

Sciences Eaux & Territoires

La revue d'Irstea

Article hors-série numéro 6

Évaluation spatiale et prospectives sur le risque de pollution diffuse par le nitrate sur le bassin versant de la Bultière

François LE FLAHEC

www.set-revue.fr
Sciences Eaux & Territoires

La revue d'Irstea

 Rechercher par :

Accueil

Derniers numéros
 Les invasions biologiques en milieux aquatiques
 Restauration écologique
 Les éco-indicateurs au service de l'agriculture durable
 Politiques agricoles et biodiversité
 Articles hors série
 L'obligation d'identité pour les mesures agri-environnementales
 Les Tamaricaceae en gène végétal
 Mobilisation du risque incendie dans les interfaces habitats-bois
 Gestion de l'eau en Chou
 Cahiers spéciaux
 Cahier spécial Forêt
 Cahier spécial OPT/BAH
 Toutes les parutions
 À propos de la revue
 Présentation
 Instructions aux auteurs
 Aidez nous
 Contacter la rédaction

Les invasions biologiques en milieux aquatiques
 Stratégies d'action et perspectives
 Les espèces invasives, tout comme la destruction des habitats naturels, les pollutions ou la surexploitation des ressources, sont reconnues comme étant une des pressions majeures qui menacent ou les écosystèmes. Le changement climatique, favorisant la prolifération de certaines espèces, est également à

Voir le sommaire
 n°06
 13 Février 2012
 Anciens numéros SET | Archives Informatiques EAT

Focus
 Article hors série - 10 janvier 2012
 L'obligation de résultat pour les mesures agri-environnementales "traites fourragères"
 Article hors série - 15 décembre 2011
 Les Tamaricaceae en gène végétal

Autres mails
 Pour se tenir informé des nouveaux articles parus dans la revue, cliquez sur "OK"

Irstea
 29 novembre 2011
 Le Cemagref devient Irstea
 À l'occasion du Forum organisé pour les territoires aménageurs et afin de mieux affirmer ses missions, le Cemagref adopte une nouvelle identité : devient Irstea, Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture.

Livre
 8 décembre 2011
 De Cemagref à Irstea
 Un engagement pour la recherche environnementale
 À l'occasion des 50 ans de Cemagref, l'Institut Pascal Giral rappelle la passion de l'établissement qui devient en 2012 Irstea, véritablement un double mission de recherche et d'appui technique en phase avec les enjeux de son temps.

Sciences Eaux & Territoires, la revue d'Irstea

Article hors-série numéro 6 – 2012

Directeur de la publication : Pierrick Givone

Directeur éditorial : Nicolas de Menthère

Comité éditorial : Sylvane Casademont, Denis Cassard, Camille Cédra,

Laurence Chapacou, André Évette, Véronique Gouy, Alain Hénaut,

Bruno Hérault, Emmanuelle Jannès-Ober, Philippe Jannot,

Virginie Keller, André Le Bozec, Bernard Leservoisière, Éric Maillé,

Gwenael Philippe, Christian Rigaud et Michel Vallance.

Rédactrice en chef : Caroline Martin

Secrétariat de rédaction et mise en page : Valérie Pagneux

Infographie : Françoise Peyriguer

Conception de la maquette : Cbat

Contact édition et administration : Irstea-DPV

1 rue Pierre-Gilles de Gennes – CS 10030

92761 Antony Cedex

Tél. : 01 40 96 61 21 – Fax : 01 40 96 61 64

E-mail : set-revue@irstea.fr

Numéro paritaire : 0511 B 07860 – Dépôt légal : à parution

N°ISSN : 2109-3016

Photo de couverture : C. Malon (Irstea)

Pour mieux affirmer ses missions, le Cemagref devient Irstea.



Évaluation spatiale et prospectives sur le risque de pollution diffuse par le nitrate sur le bassin versant de la Bultière

En France, la protection des captages d'eau potable est une préoccupation majeure : le Grenelle Environnement a identifié plus de cinq cents sites menacés par les pollutions diffuses, d'où la nécessité de mettre en place des plans d'action pour les protéger. En Vendée, dans le bassin versant de la Bultière, confronté à des rejets importants de nitrate, une étude par modélisation agronomique et hydrologique a été mise en œuvre avec le logiciel Swat, un outil alliant analyse spatiale et simulation, qui doit permettre de donner des orientations et de prioriser des solutions.



La protection des captages correspond à un enjeu fort et urgent avec des plans d'action pour 2012 dans les captages Grenelle et pour 2015 dans les schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux (SDAGE). La préservation de la qualité de l'eau reste ainsi au cœur des enjeux environnementaux pour les années à venir. Depuis 2007, un décret (2007-882) a donné la possibilité aux préfets de délimiter des zones porteuses d'enjeux environnementaux puis d'arrêter des programmes d'action. La circulaire du 30 mai 2008 (NOR : DEVO0814484C) précise les éléments de cadrage relatifs à la délimitation de ces zones. Dans ce dispositif appelé ZSCE (zones de surfaces à contraintes environnementales), les maîtres d'ouvrage et les acteurs institutionnels sont demandeurs d'outils et méthodologies pour appuyer l'ensemble de la démarche.

Les besoins du diagnostic dans le bassin d'alimentation de captage de la Bultière

Dans le contexte du projet territorial construit autour des problématiques nitrate et produits phytosanitaires, tous les acteurs, agriculteurs, élus et administrations souhaitent disposer de nouveaux éléments d'analyses tirés des nombreuses données recensées sur le secteur. L'analyse multicritère souhaitée devait croiser des facteurs déterminants comme le sol avec l'effet tampon de la matière organique, la topographie, la météorologie, l'occupation du sol avec notamment la croissance végétale, les pratiques agricoles ou encore la dynamique de l'eau hors de la zone racinaire. Compte tenu du contexte conflictuel entre acteurs, la méthodologie et les outils imposaient de valider les résultats par rapport aux mesures de débit et de qualité des eaux. Enfin, la phase de réflexion prospective déjà engagée suggérait la capacité de test des orientations (choix de pratiques agricoles, d'aménagement de l'espace). En résumé, l'analyse de l'adéquation entre outils et besoins montrait alors toute la complexité à appréhender par un outil d'aide à la décision et surtout l'importance de disposer d'un outil robuste.

SWAT, un modèle transposable

SWAT, développé à l'United States Department of Agriculture-Agricultural Research Service (Neitsch *et al.*, 2005), conçu pour des bassins versants de quelques centaines à plusieurs milliers de kilomètres carrés, est un modèle semi-distribué estimant les flux d'eau, de nutriments, de pesticides et de sédiments à la surface du sol, dans la zone racinaire, dans la nappe souterraine et dans les cours d'eau. Ce type de modèle s'inscrit dans la ligne des modèles conceptuels construits à partir d'une base physique. Cette expérience a été réfléchiée dans la continuité des recherches menées sur les bassins du Rochereau en Vendée et du Moine en Maine et Loire (Bioteau *et al.*, 2002).

Analyse et spatialisation des pratiques agricoles

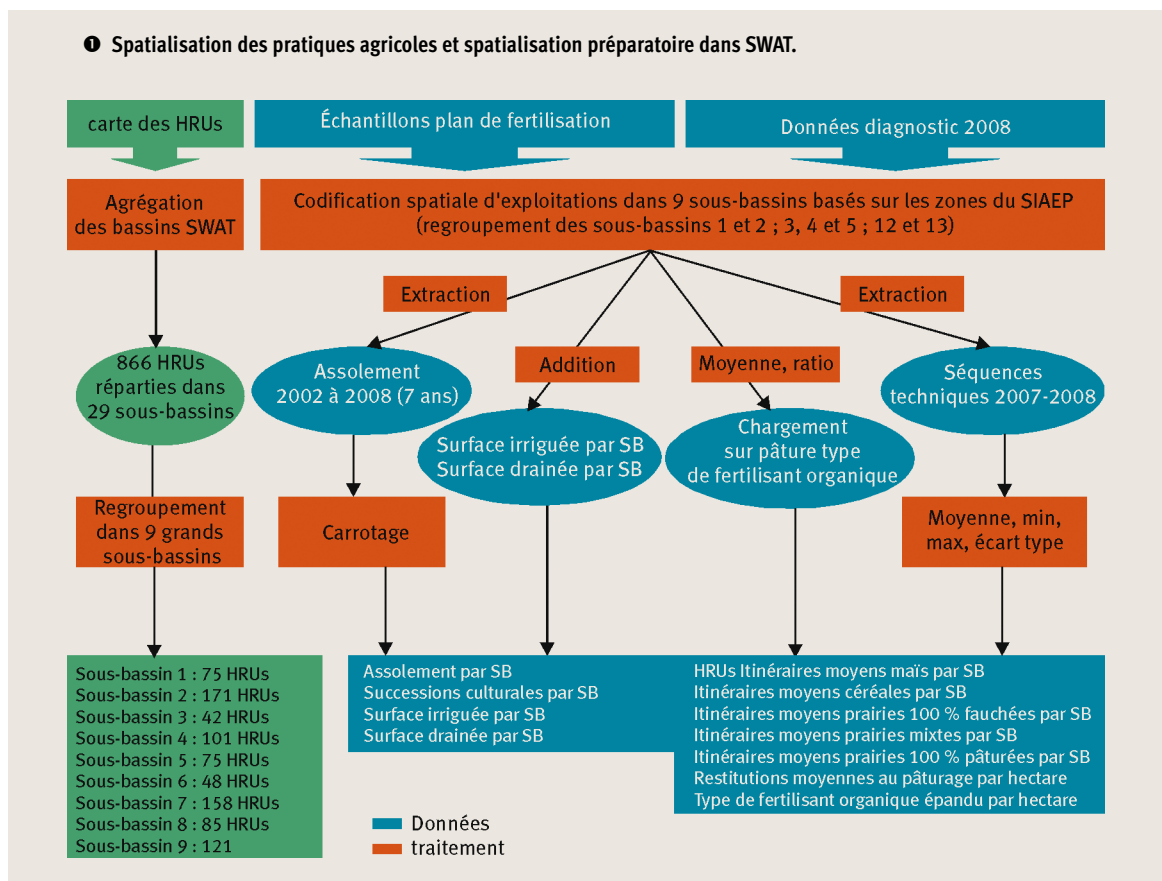
Les pratiques agricoles associées aux cultures prennent en compte les dates de semis, de récolte, les apports en nutriments (azote et phosphore), les pratiques phytosanitaires, le travail du sol, le maintien de résidus et les rotations. Les pratiques peuvent être différenciées pour chaque unité élémentaire de calcul (*Hydrologic Response Unit* ou HRU) afin d'introduire, s'il y a lieu, une variabilité spatiale.

Analyse des pratiques agricoles

Avant d'implémenter le modèle, l'analyse avec la description des pratiques agricoles constitue l'étape stratégique du diagnostic initial. La description proprement dite s'appuie sur deux analyses constituant les descripteurs des dynamiques agricoles d'un point de vue agronomique (Gomez *et al.*, 2002) :

- les séquences techniques : suite ordonnée des interventions culturales portées sur un couvert végétal pour en tirer une production ;
- les successions culturales : suite ordonnée de cultures implantées sur une même parcelle sur un pas de temps pluriannuel.

1 Spatialisation des pratiques agricoles et spatialisation préparatoire dans SWAT.



L'objectif principal de cette analyse consiste à discriminer les exploitations du bassin versant pour établir des exploitations types apportant les informations nécessaires à la modélisation de la circulation d'éléments dissous, avec en particulier l'azote (nature, date et type d'effluent épandu ou d'apport minéral, assolement et itinéraire technique). Néanmoins, l'enquête sur les pratiques n'ayant pas été conçue dans un but de modélisation, les données collectées ont requis un travail de spatialisation.

Spatialisation des données agricoles

Pour concevoir et argumenter ce choix de spatialisation, la première étape consistait à traduire l'information dans un format adéquat à la base de données et géo-référencée pour chaque site d'exploitation. La deuxième étape conduit au choix définitif de spatialisation dépendant de l'information disponible et des contraintes du modèle. Dans ce cas, ce sont les douze territoires définis par le syndicat d'alimentation en eau potable qui servent de bases pour segmenter les pratiques. Basés sur la topographie, ces douze territoires présentent des surfaces très inégales voire très faibles pour certains, suscitant ainsi des regroupements qui restaient malgré tout insuffisants.

Identifier les techniques culturales

Pour analyser les séquences techniques, l'identifiant de l'exploitation par parcelle aide à regrouper les données par sous-bassin et autorise à réaliser moyenne, écart-type, minimum et maximum pour chaque intervention culturale. Pour les neuf territoires, cinq itinéraires techniques moyens avec des niveaux de pressions correspondants ont été ressortis : le maïs, les céréales d'hiver, les prairies uniquement fauchées, les prairies uniquement pâturées, dites mixtes, et les prairies uniquement pâtu-

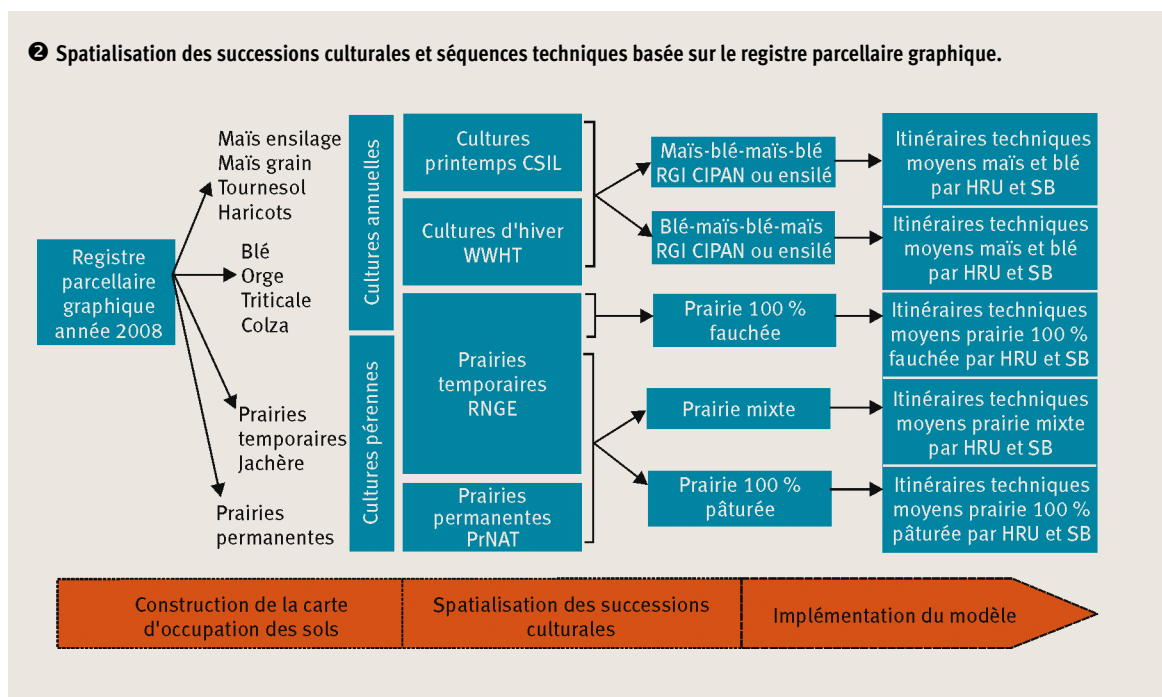
rées. Avec l'assolement de l'exploitation, deux autres informations ont également été analysées : l'importance surfacique du drainage et de l'irrigation.

Identifier la nature des cultures et les périodes d'inter-culture

Afin d'identifier ou non des successions culturales différentes dans le territoire de la Bultière, les historiques d'assolements extraits des plans de fertilisation ont fait l'objet d'une analyse par la méthode de fouille de données qui a extrait des régularités dans les séries temporelles d'occupation du sol. Cette méthode a été rendue possible grâce au logiciel Carottage, développé dans le cadre d'une collaboration entre agronomes et informaticiens (Mari *et al.*, 2002). Ce logiciel a pour but d'aider à l'analyse de données spatio-temporelles sur l'occupation du sol. Le programme s'appuie sur une méthode de classification numérique, les modèles de Markov cachés (*Hidden Markov Model*) dont l'hypothèse de départ repose dans l'idée que la distribution à un pas de temps donné dépend de la distribution aux pas précédents. Pour les besoins de l'étude, le logiciel a défini la fréquence des différentes rotations à l'échelle du bassin et des sous-bassins sur un pas de temps allant de 2002 à 2008, et cela suivant des états de distribution de couples de cultures « précédent-suivant » (modèles « 2 cultures ») et de triplets de cultures (modèles « 3 cultures »). Cette première analyse révèle des différences d'assolements moyens pour les neuf sous-bassins et quantifie l'importance des rotations sur un, deux ou trois ans vis-à-vis de surfaces plus pérennes.

Chaque parcelle ou donnée recensée reçoit au final un code territoire, défini comme variables supplémentaires permettant de spatialiser les pratiques qui seront implémentés dans SWAT suivant la zone du bassin versant (figure 1).

2 Spatialisation des successions culturales et séquences techniques basée sur le registre parcellaire graphique.



Spatialisation et implémentation du modèle

Dernière étape, l'implémentation dans le modèle suppose d'adapter la description des pratiques aux contraintes spatiales du modèle avec la HRU et le sous-bassin. Le lien entre la carte des HRU et la synthèse des pratiques agricoles est créé par la localisation des successions culturales. Celle-ci passe par la carte d'occupation des sols avec les surfaces HRU identifiées comme prairie temporaire, naturelle ou en cultures annuelles (figure 2). Cette étape révèle l'importance stratégique de la carte d'occupation des sols et de la connaissance pluriannuelle de localisation des surfaces agricoles, la carte d'occupation du sol devenant dans les faits une carte des successions culturales. La localisation géo-référencée des successions culturales n'étant pas connue, la surface en cultures annuelles est admise comme une surface intégrée dans une succession culturelle décrite dans l'analyse des rotations par sous-bassin. Par conséquent, la méthode consiste à reproduire annuellement, dans chacun des territoires choisis, l'occupation du sol moyenne en tenant compte des rotations dominantes.

Calibration et validation

Les mesures de débits journaliers utilisées pour le calage du modèle proviennent d'une station de mesure, située à l'entrée de la retenue d'eau potable et drainant plus de 85 % de la surface totale du bassin. Les concentrations mesurées de polluants (nitrates, phosphates, ammonium...) sont issues du suivi réalisé par le syndicat d'alimentation en eau à une fréquence irrégulière d'un prélèvement tous les quinze jours à ce même point de prélèvement. Après une phase d'initialisation de dix ans, la calibration est réalisée manuellement par comparaison des données mesurées et des données modélisées (moyenne, cumul, écart-type, coefficient de corrélation,

indice de Nash-Sutcliffe). Le modèle a été calibré sur trois périodes et validé sur deux périodes (tableau 1 et figure 3).

Pour valider l'utilisation du modèle, les résultats mensuels des flux de nitrate sont confrontés aux flux calculés à partir des mesures de concentrations et de débits. Au regard de l'année hydrologique 2007-2008 (figure 4), la tendance mensuelle est assez bien reproduite pour des pratiques correspondant aux années analysées. Particulièrement vrai pour le nitrate, l'utilisation du flux comme indicateur suppose une réflexion préalable sur le choix du mode de calcul et de sa marge d'erreur. La difficulté d'utilisation de l'indicateur repose sur le nombre et la périodicité des mesures car la stratégie d'échantillonnage, le traitement d'un échantillon et le calcul génèrent potentiellement des biais dans la représentation des flux de nitrate (Birgand *et al.*, 2009).

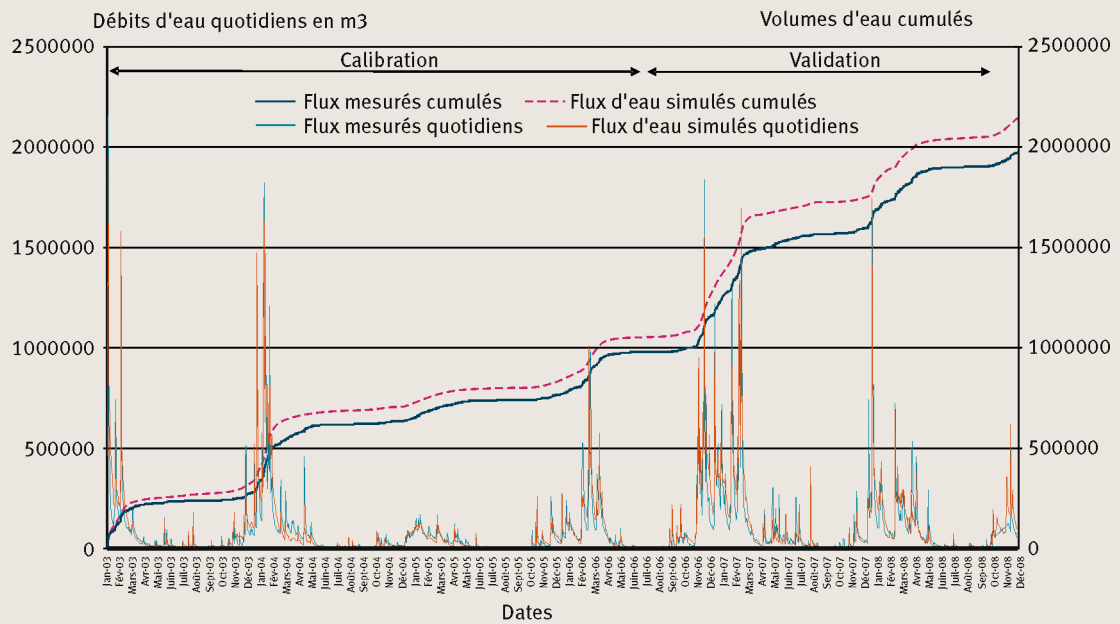
Résultats exploités dans le projet territorial

Une fois le modèle calibré et validé, les résultats à des échelles quotidiennes, mensuelles ou annuelles sont représentés soit avec Arcgis, soit avec tableur. L'interface graphique développée avec Arcgis facilite la visualisation des résultats au niveau des cours d'eau, HRU ou sous bassin.

La spatialisation du risque de pollution diffuse

L'objectif est d'obtenir une image du bassin avec une simulation comparable aux mesures pour observer les années correspondant aux pratiques en situation d'équilibre. La majorité des paramètres saisis (données d'entrées) et les flux d'eau, de nutriments (données de sorties) sont des données présentables au niveau de la HRU modélisée ou du sous-bassin versant. Dès lors, le modèle

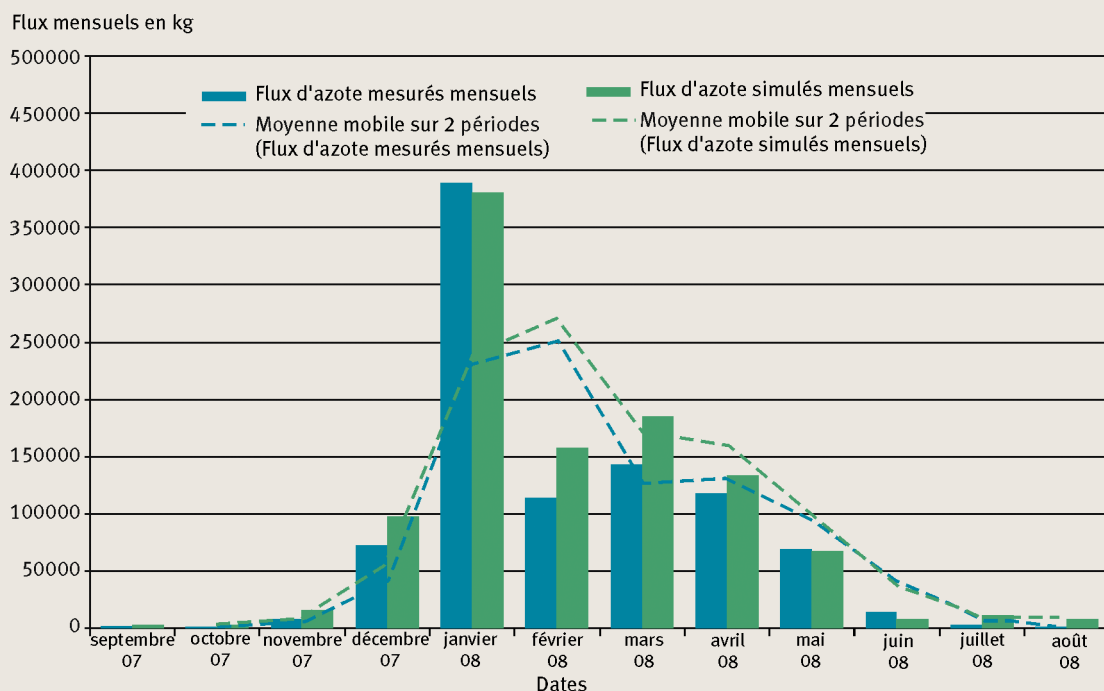
3 Chronique journalière des débits mesurés et simulés en m³



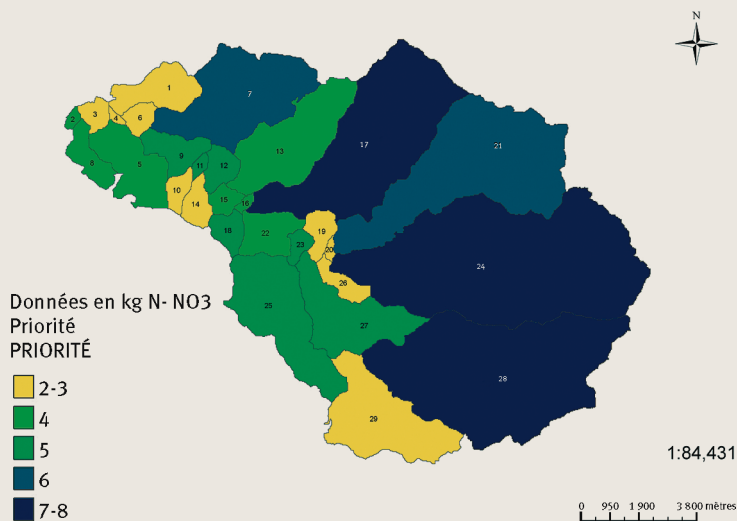
1 Efficience hydrologique du modèle sur les périodes de calage et de validation.

	Indice de Nash	R ²
Bultière calibration 2003-2004	0,73	0,88
Bultière calibration 2004-2005	0,78	0,89
Bultière calibration 2005-2006	0,78	0,89
Bultière validation 2006-2007	0,80	0,89
Bultière validation 2007-2008	0,70	0,84

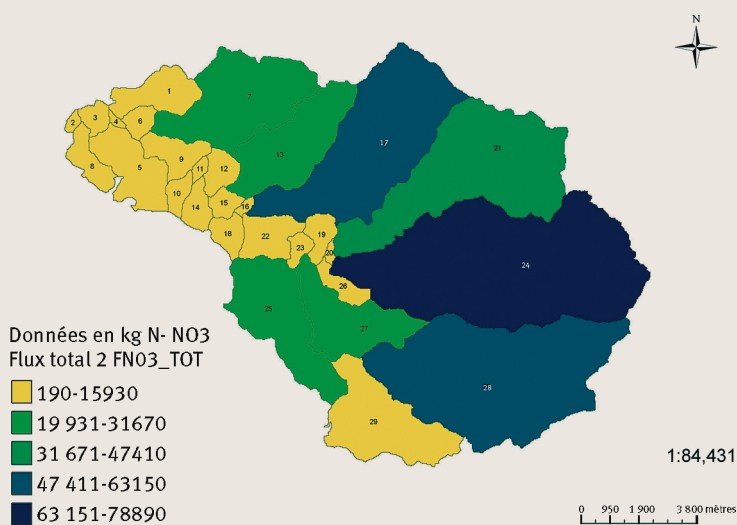
4 Comparaison mensuelle des flux de nitrate mesurés et simulés en kg



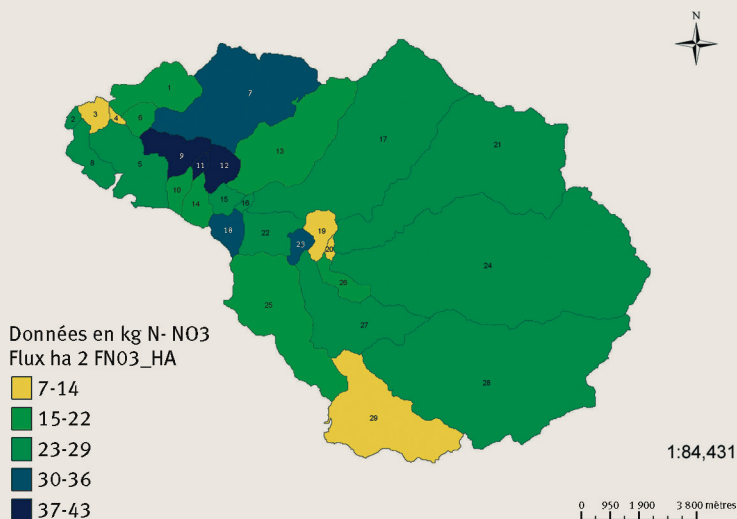
5 Carte des notes de priorité d'action par sous-bassin.



6 Carte des contributions en moyenne annuelle sur le bassin versant de La Bultière.



7 Carte des contributions en moyenne annuelle par hectare.



offre rapidement de nombreuses possibilités de visualisation ou de résultats potentiels (ruissellement par parcelle ou par sous-bassin, représentations des pratiques, localisation du drainage, de l'irrigation, etc.).

Les cartes de résultats ont ainsi été présentées aux différents acteurs locaux et institutionnels comme première base de discussion du plan d'action. Sur la Bultière, les travaux ont par exemple produit des cartes de représentation de flux de nitrate par sous-bassin. Envisageant un plan d'action ciblé sur certaines zones, cette réflexion souhaitait déterminer l'existence de zones contribuant plus significativement aux causes de dépassement. Pour répondre à cette aspiration, le modèle produit différents types de carte qui par croisement autorisent à construire un indicateur de priorités (figure 5). À la base de l'indicateur, la carte des contributions de chaque sous-bassin montre l'importance annuelle ou mensuelle des sous-bassins dans le flux global (figure 6). Ensuite, la carte du risque nitrate (figure 7) révèle le risque de transfert occasionné par le déséquilibre entre milieu et pratiques agricoles (le flux par sous-bassin est ramené par unité de surface pour supprimer le biais engendré par l'importance surfacique du bassin).

Cependant, les résultats ont confirmé la difficulté à justifier le concept de zones contributives prioritaires dans le cas d'une problématique nitrate. L'impact de plusieurs sous-bassins, régulièrement ciblés pour des concentrations très élevées, a été nuancé par leur faible contribution dans le flux total. Au contraire, malgré des concentrations plus faibles, des zones apparaissent comme contribuant significativement. Ce cas très pédagogique montre la limite importante de l'indicateur concentration dans une analyse spatiale. En raison de la taille du secteur (155 km²) et d'une agriculture aux niveaux de pressions peu différenciés (polyculture élevage intensif), une action visant à réduire le flux de 80% contraint à cibler plus de 65% du territoire.

Autres potentialités de l'outil, les pratiques comme la fertilisation du phosphore ou l'usage des produits phytosanitaires peuvent être représentées et traduites de la même manière. Dans cette expérience, les données sur la fertilisation organique et minérale du phosphore ont été saisies, mais en l'absence de calibration, les cartes de représentation du phosphore dissous et sédimentaires n'ont pas été présentées. Enfin, la représentation du risque de transfert phytosanitaire ne nécessite pas plus d'investissement supplémentaire que la calibration du modèle.

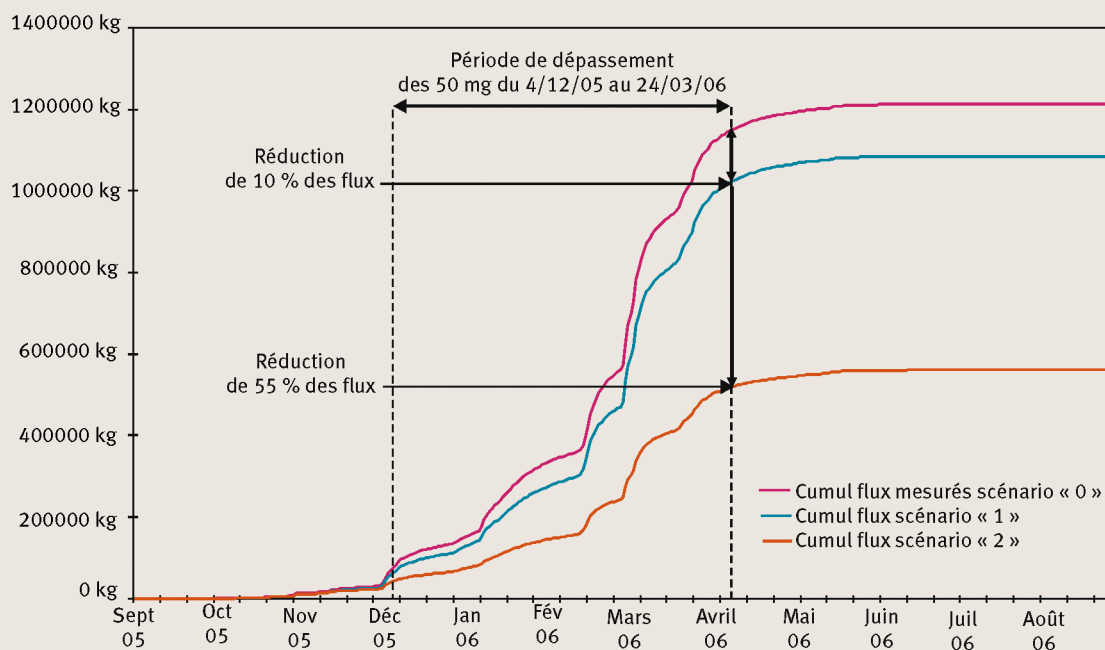
La simulation

L'évaluation de scénarios d'évolution de pratiques est le deuxième type de résultat obtenu avec l'impact et la quantification de chaque modification. Le concept est de modifier la simulation de base avec des scénarios envisageables sur des épisodes de dépassement connus (scénario *ex post*) et de les comparer au scénario zéro (figure 8). À l'initiative du comité de pilotage agricole, des scénarios à l'échelle du bassin versant ont été testés, de la réduction de fertilisation minérale ou organique à la modification de chargement, de travail du sol ou d'assolement avec l'introduction de légumineuses, jusqu'à

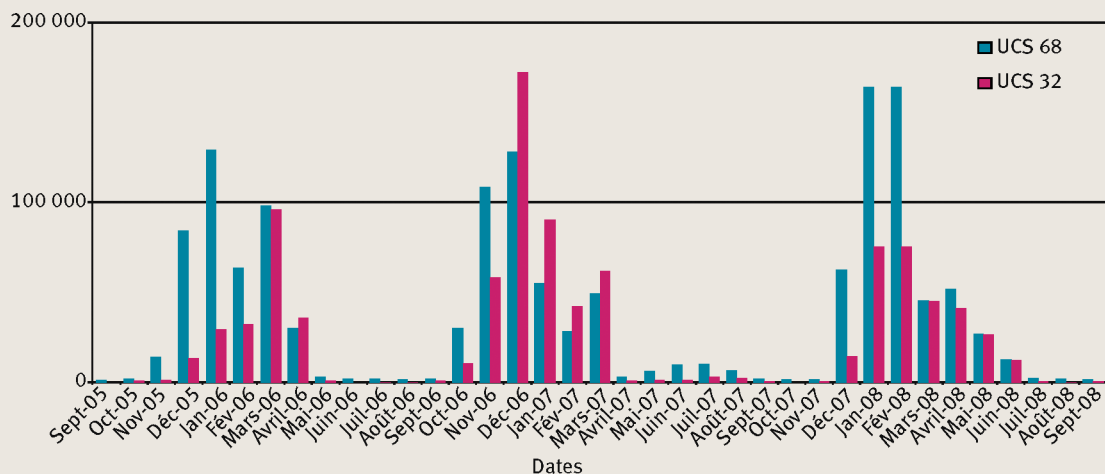
l'évaluation d'objectifs du précédent plan d'action. Dans le futur, l'acquisition de références sur l'intercropping (cultures associées) affinera l'incidence de ces cultures grâce au paramétrage du module de végétation. En fonction du contexte propre au bassin (niveaux de pression, assolement, pédologie), les résultats permettent de réévaluer certaines priorités dans les voies d'amélioration. Les scénarios permettent également de valider ou non les efforts entrepris par les acteurs vis-à-vis des effets liés à la variabilité climatique.

Autre résultat indépendant des pratiques, la simulation a également servi à quantifier l'influence pédologique (figure 9) avec le temps de transfert du nitrate et à montrer des zones pédologiques très différentes des sous-bassins sur la Bultière. Suggérée par la réflexion sur le zonage d'action, cette analyse des différences entre dynamiques de transfert, entre zones de déséquilibres et zones contributives constitue, dans ce cas, des arguments à décharges dans le choix de retenir le sous-bassin comme zone d'action, et justifie une entrée agronomique du zonage.

8 Comparaison en flux cumulés de nitrate de scénarios avec le scénario de base.



9 Comparaison mensuelle des transferts entre sols représentatifs du Nord et du Sud de la Bultière.



► Comparaison avec les propositions méthodologiques de la ZSCE

Dans les études menées sur le bassin de la Bultière par la chambre d'agriculture de Vendée, les acteurs agricoles ont disposé de critères pour évaluer l'efficacité de leurs actions et accompagner plusieurs étapes de réflexion. La démarche proposée se rapproche de la méthodologie proposée par le BRGM (Bureau de recherches géologiques et minières) et la DREAL (Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement) car elle accompagne le comité de pilotage dans la réflexion sur la notion de zones sensibles et sur les orientations à arbitrer dans le plan d'action. Néanmoins, dans cette zone de polyculture et d'élevages intensifs, ce cas a montré la difficulté à justifier le concept de zones prioritaires pour le nitrate. Or, la mise en œuvre du nouveau dispositif ZSCE pour la protection de la ressource impose de délimiter une zone sur laquelle s'applique le programme d'action, avec l'idée de prioriser des zones qui concentrent les efforts financiers. Pour y parvenir, la démarche propose la réalisation de deux phases d'études complémentaires.

La délimitation du bassin d'alimentation du captage (BAC)

La délimitation d'une zone à enjeu est un zonage de sa vulnérabilité intrinsèque par rapport à des facteurs de dégradation (la base méthodologique pouvant être différente suivant le polluant). D'après le guide méthodologique proposé par le BRGM (2007), la délimitation comporte trois phases :

- une étude hydrogéologique avec les caractéristiques du captage et la compréhension du système aquifère,
- la délimitation du BAC avec la portion de nappe alimentant le captage,
- l'identification de zones susceptibles d'influer sur la qualité de l'eau.

Dans le cas d'un système aquifère discontinu et peu fissuré comme la Bultière, la délimitation a été obtenue à partir des écoulements de surface, le bilan hydrologique étant validé au point de mesure. L'étude proposée ne propose pas de prendre en compte les modifications anthropiques de protection naturelle de l'aquifère, ni l'hétérogénéité de son système (prise en compte des discontinuités dans la conductivité hydraulique). Les cartes de résultats traduisent la vulnérabilité de la zone avec la couverture protectrice du sol (description du sol avec profondeur et texture) et l'infiltration-ruissellement, mais pas l'effet possible de discontinuités de l'aquifère. Dans le cas où une information spatiale est exploitable, le paramétrage actuel, basé sur l'hypothèse simplificatrice d'une homogénéité du comportement hydrologique, autorise à adapter le coefficient de vidange de la nappe des HRU ou sous-bassin identifiés. Enfin, l'échelle cartographique de la couche pédologique, modifiée en partie par un agronome, est peu adaptée à des bassins de cette taille dans l'optique d'obtenir une cartographie précise du risque sur les thématiques « érosion » ou « phytosanitaires ».

Le diagnostic territorial des pressions agricoles

Le diagnostic territorial des pressions avec l'ensemble des facteurs de dégradation des ressources ou des milieux suppose de localiser des zones pertinentes pour le programme d'action (photo 1). Considéré comme préparatoire au programme d'action agricole, il est désigné comme « Diagnostic territorial des pressions agricoles » (DTPA). Dans la méthodologie proposée, le comité de pilotage dispose de nombreuses informations agricoles car collectées à partir de tous les plans de fertilisation de la zone, la difficulté étant de les synthétiser. La démarche d'analyse a aidé à spatialiser les différentes pressions d'origines agricoles, à identifier des rotations ou des assolements. Cette analyse établit le lien entre pratique et problème environnemental et le valide par les mesures. L'analyse permet de ne pas s'arrêter à la comparaison des niveaux de fertilisation avec une population de référence, en traduisant les pratiques en fonction du potentiel agronomique en un niveau de risque. La simulation qui en résulte sert de point zéro à partir duquel les indicateurs et objectifs à construire seront suivis et analysés. Enfin, l'analyse par le modèle permet de mesurer des zones de sensibilité particulières (particularité topographiques, zones de ruissellement), de croiser des cartes de vulnérabilités intrinsèques et de tester des scénarii pour quantifier l'effet réel des lignes directrices proposées.

En revanche, elle ne caractérise pas les systèmes sur les choix de production et les itinéraires techniques constituant l'analyse des logiques de production. Sans disposer de bases cartographiques extrêmement précises, elle ne peut inclure d'informations sur les structures paysagères, ni d'analyse poussée sur les surfaces de zones urbaines (prise en compte de rejets issus de références américaines suivant la densité de population ou le type d'aménagement). Enfin, des phases de réflexion complémentaires sur la méthodologie pourraient encore compléter l'analyse par la mise en place d'indicateurs sur les volets environnementaux et économiques en corrélation avec les simulations du modèle.

Conclusion et perspectives

Du point de vue de la démarche territoriale, l'outil SWAT a confirmé le premier intérêt de relancer les réflexions du comité de pilotage agricole. Son utilisation a ainsi permis d'évaluer et de hiérarchiser les différentes propositions inscrites dans le projet du contrat territorial. Tout en ne prétendant pas à être un outil de gestion des politiques publiques, l'outil montre deux avantages indéniables vis-à-vis d'un indicateur : sa polyvalence sur les pollutions diffuses et son adaptation possible en termes d'objectif de résultats qui sera fonction du degré d'investissement. Dans le cadre d'une méthodologie ZSCE, l'outil montre ses limites dans la caractérisation hydrogéologique. Néanmoins, en exploitant au mieux les données disponibles et sans investissement supplémentaire, il permet d'atteindre l'objectif d'accompagner le comité de pilotage vers l'évaluation du plan d'action. La mise en œuvre du modèle sur le bassin versant offre encore énormément de perspectives sur les cartes de vulnérabilité



❶ Le diagnostic territorial des pressions agricoles permet d'identifier les pratiques et les systèmes de production les plus « à risque » pour la qualité de l'eau des captages et de proposer des mesures adaptées aux problèmes.

intrinsèque (nitrate, phosphore, produits phytosanitaires, érosion), sur la simulation (rotations par type de sol, les dates d'apport), mais aussi sur la gestion quantitative de l'eau avec le module de végétation (scénarios climatiques alternatifs).

Ces actions de recherches confirment le lien que les collectivités territoriales sont susceptibles de réaliser rapidement entre les observatoires des activités agricoles et l'observatoire des réseaux de qualité d'eau. Néanmoins, l'étude a été particulièrement éclairante sur les difficultés à traiter et à analyser les nombreuses données disponibles. Elles résultent principalement de l'absence d'informations traitées dans le format adéquat pour la gestion en bases de données. Bien que SWAT offre une souplesse dans l'intégration des données, celles-ci doivent être adaptées et structurées pour constituer les entrées du modèle. Basés sur le géo-référencement en base de données, le développement des outils en ligne de gestion de fertilisation connecte directement localisation culturale pluriannuelle et pratiques agricoles, et trouve une valorisation directe dans la perspective d'une aide à la décision sur un enjeu territorial.

En attendant ce développement, la photo-interprétation ou télédétection reste une piste d'amélioration importante des résultats (Ruelland *et al.*, 2004).

Véritable instrument de recherche appliquée, SWAT suppose un investissement évident en méthodologie mais les données ainsi que les ressources logistiques existent dans les services de géomatique. Sous réserve d'une organisation transversale entre les métiers d'agronomes et de géomaticiens, ce type d'outil témoigne de la possibilité de progrès sensibles et rapides dans les domaines de la représentation et du fonctionnement de ces processus complexes. ■

Les auteurs

François LE FLAHEC
Agricultures & Territoires
Chambre d'agriculture de Vendée
12 place du Marché
85170 Le Poire-sur-vie
f.leflahec@gmail.com

QUELQUES RÉFÉRENCES CLÉS...

- ❶ BIOTEAU, T., BORDENAVE, P., LAURENT, F., RUELLAND, D., 2002, Évaluation des risques de pollution diffuse par l'azote d'origine agricole à l'échelle de bassins versants : intérêts d'une approche par modélisation avec SWAT, *Ingénieries-EAT*, n° 32, p. 3-13.
- ❷ BIRGAND, F., FAUCHEUX, C., GRUAU, G., AUGÉARD, B., MOATAR, F., MEYBECK, M., BOUÉDO, A., BORDENAVE, P., 2009, Une approche quantitative du rôle de la fréquence d'échantillonnage sur les incertitudes associées aux calculs des flux et des concentrations moyennes en nitrate en Bretagne, *Ingénieries-EAT*, n° 59-60, p. 23-37.
- ❸ BRGM, 2007, *Délimitation des bassins d'alimentation des captages et cartographie de leur vulnérabilité vis-à-vis des pollutions diffuses*, Guide méthodologique, 70 p.
- ❹ GOMEZ, E., MIGNOLET, C., SCHOTT, C., BRUNSTEIN, D., BORNERAND, C., LEDOUX, E., BENOÎT, M., TOURNEBIZE, J., DE LOUVIGNY, N., PONSARDIN, G., MARY, B., 2002, *Dynamiques agricoles et pollution nitrique diffuse : modélisation intégrée du transfert des nitrates sur le bassin de la Seine*, Rapport de synthèse, PIREN Seine phase III., 52 p.
- ❺ MARI, J.-F., LE BER, F., BENOIT, M., 2002, Segmentation temporelle et spatiale de données agricoles, *Revue internationale de géomatique*, n° 12, p. 439-460.
- ❻ NEITSCH, S.L., ARNOLD, J.G., KINIRY, J.R., WILLIAMS, J.R., 2005, *Soil and Water Assessment Tool, Theoretical Documentation*, Version 2005, Agriculture Research Service, USDA, 494 p.
- ❼ RUELLAND, D., LAURENT, F., TRÉBOUET, A., 2004, Spatialisation de successions culturales à partir d'images HRV de SPOT pour une intégration dans un modèle agro-Hydrologique, *Télédétection*, n°4, p. 231-250.