface ?
- Quelles sont les méthodes de diagnostic employées à chaque échelle, par les études en cours ?

- Quelles sont les informations utilisées par ces méthodes ?
- Quelles informations restent pertinentes et disponibles aux différentes échelles ?
- Comment traiter l'information pour qu'elle conserve un sens qui soit utile à la prise de décision à des échelles multiples ?

1.4.2.1. Qualifier la notion de risque potentiel de pollution des eaux

La sensibilité du milieu et les pratiques agricoles jouent un rôle considérable sur les transferts. Selon les définitions du CORPEN¹ (1993), on doit distinguer les pollutions diffuses, liées aux traitements aux champs, des pollutions ponctuelles, considérées en majorité comme accidentelles. Les produits phytosanitaires appliqués lors des usages agricoles peuvent être entraînés vers les eaux de surface par « voie terrestre » au sein des écoulements latéraux générés par la pluie ou encore par voie atmosphérique lors de la pulvérisation ou après volatilisation des produits appliqués en surface. Selon les facteurs du milieu (pente, couvert végétal, climat, pédologie...) le ruissellement sera plus ou moins important. Les différentes voies de transfert n'ont pas toutes la même capacité d'entraînement des molécules en raison de chemins et de vitesses d'écoulement qui diffèrent. Les ordres de grandeur sont donnés par l'Annexe n° 4.

La démarche mise en œuvre s'appuie essentiellement sur la prise en compte des systèmes de production agricole et des pratiques, non pas en termes agronomiques, mais dans une qualification du risque potentiel de pollution au sens du CORPEN, par les macro polluants (nitrates et phytosanitaires) vis à vis des eaux superficielles (Macary et al., 2006). Le croisement de la sensibilité (ou vulnérabilité²) du milieu avec les pratiques agricoles (pression polluante) permet de définir un potentiel de contamination (au sens du CORPEN). Le risque est évalué en croisant le potentiel de contamination avec les enjeux.³ Le schéma n° 1 suivant résume la démarche adoptée pour l'élaboration de la méthode.

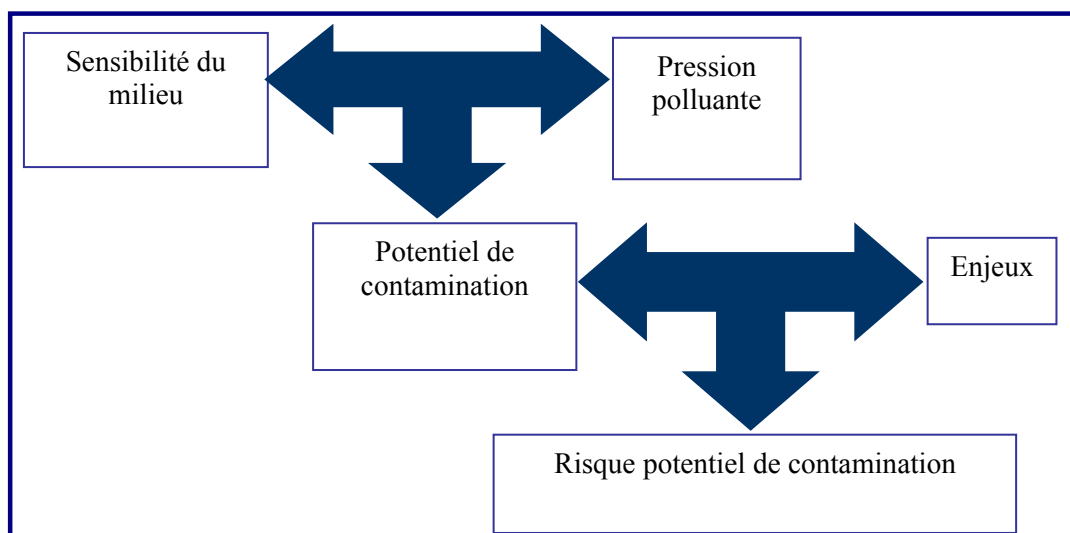


Schéma n° 1 : Démarche de diagnostic CORPEN

¹ CORPEN : Comité d'Orientation pour des Pratiques agricoles respectueuses de l'ENVironnement

² La vulnérabilité est comprise ici comme la possibilité pour la ressource en eau d'être atteinte par des polluants.

³ Il a été considéré que le risque réel ne peut être défini que par rapport à un enjeu, c'est-à-dire un usage de la ressource (Alimentation en Eau Potable), et validé par des mesures de qualité des eaux.

1.4.2.2. Spatialiser le phénomène à différentes échelles

L'estimation du risque potentiel est adapté aux deux types d'échelles des BV étudiés :

➤ A l'échelle moyenne : l'occupation ou plutôt l'utilisation agricole du sol sera évaluée à partir de classification d'images satellite LANDSAT, à une résolution de 30 mètres, pour la période de 2009.

1. La rivière de la Save, d'une longueur de 150 km, draine un Bassin Versant de 1150 km², de forme très allongé.

2. Le Flumen a une surface de près de 1400 km². D'ores et déjà, on peut avancer qu'obtenir une caractérisation précise de l'utilisation agricole du sol sur ce bassin est la plus ardue, d'une part par les caractéristiques physiques (agriculture en étroites terrasses irriguées par de nombreux petits canaux, indécélables à l'échelle du pixel de 30m, d'autre part par le manque de disponibilité de données de référence (îlots monoculture).

➤ A l'échelle très petite, l'utilisation du sol sera déterminée au niveau de la parcelle, en fonction des données qu'il nous sera possible de recueillir.

Ces échelles d'étude sont très différentes, l'élaboration d'une méthode de transfert de niveaux spatiaux en vue d'établir des zones d'intervention prioritaires à différentes échelles constitue l'originalité de la démarche. Le choix de travailler à l'échelle des BV répond à un souci des niveaux d'organisation spatiaux entre les données utilisées. En effet, « l'enveloppe » du BV se calque sur celles des zones hydrographiques définies par la BD Carthage (Cf. Annexe n°24) pour le BV français, et pour les autres, à partir de modélisation du réseau hydrographique, avec incorporation du réseau anthropique, et corroborée par des relevés GPS.

1.5.3. Présentation de la méthode

1.5.3.1. Méthodes pour aborder le changement d'échelle spatiale

Pour aborder la problématique du changement d'échelle spatiale, ou plus précisément du niveau d'organisation spatiale, l'équipe de travail a été amenée à choisir un Objet Spatial de Référence (OSR) à savoir l'unité spatiale élémentaire des données à disposition, adaptable au changement d'échelle. Wood *et al.* (1988) présentent le concept d'aire représentative élémentaire en considérant qu'à un phénomène étudié correspondent une aire de travail et une échelle associée, idéales. Si elles sont respectées, la modélisation ou l'explication du phénomène étudié est plus simple à appréhender et meilleure (Blösch et Sivapalan, 1995). Ainsi, chacune des échelles considérées dans la méthode peut être décrite au niveau d'un OSR spécifique. Le choix d'un OSR résulte d'un compromis entre sa pertinence à l'échelle considérée (résolution optimale), sa pertinence pour cerner les problèmes de pollutions diffuses sur sa surface (utilité pour l'aide à la prise de décision) et pour obtenir des résultats. L'unité spatiale doit être adaptable à la recherche agro-environnementale (Bassin versant, parcelle agricole, pixel...). La finalité étant le transfert d'échelle, le choix de l'équipe s'est porté

vers un OSR d'une part commun au BV de petite taille, au BV de taille moyenne, d'autre part dont les limites spatiales ne varient pas dans le temps (comme c'est le cas par exemple du parcellaire).⁴

Le pixel est l'unité qui est apparue la plus pertinente et précise (30m x 30m pour Landsat) car elle permet de couvrir une vaste étendue tout en restant suffisamment détaillée pour discriminer les plus petits objets géographiques, en terme d'occupation du sol.

Le plus pertinent, pour offrir une représentation visuelle lisible et compréhensible, dans une démarche intégrée de gestion de la pollution, est l'OSR Bassin Versant élémentaire. En effet, c'est à cette échelle que l'on peut parler d'une relative homogénéité notamment en matière de pratiques agricoles et que l'on dispose souvent de données fiables et précises. La méthode conduite pour la problématique des pollutions diffuses par les pesticides (PHYTOPIXAL) et pour celle de l'azote en excès (AZOTOPIXAL) est la suivante. Le pixel a été considéré comme OSR commun aux trois échelles. Chaque pixel porte la valeur attribuée à l'indicateur complexes construit à partir des informations relatives aux indicateurs simples (pente, distance au cours d'eau, pression phytosanitaire, pédologie). L'agrégation ne se fait ensuite qu'à partir de ces pixels pour chacune des échelles déterminées (Cf. 4.3.1).

1.5.3.2. Les données et outils à disposition

La construction de ce type de modèle spatial repose sur une structuration de l'information mais, est avant tout tributaire, de la disponibilité des données pour la description de chaque niveau spatial. Une organisation des données a été constituée sur le site partagé du réseau informatique.

Dans un souci de partage de l'information, le SIG est structuré dans une logique qui autorise une gestion en réseau partagé sécurisée, par la mise en place de droits d'écriture et de lecture. Le tableau n°1 suivant récapitule les données disponibles à notre arrivée. La majorité des descripteurs de la sensibilité du milieu nécessite l'acquisition d'informations à l'échelle de la parcelle qui sont valides, par agrégation, jusqu'à l'échelle du petit Bassin Versant. En revanche, les descripteurs des pratiques agricoles nécessitent pour la plupart des observations, des enquêtes ou des enregistrements à l'échelle de la parcelle ou de l'exploitation qui ne peuvent être exhaustives sur une vaste étendue. Parmi ces descripteurs des choix ont dû être faits par l'équipe ADBX du Cemagref, chargée du recueil de ces informations conditionnées en partie par les données disponibles aux différentes échelles.

⁴ MACARY F., LAVIE E., LUCAS G., RIGLOS O. Réflexions méthodologiques pour une modélisation spatialisée adaptée au changement d'échelle, destinée à apprécier le potentiel de contamination des eaux de surface par l'agriculture. Ingénierie-EAT, Cemagref, Bordeaux, 2006. 19 p.

Facteurs	données disponibles pour la Save
Topographie	Modèles Numériques de Terrain (IGN) : 25 m (BD Alti)
Pédologie	Carte papier digitalisée de la Compagnie d'Aménagement des Coteaux de Gascogne au 1/80 000
Hydrographie	BD Carthage (Banque Hydro) : précision métrique V5
Occupation du sol	Ilots monoculture (PAC Graphique) dépt. 31-32-65
	3Images satellitales LANDSAT 2009, 30m de résolution spatiale
Pratiques culturelles et produits utilisés	Indice de Fréquence de Traitements (IFT) par culture et par région : Midi-Pyrénées (voire région Poitou-Charentes, si pas de données pour Midi-Pyrénées (ex : Colza)). L'IFT pourra être réévalué au plan local.
	Enquêtes terrain (agriculteurs, coopératives, ...)
	Statistiques sur els rendements compte tenu des intrants et de la biomasse exportée

Tableau n° 1: Données disponibles pour le BV de la Save en 2009 - projet AGUAFLASH ADBX

1.5.3.3. Les variables retenues pour la construction des indicateurs simples, adaptables aux différentes échelles

Toute la difficulté du diagnostic des risques potentiels est de juger de la participation de chaque facteur à la dispersion des matières actives. Chaque diagnostic est un cas particulier pour lequel ont été hiérarchisés les facteurs, en fonction de leur importance vis à vis de la situation de terrain, en fonction de données suffisamment précises et discriminantes (la pédologie, le climat, les facteurs anthropiques, les pratiques culturelles et produits utilisés).

Au final les thèmes qui ont été conservés sont l'occupation du sol (indice de fréquence de traitements ou IFT), la topographie (pente), l'hydrographie (distance au cours d'eau) et la nature pédologique du premier horizon. Les avantages et inconvénients de l'intégration, ou non, des différentes variables à chaque échelle sont rapportés en détail dans les rapports précédents.

Les modèles sont incomplets à ce jour car les paramètres qui entrent en compte dans les mécanismes de pollution n'ont pas tous pu être intégrés aux différentes échelles et ont été expérimentés sur zone restreinte (BV central de la Save), faute de données disponibles ou utilisables. L'utilisation de tous les descripteurs demande un travail conséquent en géomatique et en télédétection (segmentation, traitements spectraux et spatiaux de l'image, classification, post-classification...).

2. Intégration de l'occupation du sol à l'échelle de la Save

La situation des surfaces terrestres à un moment T constitue un « état observable » pouvant servir à l'analyse des dynamiques des systèmes environnementaux et sociaux ainsi que de leurs interactions, de leur histoire et de leurs perspectives d'évolution. (A.FONTA, 2005) Le traitement d'images satellitaires n'apporte un intérêt que dans une perspective d'appuyer une application sur un point précis. Les différents types d'occupation du sol d'un Bassin Versant ont une influence sur l'écoulement, le régime hydrologique, et de façon induite sur la qualité des eaux. La nature de l'occupation du sol par les cultures, en particulier, est indispensable pour apprécier les pollutions par les intrants agricoles car les apports respectifs sont différents pour chaque culture.

2.1. Une analyse d'image fonction des objectifs de modélisation

Nous nous sommes appuyés sur les travaux de C.Puech qui a longuement étudié la place du traitement d'images et de l'utilisation des données géoréférencées dans les projets de recherche. Il met en avant le fait que les objectifs de l'application conditionnent l'intérêt et définissent les choix d'intégration d'information spatiale et d'utilisation des outils de géomatique. Selon lui, la mise en route d'une utilisation d'image de télédétection repose sur une analyse à trois composantes interagissant les unes sur les autres : l'application elle-même, le choix des images et le choix des objets d'étude. Nous avons repris et adapté cette méthode illustrée par le schéma n°2 représentant l'imbrication entre l'application, les images et les objets d'étude. 5

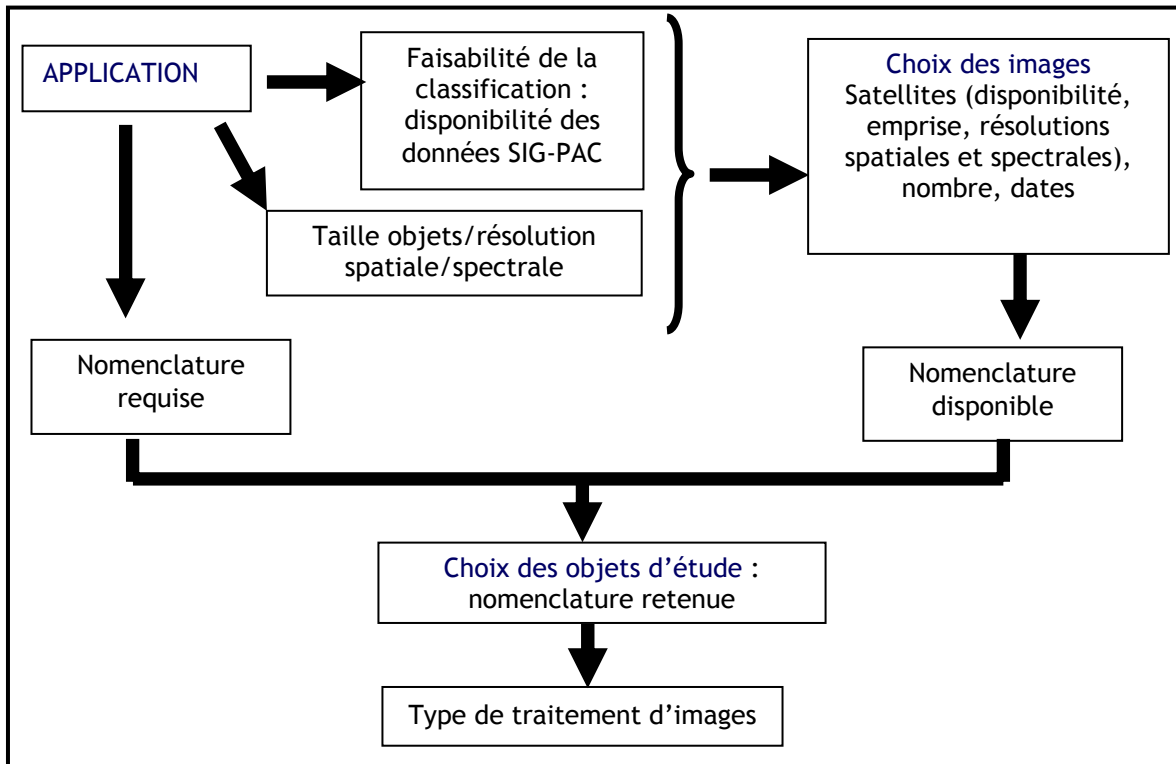


Schéma n°2 : Imbrication entre application, images et objets (d'après C.Puech)

⁵ PUECH C., Utilisation de la télédétection et des modèles numériques de terrain pour la connaissance du fonctionnement des hydrosystèmes. Mémoire de recherches. INPG Grenoble, Cemagref ENGREF, Montpellier, 2000.83 p.

Le but de l'analyse d'image est une simplification qui cherche à faire ressortir quelques éléments particuliers, au détriment d'autres, jugés sans intérêt pour l'application. Les choix de la nomenclature utile pour la constitution des classes et de la méthode de traitement sont donc particuliers au but thématique et dépendent fortement de celui-ci. Dans notre cas, il s'agit de mettre en valeur les grandes cultures de la zone et en particulier celles consommatrices en fertilisants et en pesticides.

Le type de traitement résulte du choix des objets à représenter, il va être contraint par la façon dont ceux-ci se présentent sur les images : tailles, homogénéité, formes, limites claires ou non... Le traitement d'images est donc consécutif à une analyse initiale des objets d'étude. Le choix et la qualité des méthodes de traitement dépendent du rapport entre les résolutions spatiales, les résolutions spectrales de l'image et la taille de l'objet. Marceau et al. (In : C.Puech, 2000) définissent une Résolution Spatiale Optimale (ou seuil d'homogénéité), chaque objet n'est observable que dans une plage de résolution limitée par un seuil inférieur égal au seuil d'homogénéité et un seuil supérieur à partir duquel le pixel déborde de l'objet (seuil d'hétérogénéité). Dans notre cas, la RSO correspond à la taille du pixel nous permettant de discriminer les grandes catégories de cultures de la zone d'étude puisque ce sont elles qui vont conditionner principalement les taux d'intrants agricoles dans les eaux superficielles.

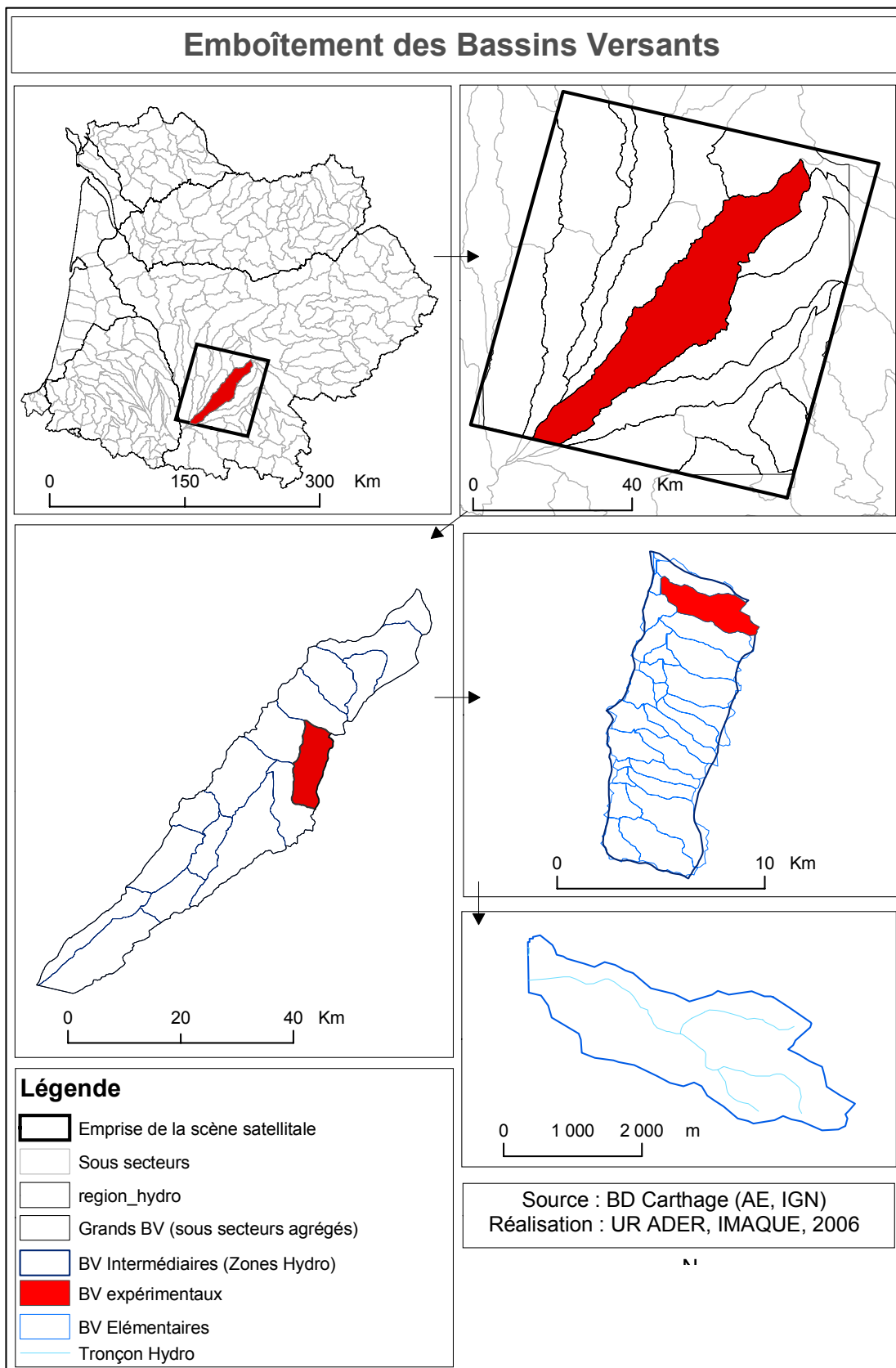


Schéma n°3 : Emboîtements des bassins versants sur le BV Save

3.2. Collecte de données pour la constitution des parcelles d'apprentissage

Nous avons opté pour une classification en mode supervisé⁶ car l'information que nous souhaitons extraire des images doit être suffisamment précise pour offrir une connaissance exhaustive de la localisation des principales cultures de la zone.

Plusieurs sources nous permettent de recenser l'ensemble des cultures de la zone et d'apprécier la part de chacune d'entre elles. La PAC graphique 2009 acquise pour les départements de la Haute Garonne, des Hautes Pyrénées du Gers est la principale source. La seconde source est constituée par les données d'itinéraires techniques en cours d'acquisition à partir d'enquêtes culturelles de terrain auprès d'agriculteurs et coopératives agricoles locales.

L'utilisation du sol agricole (ou assolements) sur le bassin versant de la Save est constitué seulement par quelques cultures : les rotations (succession de cultures sur une même parcelle) sont simplifiées. Schématiquement on peut caractériser la partie amont par des assolements prairies, tournesol blé et la partie aval par des assolements maïs. Le paysage agricole des départements concernés est désormais caractérisé par de grandes cultures. Le nombre d'exploitations s'est réduit et leur taille moyenne a augmenté. Les céréales et oléagineux sont les cultures dominantes de la région Midi Pyrénées, en particulier le blé, le tournesol et le maïs. Le blé tendre est la culture prédominante, représentant 32 % de la surface en céréales. Le tournesol a légèrement augmenté son étendue, notamment en Haute-Garonne. En revanche, le maïs, l'orge et le colza voient leur surface baisser depuis les années 1990. Les superficies en soja ont augmenté, en particulier dans le Gers, devenu le premier département producteur de France, mais sur la partie gersoise de la Save, le soja est très peu cultivé. Le Gers, la Haute Garonne et les Hautes-Pyrénées comptent d'importantes superficies en jachères, en prairies et en landes. Enfin dans ces départements nous trouvons d'autres céréales (sorgho, triticale, avoine...), des protéagineux (fèves, pois...), pas de vigne sur la Save, des vergers et pas d'autres types de cultures (tabac,...) ; mais qui comptent pour une plus faible part en production et en superficie. Par conséquent la discrimination de ces petites et moyennes cultures importait moins, compte tenu de leur poids dans la pollution, excepté les vergers pour lesquels les apports en intrants sont particulièrement élevés.

Enfin, les autres grands types d'occupation du sol à mettre en évidence sont l'eau (cours d'eau dont la Save et ses affluents, et masses d'eau), la forêt (résineux, feuillus) et les surfaces imperméables (bâti, infrastructures).

Nous avons répertorié les autres types d'occupation du sol à classifier, c'est-à-dire l'information non livrée par les DDEA (Directions départementales de l'équipement et de l'agriculture), devenues DDT (Directions départementales du territoire) depuis le 01/01/2010, en particulier les grands thèmes d'occupation du sol que sont l'eau, le bâti et les bois. Les trois classes (Bâti, Eau et Bois) importent aussi dans le modèle puisqu'elles sont pondérées lors de l'intégration de la variable occupation du sol au calcul.

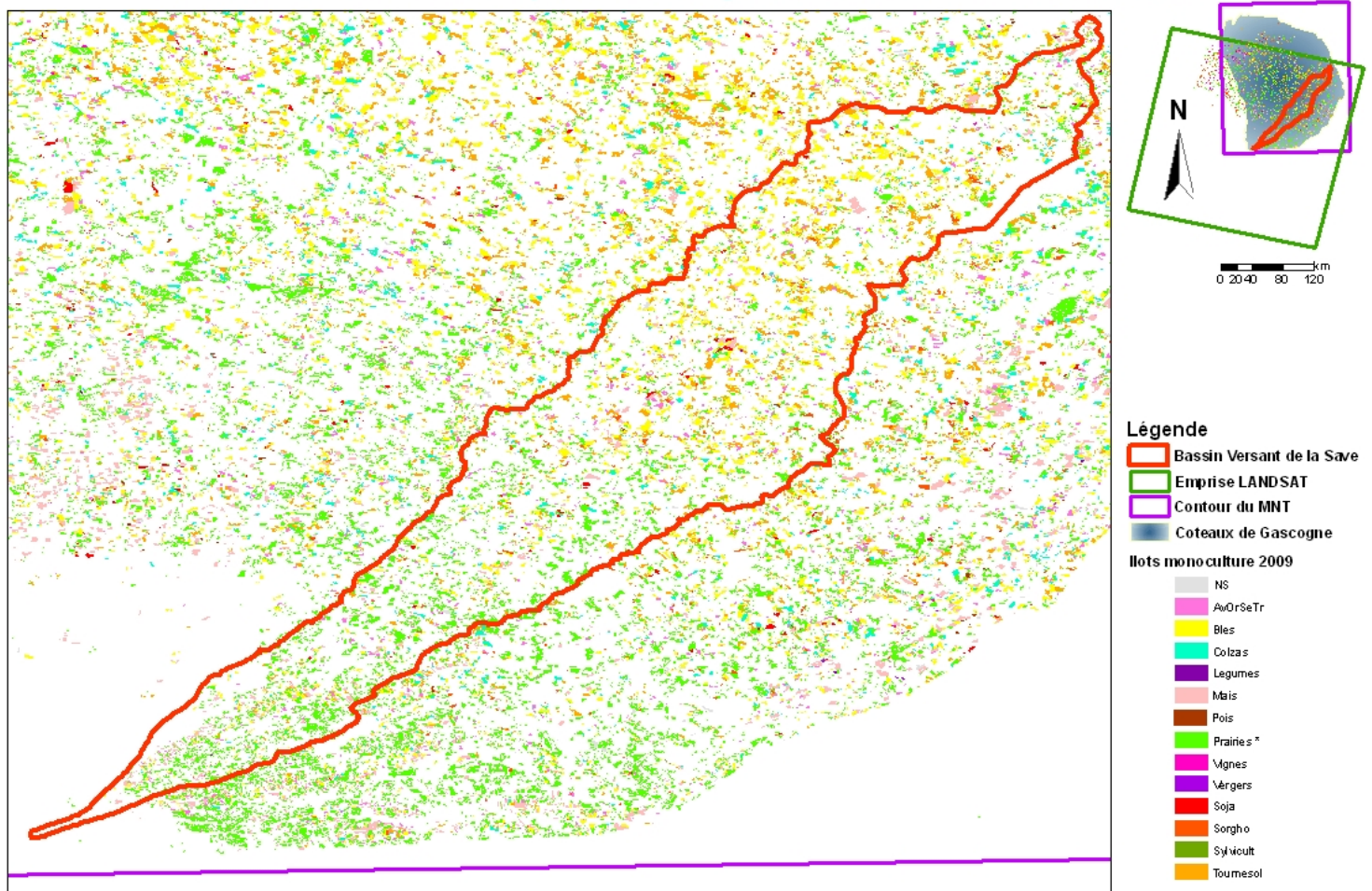
⁶ Une classification supervisée consiste à effectuer la correspondance entre les éléments d'une scène de l'image, matérialisés généralement par leurs valeurs radiométriques et des classes connues a priori par l'utilisateur.

De plus, il importe de les discriminer pour éviter la confusion de ces signatures avec celles des classes de culture. Cependant, la précision de la classification pour ces classes a demandé moins d'attention. Nous avons pu constituer des échantillons pour ces thèmes à partir de la reconnaissance de signatures spectrales aisément discriminables sur certaines compositions de canaux spectraux, et à partir de constitution d'indices spécifiques de végétation et d'eau.

Nous avons pu nous appuyer également sur la carte pédologique papier au 1/80.000 digitalisée lors du précédent projet IMAQUE, et la BD Alti (Scan25). A l'échelle de la Save, de part la connaissance terrain que nous en avons, nous n'avons pas discriminé les forêts de feuillus et de conifères, puisqu'il s'agit essentiellement de forêts mixtes.

La carte n°5 ci après présente l'emprise du BV Save par rapport aux Coteaux de Gascogne, celle de l'image satellitale Landsat et des parcelles d'apprentissage de l'image représentées par les îlots monocultures de la PAC graphique.

Ilots monoculture sur l'emprise de l'image LANDSAT sur le BV de la Save



Carte n° 3 : BV de la Save emboîté dans l'emprise des Coteaux de Gascogne, de l'emprise LANDSAT TM5 et du MNT et Ilots monoculture 2009 sur la région Midi Pyrénées

2.3. Classification

Le logiciel utilisé au Cemagref-UR ADBX pour le traitement d'image est Erdas Imagine version 9.3.

Nous avons opté pour l'acquisition d'une série multi dates en 2009 de scènes complètes du satellite Landsat Capteur TM5 en raison principalement de l'emprise couvrant la totalité du bassin de la Save, le quart de scène aurait été insuffisant à couvrir la partie amont du bassin.

Les images Landsat 5 TM sont multispectrales, c'est-à-dire qu'elles offrent de l'information dans sept bandes de longueur d'onde différente. Les capteurs mutispectraux offrent de nombreuses possibilités de combinaisons de canaux pour la discrimination des objets. Six bandes spectrales offrent une résolution spatiale de trente mètres au sol et une de 120 mètres au sol (canal 6 de l'infrarouge thermique, qui ne sera donc pas utilisé).

Le système de gestion des aides recense environ 50 types de cultures. Sur la Save, sont répertoriées une trentaine de types d'occupation du sol uniquement.

Le travail se déroule en deux temps : tout d'abord différencier les îlots monoculture des îlots polyculture et ensuite créer les classes de nature d'utilisation agricole du sol

La détermination de la nature « Monoculture » d'un îlot (Cf. Glossaire PAC) se fait sur la base de la définition même. Nous opérerons sous base ACCESS, puis sous Système d'Information Géographique (SIG) à partir des tables attributaires des fichiers vecteur de la PAC GRAPHIQUE obtenues pour les départements du Gers, des Hautes-Pyrénées et de la Haute Garonne, sur la base des critères suivants :

1) un îlot monoculture est un îlot unique (Champ « NUMéro d'îlot ») du point de vue de sa nature au sein d'un pacage (Champ « Pacage ») de même nature exclusivement. L'identification se fait donc à partir de ces deux attributs ou champs, grâce à la création d'un nouveau champ, résultant de leur concaténation (« Pac_Ilot »), et qui deviendra la clé d'identification ou clé primaire du fichier.

2) Sur la totalité du fichier, soit les 130 416 / 84 476 enregistrements, seuls sont gardés les enregistrements dont le « Pac_Num » ne comprend pas de doublons.

La mise en œuvre détaillée de la méthode se trouve décrite dans le cahier Cemagref-ADBX « Méthode constitution des fichiers d'îlots d'apprentissage.doc ».

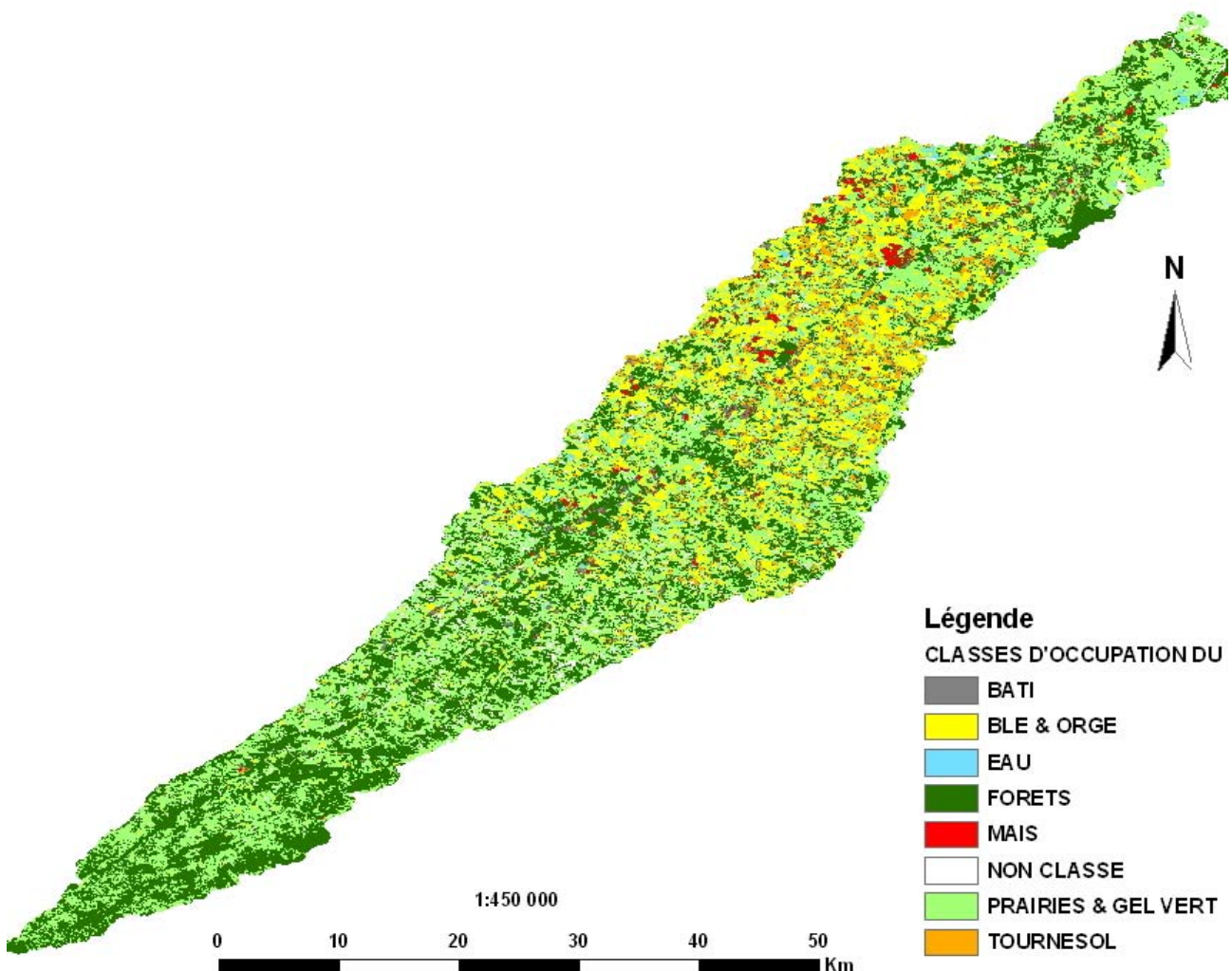
Une fois les îlots monoculture isolés, nous constituons les classes d'utilisation agricole du sol, suivantes les étapes suivantes :

- 1) Suppression des classes indéterminées (« autres », « J2 », « J3 », etc)
- 2) Suppression des classes dont la représentativité spatiale sur l'ensemble du bassin n'est pas assurée (< 2%) et ne pouvant pas être regroupées avec d'autres classes (« chanvre », « vigne », etc)
- 3) Suppression des classes dont la représentativité spatiale moyenne est trop petite (polygones dont la surface est inférieure à 3 ha).
- 4) Regroupement enfin des catégories semblables, au niveau de la signature spectrale et des ITK, en particulier du risque par les intrants agricole (« Orge-Triticale-Avoine-Seigle », « Prairies-GelVert », etc).

Au final, nous avons une dizaine de classes représentatives sur la Save.

Parmi ces classes, seules une douzaine est représentée. Nous avons effectué des tris en vue de séparer les types de cultures inclassables de ceux destinés à constituer des classes, en nous attachant à répondre aux besoins de l'application. Certains types de cultures n'apportent pas réellement d'information sur l'occupation du sol présente sur les îlots (Ex : Aide au boisement...), nous les avons éliminés. Ensuite nous avons distingué les grands types de culture que l'on souhaite mettre en valeur des types de culture difficiles à classer et qu'il nous importe peu de discriminer.

La méthode de classification n'est pas développée dans ce rapport ; nous en présenterons les résultats intermédiaires. Ainsi par exemple ci après la carte d'occupation des sols pour 2009 issue d'un premier classement.



Carte n° 4 : Classification d'une série temporelle d'images Landsat 5 TM (2009)

3. Détermination des zones potentielles du risque de pollution des eaux de surface par les intrants agricoles à l'échelle de la Save

Après avoir préparé les couches sources nécessaires à la constitution des indicateurs, nous avons pu mener un travail de réflexion sur chacun d'entre eux et ainsi bâtir les indicateurs simples (pente, distance au cours d'eau, pédologie et pression phytosanitaire) en attribuant des pondérations aux différentes variables de pression et de sensibilité du milieu. Ainsi, nous allons produire des cartes du risque potentiel de la pollution des eaux superficielles par les produits phytosanitaires en combinant les indicateurs simples et en agrégeant ensuite l'information calculée au pixel aux différentes échelles de représentation cartographique (Zone hydrographique, BV élémentaire, Cf. Carte n°3).

3.1. Préparation des couches pour la constitution des Objets Spatiaux de Référence

Coordonner des informations et des données multiscalaires et multisources implique un double questionnement (Marceau, 1999) : Quelle est l'échelle spatiale appropriée pour l'étude d'un phénomène géographique articulé ? Comment transférer de façon adéquate l'information d'une échelle spatiale à l'autre ?

Comme nous l'avons vu en première partie, l'OSR utilisé pour les calculs est le pixel. L'information est ensuite agrégée à un OSR offrant une lisibilité pour la représentation cartographique à petite échelle, le Bassin Versant. Nous avons procédé à la redéfinition des OSR BV (basés sur le découpage de la BD Carthage et le MNT et validés par la modélisation du réseau hydrographique sous SWAT) afin d'élargir la zone d'étude aux Coteaux. Les OSR Sous-secteur Hydrographique et Zone Hydrographique ont été circonscrits à la zone du bassin de la Save par un simple découpage emporte-pièce des couches sources de la BD Carthage, à partir de la couche vectorielle représentant le polygone d'emprise de la scène Landsat défini au cours du traitement des images satellitales (Cf. Carte n°5). En revanche, il n'existe pas de carte numérique du découpage de la zone d'étude en bassins versants élémentaires mais il est possible de l'obtenir par traitement du MNT à l'aide du module de calculs hydrologiques du logiciel SIG. Ainsi nous avons dû produire une nouvelle couche vectorielle représentant le découpage de la zone des Coteaux en BV élémentaires à partir du MNT à une résolution spatiale de 25 mètres. Nous avons d'abord procédé à un comblement des puits, puis aux calculs respectifs de la direction et de l'accumulation des écoulements. A partir des couches créées, nous avons pu lancer le calcul des bassins versants. Un critère est paramétrable : la taille minimale (surface). Pour la déterminer nous avons procédé de façon itérative, au final le critère retenu est un minimum 5 hectares, pour la constitution des BV élémentaires. Afin d'évaluer la validité des limites de bassins versants calculés, il est possible de les comparer avec les lignes de niveau calculées à partir du MNT.

3.2. Élaboration des indicateurs simples

Les données stockées dans la Base nécessitent une série de prétraitements afin d'être intégrées au SIG et rendues pertinentes pour notre travail. Ensuite, il s'agit de « bâtir » chaque indicateur en agrégeant les variables préparées (sensibilité du milieu, pression phytosanitaire), afin de fournir une valeur indicatrice qui renseigne sur les risques qu'engendrent pour la ressource eau, l'utilisation des pesticides et de l'azote en excès. De nombreux indicateurs sont proposés afin d'évaluer l'impact de pesticides sur l'environnement, une synthèse exhaustive a été produite par le Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable en 2005. Notre méthode est basée sur celle du CORPEN (Cf. 1.2.3.1.). D'autres équipes de l'UR ADER ainsi que de nombreux partenaires du Cemagref (Agence de l'Eau, GRAMIP⁷...) travaillent également à l'élaboration d'indicateurs de pression phytosanitaire. Nous avons pris connaissance de ces travaux, pour tenter de porter une critique scientifique objective sur notre démarche de façon à l'affiner.

3.2.1. Constitution des indicateurs de sensibilité du milieu

On distingue plusieurs grands types d'indicateurs. On utilise ici dans la méthode le type d'indicateurs « à notation » (Devilliers et al., 2005). Le principe est d'intégrer dans le calcul les valeurs des variables après les avoir transformées en notes. Cette méthode nécessite de passer par une étape intermédiaire, la répartition des valeurs en classes, ce qui implique de déterminer les limites de celles-ci et donc de définir des seuils.

3.2.1.1. Pente

La résolution du MNT importe dans la finesse du modèle puisqu'il permet de mieux appréhender les gradients altitudinaux, qui occupent une place prépondérante dans le ruissellement. Nous avons opté pour l'acquisition d'un Modèle Numérique de Terrain à une résolution de 25 mètres auprès de l'Institut Géographique National. Nous avons dégagé différentes options pour le découpage de la zone d'emprise du MNT, au final nous avons opté pour un MNT couvrant les coteaux de Gascogne.

La fonction analyse de surface (depuis l'extension Spatial Analyst d'ArcGis) permet de calculer la valeur de la pente pour chaque pixel par dérivation des valeurs du MNT. Nous l'avons interpolé à 30 mètres de résolution (conformément à la résolution spatiale de l'image satellitale). Pour la définition des classes de valeur des pentes, Puech met en avant deux seuils physiques indispensables dans les problèmes d'écoulement sur un bassin versant : le passage des écoulements de versant aux écoulements en chenaux bien matérialisés et l'homogénéité de la pluie sur une surface.

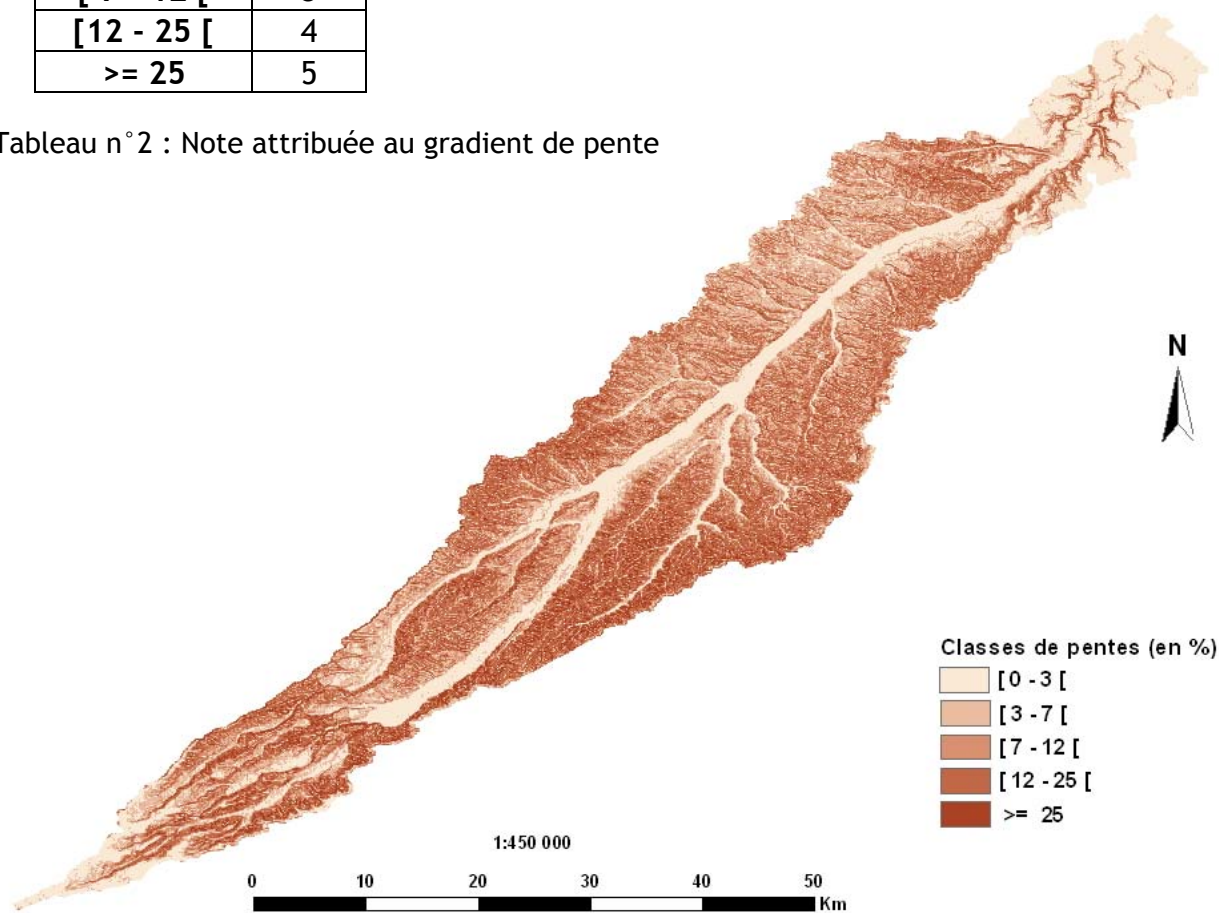
Nous avons établi manuellement les seuils en nous basant sur l'histogramme de fréquence des valeurs de pente. Les valeurs extrêmes ne représentant qu'un effectif réduit nous avons choisi de les intégrer à la classe majoritaire (25-35 %) afin de la considérer. Une note, sur une échelle de 1 à 5, est affectée à chaque classe.

Comme nous l'avons dit précédemment, il importe de donner un poids équivalent à chacune des classes définies puisqu'elles ont été travaillées au préalable en fonction de leur pertinence (Cf. Carte n° 7).

⁷ Groupe Régional d'Actions de réduction des pollutions par les produits phytosanitaires en Midi-Pyrénées.

Indicateur PENTES	
Valeurs de pentes (%)	Note
[0 - 3 [1
[3 - 7 [2
[7 - 12 [3
[12 - 25 [4
>= 25	5

Tableau n°2 : Note attribuée au gradient de pente

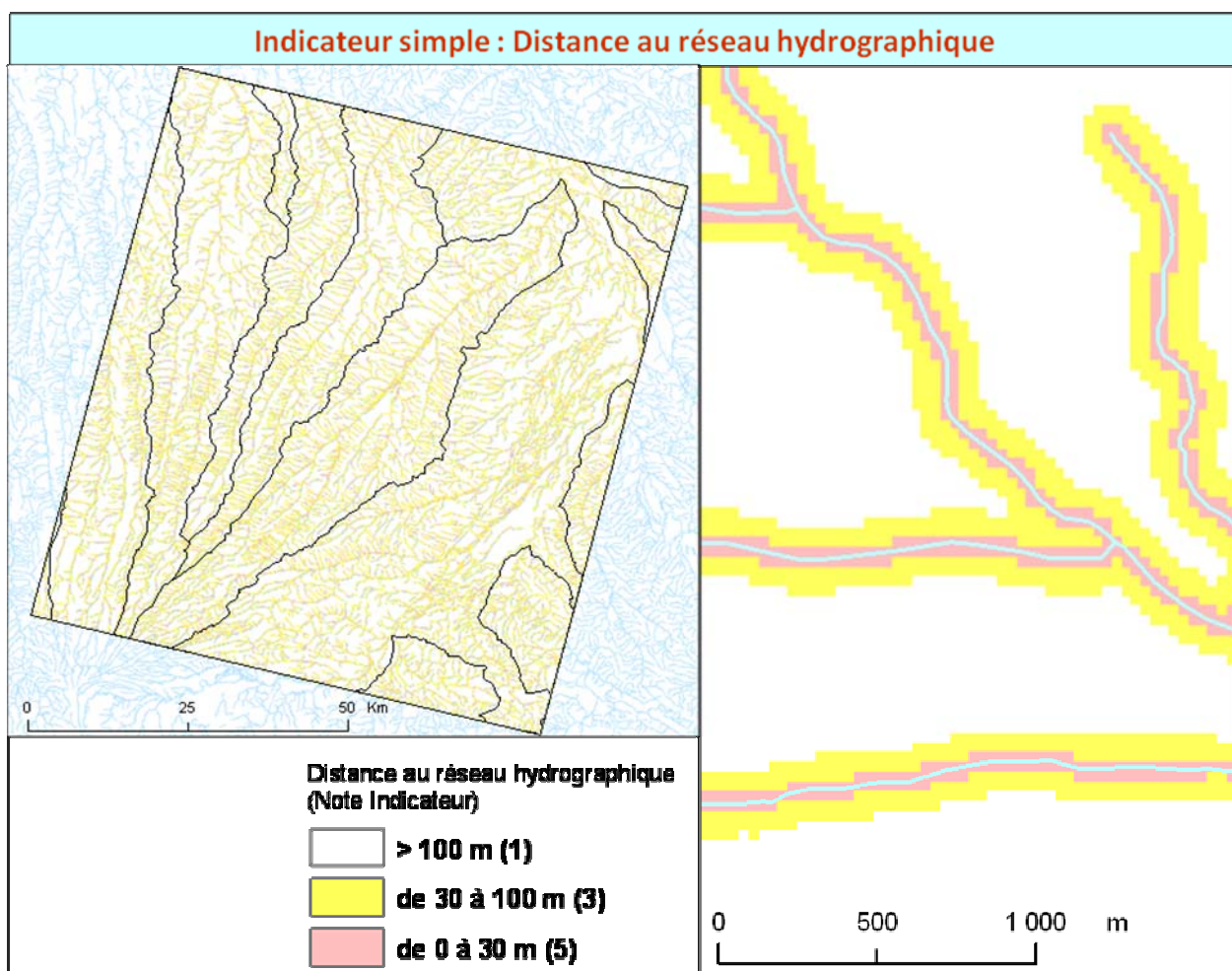


Carte n°5 : Classes de pentes sur le BV de la Save

3.2.1.2. Distance aux cours d'eau

Plusieurs possibilités ont été envisagées pour traduire le thème hydrographie en indicateur. Un indicateur de distance a été préféré à celui de la densité car il autorise une résolution plus fine. Deux zones tampons (buffer) situées à 30 et 100 m autour du réseau hydrographique ont été créées : nous obtenons ainsi trois zones différenciées.

Les notes attribuées à ces classes de pente seront le cas échéant revues et affinées en réflexion avec la GT3.2



Cartes n°6 : Indicateur simple de distance au ruisseau hydrographique

Au préalable, le traitement de la BD Carthage a consisté à découper la couche des tronçons hydrographiques à partir de l'emprise de la scène Landsat. L'extraction d'une couche propre de tronçons hydrographiques à l'échelle des Coteaux est complexe, elle est constituée d'entités linéaires de plusieurs états (Ex : non permanents) et de natures différentes (Ex : canaux...). Cependant pour des questions d'organisation du projet, il est envisagé que ce travail soit effectué après un premier test à partir de la couche source à l'échelle des Coteaux. Il est prévu de constituer une nouvelle couche plus « épurée » des tronçons hydrographiques à l'échelle des Coteaux dans un second temps.

Une note a été affectée à chacune des zones après union et rastérisation de la couche extraite. Le seuil de 30 m a été choisi en raison de la résolution spatiale du pixel. Celui de 100 m a été déterminé à dire d'experts. Les notes affectées traduisent simplement, sur une échelle de 1 à 5, l'augmentation du risque avec la proximité au réseau (Cf. Carte n°8).

Indicateur PROXIMITE HYDROGRAPHIQUE	
Distance au réseau	Note
< 30 m	5
30 m < d < 100 m	3
> 100 m	1

Tableau n°3 : Notes attribuées à la distance au cours d'eau

Il est prévu également une discrimination plus fine des distances au réseau.

3.2.1.3. Pédologie

Les principaux modes de transport des pesticides sont le ruissellement de surface, les écoulements latéraux sous la surface du sol sur une couche moins perméable ou le drainage agricole.⁸ Le transfert peut se faire soit sous forme soluble dans l'eau de ruissellement, soit sous forme adsorbée aux particules de sol érodé. Les produits présents sur les surfaces végétales empruntent préférentiellement la voie soluble, tandis que ceux présents à la surface du sol sont entraînés dans des phénomènes complexes de désorption, diffusion, turbulence, dissolution et érosion. La description que l'on peut faire des écoulements propres à chacun des grands types de sol du BV de la Save suivant les appellations locales (Cf. Carte n°4) est la suivante :

Alluvions : La proximité à la nappe affleurante implique un transfert direct vers celle-ci, et de fait une absence d'épuration par le milieu.

Boulbènes : Sols perméables ils favorisent les infiltrations, mais sont propices à la formation de croûtes de battance, le ruissellement devient alors majoritaire.

Terreforts minces : Ils favorisent le ruissellement hortonien (surfacique).

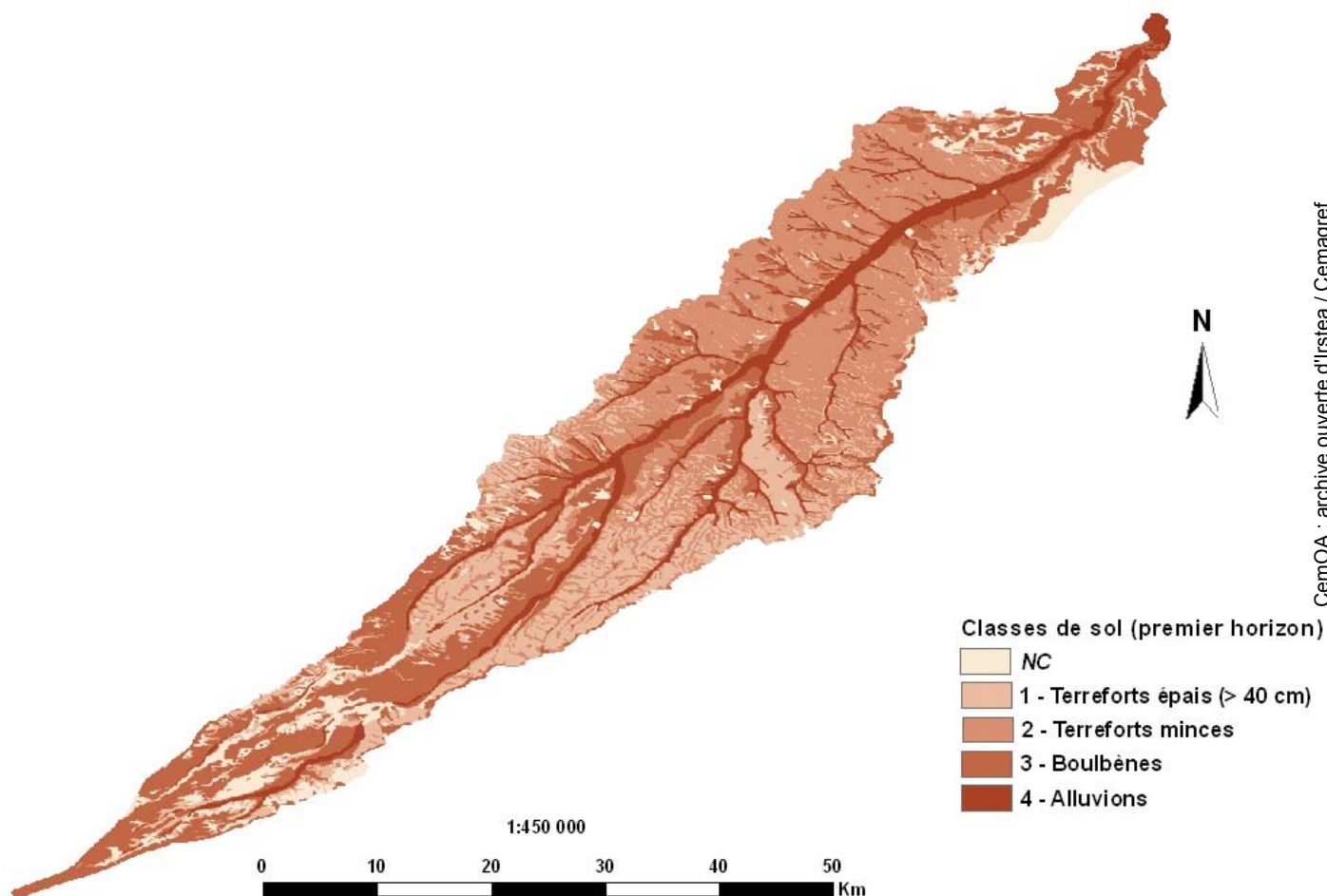
Terreforts épais : Sols argileux imperméables, l'écoulement est majoritairement hypodermique. Ils sont constitués de poches sableuses hydromorphes ce qui ralentit le transfert des produits vers la nappe.

⁸ Gouy V. et al. Transfert des produits phytosanitaires : expérimentation en milieu naturel, BRGM, Hydrogéologie, n°1, 2000. p.57-66

Sols	Note affectée au pixel
Terrefort > 40 cm	1
Terrefort mince	2
Boulbènes	3
Alluvions	4

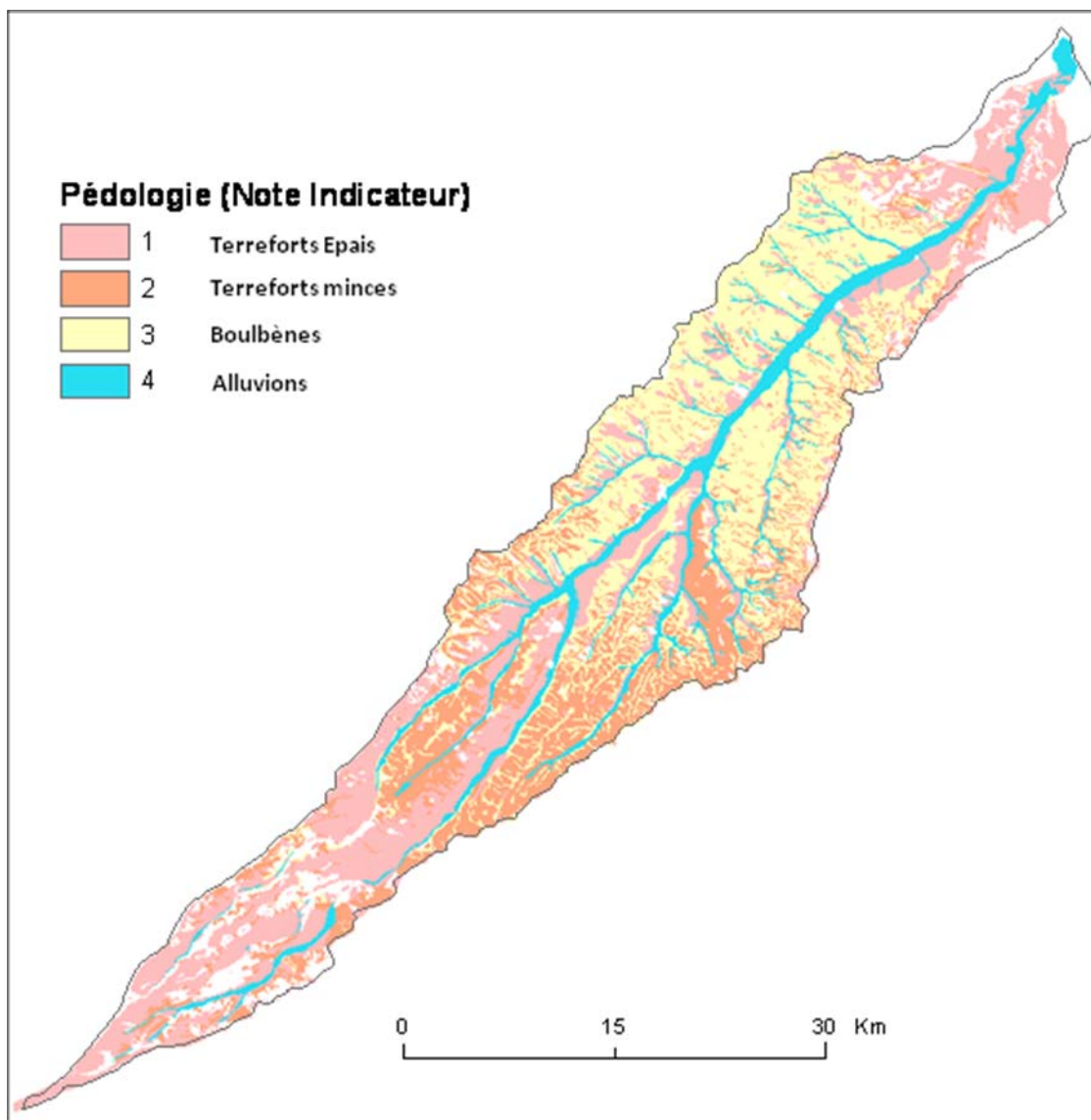
Au regard des types d'écoulement, nous avons noté les types de sols, selon leur importance dans le mécanisme de transfert des pesticides, en nous appuyant sur les études du GRAP⁹. Nous avons considéré que le transfert direct dans la nappe était le type d'écoulement le plus risqué pour le milieu, puis le ruissellement créé par la formation d'une croûte de battance, le ruissellement hortonien, et enfin le ruissellement hypodermique.

Tableau n° 4: Notes attribuées aux sols



Carte n° 7a : Indicateur simple Pédologie

⁹ Groupe Régional d'Action contre la Pollution des eaux par les Produits Phytosanitaires



Cartes n°7b : Indicateur simple Pédologie (pédo-paysages)

3.2.2. Constitution de l'indicateur « pression phytosanitaire »

L'occupation du sol à l'échelle de la parcelle (Cf. Carte n°6) nous permet de déduire le niveau de pression phytosanitaire induit par l'activité agricole. A chaque culture peut être associée un indicateur de traitements. La différenciation entre les fongicides, les herbicides et les insecticides aurait été particulièrement judicieuse compte tenu de leur nocivité différente. Or, les molécules et produits utilisés se comptent par centaines (Cf.3.1.2.) et il est quasi impossible d'établir un classement permettant de les hiérarchiser en fonction de leur nocivité pour le milieu. Le mélange est également un facteur qui empêche d'attribuer dans le détail un nombre de traitements par produit. L'état actuel des connaissances ne permet pas de les classer en familles selon le risque potentiel induit. La prise en compte des doses apporterait bien sûr une meilleure précision mais là encore, une enquête exhaustive n'est pas envisageable à l'échelle des Coteaux. De plus, il semblait difficile d'intégrer rigoureusement les traitements à demi dose jusque là. Le calcul d'une charge phytosanitaire surfacique semble le plus fondé. Les statistiques de ventes des produits ne sont pas compatibles avec le degré de précision souhaité (stockage dans les exploitations, utilisation hors des communes, ...). Par ailleurs, l'estimation de la pression engendrée à partir de la connaissance des valeurs exactes de matières actives employées sur chaque parcelle reste délicate. En effet, compte tenu des combinaisons de molécules notamment, les connaissances actuelles sont insuffisantes. Seule une discrimination des parcelles est envisageable mais ce raisonnement est alors déconnecté de la notion de pression sur l'eau.

Nous avons alors choisi d'utiliser un nouvel indicateur : **l'indice de fréquence de traitement (IFT)** appelé également pression polluante dans le diagnostic du RAD, de plus en plus utilisé dans les mesures.

L'IFT, initié au Danemark, est un bon indicateur de la pression phytosanitaire liées aux pratiques. Il traduit la dépendance de l'agriculture aux produits phytosanitaires. Il se calcule en divisant la dose appliquée par la dose homologuée et permet ainsi de s'affranchir des limites liées aux indicateurs « quantités de substances apportées » (difficultés de comparer entre elles des substances utilisées à des doses par hectare très différentes) ou « nombre de traitements effectués » (certains traitements sont réalisés en mélange ou à des doses significativement inférieures aux doses homologuées). (Cf Axe 5 - Evaluer les progrès accomplis - Plan Interministériel de Réduction des Risques liés aux Pesticides)

L'IFT est calculé spécifiquement pour une région et pour un type de culture.

Les pondérations que nous allons donner pour l'indicateur simple IFT sera donc par grand type de culture (grandes classes de regroupement) pondéré par catégorie d'appartenance de pesticides (herbicides / non herbicides), les herbicides présentant une pression accrue de contamination aux eaux superficielles.

IFT culture = Indice de Fréquence de Traitement / Culture

Culture	IFT retenu	Source
Blé dur	4.11	Midi-Pyrénées
Blé tendre	3.28	Midi-Pyrénées
Colza	7.01	Aquitaine
Maïs	1.65	Midi-Pyrénées
Orge	2.11	Midi-Pyrénées
Tournesol	1.70	Midi-Pyrénées
Pois	5.25	France

Tableau n° 5 : IFT par culture

Le calcul de la pression phytosanitaire est affiné en y adjoignant le paramètre du Curve Number (CN) issu de l'outil de modélisation hydrologique SWAT (Soils and Water Assessment Tool).

Forêts : CN = 1
 Prairies : CN = 1.1
 Cultures hiver : CN = 1.15
 Cultures été : CN = 1.20

Culture	IFT retenu	CN2	Indicateur Pression Phyto
Blé dur	4.11	1.15	4.73
Blé tendre	3.28	1.15	3.77
Colza	7.01	1.15	8.06
Maïs	1.65	1.20	1.98
Orge	2.11	1.15	2.43
Tournesol	1.70	1.20	2.04
Pois	5.25	1.15	6.04

Tableau n° 6 : IFT par culture pondéré par le Curve Number

REMARQUE : Ultérieurement, nous affinerons le calcul de l'IFT affiné au niveau du BV Save, suivant la nature des données de terrain mobilisables.

3.3. Modélisation et cartographie du risque potentiel de pollution

3.3.1. Méthode de combinaison des indicateurs simples

L'ensemble des couches des indicateurs simples a été rasterisé au format GRID en définissant une taille de cellule de résolution commune à 30 m. Il est ensuite possible d'affecter une note à chaque pixel et d'utiliser les outils de calculs permettant de définir un indicateur complexe du risque potentiel. Le modèle s'établit alors sous la forme d'une formule du type :

Mode de calcul de l'indice Phytopixal :

Phytopixal = (Vulnérabilité) X (Pression phyto) calculé / pixel

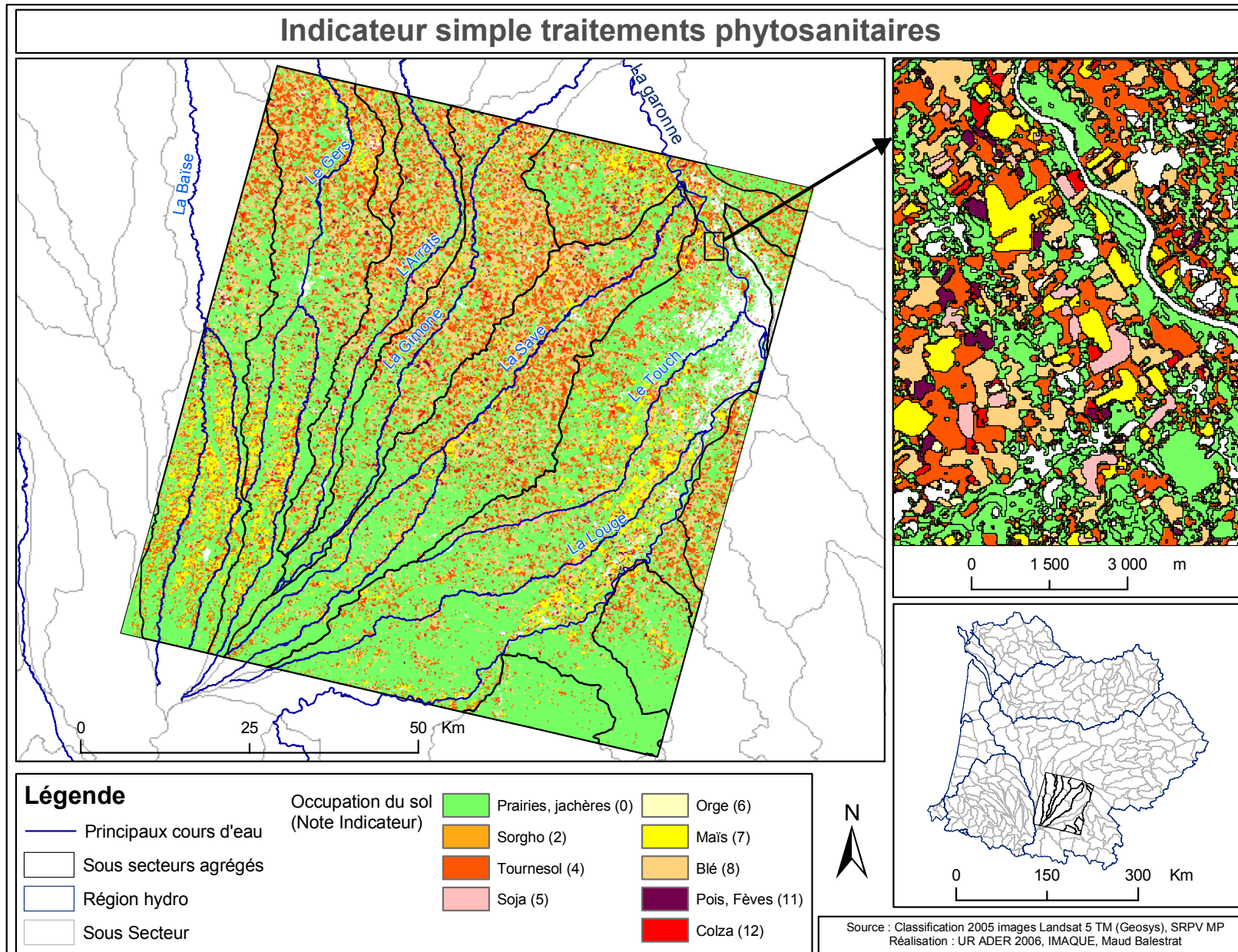
Vulnérabilité = pédologie + pente + réseau hydro
et

Pression phyto / culture classifiée = IFT culture x CN2

D'où

$$\text{Phytopixal} = [\text{pédologie} + \text{pente} + \text{réseau hydro}] * [\text{IFT culture} \times \text{CN2}]$$

(les caractères « * et + » représentent des opérateurs booléens)



Carte n° 8 : Exemple de résultat d'Indicateur simple Traitements phytosanitaires

Nous avons envisagé deux possibilités via le SIG dans le croisement des indicateurs de sensibilité du milieu : l'addition ou la multiplication. Nous avons opté pour une addition pour donner un poids équivalent à chaque facteur. Les facteurs pris en compte dans notre démarche ne sont pas hiérarchisés. Compte tenu de l'état actuel des connaissances, les valeurs croissantes de l'indicateur complexe traduisent un risque croissant. Ensuite, la multiplication de la pression phytosanitaire par la sensibilité du milieu permet de déterminer un risque nul dans les zones (en l'occurrence des pixels) où aucun traitement n'est appliqué. Le modèle retenu est donc le suivant :

$$\text{Vulnérabilité} = [\text{pente} + \text{proximité réseau hydro} + \text{pédologie}] \times [\text{pression phytosanitaire}]$$

Une hypothèse de pondération de critères sera testée ultérieurement !

Agrégation de l'information selon l'échelle d'investigation : dans une optique d'aide à l'identification de zones prioritaires d'action, l'information ainsi présentée au pixel peut, dans un second temps, être agrégée aux OSR Bassins Versants élémentaires et zones hydrographiques à partir des outils de statistiques spatiales (Spatial Analyst) selon la formule :

$$\text{Risque Potentiel OSR BV} = \frac{\sum \text{notes risque des pixels du BV}}{\sum \text{surfaces des pixels du BV}}$$

Le schéma suivant récapitule les grandes étapes de modélisation permettant de dresser une carte du risque potentiel à l'échelle du BV Save.

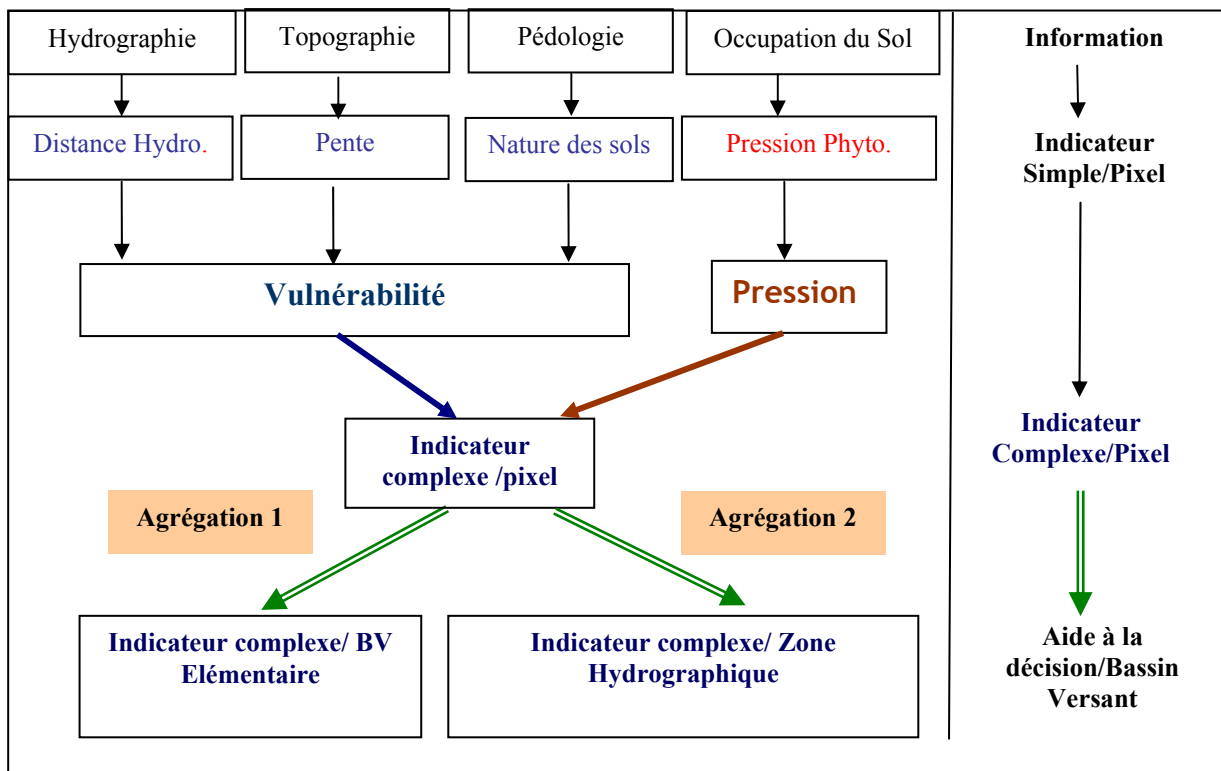


Schéma n°4 : Méthode de raisonnement au pixel et présentation de l'information pour l'identification de zones à risque.

3.3.2. Spatialisation du risque potentiel de contamination de surface par les produits phytosanitaires

Nous avons souhaité réaliser une analyse spatiale qui nous permette de mettre en valeur une discrimination des zones de pression phytosanitaires à l'échelle du BV de la Save, selon un découpage en BV élémentaires ou en zones hydrographiques. Pour arriver à ce résultat les choix des méthodes de discrétisation¹⁰ sont nombreux et les résultats cartographiques très variés.

La dernière étape consiste donc à choisir des seuils pour déterminer les classes de valeur de l'indicateur complexe. Nous avons choisi de retenir les 5 classes habituelles adaptées aux gradients de niveaux de risque : très faible/faible/moyen/fort/très fort.

Nous avons conservé une discrétisation par seuils naturels (Jenks). On obtient ainsi des classes de valeurs les plus « homogènes » possible. Les seuils fluctuent en fonction du nombre d'unités discriminées. En d'autres termes, le niveau de risque affecté à une unité donnée (individu statistique) dépend des performances, mesurées à l'aide du même indicateur, des autres unités auxquelles elle est comparée. La comparaison des résultats à des niveaux d'organisation spatiale différents n'est pas envisageable puisque les notes de l'indicateur sont moyennées en fonction de la surface des OSR de représentation.

3.4. Discussion des premiers résultats obtenus (situation provisoire)

La méthode développée permet de comparer des bassins versants entre eux et de les hiérarchiser selon le risque potentiel de pollution des eaux qu'ils représentent. Les cartes acquises par cette méthode aident à la définition de zones prioritaires d'action et au dialogue entre acteurs en leur fournissant une méthode et un document commun.

- La carte avant agrégation est l'expression du niveau du calcul, donc la plus précise. Mais, elle représente une mosaïque de pixels difficilement interprétable visuellement et ne permet pas directement le diagnostic.
- La carte représentant le premier degré d'agrégation à l'échelle des BV élémentaires (Cf. Carte n°13 offre une plus grande lisibilité pour une discrimination des zones prioritaires d'action à un niveau local.
- La carte représentant l'agrégation des pixels à l'échelle des Zones Hydrographiques offre une lisibilité pour des gestionnaires. En revanche, elle offre une information plus globale et facilement discutable puisqu'elle est moyennée à l'échelle des BV Intermédiaires (Cf. Carte n° 10 et 12).

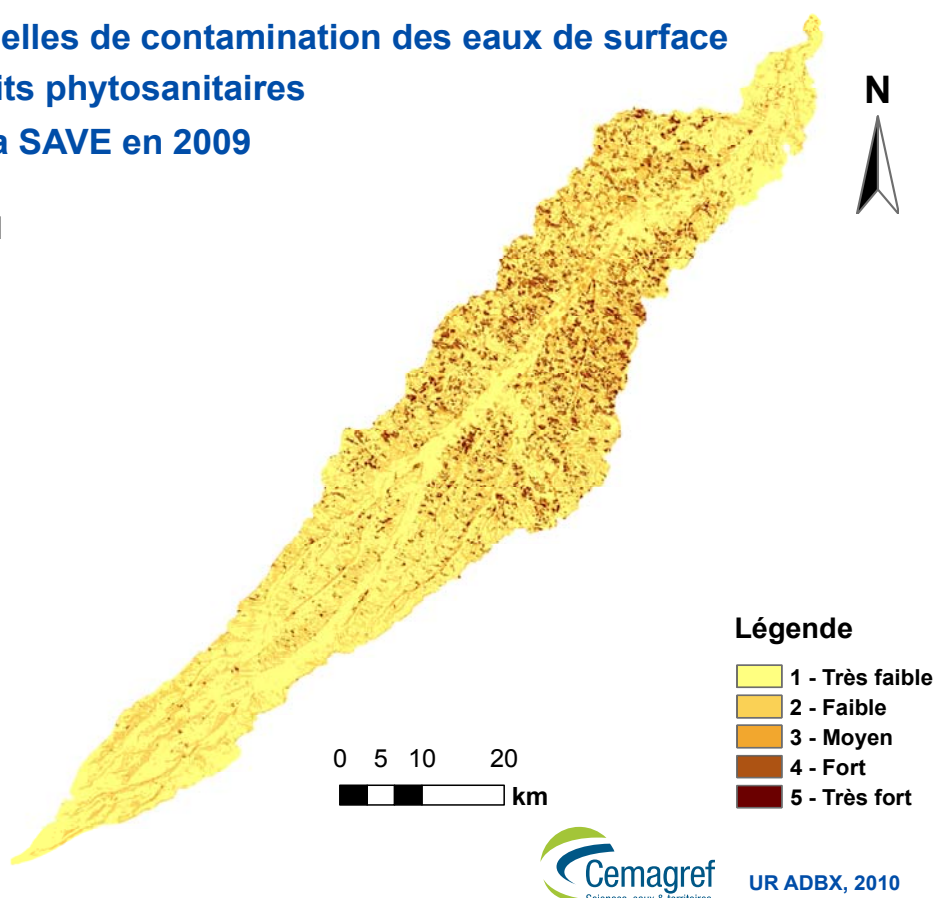
¹⁰ La discrétisation est l'opération qui permet de découper en classes une série de variables quantitatives. Cette opération simplifie l'information en regroupant les objets géographiques présentant les mêmes caractéristiques en classes distinctes.

Ces cartes permettent à différents niveaux d'organisation de dégager des zones cibles pouvant faire l'objet d'une étude plus approfondie (mesures hydrologiques, mesures de la qualité de l'eau, suivi particulier des apports en produits phytosanitaires, des techniques culturales) ou d'actions prioritaires de lutte contre la pollution.

La méthode n'est pas finalisée, il reste des travaux de paramétrage des indicateurs simples à réaliser. En revanche, les cartes produites permettent d'évaluer l'intérêt d'engager de nouveaux traitements de données.

Zones potentielles de contamination des eaux de surface par les produits phytosanitaires sur le BV de la SAVE en 2009

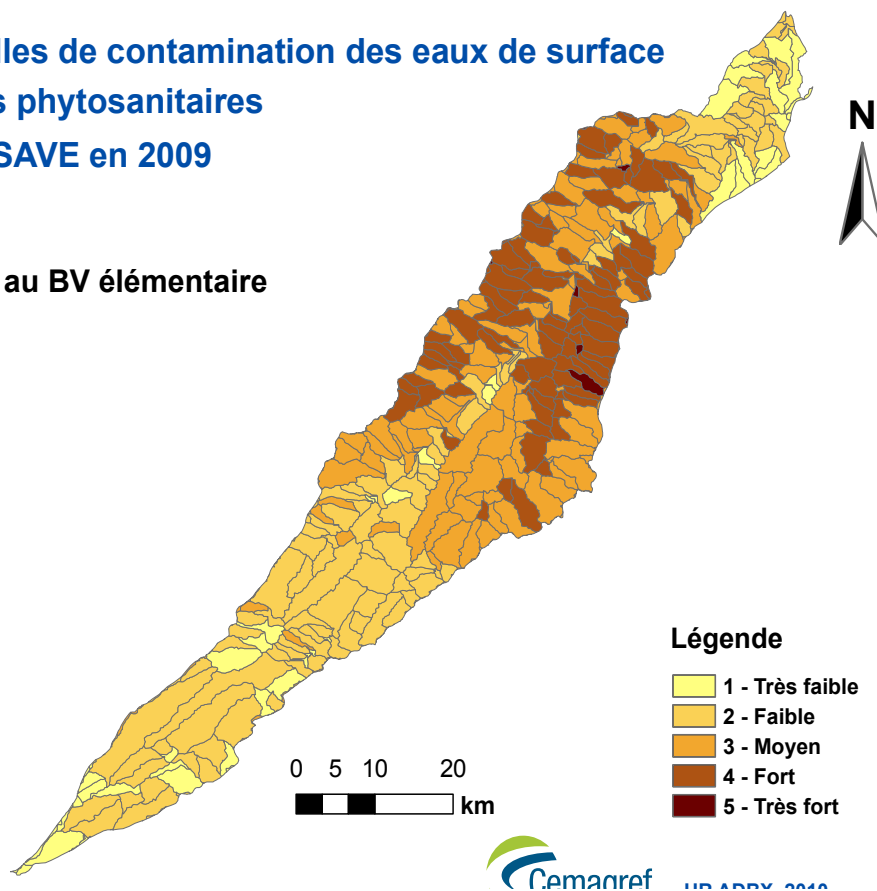
Calcul au pixel



Carte n°9 (résultat intermédiaire) : Risque potentiel de pollution des eaux superficielles à l'échelle du Bassin Versant de la Save.

Zones potentielles de contamination des eaux de surface par les produits phytosanitaires sur le BV de la SAVE en 2009

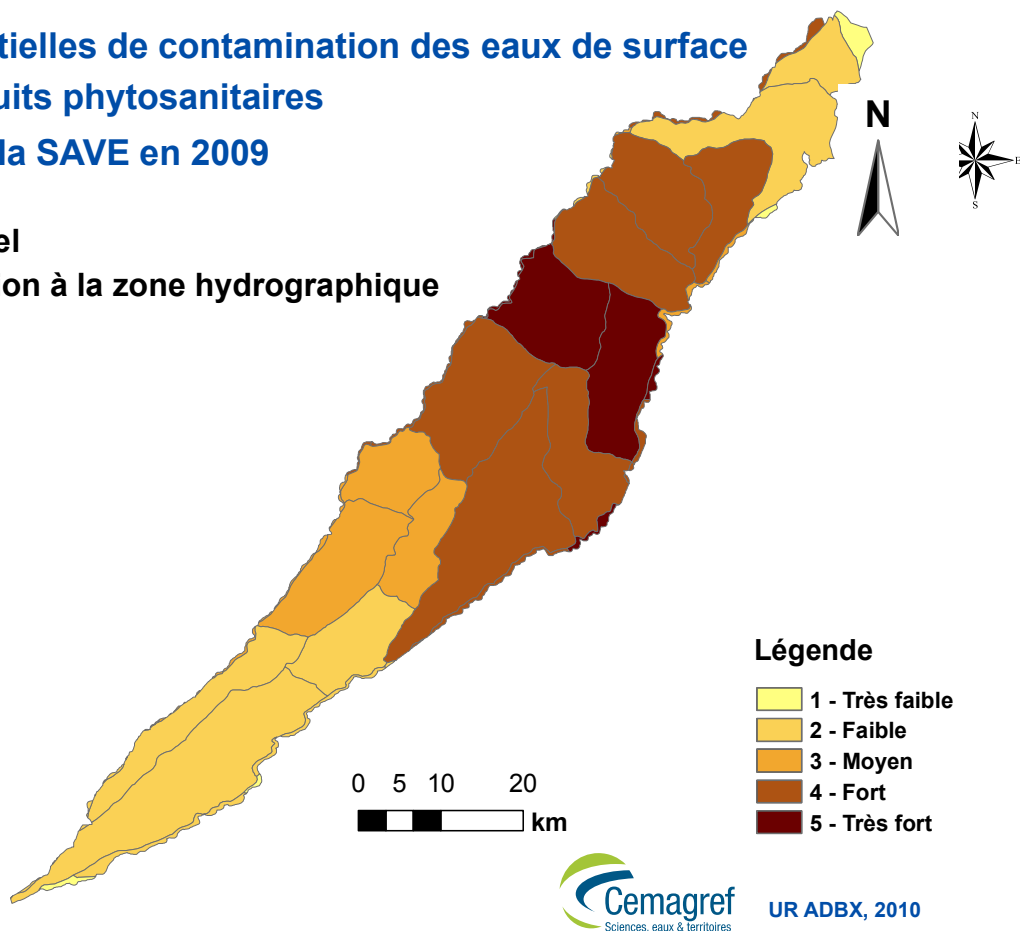
Calcul au pixel
avec agrégation au BV élémentaire



Carte n°10 (résultat intermédiaire) : Risque potentiel de contamination des eaux superficielles à l'échelle du Bassin Versant de la Save (Agrégation du pixel moyennée au BV élémentaire)

Zones potentielles de contamination des eaux de surface par les produits phytosanitaires sur le BV de la SAVE en 2009

Calcul au pixel
avec agrégation à la zone hydrographique



Carte n° 11 (résultat intermédiaire): Risque potentiel de contamination des eaux superficielles à l'échelle du Bassin Versant de la Save (Agrégation du pixel moyennée à la zone hydrographique)

4. Perspectives et travaux à venir pour la GT3

Avant d'entreprendre la construction de l'indicateur complexe, nous avons pris soin de mener des recherches bibliographiques en vue de prendre connaissance des projets existants axés sur des thématiques similaires (spatialisation de risque de pollution agricole par les macro et micro polluants, changement d'échelle...). Nous avons cherché à répertorier les grands projets récents axés sur des thématiques proches (modélisation, pollution macro-et micro polluants, changement d'échelle, cartographie du risque). En nous appuyant sur ces lectures, nous nous sommes efforcés de mener une critique objective des résultats et de la méthode. Nous avons essayé de dégager les points à améliorer notamment dans les perspectives du développement et de transposition de la méthode mise en œuvre dans la GT3-1 à l'autre bassin versant du Flumen (GT3-2), puis à l'adaptation de cette méthode aux autres BV, compte tenu de leur spécificité en terme de taille et de problématique (cas de l'ENXOE, avec une problématique plus orientée azote plus que phytosanitaire).

4.1. Validation des documents cartographiques produits

Les moyens de validation des documents cartographiques produits sont quasiment inexistant. A grande échelle les réseaux de mesure de la teneur en pesticides sont largement insuffisants. Seuls deux points de mesures existent dans le cadre de la surveillance AEAG¹¹. En outre, la comparaison n'est pas envisageable avec les résultats obtenus par d'autres projets de recherche en raison principalement de finalités et de méthodes de constitution des indicateurs qui divergent :

- Rares sont les projets qui se basent sur le découpage géographique de la BD Carthage sans coupler un découpage administratif (commune, canton). Nous avons vu les limites de la BD Carthage, le travail de nettoyage des tronçons hydrographiques non raccordés et des toponymes non renseignés, qu'il faut nettoyer.
- Rares sont les méthodes qui travaillent sur le changement d'échelle en intégrant les variantes au niveau des techniques employées (grands BV = télédétection, petits BV = parcellaire, cadastre).
- Souvent les documents produits sont des cartes de pression et non des cartes de risques

En revanche, il était intéressant de prendre connaissance de ces projets pour nous appuyer sur certains éléments permettant de prendre du recul sur notre méthode (traitements effectués, seuils dégagés...). L'Agence de l'Eau a construit un indicateur simple permettant de caractériser les pressions d'utilisation agricole des produits phytosanitaires (AEAG, 2004). Cet indicateur utilise la localisation des pratiques culturales sur le district Adour Garonne à partir des données du RA 2000¹² à l'échelle cantonale ainsi que l'identification du nombre moyen de passages de traitements phytosanitaires sur chaque type de culture par an. Au sein même de l'UR ADBX, d'autres membres de l'équipe ont appliqué une méthode similaire sur le district hydrographique Adour Garonne qui a permis le calcul d'un indicateur pesticide de pression

¹¹ Agence de l'Eau Adour Garonne

¹² Recensement Agricole 2000

phytosanitaire (nombre total de traitements à l'hectare) par zone hydrographique. Cependant aucune de ces méthodes n'envisage le changement d'échelle, un seul niveau d'organisation est appréhendé pour les représentations cartographiques finales. Les données agricoles utilisées sont moins précises et ne sont pas actualisées (Corine Land Cover, RA2000). L'indicateur pesticide construit se base sur des données d'occupation du sol fournies à une échelle administrative (commune, canton), tandis que nous travaillons à l'échelle de la parcelle agricole.

4.2. Les limites attendues de la méthodologie et des outils

Comme tout outil, toute analyse, notre méthode comporte des éléments qui limitent la pertinence de nos conclusions. Il s'agit ici de discuter des points faibles, sans pour autant remettre en cause l'intégralité de nos résultats, au contraire, dans l'objectif d'optimiser la méthode en nous basant sur ces réflexions.

4.2.1. Incompatibilité des échelles d'analyse avec celles de disponibilité des données

Certaines données ne sont pas disponibles aux échelles d'étude pour intégrer des variables pourtant essentielles du mécanisme de pollution. L'indisponibilité des données est visible sur deux terrains. D'une part, les données physiques, de sensibilité du milieu, pour des raisons d'impossibilité à discriminer l'espace ou à défaut de posséder une information exploitable. D'autre part, les données agricoles liées à l'échelle de production sont généralement calquées sur un découpage territorial communal des données Agreste.

La pédologie : Il ne sera pas envisageable d'intégrer ce facteur à l'échelle du Flumen en raison de l'indisponibilité de données suffisamment précises pour être discriminantes à cette échelle. Même à l'échelle de la Save, il existe une imprécision du fait de l'ancienneté de la carte, et du fait de la nature même de la donnée (pédo-paysage et non pédologie pure).

La climatologie : non intégrée dans la GT3, mais dans sera intégrée ultérieurement dans la phase de modélisation GT4. Pour la GT3, la démarche indicateur s'intéresse à pointer du doigt un risque potentiel de contamination à des fins d'alerter des gestionnaire, et de coordonner avec les calculs de flux de polluants en GT4.

4.2.2. Transfert de l'information d'une échelle à une autre : les limites de la démarche agrégative

Quand on s'intéresse au fonctionnement hydrologique, un élément nouveau et important apparaît : comment relier les fonctionnements élémentaires aux fonctionnements globaux ? De nombreux documents font le point sur ces problèmes d'échelle, d'agrégation de désagrégation (Burel et al. 1992, Blösch et Sivapalan 1995, Bormann et al. 1999, Puech 2000...) L'agrégation suppose la connaissance des informations de base sur une case élémentaire, puis leur association pour définir un état relatif à une surface plus importante. (C.Puech.) L'agrégation permet de passer des constituants au tout, suivant une règle de composition qui doit être supposée.

Cependant, la transposition des processus identifiés à une échelle n'offre aucune garantie de validité à une autre échelle. Une autre difficulté provient de l'interaction entre plusieurs processus, le tout est souvent plus que la somme des parties. Pour ces raisons Dalgaard (2003) Riitters (2005)¹³ ne se basent pas uniquement sur les informations pixel par pixel mais passent également par une analyse de la connectivité d'un pixel à l'autre. Selon Puech le problème concerne l'affectation d'une valeur numérique à une case élémentaire et la liaison entre les différentes mailles. D'une part, on associe à des cases de forme géométrique, souvent carrées, des flux de matière ou de liquide. D'autre part, on mélange l'aspect spatial (descriptif des cases) et l'aspect temporel (lien entre les cases) « L'agrégation est rendue souvent complexe sinon impossible suite à des non linéarités, des hétérogénéités locales exacerbées par le changement de plusieurs niveaux d'organisation (m² au BV de 100 km² sauts de plusieurs ordres de grandeur). Quand on passe sur plusieurs niveaux il n'y a plus de liaison directe entre cause et effet. » (C.Puech, 2000) Enfin, les BV topographique et hydrographique ne se chevauchent pas totalement.

4.2.3. Subjectivité des critères de zonage et des choix de représentation cartographique : La définition de seuils d'organisation

Lors de la modélisation spatiale, nous avons donné les notes qui nous ont semblé les plus pertinentes aux indicateurs, et retenu une méthode de discrétisation ainsi que des classes, pour les cartes finales de risque potentiel. Ces choix n'ont pas été faits de manière aléatoire, ils ne sont cependant pas totalement objectifs. Le point important concerne la recherche de seuils de fonctionnement, la difficulté est de cerner ceux qui apparaissent variables à l'intérieur d'une même zone en fonction du contexte et des variables ou processus étudiés. « Les avantages de la méthode des indicateurs à notation sont qu'ils reprennent une partie des caractéristiques propres aux indicateurs, à savoir la modularité et la facilité de compréhension par les utilisateurs. La notation, souvent synonyme de simplicité dans la construction des indicateurs, permet surtout d'agréger des variables de nature très différente. » (Deville J. et al., 2005) La détermination des limites des classes procure à la fois des avantages (simplicité de lecture) et des inconvénients. En effet, cette étape peut parfois être rendue difficile quand les connaissances sont réduites et obligent à recourir à l'expertise, avec la subjectivité que cela comporte. L'autre caractéristique de cette méthode est l'existence d'un « effet seuil ». Pour des valeurs proches du seuil, une faible variation peut entraîner, en cas de changement de classe, une forte variation du résultat final. A l'inverse, une forte variation, mais cantonnée à l'intérieur de la même classe, n'aura aucun effet sur ce résultat.

4.2.4. Une méthode restreinte à un contexte naturel spécifique

La méthode est restreinte aux zones peu perméables et n'est pas expérimentable en zone karstique par exemple, à moins de l'adapter en intégrant des variables de sensibilité du milieu propres à la pollution des eaux souterraines et non plus seulement superficielles. Toute la difficulté serait alors d'évaluer la part de transfert pour les eaux de surface et les eaux souterraines. Les variables pédologie et géologie deviendraient incontournables, il serait également difficile de négliger la climatologie, compte tenu du rôle des pluies dans la porosité du sol.

¹³ Cités par Puech C., 2000.

Ainsi, il ne s'agirait plus seulement d'envisager la distance au cours d'eau mais également aux nappes souterraines. Cependant l'évaluation de l'infiltration serait un élément particulièrement complexe à effectuer.

CONCLUSION

L'appréhension de la qualité de la ressource en eau aux différentes échelles constitue un enjeu essentiel de nombreux projets de recherches. Les techniques de la géomatique offrent une clé de lecture désormais incontournable. Notre travail a porté sur la construction d'une méthode de zonage du risque potentiel de contamination des eaux de surface du BV de la Save en France. La classification de la série temporelle d'images Landsat (8 images au total) acquises par l'Unité ADBX permet de couvrir les bassins de la Save et du Flumen et englobe la majorité des rivières de la Neste (excepté l'amont de la Baïse). Le travail sur les pentes a été affiné grâce à l'acquisition d'un MNT d'une résolution spatiale plus fine (25 m). Nous avons défini un nouveau découpage de l'OSR Bassin Versant élémentaire. Le travail sur les pentes est également plus précis. La carte pédologique à l'échelle de la Save apporte une variable essentielle, à une échelle de discrimination suffisamment étendue, pour considérer l'apport de cet indicateur et contribue en partie à la validité de la méthode. La carte finale produite est donc basée sur des données plus précises, couvrant une étendue plus importante à une échelle de représentation pertinente pour les gestionnaires.

La méthode mise au point propose une représentation du risque potentiel de transfert de produits phytosanitaires vers les eaux de surface, fondée sur la combinaison de quatre indicateurs simples décrivant l'importance de la pente, la proximité d'un point au réseau hydrographique, la pédologie (pour le BV de la Save uniquement) et la pression phytosanitaire induite par l'agriculture. La connaissance encore incomplète des mécanismes de transfert de pesticides vers les eaux superficielles et les contraintes imposées par le changement d'échelle limitent la disponibilité d'indicateurs simples pertinents pour cette étude. La méthode n'intègre qu'une vision partielle des phénomènes influençant le transfert des produits phytosanitaires vers les eaux, il ne suffit pas pour l'élaboration de préconisations à une échelle fine. L'indicateur n'intègre pas la dimension temporelle alors que les quantités de produits phytosanitaires entraînés par ruissellement dépendent fortement du temps écoulé entre la date de traitement et les pluies. La validation des résultats nécessite d'avoir recours à des analyses de la qualité de l'eau à des échelles très fines, ce qui n'est pas envisageable en terme de budget. Enfin les seuils de classification des niveaux de risque ne sont pas des valeurs de référence et fluctuent selon le nombre d'unités discriminées. D'une manière générale, l'interprétation des cartes exige une certaine prudence et ne peut conduire qu'à des jugements nuancés.

En revanche cette méthode présente des avantages certains, les données utilisées offrent une haute résolution spatiale tout en couvrant une vaste étendue et permettent d'aborder le changement d'échelle. Cette démarche constitue ainsi une alternative intéressante aux démarches classiques, longues et coûteuses, de diagnostic. Elle permet de caractériser deux échelles distinctes d'étude en discriminant et en hiérarchisant des unités territoriales fonctionnelles. Il est ainsi possible d'identifier rapidement des zones d'action prioritaires où des études plus détaillées doivent être mises en œuvre en vue d'émettre des préconisations.

Elle sera encore affinée au niveau du paramétrage des indicateurs simples sur le BV de la Save, puis dans le cadre du GT3.2 elle sera développée sur le BV du Flumen en Aragon. La détermination des risques sur les BV Alegria et Enxoé sera réalisée suivant le même type méthodologique. En revanche, compte tenu de la dimension nettement plus restreinte des BV, l'approche directe au niveau des parcellaires cultural sera envisagée suivant la disponibilité des données produites par les partenaires locaux.

Table des Illustrations

Cartes :

Carte n° 1 : Répartition des départements sur le BV de la Save	7
Carte n° 2 : Emprise de la scène satellitale LANDSAT et du MNT sur le BV de la Save inscrit dans les Coteaux de Gascogne	8
Carte n° 3 : BV de la Save emboîté dans l'emprise des Coteaux de Gascogne, de l'emprise LANDSAT TM5 et du MNT et Ilots monoculture 2009 sur la région Midi Pyrénées	18
Carte n° 4 : Classification d'une série temporelle d'images Landsat 5 TM (2009)	1
Carte n° 5 : Classes de pentes sur le BV de la Save	1
Cartes n° 6 : Indicateur simple de distance au ruisseau hydrographique	24
Carte n° 7a : Indicateur simple Pédologie	26
Cartes n° 7b : Indicateur simple Pédologie (pédo-paysages)	27
Carte n° 8 : Exemple de résultat d'Indicateur simple Traitements phytosanitaires	31
Carte n° 9 (résultat intermédiaire) : Risque potentiel de pollution des eaux superficielles à l'échelle du Bassin Versant de la Save.	34
Carte n° 11 (résultat intermédiaire): Risque potentiel de contamination des eaux superficielles à l'échelle du Bassin Versant de la Save (Agrégation du pixel moyennée à la zone hydrographique)	36

Tableaux :

Tableau n° 1: Données disponibles pour le BV de la Save en 2009 - projet AGUAFLASH ADBX	13
Tableau n° 2 : Notes attribuées aux valeurs des pentes	1
Tableau n° 2 : Note attribuée au gradient de pente	1
Tableau n° 3 : Notes attribuées à la distance au cours d'eau	25
Tableau n° 4: Notes attribuées aux sols	1
Tableau n° 5 : IFT par culture	29
Tableau n° 6 : IFT par culture pondéré par le Curve Number	29

Schémas :

Schéma n° 1 : Démarche de diagnostic CORPEN	10
Schéma n° 2 : Imbrication entre application, images et objets (d'après C.Puech)	14
Schéma n° 3 : Emboîtements des bassins versants sur le BV Save	16
Schéma n° 4 : Méthode de raisonnement au pixel et présentation de l'information pour l'identification de zones à risque.	32

Bibliographie

AEAG. Directive cadre sur l'eau état des lieux du district Adour-Garonne, Lot n° 1 - Garonne - Document de synthèse, SIEE, version décembre 2003. 58p.

AEAG. Schéma directeur des données sur l'eau du bassin Adour-Garonne. Toulouse, Direction Régionale de l'Environnement Midi-Pyrénées, 2006. 109p.

ANDREEVA K. Mise à jour de l'occupation du sol parcellaire à partir d'imagerie satellitale : application au bassin versant du Sousson (Gers). Cemagref, Engref Montpellier, 1998. 55p.

AURIOL V. Recherche des causes agricoles d'une dégradation de la qualité des eaux. La problématique nitrate sur le bassin versant d'Auradé (Gers). Toulouse, Ecole Supérieure d'Agriculture de Purpan, Chambre d'Agriculture du Gers, Mémoire d'ingénieur. 2003. 93 p. + annexes.

BAILLARIN F., LEMONIER H., WEINZAEPFLER E., LETEINTURIER B., OGER R., Methodology guidelines for producing satellite inputs for the geo-indicators implemented in the GTIS-CAP project demonstration, 2005, Deliverable 4.2. , GTIS-CAP project. 125 p.

BAILLARIN F., LEMONIER H., WEINZAEPFLER E., LETEINTURIER B., OGER R., Prototype specifications and user manual: specific needs and use of Earth Observation imagery and derived cartographic products for a Geo-Traceability Integrated System. 2005, Deliverable 4.3., GTIS-CAP project. 39 p.

BERGERON M. (1993) Vocabulaire de la géomatique, Les Publications du Québec, Québec, 41 p.

BLÖSCHL G. and SIVAPALAN M. Scale issues in hydrological modelling : a review. Workshop on scale issues in hydrological/environmental modelling, Robertson, NSW, Australia, 30 nov-2 dec 1993, John Wiley & sons, Chichester, GBR, 1995. 489 p.

BOIVIN J. Introduction à Arc/Info. Université du Québec, Institut National de la Recherche Scientifique, Urbanisation, Laboratoire d'Informatique et de Géomatique, Montréal, 1996-98.170p.

Bulletin de l'Association Québécoise de télédétection. Nouvelles de l'AQT - Vol 19, n° 1- Juin 2003. GME : une initiative européenne pour le suivi de l'environnement et la sécurité. <http://www.laqt.org/bulletin>

CACG. Le Système Neste en bref. Compagnie d'Aménagement des Coteaux de Gascogne, Tarbes, 2005. 9 p.

CARLUER N. et al.. Définition et intégration à l'échelle d'un territoire de scénarios d'action pour lutter contre les pollutions diffuses en milieu rural. Ingénieries Eau-Agriculture-Territoires, Cemagref, Editions, spécial Agriculture et environnement, 2000. pp. 13-33

CCE (Commission des Communautés Européennes). Communication de la Commission au Conseil, au Parlement Européen et au Comité Economique et Social. Vers une stratégie thématique concernant l'utilisation durable des pesticides, 2002. 45 p.

Cemagref. Méthode de mise en place d'une base de données spatialisée et de cartographie sur un bassin versant agricole : guide méthodologique. 2002. pp. 25-28

Cemagref "Définition et intégration à l'échelle d'un territoire de scénarios d'action pour lutter contre les pollutions diffuses en milieu rural." Ingénieries - EAT_(Numéro spécial Agriculture et environnement), 2000.p. 13-33.

CHAIGNEAU, Alexandre. Analyses pratiques Auradé 2003-2004. Auradé, Association des Agriculteurs d'Auradé, 2005.

Comité de Bassin Adour Garonne. Agence de l'Eau Adour Garonne, Etat des lieux du district Adour-Garonne, 2004. 180 p.

CNRS. Changements d'échelle dans les modèles de l'environnement et de la télédétection. Deuxième réunion sur les changements d'échelle dans les modèles de l'environnement et de la télédétection. Groupement Scientifique de Télédétection Spatiale, Strasbourg, 1993. 167p.

COLIN F., 2000. Approche spatiale de la pollution chronique des eaux de surface par les produits phytosanitaires. Cas de l'atrazine dans le bassin versant du Sousson (Gers, France). Thèse ENGREF. 152 p.

CORPEN (Ed.). Des indicateurs pour des actions locales de maîtrise des pollutions de l'eau d'origine agricole : éléments méthodologiques - application aux produits phytosanitaires. Corpen, Paris, juin 2003. 136 p.

CORPEN (Ed.). Diagnostic régional de la contamination des eaux liée à l'usage des produits phytosanitaires : éléments méthodologiques, mars 2003. 65p.

DEVILLIERS J., et al. Indicateurs pour évaluer les risques liés à l'utilisation des pesticides. Lavoisier, Paris, 2005. 278p.

DUCROT D. Méthodes d'analyse et d'interprétation d'images multi-sources. Extraction de caractéristiques du paysage. 2005, Mémoire de Recherche, CESBIO, INP Toulouse. 235 p.

ENJALBERT, Henry. Les pays aquitains. Les modelés et les sols. Bordeaux, Université Bordeaux III, Institut Louis Papy, Thèse publiée en 1960. 618p.

FONTA A. Disponibilité des données d'occupation du sol pour leur utilisation dans des modèles hydrologiques, territoriaux et environnementaux. Université de Perpignan Via Domitia, Cemagref, Bordeaux, 2005. 35p.

GACON S. et al. Diagnostic agro-environnemental sur le bassin versant de la Boulouze, affluent de la Save, dans le Sud-Est du Gers. ENITA, Bordeaux, 2006. 29p.

GOUY V. et al. Transfert des produits phytosanitaires : expérimentation en milieu naturel, BRGM, Hydrogéologie, n°1, 2000. p.57-66

GRAMIP. Localisation des zones à risque vis-à-vis du transfert des substances phytosanitaires vers les eaux superficielles et souterraines en Midi-Pyrénées : Méthodologie de travail, 2002. 32 p.

GRIL. J.J., LACAS, J.G., 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, étude Cemagref Lyon, 37p.

GRIL J.J., GOUY V., CALUER N.. Processus de transfert superficiel des produits phytosanitaires, de la parcelle au bassin versant. La houille blanche, 5, 1999. p. 76-80

Groupement d'Intérêt Scientifique sur les Sols. Le sol, milieu déterminant pour la protection et la ressource en eau. GISOL, INRA, Orléan, 2004. 2p.

<http://gissol.orleans.inra.fr/fiches/index.php>

HOUDARD. M. L'intégration des différents niveaux d'organisation spatiale dans les problématiques agri-environnement. Un état de l'art. Cemagref Bordeaux, 2005. 40p.

- HURAND P. La gestion opérationnelle d'un système hydrographique complexe : « Le système Neste », CACG, 2001. 30p.
- LACOMBE J.P. Initiation au traitement d'images satellitaires. Travaux Dirigés : Cahier 2. ENSAT, Toulouse, 2005-2006. 89p.
- LAVIE E. Agriculture et qualité des eaux des systèmes de terrain au système d'information géographique. Application sur les nitrates dans les bassins-versants emboîtés de la Save (Boulouze et Montoussé) dans le Gers. Mémoire de DEA. BordeauxIII, Cemagref, 2005. 126p.
- LECOMTE V.. Transfert de produits phytosanitaires par le ruissellement et l'érosion de la parcelle au bassin versant. Processus, déterminisme et modélisation spatiale. Thèse ENGREF, 1999. 212 p.+ annexes.
- LEMONNIER H. and BAILLARIN F., Remote sensing data policy procurement document. 2005, Deliverable 4.4., GTIS-CAP project. 141 p.
- LUCAS G. Approche du transfert d'échelle spatiale d'un indicateur agro-environnemental d'aléa phytosanitaire, sur des bassins versants emboîtés de la Save (Gers). Pessac, ENITA de Bordeaux, Cemagref Bordeaux ADER, Mémoire d'ingénieur, 2004. 66p.
- MACARY F., LAVIE E., LUCAS G., RIGLOS O. Réflexions méthodologiques pour une modélisation spatialisée adaptée au changement d'échelle, destinée à apprécier le potentiel de contamination des eaux de surface par l'agriculture. Ingénieries-EAT, Cemagref Bordeaux, juin 2006. 19 p.
- MACARY F., Vernier F. et al. Indicateurs environnementaux pour le zonage de risque potentiel de transferts de pesticides à l'échelle de Bassin Versant : méthodologies pour un changement d'échelle. Groupe Français des Pesticides, mai 2005. 8p.
- MAISON, Philippe. Un modèle hydrologique de suivi de la pollution diffuse en bassin versant. Approche mécaniste simplifiée de la zone non saturée. Toulouse, Institut national polytechnique, Thèse en sciences de la terre et environnement, 2000. 249p. + annexes.
- MAUCUY I. Projet « Bassin Versant du Sousson ». Analyse préliminaire à la mise en œuvre d'un système d'information géographique. Cemagref/ENGREF, Montpellier, ENSAM, Montpellier, INA-PG, Paris. 50p.
- MAURIZI, B. et VERREL J.-L, 2002, "Des indicateurs pour des actions de maîtrise des pollutions d'origine agricole." Ingénieries - EAT 30: 3-14, Juin
- PAEGELOW, Martin. Système d'information géographique et gestion de l'environnement. Application à l'étude des sols et de la pollution par les nitrates d'origine agricole en bassin-versant expérimental. Toulouse, Université Toulouse-Mirail, UFR Géographie et aménagement. Thèse. 1991. Tomes I et II. 155 et 170 p.
- PATTY L., 1997. Limitation du transfert par ruissellement vers les eaux superficielles de deux herbicides (isoproturon et diflufénicanil). Méthodologie analytique et étude de l'efficacité des bandes enherbées. Thèse. Université Joseph Fourier-Grenoble I. 217 p.
- PUECH C., Utilisation de la télédétection et des modèles numériques de terrain pour la connaissance du fonctionnement des hydrosystèmes. Mémoire de recherches. INPG Grenoble, Cemagref ENGREF, Montpellier, 2000.83 p.
- PUECH, C., D. DARTUS, et al. "Hydrologie distribuée, télédétection et problèmes d'échelle." Société française de photogramétrie et télédétection, n° 172, 2003. p.11 - 21.

- RIBEYREIX-CLARET, Catherine. Agriculture et environnement. Erosion du sol et pollution diffuse par le phosphore. Le cas du bassin versant d'Auradé (Gers). Toulouse, Université Toulouse-mirail, UFR géographie et aménagement. Thèse. 2001. Tomes I et II. 444p.
- RIGLOS, O., 2005, Cartographie du risque potentiel de pollution diffuse des eaux de surface par les produits phytosanitaires et transfert d'échelle spatiale d'un indicateur agro-environnemental sur des bassins versants emboîtés de la Save (Gers). Toulouse, ESAP, Cemagref Bordeaux ADBX, Mémoire d'ingénieur, 2005. 132p.
- SANDERS L. (dir.), DUREAU F., WEBER C. D'images en modèles : applications satellites et association de modèles. Modèles en analyse spatiale. H. S. Publications, Paris, 2001. p. 253-282.
- TORIEL, C., 1998, Approche par télédétection de la circulation de l'eau sur un bassin versant agricole en vue de la construction d'un indicateur de pollution agricole : application au bassin versant du Sousson (Gers). Ecole Nationale Du Génie De L'eau Et De L'environnement Strasbourg; Cemagref
- TURPIN, N. BIOTEAU, T., Pollutions diffuses sur des bassins de l'Ouest de la France : quelles données recueillir pour le diagnostic ? Ingénieries - E A T, n° 30, 2002. p. 15 - 25.
- VOLTZ M., LOUCHARD X.. Les facteurs-clés de transfert des produits phytosanitaires vers les eaux de surface. Ingénieries Eau-Agriculture-Territoires, Cemagref Editions, n° spécial Phytosanitaires, 2001. p. 45-54
- VOLTZ et al. Expertise scientifique collective "Pesticides, agriculture et environnement ». Chapitre 3 Devenir et transfert des pesticides dans l'environnement et impacts biologiques. INRA, Cemagref, 2005. 219p.
- WEBER C. (dir.). Revue internationale de Géomatique, Imagerie satellite, Vol 14, n° 3-4, 2004. p.315-330.
- WEINZAEPFLER E., GAY L., OGER R., TYCHON B. Description of geo-indicators, 2005, Deliverable 4.1 , GTIS-CAP project. 31 p.
- ZAHM, 2003. Méthodes de diagnostic des exploitations agricoles et indicateurs : panorama et cas particuliers appliqués à l'évaluation des pratiques phytosanitaires. Ingénieries Eau-Agriculture-Territoires, Cemagref Editions, n° 33. p. 13-34.

Sites INTERNET

<http://www.agreste.agriculture.gouv.fr/> : Site AGRESTE de la statistique Agricole (MAP)

<http://www.bordeaux.cemagref.fr> : Site du Cemagref de Bordeaux

<http://www.cacg.fr/> : Site de la Compagnie d'Aménagement des Coteaux de Gascogne

<http://www.cra-mp.org/-Carte-des-sols-.html> : Site de la Chambre d'Agriculture Midi-Pyrénées

<http://www.cesbio.ups-tlse.fr> : Site du Centre d'Etudes Spatiales et de la Biosphère (Toulouse)

<http://www.cnerta.educagri.fr/infogeo/teldec/leornado/leoprot/leonardo6.htm> : Télédétection Satellitaire et gestion du territoire. Document de cours. 2002

<http://dce.eau-adour-garonne.fr/> : Site du Comité de Bassin Adour Garonne

http://www.ecologie.gouv.fr/rubrique.php3?id_rubrique=1086 : Site du Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable (page CORPEN)

<http://envisat.esa.int/> : Site de l'Agence Spatiale Européenne (ESA)

<http://www.eaufrance.fr/docs/dce2004/> : Site Eau France

<http://www.eurimage.com> : Site Eurimage sur les missions des satellites américains (NASA)

<http://www.ifen.fr/> : Site de l'Institut Français de l'Environnement

<http://www.ign.fr/> Site de l'Institut Géographique National (France)

<http://www.insee.fr> Site de l'Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques

<http://landsat.usgs.gov/> Site Landsat de la NASA

<http://www.midipyrenees.chambagri.fr/> : Site de la Chambre d'Agriculture de Midi-Pyrénées

<http://www.midi-pyrenees.environnement.gouv.fr/> : Site de la Direction Régionale de l'Environnement Midi-Pyrénées

<http://www.onic.fr/index.asp> Site de l'Office National Interprofessionnel des Céréales

<http://www.perspectives-agricoles.com/> : Site du périodique Perspectives Agricoles

<http://perso.club-internet.fr/tpouchin> POUCHIN, T. Cours de télédétection. 3 espaces. 2001

http://sandre.eaufrance.fr/article.php3?id_article=79 Site du Service d'Administration Régionale des Données et Référentiels sur l'Eau

<http://telepac.agriculture.gouv.fr/> : Site de la PAC graphique

<http://www.spotimage.fr/> : Site de SPOT (France)

<http://www.terre-net.fr/> : Site du périodique Terre Net

Sigles

AAA	Association des Agriculteurs d'Auradé
ACS	Aides Compensatoires
ACP	Analyse en Composante Principale
ADER	Aménités et dynamiques des Espaces Ruraux
AEAG	Agence de l'Eau Adour Garonne
AEP	Alimentation en Eau Potable.
AOI	Area Of Interest (Région d'Intérêt)
BD	Base de Données
BRGM	Bureau de Recherches Géologiques et Minières.
BV	Bassin Versant.
BPA	Bonnes Pratiques Agricoles
BPP	Bonnes Pratiques Phytosanitaires
CACG	Compagnie d'Aménagement des Coteaux de Gascogne. (Tarbes)
CEMAGREF	Sciences, Eaux et Territoires (Ex- Centre d'Etude du Machinisme Agricole du Génie Rural et des Eaux et Forêts)
CERES	Agriculture multifonctionnelle et enjeux environnementaux
CESBIO	Centre d'Etudes Spatiales de la BIOSphère. (Toulouse)
CNRS	Centre National pour la Recherche Scientifique
CRAMP	Chambre Régionale d'Agriculture Midi-Pyrénées
CORPEN	Comité d'Orientation pour des Pratiques agricoles respectueuses de l'Environnement
DIREN	Direction Régionale de l'Environnement
DRAF	Direction Régionale de l'Agriculture et de la Forêt
DDAF	Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt
EPBX	Écosystèmes estuariens et Poissons migrateurs amphihalins
EPST	Etablissements publics à caractère Scientifique et Technologique
DCE	Directive Cadre sur l'Eau de 2000
ECOBAG	Environnement, Ecologie et Economie du Bassin Adour-Garonne.
FREDEC	Fédération Régionale de Défense contre les Ennemis des Cultures. (Midi-Pyrénées)
IFT	Indice de Fréquence de Traitements
IMAQUE	Impact des activités agricoles et rôle des dispositifs agri-environnementaux sur la qualité des eaux, des sols, des sédiments et des milieux aquatiques.
INRA	Institut National de Recherche Agricole
IRD	Institut de Recherche pour le Développement
IGN	Institut Géographique National.
IFEN	Institut Français de l'Environnement.
ENSAT	Ecole Nationale Supérieur d'Agronomie de Toulouse
ESAP	Ecole Supérieure d'Agriculture de Purpan
ENITAB	Ecole Nationale d'Ingénieurs des Travaux Agricoles de Bordeaux
EPBX	Écosystèmes estuariens et Poissons migrateurs amphihalins
FEDER	Fonds Européens de Développement Régional
GIS	Groupement d'intérêts Scientifiques
GIE	Groupement d'intérêts Economiques
GRAMIP	Groupe Régional d'Actions de réduction des pollutions par les produits phytosanitaires en Midi-Pyrénées.
GTISCAP	Cartographic Products for a Geo-Traceability Integrated System

GRAP	Groupe Régional d'Action contre la Pollution des eaux par les Produits Phytosanitaires
MAP	Ministère de l'Agriculture et de la Pêche
MNT	Modèle Numérique de Terrain.
OMS	Organisation Mondiale de la Santé (ONU)
OSR	Objet Spatial de Référence.
RA	Recensement Agricole (depuis 2000).
REBX	Réseaux, Epuration et qualité des eaux
RGA	Recensement Général Agricole (jusqu' en 1988).
RPG	Registre Parcellaire Graphique
PAC	Politique Agricole Commune.
NTIC	Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication
TM	Thematic Mapper
QE	Qualité des Eaux
RMS	Root Mean Square
RSO	Résolution Spatiale Optimale
REQE	Réseaux, Epuration et qualité des eaux
SIG	Système d'Information Géographique
SIRS	Système d'Information à Références Spatiales.
SGBD	Système de Gestion de Base de Données
SANDRE	Secrétariat National d'Administration des données
SPOT	Satellite Pour l'Observation de la Terre
SCGP / AZF	Société Civile Grande Paroisse, commercialisant ses produits sous la marque AZF.
SDAGE	Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux.
SEQ-eau	Système d'Evaluation de la Qualité des eaux des cours d'eau.
UR	Unité de Recherche.
FREDON	Fédération Régionale de Défense contre les Organismes Nuisibles
ONIC	Office National Interprofessionnel des Céréales

ANNEXE 1 : Images satellites LANDSAT TM 5

Le Landsat Thematic Mapper (TM), est un capteur porté par [Landsats 4 and 5](#), et a acquis des images de la terre de façon presque continue entre Juillet 1982 jusqu'à présent, pour un cycle de 16 jours.

Les fichiers images de Landsat TM sont constitués de sept bandes spectrales. La résolution est de 30 mètres pour les Bandes 1-5, et la Bande 7. La résolution de la Bande 6 (infrarouge thermique) est de 120 mètres collectés, mais est réchantillonnées à 30 mètres.

Caractéristiques des bandes spectrales TM 5 :

Thematic Mapper (TM)		
Landsats 4-5	Wavelength (micrometers)	Resolution (meters)
Band 1	0.45-0.52	30
Band 2	0.52-0.60	30
Band 3	0.63-0.69	30
Band 4	0.76-0.90	30
Band 5	1.55-1.75	30
Band 6	10.40-12.50	120*
Band 7	2.08-2.35	30

La taille approximative de la scène est de 170 km du nord au sud et de 183 km de l'est à l'ouest (106 miles par 114 miles).

ANNEXE 2 : Bases de données institutionnelles

BD Carthage - IGN

La BD Carthage est la base de données de référence, institutionnelle du réseau hydrographique sur le territoire français. Sa mise à jour et sa diffusion sont effectuées sous la coresponsabilité de l'IGN et des Agences de l'Eau.

Pour le projet présent GT 3-1, nous avons utilisé la couche « hylcov05.shp » des tronçons hydrographiques.

BD Alti – IGN

La BD Alti est la base de données altimétrique de référence distribuée par l'IGN, de résolution au sol 25 m x 25 m. Nous avons acheté le modèle numérique de terrain (extraction d'une zone couvrant le bassin versant de la Save et livrée au format ASCII)