

Session : Environnement

Titre : « Usage de la géomatique afin de déterminer les zones à risque agroenvironnemental pour la qualité des eaux de surface. »

"Use of geomatics to determine the zoning at agroenvironmental risk, for the water surface quality".

Résumé : Cet article présente une méthode d'estimation d'un risque spatialisé de contamination des eaux superficielles par les intrants utilisés en agriculture à différentes échelles spatiales.

L'occupation du sol pour une campagne agricole est obtenue au niveau de bassins versants de grande taille par classification d'images satellitales Landsat TM5. Le SIG (logiciel ArcMAP et son extension Spatial Analyst) est utilisé pour l'analyse spatiale et le traitement des données en vue de la détermination du zonage à différents niveaux de risque. Le risque agroenvironnemental est apprécié suivant une combinaison d'indicateurs simples de vulnérabilité des milieux et de pression agricole exercée. Cette combinaison est réalisée au niveau de la maille élémentaire. Le changement d'échelle de l'indicateur est obtenu par agrégation des valeurs calculées sur chaque maille suivant une moyenne pondérée à la surface des bassins versants considérés.

Mots clés : Qualité des eaux, potentiel de contamination, risque, agroenvironnement, indicateur, bassin versant, changement d'échelle, SIG, ArcGis, télédétection, pixel, Coteaux de Gascogne.

Public visé : Tout public

Auteurs : Francis MACARY, Odile LECCIA, Daniel UNY, Kévin PETIT

Cemagref-UR ADBX- 50, avenue de Verdun - Gazinet -F33612 Cestas.

Courriels : prénom.nom@cemagref.fr

Introduction

Face à la demande sociétale en faveur du respect de l'environnement et en particulier en matière de qualité des eaux, de santé publique, les pouvoirs publics ont mis en œuvre de nombreuses mesures réglementaires ou incitatives. En Europe, la Directive Cadre sur l'Eau de 2000 (DCE) a fixé pour objectif aux Etats membres de l'UE, l'atteinte du bon état écologique sur les milieux aquatiques et sur les ressources en eaux en 2015 !

De nouveaux besoins de recherche et d'expertise liés à la mise en place de ces textes sont apparus.

Sur la plupart des bassins hydrographiques, les eaux des milieux naturels utilisées notamment pour l'alimentation en eau potable, sont soumises à des risques de contaminations. Dans les bassins versants agricoles, ces contaminants sont notamment les produits phytosanitaires et les excédents d'azote non absorbés 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.

Aussi, afin d'améliorer l'efficacité de la gestion durable de l'eau dans les territoires ruraux et l'efficacité de ces différentes politiques, il est nécessaire de disposer de bonnes connaissances et d'outils d'aide à la décision à différentes échelles spatiales. (Carlier et al., 2000) (Corpen, 2003).

De plus en plus fréquemment, un problème environnemental doit être considéré à différentes échelles : grande échelle (la parcelle ou l'exploitation) pour les pratiques agricoles, à l'échelle intermédiaire (petit territoire) pour des actions de type collectif (agriculteurs appartenant à un même petit bassin-versant, territoire d'une association de pêche, etc.) et à l'échelle régionale (Agence de l'eau ...) pour les moyens à mettre en œuvre et pour évaluer les résultats des politiques.

La mise en œuvre des politiques publiques agro-environnementales nécessite de disposer d'outils d'aide à la décision, notamment dans l'appréciation suffisamment fine des risques environnementaux sur un espace parfois important (région, bassin hydrographique ...) et aux différentes échelles d'application.

L'objectif de nos travaux présentés au sein de cet article est d'élaborer une méthode d'évaluation du risque de la pollution diffuse d'origine agricole sur des espaces emboîtés de tailles différentes, et donc d'utiliser des variables, des objets géographiques et des indicateurs composites intégrés, adaptables au transfert d'échelle spatiale. Ce travail de modélisation a été conduit grâce aux logiciels de traitement d'image Erdas Imagine ainsi que de SIG : ArcGis et ses modules complémentaires tels que Spatial Analyst.

1- Estimation du risque de contamination des eaux de surface à différentes échelles spatiales

Différents usages supportés par les milieux aquatiques peuvent être affectés par les pollutions diffuses et ponctuelles : prélèvements pour adduction d'eau potable, ressources en eau d'irrigation, usages récréatifs (pêche, baignade). Le *risque de contamination* exprime à quel degré ces usages sont susceptibles d'être affectés.

Suivant les travaux du CORPEN¹ (mars 2003), un *potentiel de contamination* permet d'estimer un niveau de *risque* d'altération des usages dès lors qu'il est confronté à un type d'enjeu (Macary et al., 2006). Ce potentiel dépend de la conjonction entre d'une part la vulnérabilité d'un milieu, ou capacité de ce milieu d'être atteint par des polluants, et d'autre part, par la pression exercée par des usages sur le milieu, dont les usages agricoles (pesticides, excédents azotés,...).

En revanche, la sensibilité du milieu permet d'apprécier la manière dont ce milieu répond à la contamination. Les enjeux environnementaux représentent la conservation, la préservation, la réhabilitation des divers usages d'une ressource en eau. La confrontation entre ces enjeux environnementaux et le potentiel de contamination constitue le risque.

L'appréciation de ce risque suivant le niveau d'observation par les acteurs peut se faire à différentes échelles spatiales, suivant que l'on considère les échelles de décision, des pratiques agricoles, ou de la contamination des eaux.

Ces différentes entités spatiales peuvent se superposer, s'emboîter (bassins versants encastrés) ou s'enchâsser (exemple d'une commune dont l'espace se trouve sur plusieurs petits bassins versants). Très souvent, les entités spatiales de même nature s'emboîtent. C'est le cas, par exemple, des entités de gestion agricole : parcelle, exploitation, tissus d'exploitation... Pour ce qui concerne les entités à enjeux environnementaux, ceci peut rester vrai pour un seul enjeu. Par contre, dès que l'on considère des enjeux différents ou des entités spatiales de différente nature, ces entités s'enchâssent.

Cette problématique désormais récurrente dans les questions de développement durable constitue bien à la fois la question de recherche qui nous préoccupe et une demande d'aide à la décision.

1.1. Caractérisation du risque de contamination

Des modèles biophysiques et des indicateurs agroenvironnementaux sont généralement utilisés pour apprécier le risque de contamination des eaux sur des bassins versants, mais ces démarches sont spécifiques à l'échelle d'observation choisie, ou ne sont pas directement transférables d'un territoire d'étude à un autre.

Les modèles biophysiques évaluent l'influence d'un facteur et de ses modalités sur le flux de polluants mesuré à l'exutoire d'un bassin. Le test de scénarios est un recours fréquent pour apporter des réponses aux études de phénomènes complexes. Actuellement, peu de modèles développés sont parfaitement applicables aux problématiques phytosanitaires et sont assez mal adaptés à la prise en compte aux bonnes échelles spatio-temporelles des pratiques agricoles, en interaction avec le milieu physique et le climat.

De plus, ces modèles sont assez lourds à paramétrer, à renseigner et donc pas toujours adaptés à la demande d'aide à la décision des acteurs publics.

Les indicateurs agro-environnementaux sont des paramètres descriptifs spatialisés, synthétiques, caractéristiques d'une situation, d'un phénomène souvent complexe, et

¹ CORPEN : Comité d'Orientation pour les Bonnes Pratiques Respectueuses de l'Environnement.

utilisés pour évaluer, suivre les impacts de l'agriculture sur l'environnement. Ils représentent une aide à la décision dans le choix des mesures par les gestionnaires publics (Maurizi et Verrel, 2002).

1.2. Les méthodes du changement d'échelles spatiales

Les relations et les imbrications entre les entités spatiales sans limite géographique commune présentent une source de complexité dans les approches agro-environnementales. Par exemple les données statistiques communales du Recensement Agricole (RA) ne sont pas superposables avec un découpage hydrographique.

A chaque échelle d'observation correspondent des sources de données spécifiques (enquêtes parcellaires, enquêtes d'exploitation, relevés de terrain, hydrologiques, statistiques, de la télédétection...), et des méthodes de diagnostic environnemental différentes (bilans parcellaires, bilans par exploitations, indicateurs, analyse spatiale, modèles,...).

Le changement d'échelle n'est pas un simple zoom, mais l'art de passer d'un niveau d'organisation au suivant, en précisant les variations de fonctionnement, de schématisation, de descripteurs et de liens possibles entre les niveaux successifs (Puech, Dartus et al, 2003).

L'objectif est en effet de disposer d'informations pertinentes aux différentes échelles spatiales et utiles pour l'aide à la décision des gestionnaires des territoires ruraux.

Des relations existent entre les échelles d'études, les données, les méthodes employées, les résultats attendus et le mode d'acquisition des données qui sont distincts selon les niveaux d'observations.

1.2.1. Objet Spatial de Référence

L'interaction complexe entre l'échelle spatiale (fixée par le niveau de prise de décision) et l'hétérogénéité spatiale (à mesurer ou à représenter) est donc une difficulté majeure en géomatique, et plus particulièrement en hydrologie. Cette difficulté s'accroît si l'on veut évaluer des hétérogénéités spatiales à des échelles multiples. En 1988, Wood et al. évoquent le concept « d'aire représentative élémentaire » en considérant qu'à un phénomène étudié correspond une aire de travail et une échelle associée idéale. Lorsque l'adéquation est bonne, la modélisation ou l'explication d'un phénomène est alors à la fois plus simple à appréhender et meilleure. Ainsi ils définirent une taille de bassin versant adaptée aux études hydrologiques.

Il est alors possible d'associer un Objet Spatial de Référence (OSR) ou unité de discrimination, à chacune des échelles. Le choix d'un OSR résulte d'un compromis entre sa pertinence à l'échelle considérée (résolution optimale), et son aptitude à bien cerner les problèmes de pollutions diffuses.

Maurizi et Verrel considèrent différentes échelles spatiales de travail dans leur approche sur les indicateurs, qui correspondent aux divers objets spatiaux identifiés.

Le passage d'un niveau d'organisation à un autre engendre des difficultés importantes et parfois insolubles, c'est le cas par exemple de la mise en relation des observations de pollutions agricoles sur des parcelles élémentaires avec des mesures de produits polluants à l'exutoire des grands bassins versants (Puech et al, 2003).

1.2.1. Des d'indicateurs spécifiques à chaque échelle

Les études aux divers niveaux d'organisation spatiale demandent des méthodologies différentes. Dans chaque situation, la réponse à la question du changement d'échelle se fait par un changement de données et, par là-même, des indicateurs agroenvironnementaux propres à chaque niveau spatial (Macary, Vernier, 2005).

1.2.1. Démarches agrégatives et désagrégatives

La description des phénomènes au niveau d'un objet spatial implique souvent d'approcher le niveau organisationnel inférieur voire supérieur. Les démarches agrégatives et désagrégatives proviennent de ces approches inter-échelle (Blöschl et Sivapalan, 1995).

L'agrégation permet de passer des constituants à leur ensemble. Mais dans ce cas, la transposition des processus identifiés à une échelle n'offre aucune garantie de validité à une autre échelle. De plus, une autre difficulté tient de l'interaction entre plusieurs processus : s'il est envisageable de représenter un processus isolé, une prise en compte multiple est plus complexe.

L'agrégation s'inscrit dans la même logique que l'indicateur qui condense l'information brute en une information synthétique. C'est cette méthode que nous avons retenue dans notre approche.

La désagrégation permet de déterminer le comportement des constituants à partir de celui de leur ensemble. Blöschl et Sivapalan (1995) présentent la désagrégation comme le passage d'une « valeur moyenne » sur un domaine à sa répartition détaillée à l'intérieur d'un découpage de ce domaine, quand la règle de composition de l'information est envisageable.

a) Méthode d'agrégation directe à l'OSR

Une première méthode consiste à agréger les données à chaque OSR.

A l'échelle du bassin versant élémentaire, les notes qualifiant les indicateurs simples tels la pente des terrains, la proximité au réseau hydrographique, la pédologie, la géologie,... et la pression agricole (phytosanitaire ou azotée) sont affectées à chaque parcelle. La combinaison de ces notes permet alors d'obtenir un indicateur complexe pour chaque OSR (parcelles, bassin versant élémentaire, bassin versant intermédiaire,...)

La même opération permet de discriminer les bassins versants élémentaires à l'échelle de la zone hydrographique (bassin intermédiaire) puis les zones hydrographiques à l'échelle du grand bassin.

Cette méthode présente un inconvénient majeur inhérent à la perte d'information résultant d'une agrégation trop précoce.

b) Un OSR commun à chaque échelle : le pixel

Une autre méthode considère un OSR commun aux trois échelles : le pixel.

L'adoption de cette unité, à la plus petite résolution possible, permet de conserver l'information la plus détaillée quelle que soit l'échelle traitée : l'agrégation précoce d'information est ainsi évitée : il s'agit de la méthode que nous avons retenue.

Chaque pixel portera la valeur attribuée à l'indicateur complexe à partir des informations relatives aux indicateurs simples. L'agrégation ne se fera ensuite qu'à partir de ces pixels pour chacune des échelles déterminée afin de permettre la lecture et l'interprétation des résultats (Macary et Vernier, 2006).

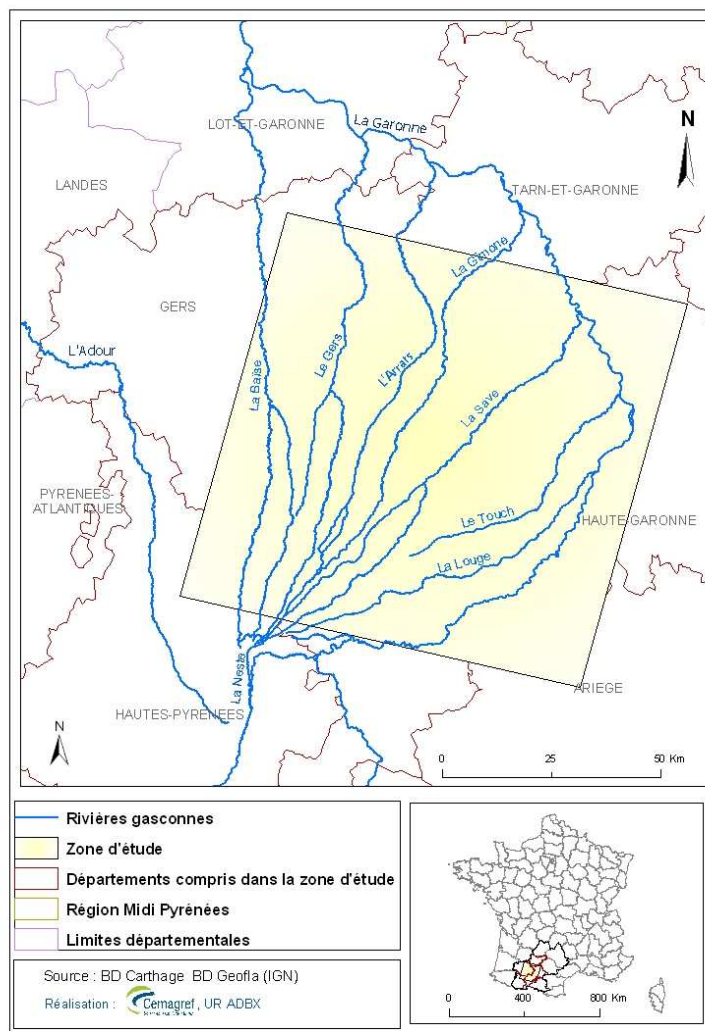
c) Modification des informations qui renseignent l'indicateur à chaque échelle

Un indicateur complexe présente un objectif de précision variable suivant les niveaux d'organisation spatiale. La précision est d'autant plus importante que l'échelle est grande (petit territoire) compte tenu des données disponibles et de leur finesse. Il est alors possible de compléter l'information suivant les données disponibles à chaque niveau d'organisation.

2- Matériel et Méthodes.

Application aux pollutions diffuses des eaux de surface par les phytosanitaires d'origine agricole sur les Coteaux de Gascogne.

Nous avons construit une méthode qui comprend l'intégration d'indicateurs agroenvironnementaux complexes dans un modèle spatial. Ils traduisant le potentiel de contamination des eaux par les substances polluantes à l'échelle de bassins versants. D'autre part, ces indicateurs sont adaptés aux changements d'échelles spatiales, c'est-à-dire du plus petit bassin versant agricole élémentaire au grand bassin versant englobant. La méthode a été développée et expérimentée sur la zone des Coteaux de Gascogne (carte 1), en l'occurrence l'ensemble des bassins versants gersois, dont les cours d'eau principaux prennent leur source sur le plateau de Lannemezan.



Carte 1. Localisation de la zone d'étude sur les Coteaux de Gascogne

2.1. Les indicateurs de vulnérabilité du milieu

Certains facteurs ont été écartés faute de permettre la caractérisation des différentes échelles d'intérêt ou de disposer de données suffisamment précises et discriminantes (Ex : le climat). Les thèmes qui ont été conservés sont la topographie, l'hydrographie et la pédologie (uniquement à l'échelle du BV de la Save pour ce dernier). Le type d'information retenu répond au « critère de pertinence » vis à vis du changement d'échelle.

L'information couvre l'étendue de la petite échelle et permet de décrire, de façon plus précise, la grande échelle.

Nous intégrons dans le modèle spatial construit sur le SIG, les valeurs des variables après leur transformation en notes. Cette méthode nécessite de passer par une étape intermédiaire, la répartition des valeurs en classes et la détermination de seuils et limites. Les notes affectées et les classes retenues relèvent de notre expertise. De plus, l'absence de pondération entre les notes attribuées répond à un contexte d'expérimentation de cette méthode, phase indispensable dans notre démarche de recherche.

2.1.1. La pente

La pente est considérée comme un facteur important dans le transfert des produits phytosanitaires. Elle conditionne la circulation de l'eau en surface et a un effet direct sur les temps de transfert. De plus elle intervient dans les phénomènes d'érosion et favorise les transports de substances actives fixées sur les matières en suspension. Nous avons opté pour l'acquisition d'un MNT à une résolution de 25 mètres couvrant les coteaux de Gascogne. Nous l'avons extrapolé à 30 mètres afin d'obtenir la même résolution spatiale que celle de l'image satellitale Landsat TM5.

Nous avons établi les seuils en nous basant sur l'histogramme de fréquence des valeurs de pente (>3% ; 3 à 7% ; 7 à 12% ; 12 à 25% ; >25%). Les valeurs extrêmes ne représentant qu'un effectif réduit nous avons choisi de les intégrer à la classe majoritaire (25 et plus).

2.1.2. Le réseau hydrographique : distance des pixels aux cours d'eau

La contamination des eaux de surface par les produits phytosanitaires est très dépendante de la distance séparant le lieu d'application du ruisseau collecteur. Deux paramètres ont dû être considérés pour constituer l'indicateur de distance au réseau hydrographique : la définition exacte du réseau actif ainsi que le choix de la « distance » retenue. Le traitement de la BD Carthage² a consisté à une extraction des tronçons hydrographiques permanents puis à un découpage de la couche ainsi produite à partir de l'emprise de la scène satellitale. Nous avons procédé à la création de deux

² Réalisée à partir de la couche hydrographique de la BD Carto de l'IGN (numérisation des cartes au 1/50 000 IGN et de l'imagerie spatiale SPOT) enrichie les Agences de l'Eau.

zones tampons (buffers) situées à 30 et 100 m autour du réseau hydrographique afin d'obtenir ainsi trois zones différenciées.

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. Nous avons affecté une note à chacune des zones après union et rastérisation de la couche extraite. Cette notation traduit simplement, l'augmentation du risque avec la proximité au réseau.

2. 1.3. La nature des sols

La nature des sols revêt une importance significative dans le trajet de l'eau et par voie de conséquence dans le temps de transfert des résidus depuis la surface du sol vers les eaux. Sur la zone des Coteaux de Gascogne, des cartes au 1/50 000 ont été établies par les pédologues de la CACG³ dans les années 1960. Elles ont été retranscrites sur papier au 1/80 000. Nous avons digitalisé celle du bassin versant de la Save. Elle met en évidence la plus ou moins grande épaisseur des sols qui influence le ruissellement.

Ces différents types de sols ont été agrégés en quatre catégories principales : les « Calcosols » peu épais, localement appelés « terreforts minces », les « Calcosols épais » ou « terreforts épais », les « Brunisols et Luvisols » ou « boubènes », les « Fluviosols » ou alluvions.

2. 2. L'indicateur de pression phytosanitaire

Il résulte de l'affectation des traitements phytosanitaires sur chaque culture concernée.

2.2.1. Occupation du sol

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. L'occupation du sol par les cultures permet d'apprécier les pollutions par les intrants agricoles. La classification de scènes satellitaires constitue la couche d'information de base du modèle. L'occupation du sol provient de la classification d'une série multi dates satellite Landsat 5 TM, images dont l'emprise couvre la zone d'étude sur les Coteaux de Gascogne à une résolution spatiale de 30 m x 30m.

Une classification en mode supervisé fournit une localisation suffisamment précise et exhaustive des principales cultures de la zone.

Les échantillons ont été groupés en 15 classes, représentatives des principales grandes cultures consommatrices en intrants agricoles. Nous avons appliqué la règle du maximum de vraisemblance dans l'algorithme de classification : chaque pixel est affecté à la classe dont la moyenne des probabilités sur tous les lots est la plus élevée.

La qualité globale de la classification est donnée notamment par le coefficient Kappa⁴ (Congalton 1991 cité par Ducrot, 2005) dont la valeur se situe entre 0 et 1 (la tendance vers 1 traduit le meilleur niveau de la classification). Sur les images considérées dans cet article, nous avons obtenu un coefficient Kappa proche de 0,80 pour les cultures les plus représentatives en surface sur la zone d'études.

³ Compagnie d'Aménagement des Coteaux de Gascogne

⁴ Le Kappa est un estimateur de la précision d'une classification qui tient compte des erreurs en ligne et en colonne.

2.2.2. L'indicateur de pression phytosanitaire

L'occupation du sol à l'échelle de la parcelle permet de déduire le niveau de pression phytosanitaire induit par l'activité agricole. A chaque culture peut être associée un nombre moyen de traitements. La différenciation entre les grandes familles de molécules et leur mélange dans les formulations commerciales aurait été particulièrement judicieuse compte tenu de leur nocivité différente. Cependant, à l'échelle des coteaux de Gascogne, il n'est pas envisageable d'obtenir ce niveau de précision. En revanche, un traitement en cours (non publié ici) consiste à retenir l'Indice de Fréquence de Traitement (IFT) pour apprécier plus précisément les doses apportées sur chaque parcelle en comparaison avec celles homologuées par les firmes agrochimiques.

L'image classée est un indicateur d'occupation du sol qui est ensuite croisée avec les traitements en pesticides afin d'en tirer une pression phytosanitaire.

Nous avons attribué à chaque culture, un nombre de passages suivant les données du Service Régional de la Protection des Végétaux de Midi-Pyrénées.

2.3. Intégration des indicateurs simples dans le modèle spatial « PHYTOPIXAL » de détermination du risque de contamination

Les couches des indicateurs simples ont été rastérisées en définissant une taille de cellule de résolution commune à 30 m. Le niveau du risque est ensuite obtenu par leur croisement.

Notre choix de croisement des indicateurs de vulnérabilité du milieu s'effectue par une addition afin de donner un poids équivalent à chaque facteur, par essence non hiérarchisés. Ensuite, le niveau de risque est obtenu par multiplication des indicateurs de sensibilité du milieu avec celui de l'indicateur de pression phytosanitaire. Cela permet de déterminer un risque nul dans les zones (en l'occurrence des pixels) où aucun traitement n'est appliqué. Les valeurs croissantes obtenues traduisent un risque croissant.

Le modèle retenu est donc le suivant :

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

Ce choix constitue une approche simplifiée car il ne permet pas de tenir compte des interactions entre les facteurs de vulnérabilité.

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 est dans un second temps, être agrégée aux OSR Bassins Versants élémentaires, zones hydrographiques et Bassins Versants de rivière, à partir des outils de statistiques spatiales (Spatial Analyst) selon la formule :

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

3- Résultats et discussion

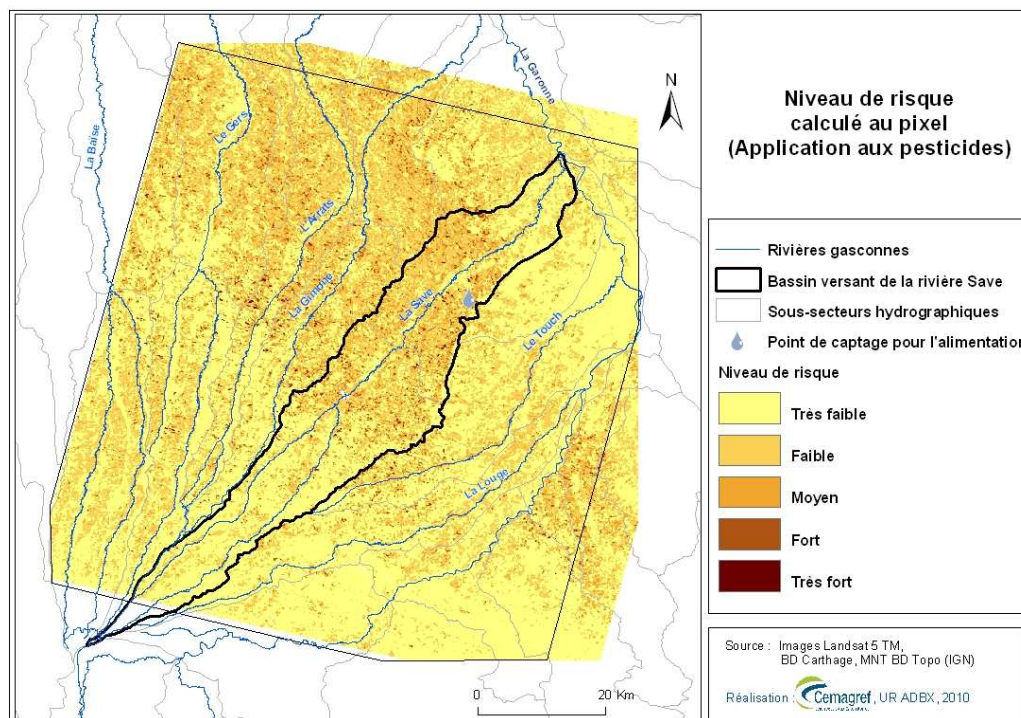
La modélisation spatiale du risque agroenvironnemental que nous avons réalisée, a pour intérêt de discriminer des zones de pression phytosanitaires à l'échelle des coteaux de Gascogne, selon un découpage en BV élémentaires ou en zones hydrographiques.

Le résultat est exprimé suivant les cinq catégories classiques des niveaux de risque (du plus faible au plus fort).

Nous avons conservé une discrétisation par seuils naturels de Jerks. On obtient ainsi des classes de valeurs les plus « homogènes » possibles. 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.

3.1. Interprétation des résultats cartographiques :

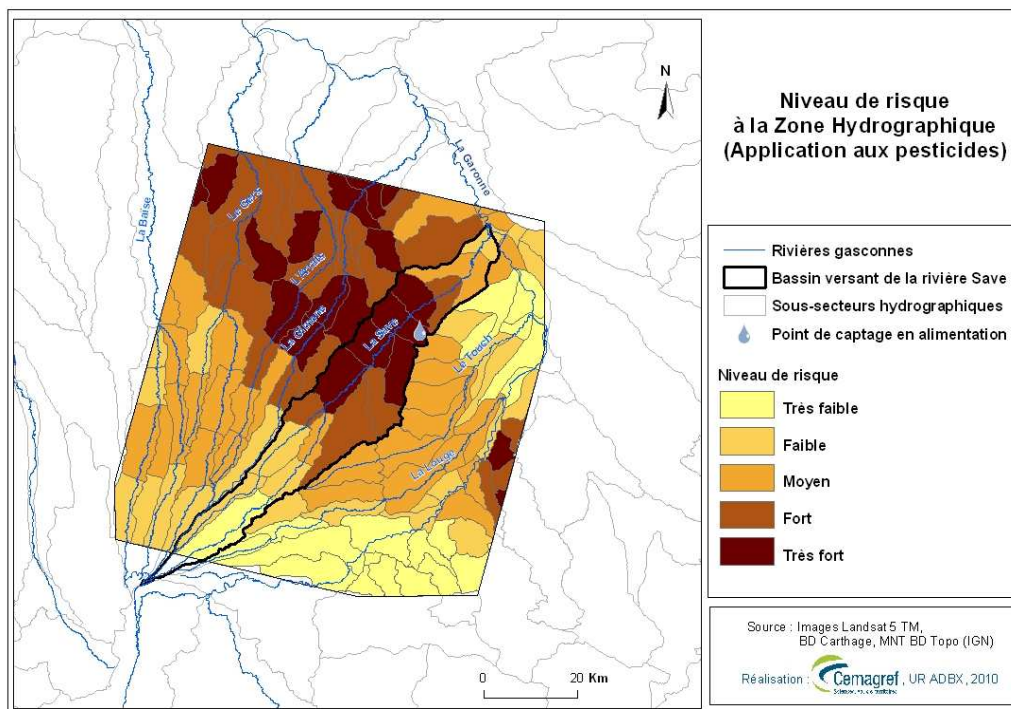
- La carte avant agrégation (carte 2) représente une mosaïque de pixels difficilement interprétable visuellement et ne permet pas directement d'être utilisée en aide à la décision pour les gestionnaires publics. L'information y est riche puisque il s'agit du niveau des calculs de base effectués sur chaque pixel, à l'échelle des Coteaux de Gascogne.



Carte 2. Résultats du modèle spatial « PHYTOPIXAL » : niveau de risque de transfert des produits phytosanitaires établi par pixel.

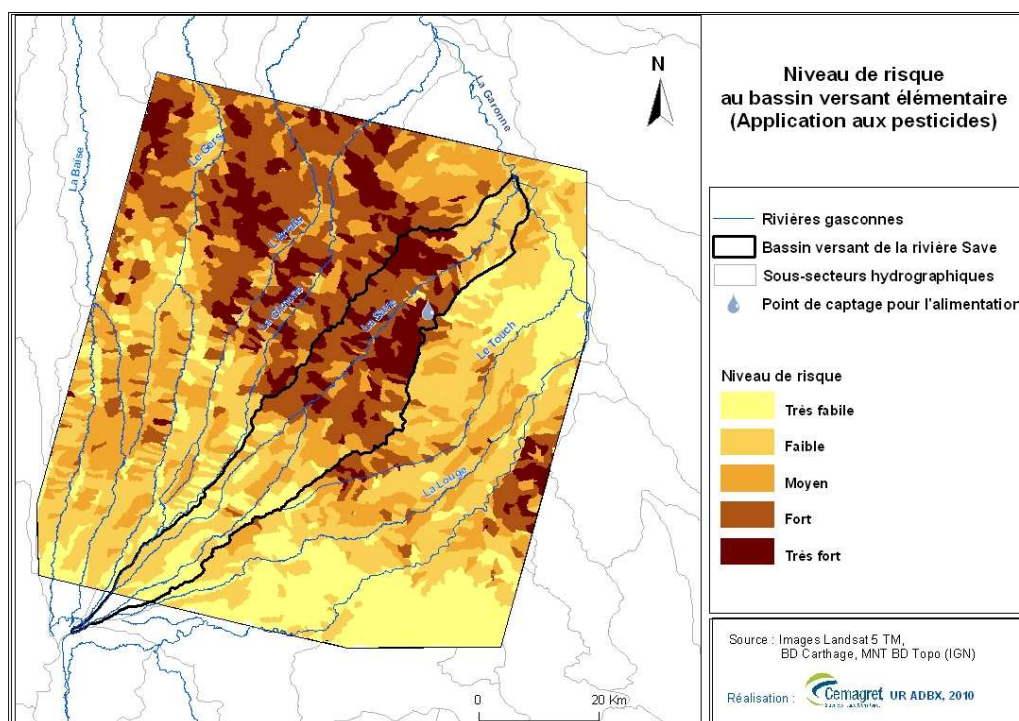
La carte représentant l'agrégation des pixels à l'échelle des Zones Hydrographiques ou bassins versants intermédiaires (carte 3) offre une plus grande lisibilité pour l'aide à la décision en matière de ciblage spatial des mesures agroenvironnementales par exemple, pour des gestionnaires.

Elle permet de faire une première sélection de zonages prioritaires. Par exemple, cela a été fait récemment à partir de nos travaux, sur le secteur de l'Isle Jourdain, au cœur de notre zone d'étude, pour améliorer la protection des captages d'eau potable de l'agglomération (cf. carte 3).



Carte 3. Résultats du modèle spatial « PHYTOPIXAL » : niveau de risque de transfert des produits phytosanitaires établi par bassin versant intermédiaire.

La carte représentant l'agrégation des pixels à l'échelle des BV élémentaires (carte 4) permet de mieux cibler les secteurs prioritaires d'octroi des mesures agroenvironnementales sur le terrain, après avoir défini le zonage de protection pour l'usage observé dans l'étape précédente.



Carte 4. Résultats du modèle spatial « PHYTOPIXAL » : niveau de risque de transfert des produits phytosanitaires établi par bassin versant élémentaire.

Ainsi, la méthode développée permet donc de comparer des bassins versants entre eux et de les hiérarchiser selon le risque de contamination des eaux par les produits phytosanitaires. Les mêmes types de traitements et de résultats ont été obtenus pour la problématique des excédents d'azote issus des fertilisations. 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. En outre, 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.

Cette méthode demeure une avancée dans les recherches sur le changement d'échelle, l'évaluation de la pollution sur un grand bassin hydrographique, et peut donc constituer un outil d'aide à la décision intéressant pour des gestionnaires publics.

3.2. Limites

Comme tout outil, toute analyse, cette méthode comporte des éléments qui limitent la pertinence des résultats et qui nécessitent des améliorations.

3.2.1. 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 au mécanisme de pollution. Il s'agit d'une part, les données qui influencent la vulnérabilité du milieu (ex : climatologie ...). Cela tient à l'impossibilité de discriminer l'espace ou à défaut de posséder une information exploitable. D'autre part, à une échelle spatiale telle que celle des Coteaux de Gascogne, donc sur une vaste étendue, la méthode appliquée ne permet pas de tenir compte des particularités locales type bonnes pratiques telles que la mise en place des bandes enherbées implantées le long des cours d'eau et qui jouent un rôle réel important de protection de ces cours d'eau face aux transferts de matières polluantes.

Une piste de réflexion serait envisageable avec l'acquisition d'images satellitaires haute résolution (Ex : Ikonos) sur une zone test restreinte dans le cadre de travaux de recherche complémentaires.

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

La démarche agrégative engendre une perte de liaison fonctionnelle entre les OSR. 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 (m^2 au BV de $100 km^2$ sauts de plusieurs ordres de grandeur). Quand on passe sur plusieurs niveaux il n'y a plus de liaison directe entre cause et effet. » (Puech, 2003).

3.2.3. Subjectivité des critères de zonage et des choix de représentation cartographique : complexité de validation des résultats cartographiques

Lors de la modélisation, nous avons donné les notes aux indicateurs constitutifs du modèle spatial et retenu une méthode de discrétisation pour produire les cartes finales traduisant un niveau de risque. Ces choix n'ont pas été faits de manière aléatoire, mais essentiellement à dire d'experts, ainsi ils restent toujours discutables. 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. « La méthode des indicateurs à notation présentent l'avantage de reprendre une partie des caractéristiques propres aux indicateurs, à savoir la modularité et la facilité de compréhension par les utilisateurs. » (Devillers 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 limite 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.

Ce qui explique en grande partie les difficultés majeures auxquelles nous nous confrontons dans cette méthode concernant la validation des résultats cartographiques. De plus, les moyens de validation des documents produits sont quasiment inexistantes. A grande échelle, les réseaux de mesure de la teneur en pesticides sont largement insuffisants. Enfin, 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 (découpages spatiaux, cartes de pression ...). Une méthode de validation ou tout au moins de comparaison des résultats obtenus avec ceux des modèles biophysiques pourrait être une piste envisageable.

3. 2.4. Une méthode adaptée à un contexte naturel spécifique

Notre méthode est restreinte aux zones peu perméables et ne peut être expérimentée en zone karstique par exemple, à moins de l'adapter en intégrant des variables de vulnérabilité du milieu propres à la pollution des eaux souterraines et non plus seulement superficielles. Il ne s'agirait plus seulement d'envisager la distance au cours d'eau mais également aux nappes souterraines. Toute la difficulté serait d'évaluer la part de transfert pour les eaux de surface et les eaux souterraines. La variable « nature géologique » deviendrait incontournable. Il serait également difficile de négliger la climatologie, compte tenu du rôle des pluies dans la porosité du sol, mais son introduction pose toujours la question de sa pertinence eu égard à sa capacité à discriminer des zones géographiques relativement proches.

4- Conclusion et perspectives

Notre démarche a porté sur le développement d'une méthode d'estimation du risque potentiel spatialisé de pollution des eaux de surface par les intrants agricoles à différentes échelles spatiales, en vue d'une aide à la décision pour les gestionnaires publics.

Nous avons choisi un objet spatial de référence unique, le pixel, pour décrire les trois échelles d'investigation afin de conserver la résolution initiale des données tout au long de la démarche, et limiter ainsi les pertes d'informations provoquées par une agrégation précoce. Il est possible de compléter le niveau d'information suivant la disponibilité d'autres sources à chacune des échelles.

Les cartes finales produites sont basées sur des données précises, au pas de temps de la campagne agricole, couvrant une étendue à une échelle de représentation pertinente pour les gestionnaires.

Cette méthode est avant tout destinée à permettre de définir des zones prioritaires d'action sur un vaste espace à enjeux environnementaux afin de cibler ensuite par des approches complémentaires plus fines les mesures agroenvironnementales nécessaires pour rétablir la qualité des eaux dans les milieux.

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 concrètement (budget). Enfin les seuils de classification des niveaux de risque ne sont pas des valeurs de référence, mais permettent d'effectuer de façon relative une hiérarchisation des zones à risques établies simultanément.

En revanche, les données utilisées dans cette méthode 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 études classiques de diagnostic, longues et coûteuses, car la collecte des informations nécessaires, par des enquêtes serait un travail fastidieux, non automatisable pour un grand bassin versant, et seulement envisageable à l'échelle d'un bassin élémentaire.

En perspective, l'un des objectifs communs à différentes unités de recherche dans le Bassin Adour Garonne serait de mettre en relation les résultats de notre zonage de risque aux pollutions diffuses d'origine agricole, avec l'information portée par les compartiments biologiques dans les eaux de surface: diatomées, macro-invertébrés benthiques, intégrateurs de toutes les activités anthropiques. L'importance de ces recherches implique la mise en œuvre de travaux pluridisciplinaires sur plusieurs années.

Nous devons alors affiner le modèle spatial actuel du risque (PHYTOPIXAL pour les pesticides et AZOTOPIXAL pour les excédents d'azote) à l'échelle des Coteaux de Gascogne, de façon à pouvoir intégrer le maximum d'éléments communs aux approches des phénomènes physico-chimiques et biologiques.

Références bibliographiques

Blöschl, G. and M. Sivapalan (1995). *Scale issues in hydrological modelling: a review*, John Wiley & sons, Chichester, GBR.

Carluer, N., F. Vernier, et al., Eds. (2000). *Lutte contre les pollutions diffuses en milieu rural : Définition et intégration à l'échelle d'un territoire de scénarios d'action. Guide opérationnel*

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

Devillers, J., R. Farret, et al. (2005). *Indicateur pour évaluer les risques liés à l'utilisation des pesticides, ouvrage collectif, Lavoisier, Editions Tec et Doc.*

Macary F., Vernier, F., 2007. *Zonage de risque potentiel de transferts de pesticides à l'échelle de bassins versants : quelles méthodes pour un transfert d'échelles spatiales ? Pesticides : impacts environnementaux, gestion et traitements*, in Presses de l'école nationale des Ponts et chaussées, p245 -259.

Maurizi, B. and J.-L. Verrel (Juin 2002). "Des indicateurs pour des actions de maîtrise des pollutions d'origine agricole." *Ingénieries - EAT 30*: 3-14.

Puech, C. (1993). *Influence de la résolution dans l'estimation des surfaces d'érosion généralisée par imagerie satellitaire. Deuxième réunion sur les changements d'échelle dans les modèles de l'environnement et de la télédétection*, Strasbourg, CNRS.

Puech, C., D. Dartus, et al. (2003). "Hydrologie distribuée, télédétection et problèmes d'échelle." *Société française de photographie et télédétection 172*: 11 - 21.

Wood, E., M. Sivapalan, et al. (1988). "Effects of spatial variability and scale with implications to hydrologic modeling."