

APPROCHE SPATIALE DU RISQUE DE POLLUTION DIFFUSE EN MILIEU AGRICOLE INTENSIF

APPLICATION À UN AFFLUENT DE L'ELORN (BRETAGNE OUEST)

Monique LAUNAY

CEMAGREF
Rennes

Laurence HUBERT-MOY

Laboratoire COSTEL, URA 1687 du CNRS
Université de Haute-Bretagne
Rennes

Résumé

L'étude part du constat de la dégradation de l'écosystème marin de la Rade de Brest : la pollution diffuse d'origine agricole de l'Elorn et de ses affluents est l'objet de l'analyse. La pollution par les nitrates fait appel à des facteurs liés à la fois au milieu et aux pratiques culturales. Il faut donc les appréhender ensemble pour voir quelles en sont les interactions au niveau spatial et temporel. L'utilisation d'un SIG (ArcInfo) a permis de réaliser un zonage du bassin-versant en fonction des facteurs du milieu (sols, pentes...) et une définition des zones à risque selon les pratiques culturales. Les résultats obtenus permettent de déterminer un indice de risque à l'échelle de la parcelle, qui est confronté à celui que l'on obtient à l'aide d'un modèle de lessivage des nitrates. La problématique de l'extrapolation de la méthode sur une zone géographique plus vaste est envisagée notamment à partir de données satellitaires : l'évaluation de la perte de précision liée aux paramètres d'entrée disponibles à cette nouvelle échelle est analysée.

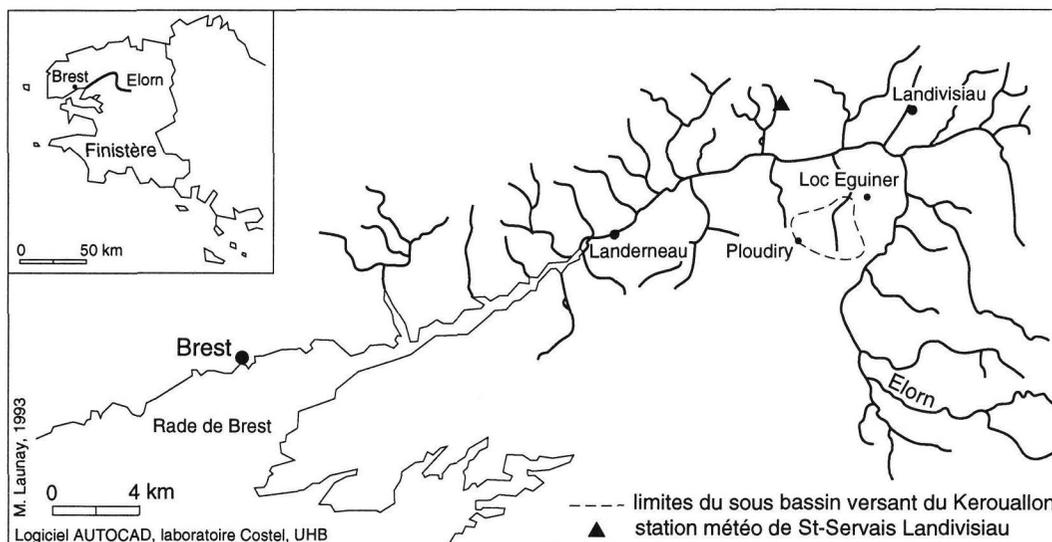
Mots Clés

Bassin-versant - Ecosystème marin - Nitrates - Rade de Brest - Système d'Information Géographique - Télédétection

On constate depuis quelques années une dégradation des écosystèmes marins en Bretagne, et en particulier dans la Rade de Brest. L'observation des concentrations en nitrates depuis 1970 dans l'Elorn, dont les eaux se déversent dans la Rade de Brest, montre une augmentation importante des teneurs moyennes, de 15 à 20 mg/l en 1971 jusqu'à 35 à 40 mg/l en 1990, avec des valeurs ponctuelles plus élevées (>60 mg/l) en certains points de prélèvements (Direction Départementale de l'Agriculture du Finistère, 1990). La concentration en nitrates admissible dans une eau potable a été fixée à 50 mg/l par l'OMS. La CEE a fixé en 1980 un niveau guide de 25 mg/l.

Sur le bassin-versant de l'Elorn (fig. 1), l'origine de ces teneurs est essentiellement liée à l'intensification de l'agriculture, à travers une augmentation très importante des élevages (porcs, volailles, bovins). Elle entraîne une augmentation sensible des déjections et une consommation accrue d'engrais utilisés pour améliorer la productivité des cultures. Il devient donc nécessaire d'agir pour réduire cette pollution croissante, et un programme de recherche (Contrat de Baie, Rade de Brest) a été mis en place depuis 1992 dans le but de restituer la qualité des eaux littorales.

Figure 1 : Bassin-versant de l'Elorn et sous-bassin du Kerouallon



1. Diagnostic de risque, zone à risque : état de la question

Un des axes principaux de ce programme est la détermination d'un diagnostic de risque de pollution permettant de localiser les zones à risque et de déterminer les causes de cette pollution à différentes échelles géographiques. Le but final est d'appliquer des modifications de pratiques agricoles dans les zones sensibles pour en évaluer l'impact sur la réduction de la pollution par les nitrates.

L'étude de la pollution diffuse par les nitrates pose le problème de sa représentation spatiale et temporelle. C'est un phénomène complexe qui résulte des activités dispersées utilisatrices du sol qui peuvent occasionner la dégradation de la qualité de l'eau [8]. Sa source incontrôlable et la méconnaissance de son cheminement dans le sol et le réseau hydrographique la rendent difficile à appréhender. L'étude détaillée de l'activité agricole permet de localiser la source de pollution ; la détermination du chemin d'écoulement suppose la prise en compte de facteurs du milieu au sens physique (sol, pente, climat...). L'approche comprend : la détermination de la pression polluante, c'est-à-dire la quantité de pollution produite par l'activité agricole ; et la sensibilité du milieu à cette pollution c'est-à-dire sa capacité à la stocker ou la réduire avant qu'elle n'atteigne le cours d'eau. La comparaison de ces deux termes (pression polluante et sensibilité) permet de définir un risque de pollution sur la zone étudiée [12].

Les études existantes dans ce domaine font état de différentes approches plus ou moins complexes selon les données disponibles et les objectifs fixés. La description de la pollution se fait par diverses méthodes qui vont d'une analyse empirique à l'utilisation de modèles conceptuels sur le bassin-versant. L'utilisation d'un nombre important de données de types variés conduit à les intégrer dans un système d'information géographique (SIG) pour les gérer spatialement de façon cohérente. Un SIG est souvent utilisé pour caractériser les zones sensibles à un type de pollution (azote, phosphore, pesticides) [5] [4] [11]. Les cartographies obtenues par ces différentes méthodes correspondent, selon les données disponibles, a minima à un zonage en fonction des facteurs du milieu, et a maxima à la détermination d'un indice de risque qui intègre les pratiques agricoles. Celles-ci sont représentées soit par des données statistiques générales sur le secteur (par exemple mise en évidence du risque de pollution agricole diffuse sur un territoire à l'aide d'un SIG [4]), soit par des relevés de terrain précis (par exemple risque de lessivage sous irrigation [9]).

A l'intérieur du SIG la démarche permettant de parvenir à ces zonages peut être empirique, par la mise au point d'un indice «à dire d'expert» sous forme par exemple, d'un arbre de décision (Soyeux in [9]), ou d'une somme pondérée de plusieurs facteurs (Utilisation de la méthode DRASTIC [2]). Dans d'autres cas, des modèles plus complexes de type conceptuel, nécessitant de nombreux paramètres permettent aussi de décrire la pollution diffuse (modèle CREAMS de lessivage de nitrates [10]).

La démarche proposée a été définie en fonction de deux éléments principaux : les niveaux d'échelle spatiale étudiés (parcelle, bassin-versant expérimental, bassin-versant de l'Elorn) et les données disponibles. L'extrapolation de la

méthode est envisagée, du bassin-versant expérimental à celui de l'Elorn. La méthode consiste à déterminer un indice de risque de façon empirique, à l'aide d'un «dire d'expert», qui est ensuite validé par l'application d'un modèle conceptuel sur le bassin-versant expérimental.

2. Détermination d'un indice de risque sur un bassin-versant expérimental

2.1. Le site

Sur le bassin-versant de l'Elorn (370 km²), un sous-bassin expérimental de 6 km² a été retenu comme site d'étude : le Kerouallon (fig.1). C'est un bassin-versant très bocager, situé sur deux communes (Ploudiry, Loc-Eguiner) n'ayant pas fait l'objet de remembrement. Représentatif d'une agriculture intensive (nombreux élevages) il est exclusivement agricole (absence d'activités industrielles ou autres...). Sa faible superficie permet de mettre en place un suivi détaillé des activités agricoles.

Les différents niveaux d'observation retenus sont liés au phénomène de pollution lui-même : la source est appréhendée à l'échelle parcellaire par les pratiques culturales mises en place (culture, fertilisation, travail du sol...).

La mesure du taux de pollution se fait à l'échelle du bassin expérimental, unité de fonctionnement hydrologique, par une station installée à l'exutoire du bassin permettant la mesure du débit et des concentrations en nitrates dans les eaux. Cette mesure permet de vérifier les différentes hypothèses émises sur le bassin-versant, et de comparer plusieurs bassins.

Le bassin-versant de l'Elorn représente le niveau décisionnel global, permettant de définir des priorités d'action entre différents bassins versants.

2.2. Les données utilisées

Sur le bassin expérimental, les données recueillies sont issues de diverses sources (relevés de terrain, enquêtes et suivi d'agriculteurs, sources numériques...). Elles sont établies à différentes échelles spatiales et temporelles (tab. 1). Les fonctionnalités d'un SIG, il s'agit ici d'ArcInfo, permettent de mettre en relation des données d'origines diverses par croisement, et d'établir ainsi de nouvelles couches d'informations. Au cours des différentes manipulations de données lors de la mise au point des indices, la pertinence et la validité des données utilisées sont analysées pour déterminer leurs répercussions sur les résultats obtenus.

Tableau 1 : Types de données sur le bassin-versant

Type de données	Données recueillies	Echelle spatiale	Echelle temporelle
Milieu	<ul style="list-style-type: none"> - carte pédologique - carte des pentes - réseau hydrographique - réseau de haies, talus - réseau de fossés 	<ul style="list-style-type: none"> unités pédologiques unités de pente bassin-versant bassin-versant bassin-versant 	<ul style="list-style-type: none"> permanent permanent permanent semi-permanent permanent
Pratiques agricoles	<ul style="list-style-type: none"> - cultures - fertilisation 	<ul style="list-style-type: none"> parcelle parcelle 	<ul style="list-style-type: none"> variable (1 à 2/an) variable (1 à 4/an)
Climat	<ul style="list-style-type: none"> - pluviosité - température 	<ul style="list-style-type: none"> station station 	<ul style="list-style-type: none"> journalière mensuelle

2.3. Définition d'un indice de percolation : méthode

La première partie de la méthode consiste à développer un indice de risque de pollution diffuse à l'échelle parcellaire qui intègre les facteurs liés au milieu et aux pratiques agricoles sont intégrés (pollution par les nitrates).

Les connaissances actuelles du lessivage des nitrates permettent de différencier deux processus qui sont la percolation et le ruissellement hypodermique. Chacun d'eux fait intervenir des paramètres différents. La percolation est un entraînement vertical des nitrates en profondeur via l'eau puisque les nitrates sont solubles dans l'eau. Le ruissellement hypodermique est la partie du ruissellement qui s'écoule latéralement à faible profondeur, et qui peut entraîner les nitrates de façon non négligeable [6]. Deux indices sont différenciés pour ces deux phénomènes.

L'indice de percolation est défini en fonction des paramètres du milieu et détermine donc une sensibilité à la percolation des nitrates, indépendamment de la pression polluante qui peut s'exercer sur ce milieu. L'indice est établi à partir des données du bassin-versant mais se veut plus global et doit pouvoir s'appliquer sur d'autres zones géographiquement proches ; c'est pourquoi certains paramètres non représentés sur le bassin-versant ont été pris en compte.

Les critères pris en compte sont les suivants (tab. 2).

Tableau 2 : Critères pris en compte dans l'indice de percolation

critère	classe	signification	échelle des données sources
hydromorphie du sol	6 <6	forte hydromorphie dès la surface hydromorphie apparaissant plus en profondeur	unité pédologique
texture du sol	1 2 3	argile limon Sable	parcelle
pente	1 2	0 à 7 % > à 7 %	bassin-versant
profondeur du sol	1 2 3	> 80 cm 40 à 80 cm < 40 cm	unité pédologique
indice de percolation	1 2 3 4	faible modéré fort très fort	

– La texture du sol a une grande importance pour la percolation de l'eau dans le sol. Plus un sol est sableux, plus l'eau percole rapidement à travers, et au contraire, plus il est argileux, plus l'eau percole lentement. La texture est un critère de différenciation des sols pour la percolation. Un sol sera d'autant plus sensible à la pollution que l'eau, donc les nitrates s'ils sont présents, percolera plus vite en profondeur.

L'analyse texturale se présente sous forme de pourcentages en argile, limon fin, limon grossier, sable fin, sable grossier. La classification est ensuite obtenue d'après le triangle de texture américain USDA. Sur le bassin-versant, la texture est globalement homogène et à dominante limoneuse. La différenciation en trois classes (argileux, limoneux et sableux), situe le bassin-versant en classe moyenne.

– La profondeur du sol intervient pour l'enracinement de la plante et donc sa capacité à assimiler les nitrates à une plus ou moins grande profondeur. Les profondeurs sont issues de la carte pédologique et se distinguent en six classes. Elles ont été regroupées en trois classes : supérieures à 80 cm ; de 40 à 80 cm ; inférieures à 40 cm.

– L'hydromorphie, lorsqu'elle est forte dès la surface, limite la percolation et au contraire favorise l'écoulement par ruissellement. La classe d'hydromorphie 6 sur la carte pédologique correspond à une forte hydromorphie dès la surface et permet de différencier deux groupes : un premier, à forte hydromorphie, où la percolation est faible ; un second de classe d'hydromorphie inférieure à 6, où l'importance de la percolation est fonction des autres paramètres.

– La pente favorise le ruissellement lorsqu'elle est forte. La classe de pente supérieure à 7 % est ici considérée comme forte pente. La limite de 7 % est retenue car la parcelle est difficilement exploitable au delà en raison des problèmes de mécanisation et en référence à la limite d'épandage pour les déjections animales.

La combinaison de ces paramètres se fait par un arbre de décision (fig.2) fondé sur un «dire d'expert» pour l'évaluation de l'importance de chaque paramètre dans la percolation des nitrates. Les paramètres sont intégrés et croisés dans le SIG (fig. 3).

Figure 2 : Arbre de décision déterminant un indice de percolation en fonction des paramètres concernés

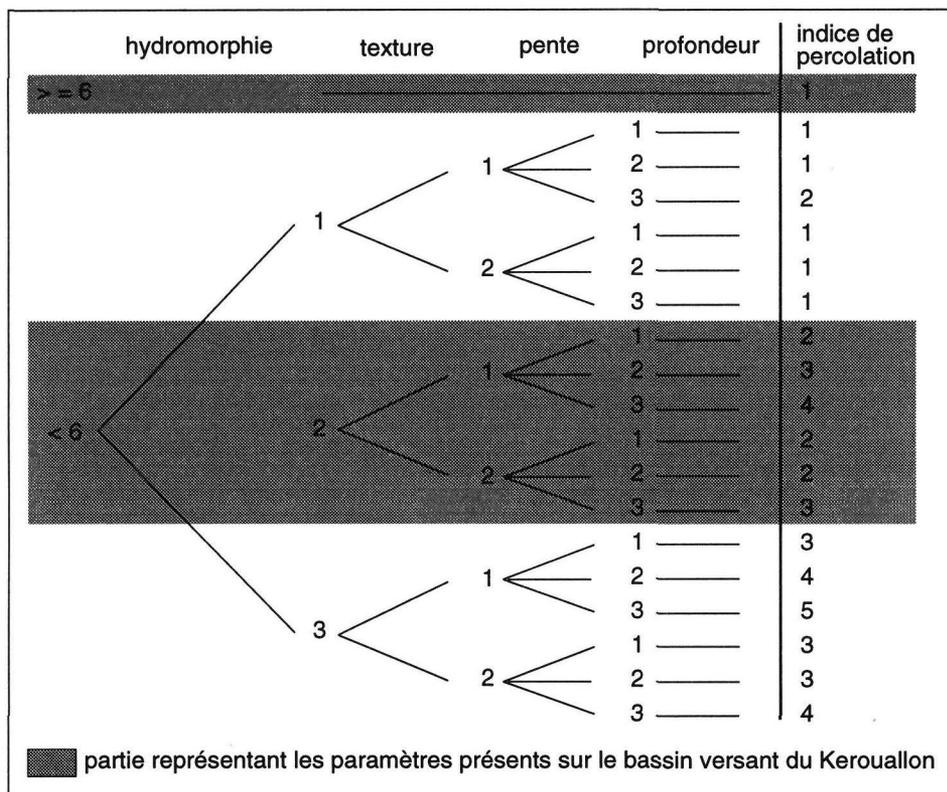
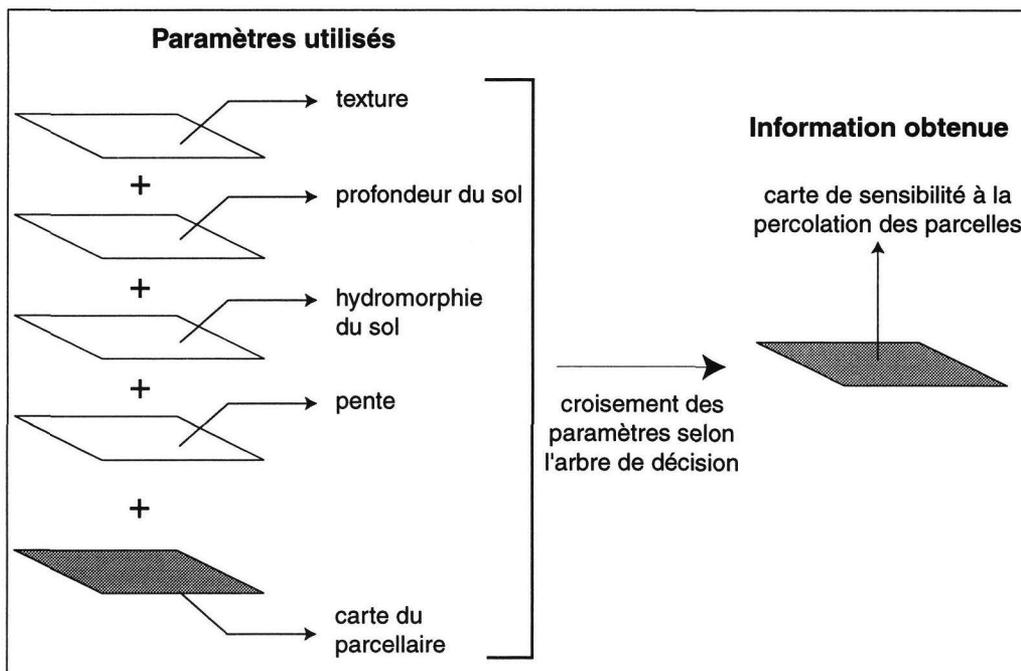


Figure 3 : Croisement des paramètres dans le SIG, pour la création de l'indice de risque



Le critère d'hydromorphie est pris comme seuil pour déterminer une percolation faible. A partir de la classe 6, le sol est considéré comme saturé et le risque de percolation devient donc faible. Pour les autres cas, la texture est prise comme critère de base de différenciation du risque de percolation entre les parcelles. Dans le cas du bassin expérimental, les parcelles ne peuvent être affectées que d'un indice au moins égal à celui de la texture, c'est-à-dire 2. La profondeur majore l'indice en fonction de sa valeur. La pente intervient pour, a contrario, minorer l'indice en fonction de sa valeur. L'indice de percolation obtenu comprend quatre classes : risque faible, modéré, fort, très fort. Dans le cadre d'un élargissement à une zone plus vaste, les autres classes de texture sont prises en compte (classes 1 et 3). La même démarche est appliquée : le nombre total de classes obtenues est alors de cinq, la classe supplémentaire est ajoutée pour les valeurs présentant le risque maximum.

La représentation spatiale de l'indice est obtenue à partir des unités pédologiques et des unités de pente. Elles sont croisées afin d'obtenir des entités homogènes sur lesquelles l'indice est défini. Dans un deuxième temps, la carte du parcellaire est croisée avec l'indice pour affecter une valeur d'indice à chaque parcelle. L'hypothèse de départ est de se placer en situation de risque et donc d'affecter la classe d'indice la plus grande lorsque plusieurs classes sont représentées sur une même parcelle, avec un minimum de 20 % de surface occupée par cette classe. La représentation de l'indice au niveau parcellaire permet de le comparer aux résultats obtenus à l'aide d'un modèle de lessivage testé à l'échelle parcellaire et appelé CREAMS : Chemicals, Runoff, and Erosion from Agricultural Management System [10].

De la même façon, un indice de ruissellement hypodermique est mis au point. La combinaison de ces deux indices permet de définir une représentation spatiale de la sensibilité du milieu au lessivage des nitrates aussi bien par percolation que par ruissellement hypodermique. Pour prendre en compte l'aspect temporel, les données climatiques sont intégrées pour déterminer les périodes de validité des indices selon les épisodes pluvieux et le taux de saturation du sol.

Pour déterminer un risque de pollution, cette sensibilité du milieu est confrontée à une pression polluante définie à partir des pratiques agricoles appliquées sur les parcelles.

3. Cartographie de la pollution à l'échelle parcellaire

Les résultats obtenus pour l'indice de percolation sont représentés sur la figure 4. Les parcelles à forte et très forte sensibilité à la percolation sont situées sur des sols peu profonds, à faible pente. Elles représentent 33 % de la surface des parcelles sur le bassin-versant. Les parcelles à faible sensibilité (jaune), 18 % de la surface, sont principalement situées sur des sols hydromorphes dès la surface.

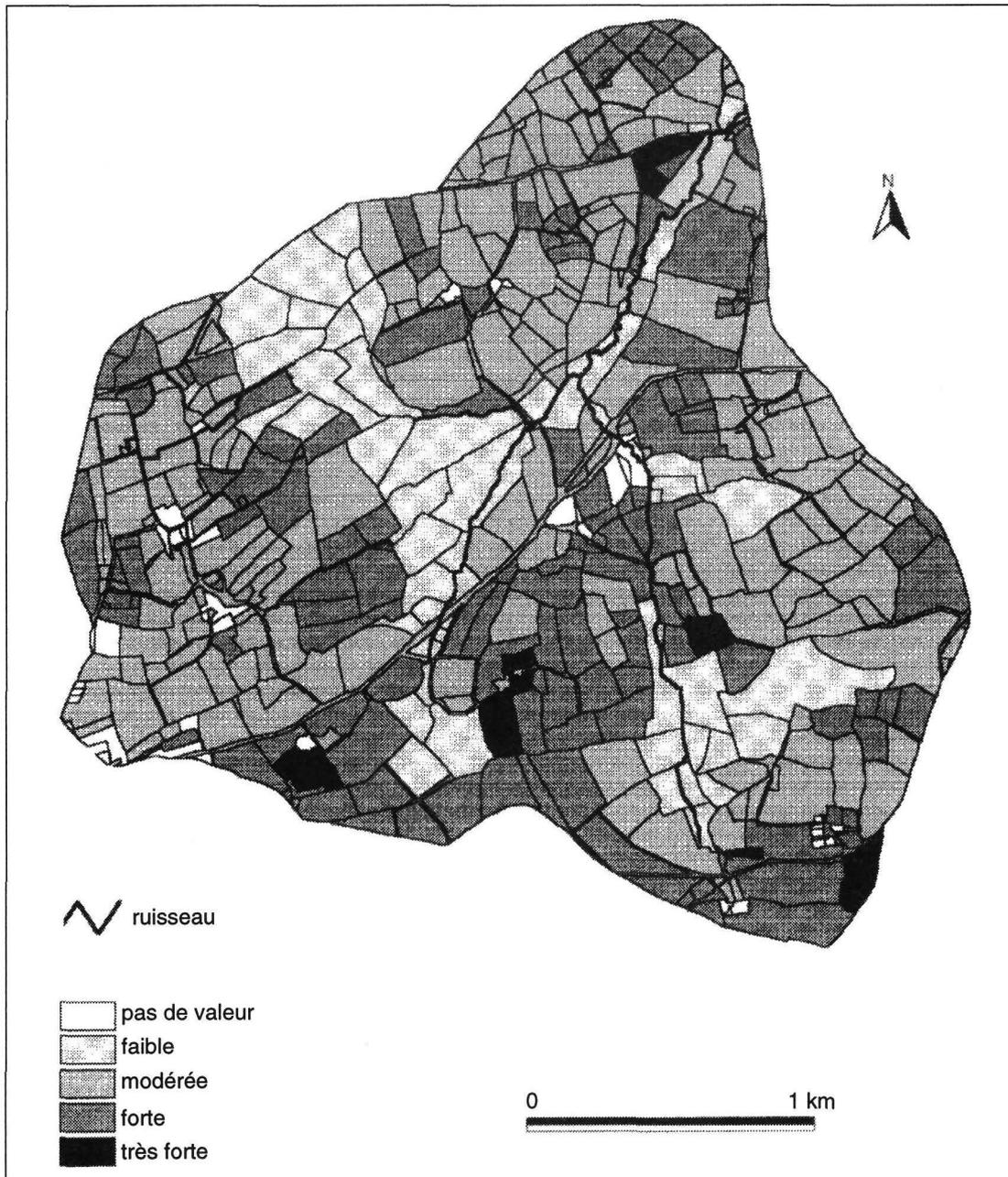
La carte est une représentation des parcelles individualisées, et ne peut s'interpréter qu'à l'échelle parcellaire. En effet, l'entité bassin-versant n'est pas égale à la somme des parcelles du point de vue du lessivage des nitrates. Les parcelles sont à la source, alors que le bassin-versant intègre aussi le transfert vers le cours d'eau. Le chemin d'écoulement des eaux rend les parcelles dépendantes les unes des autres et elles n'ont pas toutes le même « poids » dans l'explication des teneurs en nitrates dans les eaux. Selon leur proximité vis-à-vis du cours d'eau, le temps de transfert sera différent, et permettra ou non une réduction des nitrates par diverses voies (assimilation, dénitrification) avant d'atteindre le cours d'eau.

Pour obtenir un indice à l'échelle du bassin-versant, on introduit un paramètre de distance des parcelles au cours d'eau, qui rend compte du phénomène de transfert. Le calcul d'un indice global sur le bassin-versant revient donc à faire une somme pondérée de l'indice parcellaire en fonction de la distance au cours d'eau.

Les paramètres utilisés pour obtenir un résultat à l'échelle de la parcelle (indice de percolation) ne sont pas tous issus de données parcellaires. La discussion doit porter sur le sens de ces données au niveau parcellaire. Une première imprécision vient du croisement entre des unités spatiales différentes (unités pédologiques et de pente croisées avec le parcellaire) qui donne un résultat hétérogène par parcelle. Celui-ci est ensuite ramené à la parcelle, comme vu précédemment, ce qui introduit un lissage des données. Par ailleurs, il importe de savoir si les données acquises à un autre niveau sont comparables avec le niveau parcellaire, c'est-à-dire si leur niveau de réalisation est de l'ordre de l'échelle parcellaire. Pour la carte pédologique, les prélèvements sont effectués environ tous les hectares afin de définir les unités pédologiques [1], ce qui correspond à l'échelle parcellaire puisque la taille moyenne des parcelles sur le bassin-

versant est de l'ordre de l'hectare. Les données de pente sont issues d'un modèle numérique de terrain (MNT) réalisé à partir de la carte IGN au 1/25000 à un pas de 20 mètres. La pente étant une dérivée du MNT, la précision est inférieure. Des mesures de terrain sur des transects permettront d'évaluer la précision de la carte des pentes.

Figure 4 : Bassin-versant du Kerouallon : la sensibilité du milieu à la percolation des nitrates



L'intérêt de cette approche par indice de risque réside dans l'utilisation de données permettant une généralisation. L'idée de mettre au point un indice «à dire d'expert» sur le bassin expérimental a été retenue dans l'optique d'une extrapolation de la méthode. En effet, l'utilisation d'un modèle de type conceptuel nécessitant des données plus nombreuses et plus complexes, n'est pas envisageable seule puisque les résultats ne peuvent être extrapolables simplement par manque de données à l'échelle de l'Elorn.

Certaines données telles que l'occupation du sol, la pente, sont disponibles à partir de données satellitaires (Spot, Landsat TM). L'indice sera recalculé à partir de ces données pour évaluer l'imprécision entraînée par leur utilisation. En revanche, les données pédologiques n'existent pas. Le modèle permet sur le bassin expérimental de valider l'indice «à dire d'expert». De plus, les données les plus précises et les plus nombreuses sont disponibles à l'échelle du bassin expérimental. La méthode mise au point se veut donc suffisamment précise et proche de la réalité tout en restant extrapolable du fait de sa relative simplicité.

Le passage de l'échelle du bassin expérimental (6 km²) à l'ensemble de l'Elorn (370 km²) implique un changement du niveau d'observation des données utilisées. Les données disponibles sur l'ensemble de l'Elorn sont moins nombreuses et de type différent des documents utilisés à l'échelle du bassin expérimental. L'extension de la méthode va consister à déterminer si les données disponibles sur l'Elorn sont suffisamment précises pour décrire les paramètres de l'indice de risque.

Bibliographie

- [1] Alcyon : Carte pédologique sur le bassin-versant de Loc-Eguiner Ploudiry au 1/5000, 1994
- [2] CHAMPAGNE L., CHAPUIS R. : « Evaluation et cartographie de la vulnérabilité à la pollution des formations aquifères de la MRC de Montcalm selon la méthode DRASTIC », In *Sciences et Techniques de l'eau*, vol. 26, n° 3, 1993, pp. 169-176
- [3] Direction Départementale de l'Agriculture du Finistère : *Recherche des pollutions dans le bassin de l'Elorn et propositions de moyens pour les réduire*, 1990
- [4] HALLIDAY S.L., WOLFE M.L. : « Assessing Groundwater Pollution Potential from Nitrogen Fertilizer using a GIS », In *Water Resources Bulletin*, vol. 27, n° 2, pp. 237-245
- [5] HAMLETT J.M. et al. : « Statewide GIS-based ranking of Watersheds for agricultural Pollution Prevention », In *Journal of Soil and Water Conservation*, vol. 47, n° 5, 1992, pp. 399-404
- [6] KAUARK LEITE L.A. : *Réflexions sur l'utilité des modèles mathématiques dans la gestion de la pollution diffuse d'origine agricole*, Mémoire de Docteur de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 1990, 341 pages + annexes
- [7] KNISEL, WALTER G. : « CREAMS : A Field -Scale Model for Chemicals, Runoff, and Erosion from Agricultural Management System », U.S. Department of Agriculture, *Conservation Research Report*, n° 26, 1980, 640 pages
- [8] NOVOTNY V. : « Diffuse (non point) pollution. A political, institutional and fiscal problem », *Journal WPCF*, vol. 60, n° 8, 1988, pp. 1404-1413
- [9] RENAULT D., VEDEL S. : « Approche SIG-Modèle appliquée à la cartographie de la pollution diffuse d'origine agricole », *Journée SIG et Modèles*, LCT Montpellier, 1993
- [10] SHIRMOHAMMADIA., MAGETTE W.L., BEKDASH F.A. : « Environmental evaluation of agricultural practices using modelling and GIS technologies », In XII World Congress on Agricultural Engineering. Milano, august 29-September 1, 1994, *International Commission of Agricultural Engineering*, Proceedings, Volume 1, 1994, pp. 68-78
- [11] SIVERTUN A., REINELT L.E., CASTENSSON R. : « A GIS Method to aid in Nonpoint Source Critical Area Analysis » in *International Journal of Geographic Information System*, vol 2, n° 4, 1988, pp. 365-378
- [12] VEDEL S. : « Spatialisation du transfert de nitrates sous irrigation, cas de la plaine alluviale de Mauguio-Lunel. Couplage SIG- modèle de transfert de polluants : réalisation d'une maquette », Mémoire de fin d'études, ENGREF, 1992, 43 pages