

## Retour d'expérience sur les sites expérimentaux : de la parcelle au bassin versant

La Rédaction.

### Introduction

Durant les dernières décennies, de nombreux sites expérimentaux ont été mis en place en France dans des cadres différents et pour des finalités différentes. Le tableau 1, qui ne prétend aucunement à l'exhaustivité et doit donc plutôt être considéré comme un indicateur de tendances, témoigne de la diversité géographique des sites, de l'éventail des thèmes traités et néanmoins de la relativement faible intégration de la composante eau souterraine dans les approches retenues. La plupart de ces sites, en effet, ont concerné les eaux de surface, qu'il s'agisse d'étudier l'hydrologie, l'érosion des sols ou les transferts de nitrates ou de pesticides. Globalement, deux types de dispositifs peuvent être distingués : des dispositifs mis en place par la recherche, sur des durées longues, pour enrichir les connaissances sur les mécanismes de transfert ; des dispositifs mis en place par le développement, sur des durées courtes, pour mettre en place des diagnostics ou

des expérimentations de reconquête de la qualité de l'eau.

Même si la composante eau souterraine n'est souvent pas prise en compte, les données sur les eaux de surface couvrent une partie de la filière de transfert. À ce titre, elles présentent un intérêt pour la compréhension des systèmes et l'impact de l'évolution des pratiques agricoles. On soulignera que beaucoup de sites ne sont plus en activité, que la tendance actuelle est à concentrer les efforts sur un petit nombre de sites historiques et celle du développement, d'assurer un suivi de la ressource en eau. Cette situation s'explique notamment par la difficulté à faire accepter des recherches de longue durée, donc impliquant un financement pérenne, sur un site donné. Il nous a ainsi paru intéressant de regrouper sous un seul article un aperçu des résultats obtenus sur les principaux bassins expérimentaux suivis actuellement (Fig. 1) et dont la thématique concerne le transfert vers le milieu des nutriments (N, P, K) et des produits phytosanitaires.

Site (par ordre alphabétique des départements)	Durée	Finalité
Solenzara : Cannone et Polischellu (2A)	1979-1989 ?	Bilans d'entrée - sorties (quantitatifs et qualitatifs et érosion au niveau du bassin et des sous-bassins en contexte méditerranéen).
Cherêt (02)	1981-1985	Bilan d'azote dans un système bien maîtrisé de petits aquifères perchés.
Buech : St-Genis, Savournon, Mison (05)	1986-1988	Érosion des Terres noires (processus d'altération, hydrodynamique, érosion chimique et mécanique).
*Draix (05)	Depuis 1979	Transport des sédiments, érosion et hydraulique torrentielle.
Montaut (09)	1987-1990	Étude des méthodes susceptibles d'abaisser les teneurs en nitrates de la nappe : fertilisation raisonnée, migration raisonnée, utilisation d'engrais verts.
Capdenac (12)	1987-1993	Relargage des métaux (Cd) à partir des alluvions. Pollution issue de l'usine de Viviez.
*Baget (09)	Depuis 1968	Compréhension des transferts (hydrodynamique, hydrochimie des majeurs) dans un système karstique peu anthropisé (pas de recherche sur transferts de nitrates et pesticides).
*Ruiné - Aume Couture (16)	Depuis 1991	Hydrologie intégrée à différentes échelles de bassins versants. Validation des techniques d'échantillonnage passif.
La Noé sèche (22)	1981-1984	Étude des pollutions diffuses issues des activités agricoles.
Arrou (28)	1972-1988	Fonctionnement hydraulique et hydrologique ; suivi de l'azote et du phosphore exportés par le drainage. Partie d'un ensemble de sites de suivi du drainage agricole aux côtés de Courcival (72), Bung (60), Igney (54), Rambouillet (78), St-Laurent-de-la-Pée (17).
Carbonne (31)	1988-1990	Paramètres de fonctionnement de la dénitrification.
Auradé (32)	1980-1989	Impact de l'occupation du sol (forêt, polyculture, culture intensive de céréales) sur la qualité des eaux.
Verdon (33)	1991-1992	Étude de l'extension du biseau salé vers l'intérieur des terres.
Lacanau (33)	1991-1992	Pilote de géoépuration d'eaux usées par aspersion.
Marsillargues-Fréjorgues (34)	1987-1989	Hydrodynamique et hydrochimie de l'aquifère plio-quaternnaire de l'est montpellierain, qui surmonte les cailloutis villafranchiens. Incidences de la fertilisation et de l'irrigation.
*Peyne (34)	Depuis 1991	Projet ALLEGRO : approche pluridisciplinaire du bassin versant de la Payne, affluent de rive droite de l'Hérault, occupé principalement par des chênes verts à l'amont et des vignobles et des vignobles à l'aval. Trois approches complémentaires ont été développées : à l'échelle du bassin versant entier (Payne) et des deux sous-bassins de Ru de fer (forêt) et de Roujan (vignobles). Aujourd'hui, les recherches sont concentrées sur le bassin de Roujan (0,91 km <sup>2</sup> ).

## POLLUTION DES AQUIFÈRES PAR LES NITRATES ET LES PESTICIDES

Site (par ordre alphabétique des départements)	Durée	Finalité
Messac (35) et Breuilpont (27)	1983-1990	Essais de dénitrification artificielle en nappe alluviale et craie.
Kerbernez (29)	Depuis 1991	Fonctionnement hydrologique et hydrochimique d'un ensemble de très petits bassins versants. Suivi des nappes et des cours d'eau. Temps de résidence de l'eau. Analyse de la recharge de la nappe en milieu. Incidence des pratiques agricoles sur les transferts de solutés (nitrate principalement). ORE Agrhys.
Nouvoitou (35)	1979-1984	Transferts d'eau à l'échelle d'un bassin élémentaire
Fougères (35)	1988-1991	Étude hydrique des sols, hydrologie d'un microbassin, dynamique des formations superficielles.
La Fontaine du Theil (35)	1998-2005	La modification des pratiques culturales (matériel d'épandage, désherbage, entretien des limites de parcelles, gestion de l'interculture...) et les aménagements (zones tampons enherbées, installation de talus et haies, restauration zones humides...) ont permis de réduire les pollutions de pesticides de façon significative.
Côte St-André (38)	1989-1992	Étude des transferts vers la nappe des pollutions diffuses d'une ferme expérimentale dans la plaine du Rival. Contexte géologique de cailloutis fluviaux avec interlits argileux.
Site M27 du CENG (38)	Depuis les années 70 ?	Processus hydrochimiques contrôlant la qualité de l'eau dans la nappe alluviale du Drac. Échelle de la parcelle.
Bonnaud (39)	1974-1979	Caractéristiques de transfert de substances chimiques dans des alluvions sablo-argileuses de vallée. Étude d'un doublet hydrothermique (stockage d'eau chaude en profondeur).
Villamblain (45)	1991-1993	Fonctionnement hydrique des sols, transfert de polluants vers la nappe de Beauce.
Mézières-lès-Cléry (45)	1978-1983	Étude de la migration en terrain semi-perméable d'effluents issus de boues industrielles (différents types de boues).
*St-Loup-de-Gonois, sources des Trois Fontaines (45)	Depuis 1988	Transfert des pesticides en milieu karstique. Le fonctionnement du karst influe directement sur les chroniques de qualité des eaux. Les bilans matière montrent que de très faibles quantités de pesticides suffisent à contaminer la nappe.
Mt Lozère (48)	1980-1989	Bilan des entrées – sorties au niveau hydrologique et géochimique dans un contexte peu anthropisé.
*La Jaillière (49)	Depuis 1980, 1987 pour le site drainage	Transfert de nutriments et de produits phytosanitaires à l'échelle de la parcelle.
*Naizin (56)	Depuis 1971	Fonctionnement hydrologique et hydrochimique. Suivi des nappes et des cours d'eau. Temps de résidence de l'eau. Analyse de la recharge de la nappe en milieu d'altérites. Incidence des pratiques agricoles sur les transferts de solutés (nitrate, COD), des particules (MES) et du phosphore. Rôle de l'aménagement sur les flux. Sites Internet NitroEurope, ORE Agrhys.
Sainghin-en-Mélantois (59)	1977-1983	Mécanismes d'acquisition de la qualité chimique de l'eau en contexte de limons sur craie.
Fretin (59)	1977-1980	Identification et surveillance de la pollution liée à la décharge de Fretin. Poursuite par une surveillance contractuelle.
Emmerin-Ancoisne (59)	1984-1988	Réhabilitation du champ captant et étude de la dénitrification naturelle.
*Lacs Pavin (essentiellement) /et Aydat (63)	Depuis les années 70	Fonctionnement des communautés biologiques (plancton, bactéries...) et géochimie des eaux.
Ste Colombe et Réart (66)	1991-1993	Érosion en contexte viticole : vignes actives (Ste Colombe), vignes abandonnées (Réart).
Campoussy, Montalban-le-Château (66)	1988-1992	Fonctionnement hydrologique et dispersion géochimique en contexte granitique.
Vosges (Fecht, Ringelbach, Strengbach) (68)	1975-1990	Structure et fonctionnement des systèmes « eau - sol - plante » dans les bassins-versants de moyenne montagne. Dont programme DEFORPA <sup>1</sup> (1985-1990) qui porte notamment sur le bassin du Strenbach.
Illzeusern (68)	1980-1990	Approche hydrologique du système de l'ill et des inondations ; étude des transferts vers la nappe.
*Ardières-Morcille (69)	Depuis 2003	Effets de la viticulture sur les systèmes aquatiques.
Grand-Gravier (69)	1986-1992	Étude de l'effet filtre des berges.
Torrent de l'Église (73)	1988-1991	Étude des facteurs de déclenchement des crises dans le bassin. Établissement d'un zonage des instabilités potentielles.
*Blaves et Redon (74)	Depuis 1978	
*Orgeval (77)	Depuis 1962	Hydrologie et transfert de solutés dans un contexte de grande culture, sur substrat sédimentaire, anthropisé par le drainage agricole.
Balloy (77)	1985-1986	Suivi d'épandage de gazole et de composés organohalogénés dans un contexte d'alluvions sur substrat crayeux..
Hallue (80)	1966-1975	Mécanismes d'infiltration de la pluie dans la nappe de la craie (porosité intergranulaire et porosité de fissure).
*Warloy-Baillon (80)	2005-2009	Rôle de la zone non saturée de la craie dans le déclenchement des crues par remontée de nappes. Le site fait partie du bassin de la Hallue et le programme actuel relève du programme Flood.
Nolet (82)	1985-1986	Contamination de la nappe des alluvions de la Garonne par nitrates et pesticides.
Pissonnel : Les Blais, Les Férauds et Le Rimbaud (83)	1989-1991	Érosion en contexte viticole. Programme MEDALUS <sup>2</sup> .

1. Dépérissement des forêts par les pluies acides.

2. Mediterranean Desertification And Land Use. Ce programme européen a été développé en trois phases, de 1991 à 1998. Il relève du programme Environnement et Climat ENV 2C.

Site (par ordre alphabétique des départements)	Durée	Finalité
*Real Collobrier (83)	Depuis 1966	Suivi du cycle de l'eau en milieu rural forestier de la zone méditerranéenne.
Pays de Caux à Ht-Artois et Laonnais	1988-1991	Érosion des sols dans les zones de grande culture : 20 bassins versants.
Ronchères (89)	1979-1991	Influence du drainage sur le régime et la qualité des eaux.
*Boigneville (91)	Depuis 1991	Effet de la conduite de culture (rotation, culture intermédiaire) et du travail du sol sur les pertes en nitrate (bougies poreuses).
*Montreuil-sur-Epte (95)	1999-2009	Transfert des pesticides dans le milieu poreux (sables de Cuise). Malgré l'abandon de l'usage de l'atrazine, celle-ci (ou ses métabolites de dégradation) sont toujours présents dans les eaux, soulignant la lenteur des processus pour remédier à une situation de pollution.

Tableau 1. Revue historique des sites expérimentaux, passés ou en activité (sites marqués d'un astérisque).

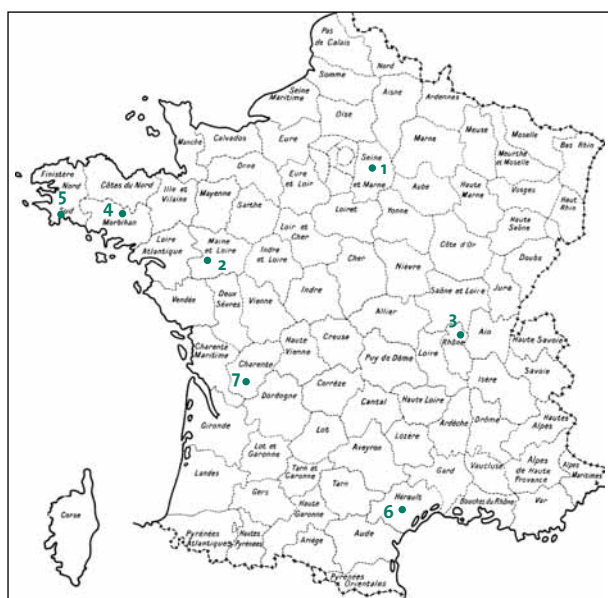


Figure 1. Localisation des sites expérimentaux faisant l'objet d'une présentation détaillée.

Légende : 1. Orgeval, 2. La Jaillière, 3. Ardières-Morcille, 4. Naizin, 5. Kerbenz, 6. Roujan, 7. Ruiné.

### Bassin de l'Orgeval<sup>3</sup>

Le bassin de l'Orgeval couvre 104 km<sup>2</sup> de Brie, à 2 km au NE de Coulommiers (77) et son substrat est constitué de limons sur argiles surmontant les Calcaires de Brie (Fig. 2). Le bassin est occupé principalement par la grande culture (80%), dans une moindre mesure par la forêt (12%) et l'urbain (8%). La rotation des cultures s'étale en général sur 2 ans : le blé (éventuellement l'escourgeon), qui couvre la moitié des surfaces, est en alternance avec des cultures de printemps (féverole, maïs, betterave, lin fibre). La gestion de l'interculture est variable : moutarde, déchaumage, désherbage.

Suivi depuis 1962, c'est le plus ancien bassin français encore opérationnel et il est représentatif des bassins ruraux ayant subi de très profondes modifications liées à l'activité agricole. Depuis 2007, un groupement d'intérêt scientifique (GIS ORACLE<sup>4</sup>) a été mis en place intégrant un

ensemble de partenaires scientifiques d'Île-de-France.

Au cours des premières décennies, le bassin se présentait comme un tout, dans lequel étaient toutefois individualisé un sous-bassin de 7 km<sup>2</sup> (Mélarchez), dans l'angle nord-est du bassin, au nord de Rebais, et une parcelle instrumentée (30 x 20 m) à l'exutoire central de Boissy-le-Châtel. Les travaux ont porté sur une diversité de thèmes concernant la modélisation pluie - débit, l'impact des pratiques agricoles sur la qualité des eaux, le transport des matières en suspension et de l'azote et l'effet du drainage sur la recharge et la qualité des eaux souterraines. Le suivi des nitrates a été réalisé sur le sous-bassin du Mélarchez depuis 1976 et l'impact des pratiques agricoles sur trois parcelles (21,6 ha) suivies par un collecteur naturel (source) et un collecteur de drainage.

Depuis les années 1990-2000, le bassin a été subdivisé en 5 sous-bassins emboîtés :

- sous-bassin agricole de 130 ha, drainé à 100% ;
- sous-bassin forestier de 110 ha ;
- M<sub>1</sub> : sous-bassin de 860 ha, incluant les deux précédents ;
- M<sub>2</sub> : sous-bassin de 4 570 ha ;
- M<sub>3</sub> : sous-bassin qui correspond à l'ensemble du bassin de l'Orgeval (10 400 ha).

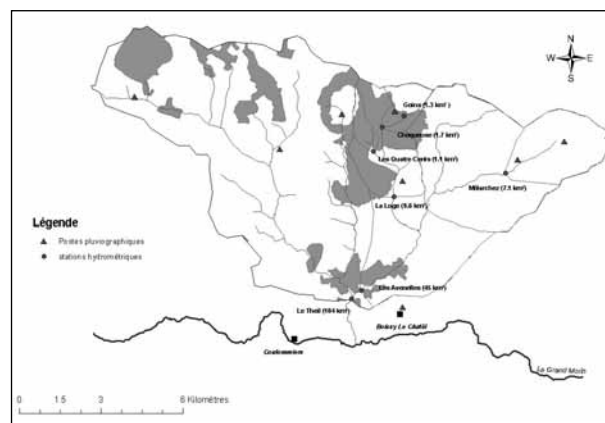


Figure 2. Le bassin de l'Orgeval et ses sous-bassins (document Cemagref).

3. Remerciements à Julien Tournebize, Cemagref Antony, pour son aide dans l'élaboration de ce sous-chapitre.

4. Observatoire de recherche sur les bassins versants ruraux aménagés, pour les crues et les étiages.

Regroupe : CEMAGREF, Univ. P et M Curie, CNRS, École Normale Sup. ULM, INRA, Institut des sciences et industries du vivant et de l'environnement, Institut Pierre Simon-Laplace, DIREN IDF, Météo France.

Les précipitations (moyenne 673 mm/an sur la période 1963-2006, réparties sur toute l'année) sont mesurées en 7 points répartis sur le bassin. L'évapotranspiration annuelle représente une moyenne de 640 mm. Chaque sous-bassin est équipé à son exutoire d'une station de mesure des débits et d'un préleveur automatique d'échantillon d'eau, analysé ensuite pour azote minéral.

Durant la dernière période d'étude (2005-2007) les débits mesurés à l'exutoire du sous-bassin agricole ont été faibles durant les périodes hivernales (2 mm en 2005 à 51 mm en 2007 alors que la moyenne interannuelle se situe autour de 200 mm) et nuls pendant l'été. Par contre le débit n'a jamais été nul dans le sous-bassin M1 (mixte agricole et forestier), atteignant 57 mm en 2006-2007, ce qui implique une contribution de 37 mm de l'aquifère de Brie, en s'appuyant sur une répartition 50/50 entre couvert forestier et parcelles agricoles. Dans le sous-bassin M2, le cumul est de 183 mm en 2007. Il n'atteint que 129 mm au niveau de M3 en raison d'infiltrations karstiques.

Les teneurs en nitrates dans les eaux ne dépassent pas 56 mg/l à l'échelle de l'ensemble du bassin, correspondant à 90% du signal azote en moyenne annuelle à l'échelle du bassin. Par contre, les teneurs dépassent 100 mg/l à l'aval du bassin agricole, avec une grande fluctuation (0 à 280 mg/l) pour les eaux de drainage. Dans le sous-bassin forestier, les concentrations en sortie n'excèdent pas celles de précipitations. L'analyse des flux de nitrates aux différentes échelles montrent que ceux-ci sont éliminés entre 3 et 71% selon les processus impliqués : dénitrification *in stream* et riparienne, et rétention dans les aquifères.

Pour minimiser ces transferts d'azote, il apparaît que la seule réduction des intrants ne permet pas d'atteindre des concentrations en sortie de parcelles inférieures à 50 mg/l. Des mesures complémentaires sont donc nécessaires en agissant sur les petites sections des cours d'eau en favorisant les échanges avec les zones hyporhéiques et les zones tampons ripariennes par le biais du maintien de surfaces enherbées (dont les berges), de haies et d'arbres<sup>5</sup>. Cette action doit être couplée vers avec le transfert des eaux de drainage amont vers des zones humides naturelles ou artificielles dans lesquelles doivent être favorisés un paysage complexe et hétérogène et une forte diversité biologique.

### Station expérimentale de La Jaillière (49)<sup>6</sup>

En 1987, dans le cadre de l'opération « Secteur de référence drainage », un dispositif a été installé par le Cemagref sur la station expérimentale de La Jaillière, la partie agronomique de la station relevant de l'ITCF<sup>7</sup>, organisme intégré depuis dans Arvalis Institut du Végétal.

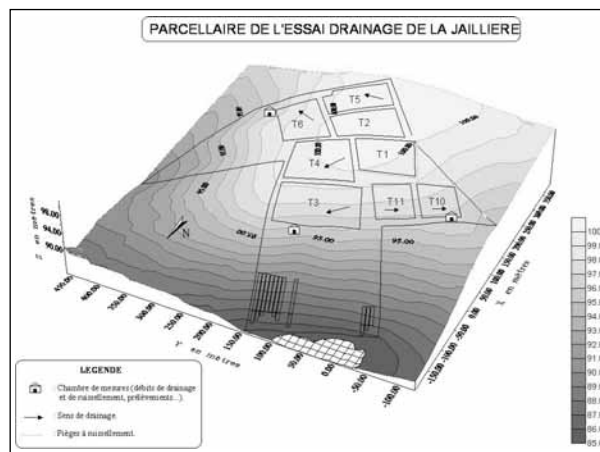


Figure 3. Répartition des parcelles d'étude dans la station de La Jaillière.

Cette station, qui a démarré en 1980, se situe à 40 km à l'ouest d'Angers, à proximité de St-Sigismond (La Chapelle-St-Sauveur). Le dispositif porte sur 6 parcelles, drainées ou non, d'un hectare environ de superficie unitaire (Fig. 3).

L'expérimentation drainage a pratiquement démarré d'emblée sur quantité et qualité. Le bilan des concentrations mensuelles en ions nitrate en sortie de parcelle drainée, sur la période 1988-2004 montre une saisonnalité marquée et reproductible des exportations de nitrates, avec un pic en cloche entre novembre et mars. Les variations de concentrations en nitrates au cours de l'année s'expliquent par la présence de nitrates dans différentes couches du sol : couche de surface (stock du à un apport par fertilisation ou à une production par minéralisation) et couche profonde (reprise du stock de nitrate par les eaux de pluie). Cette typologie est reproductible toutes les années, quel que soit le site d'observation. En outre, les expérimentations conduites ont montré que le lessivage se faisait selon un cycle de 5 ans correspondant à 1 000 mm d'eau drainée et à un temps de parcours entre l'interdrain et le drain situé à 90 cm de profondeur. Les ruptures dans les cycles correspondent aux années de sécheresse.

Diminuer les transferts de nitrates impose d'agir sur les reliquats de nitrates dans les sols en début d'hiver en améliorant les pratiques agricoles : fractionnement des apports, mesures agri-environnementales et cultures intermédiaires pièges à nitrates (CIPAN). Les effets de ces mesures se sont clairement fait sentir sur les teneurs en nitrates des eaux drainées, une fois qu'elles ont été mises en place à partir de 1999 sur les deux types de successions de cultures testées à La Jaillière (maïs-blé et pois-blé-colza) en permettant une réduction de 40% de la pollution azotée. Cette opération a été conduite en maintenant les niveaux de fertilisation azotée et de production des différentes cultures. Ce dispositif permet aussi de suivre les

5. Conformément au décret n°2005-634 du 30 mai 2005.

6. Remerciements à Julien Tournebize, Cemagref Antony, pour son aide dans l'élaboration de ce sous-chapitre. Courriel : julien.tournebize@cemagref.fr

7. Institut technique des céréales et fourrages.

transferts de phosphore ainsi que des molécules issues des produits phytosanitaires.

## Site atelier Ardières - Morcille (SAAM, 69)<sup>8</sup>

L'Ardières, affluent de la Saône, fait 28 km de long et son bassin versant couvre environ 220 km<sup>2</sup> entre 170 à 750 m d'altitude. La Morcille (8 km d'extension ; bassin versant de 4,8 km<sup>2</sup>) est un de ses deux affluents (Fig. 4). La vigne constitue l'occupation dominante du bassin (44%, et 80% du bassin de la Morcille), suivie par pâturages (36%) et zones boisées (20%). L'objectif du SAAM, mis en place en 2003, est de traiter des conséquences environnementales d'une viticulture intensive, en abordant différents éléments : pratiques agricoles et pollutions diffuses, rejets ponctuels – stations d'épuration, rejets viticoles –, aménagement des territoires, suivi de l'effet d'opération de remédiation.

L'approche, pluridisciplinaire, repose sur le couplage chimie - physique - biologie - écologie et comporte trois volets : 1) compréhension du déterminisme des flux, 2) relations entre pression chimique, formes des contaminants et effets écologiques, et 3) méthodes de réduction des pressions polluantes. De très nombreux partenariats scientifiques sont associés à ce programme, régionaux (CPER, CROPP...) et nationaux (ECCO, ANR-ECOGER/papier...).

La dominance du substrat granitique dans le bassin versant de la Morcille conduit, par altération, à un sol sableux, pauvre en matière organique. Cette texture, jointe à des pentes fortes, entraîne une érosion intense des terres agricoles et la formation de ravines qui amènent rapidement les matières en suspension (MES) et les polluants au cours d'eau. Le régime hydrologique d'orages violents explique l'alternance entre des périodes de basses eaux à faible concentration et des périodes de crues de

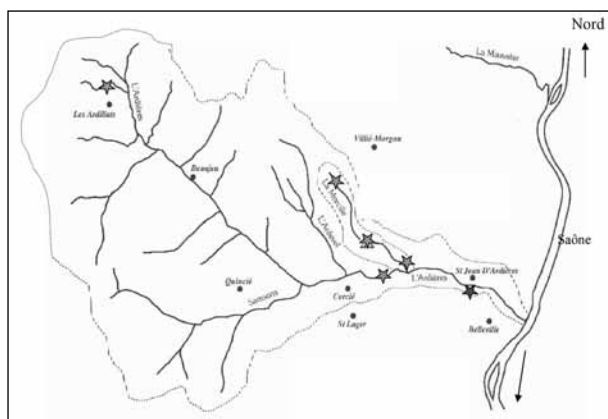


Figure 4. Position des stations de mesure dans les bassins versants de l'Ardières et de la Morcille (document Cemagref).

courte durée accompagnées de fortes concentrations de contaminants. Cinq stations de prélèvement ont été mises en place afin de traduire un gradient de contamination par les pesticides de l'amont vers l'aval (voir Fig. 4).

La prise en compte des éléments du *paysage* dans le ruissellement a conduit à réaliser un recensement des rases, fossés, buses, chemins ... qui contribuent aux écoulements rapides de surface, puis à les insérer dans un SIG à l'échelle de l'ensemble du bassin de la Morcille, aux côtés de deux autres descripteurs : 1) l'occupation du sol, bâtiments, routes, courbes de niveau (base IGN) et 2) le parcellaire fin délimitant les surfaces en vigne (numérisation du cadastre).

La contamination des eaux de surface par les pesticides résulte de processus liés aux modalités d'épandage, aux conditions climatiques et au milieu lui-même, processus qui interagissent entre eux dans le temps et dans l'espace. L'échelle du petit bassin versant s'avérant la plus pertinente pour estimer les transferts de produits phytosanitaires, il importe de prendre en compte simultanément les apports de substances depuis les parcelles traitées et l'incidence des zones d'interface entre ces parcelles et le cours d'eau.

On observe assez généralement une gradation amont-aval avec une augmentation des surfaces traitées aux pesticides vers l'aval et une dégradation de la qualité de l'eau. Les critères associés à la présence des fossés sont plutôt à associer à un potentiel de contamination rapide, tandis que les autres descripteurs seraient liés à un transfert plus général, plus représentatif d'un transfert généralisé par le sol, qui ne prend toutefois pas en compte les propriétés du sol et du sous-sol à agir sur le stockage, la dégradation, le relargage des pesticides vers les eaux de surface.

Au *niveau des parcelles*, la nature géologique et la structure du sol ainsi que les pratiques agricoles (tassement de l'interrang, mulching ou paillage, enherbement...) conditionnent les transferts d'eau et de contaminants. On constate que quelles que soient les pratiques culturales, les volumes compactés se développent, la réduction consécutive de l'espace poral étant sensiblement compensée par le maintien d'une macroporosité par enherbement.

Des *essais sur colonnes de sols* ont été réalisés pour comparer l'infiltration de l'eau et de plusieurs pesticides utilisés en vigne (un herbicide, le diuron et deux fongicides, le tébuconazole et la procymidone) en sol nu désherbé chimiquement et en sol enherbé, zone tampon. Les résultats, même s'ils sont limités à trois produits montrent clairement que l'enherbement d'un sol, même ayant subi un compactage (cas du sol enherbé de l'interrang), diminue les risques d'infiltration des pesticides et donc de contamination des eaux souterraines.

8. Remerciements à Bernard Montuelle, Cemagref Lyon, pour son aide dans l'élaboration de ce sous-chapitre. Courriel : [bernard.montuelle@cemagref.fr](mailto:bernard.montuelle@cemagref.fr)

Les essais de **biodégradation** sur des échantillons de différents sols issus d'une parcelle de vigne, de la bande enherbée exposée au ruissellement de cette parcelle et d'une bande enherbée témoin non exposée ont montré qu'en fin de suivi environ 35% du diuron a été minéralisé par les communautés microbiennes de la parcelle de vigne (capacité potentielle, mesurée au laboratoire). Le diuron et ses éventuels métabolites se retrouvent ainsi sous forme de résidus accumulés dans le sol, un risque toxique potentiel important existe en cas de remobilisation massive en cas notamment de modifications physico-chimiques du sol.

En ce qui concerne les **cours d'eau**, les concentrations de pesticides observées, notamment du diuron<sup>9</sup> qui domine, sont fortement associées aux périodes de traitement. Les pics de concentration sont liés aux fortes pluies et orages. Les crues se déclenchent en quelques heures et le débit peut être multiplié par 300 - 350 par comparaison avec les basses eaux. Il est donc essentiel de pouvoir caractériser de façon précise la dynamique des crues et donc d'adapter une stratégie d'échantillonnage appropriée. Sur les 8 crues étudiées, les débits de pointe varient de 1 à 30 et les concentrations maximales en phytosanitaires de 1 à 3. Cette relative concordance quantitative dépend en fait de nombreux facteurs environnementaux. Au final, les événements hydrométéorologiques conditionnent fortement tant la dynamique des flux, que l'exportation de substances vers l'aval et l'exposition aux toxiques.

L'impact des pesticides sur les **communautés animales et végétales** n'est pas linéaire et soulève beaucoup de difficultés expérimentales. Le bilan des essais réalisés montre que le gradient permanent de concentration, d'amont en aval, entraîne une forte modification de la structure des communautés et la sélection des espèces résistantes (disparitions de taxons sensibles), même si divers facteurs environnementaux peuvent moduler cet impact. Comme l'a montré le programme ECOGER-PAPIER, dans lequel s'est inscrite l'étude du bassin versant de la Morcille, la dégradation biologique est perceptible dès les premiers hectares de vigne, très à l'amont du bassin versant. L'impact de la présence de contaminants métalliques associés au traitement de la vigne (Cu et As, en particulier) reste à hiérarchiser par rapport à celui des pesticides.

Au final, la comparaison des travaux réalisés sur les bassins de l'Oir (50) et de la Morcille montre que dans le 1<sup>er</sup> cas les risques associés aux MES sont surtout liés à la dégradation des berges par le bétail qui induit l'augmentation de leur teneur dans le cours d'eau, tandis que dans le second, ils dépendent de la nature pédologique des sols et des pratiques réalisées à la parcelle. Alors que les protocoles d'étude sont souvent difficiles à mettre en

place et que les résultats obtenus doivent être nuancés par de nombreux paramètres, il apparaît néanmoins que c'est au niveau des pratiques culturales et de la gestion des bandes enherbées que l'on peut agir dans un contexte viticole comme celui de la Morcille.

## Sites de Kerbidy-Naizin (35) et Kerbenez (29)<sup>10</sup>

### Introduction

Depuis quelques années ont été lancés les Observatoires de Recherche en Environnement (ORE), dédiés à la surveillance des milieux naturels, s'inscrivant dans la durée, portant sur la connaissance et la compréhension des écosystèmes, ainsi que des évolutions des sols et des eaux afin de fournir aux chercheurs des données scientifiques de qualité pour comprendre et modéliser le fonctionnement des systèmes naturels et leur dynamique à moyen terme (décennies). Le portail des ORE<sup>11</sup> permet d'introduire l'ensemble des ORE/SO (Services d'Observation) et de faciliter l'accès aux données collectées par ces structures. Les sites de Naizin et de Kerbenez font partie des ORE, de même que le site de Roujan en Languedoc.

AgrHyS<sup>12</sup>, qui regroupe les sites de Naizin et de Kerbenez, est l'un des ORE labellisés par le ministère de la Recherche. Son objectif est d'étudier les temps de réponse des flux hydrogéochimiques à l'évolution des agro-hydrosystèmes ou hydrosystèmes sous influence de l'activité agricole et des conditions climatiques. L'ORE est géré par l'INRA. Son pilotage est assuré par des chercheurs de l'Unité Mixte de Recherche (UMR) INRA-Agrocampus Sol<sup>13</sup>, Agro et Hydrosystème Spatialisation de Rennes, de l'UMR Géosciences de Rennes I<sup>14</sup> et de l'UMR COSTEL de Rennes II.

### Caractéristiques des sites de Kerbidy-Naizin et Kerbenez (Plomelin, Finistère)

S'étendant sur 4,9 km<sup>2</sup>, le site de **Kerbidy-Naizin** correspond à un sous-bassin du bassin de Naizin qui couvre 12 km<sup>2</sup> (Fig. 5). Localisé à 15 km au SE de Pontivy (56), ce sous-bassin approvisionne le Coët-Dan, affluent de l'Evel, lui-même du Blavet. Son occupation du sol correspond essentiellement à de l'agriculture intensive et à de l'élevage porcin. Le substrat est constitué par des schistes protérozoïques et des limons éoliens quaternaires. Les sols ont une épaisseur de l'ordre du mètre, celle des altérites de schistes variant de quelques mètres à une trentaine de mètres.

Les travaux sur le bassin versant ont commencé en 1992 et les mesures d'hydrologie et de chimie des eaux (de surface et souterraines) sont assurées depuis 1993. Une station de mesure automatique des débits à l'exutoire a

9. Le Diuron est désormais interdit d'usage depuis fin 2008.

10. Remerciements à Chantal Gascuel-Odoux pour son aide dans l'élaboration du texte sur Kerbidy-Naizin et Kerbenez.

11. [www.ore.fr](http://www.ore.fr) : Atmosphère (8), Océan (6), Terre interne (7), Surface continentale (13, dont AgrHyS).

12. [www.caren.univ-rennes1.fr/ORE-AgrHyS/](http://www.caren.univ-rennes1.fr/ORE-AgrHyS/)

13. Philippe Mérot, Chantal Gascuel-Odoux.

14. Luc Aquilina.

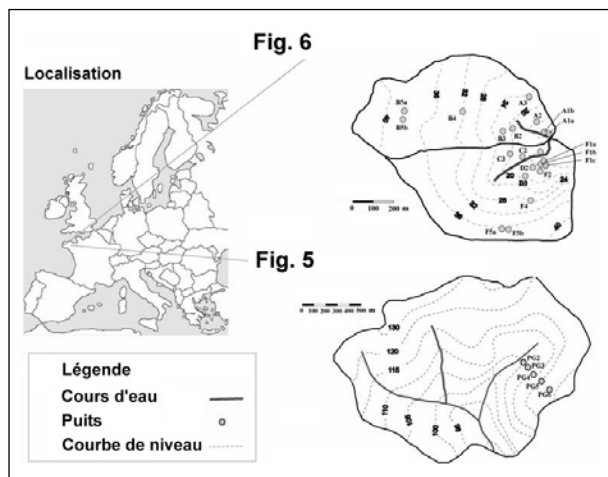


Figure 5. Le bassin de Kervidy-Naizin et ses équipements de recherche (document AgrHyS).

Figure 6. Le site de Kerbenez et ses différentes composantes (document AgrHyS).

été installée en janvier 1993 et une station météorologique, proche de l'exutoire, en 1996. En 1994, des piézomètres peu profonds (< 1,5 m) ont été installés dans la zone de Mercy pour étudier la chimie de l'eau et la dénitrification naturelle. En 1997 et 1998, un réseau de 15 piézomètres de 3 à 12 m de profondeur a été mis en place le long des pentes de Gueriniac, Kerilland et Fournello pour suivre les niveaux d'eau d'une nappe superficielle à surface libre. La chimie des eaux est étudiée sur la base de prélèvements journaliers à mensuels dans le cours d'eau, la nappe et la pluie.

De 1993 à 1999, on s'est focalisé sur les eaux de surface, la mesure des débits à l'exutoire et les anions majeurs. Entre 1999 et 2002, les mesures ont été élargies aux eaux de la nappe et aux éléments traces. Depuis 2003, les mesures portent sur : piézométrie de la nappe, débit à l'exutoire, paramètres physiques des eaux (T, pH, Eh) et anions principaux (NO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>, Cl) par chromatographie ionique.

Le site de **Kerbernez**, situé à environ 10 km au SO de Quimper, regroupe un ensemble de sous-bassins (Fig. 6) : Nead Meur (1,35 km<sup>2</sup>), Pont Lenn (1,17 km<sup>2</sup>), Coat Timon (0,57 km<sup>2</sup>), Le Puits (0,37 km<sup>2</sup>), Kerbernez (0,12 km<sup>2</sup>) et Kerrien (0,095 km<sup>2</sup>) situé dans le domaine du lycée de Kerbenez. Les deux derniers constituent des sous-bassins du Puits. Le substrat est granitique, avec les altérites associées.

Initialement dédié à des études agronomiques selon différentes pratiques agricoles (16 parcelles individualisées en 1978), le site a été équipé de lysimètres (parcelle de prairie) en 1989. Depuis 1992, les concentrations en nitrate et en chlorure sont suivies dans 12 stations installées le long du réseau de cours d'eau. En outre des équipements hydrométriques ont été installés en 1998 sur 3 sites<sup>15</sup> pour suivre les débits des cours d'eau, ainsi que les

niveaux et la chimie de la nappe. Le site dispose également d'une station météorologique automatisée. La chimie des eaux de surface est étudiée depuis 1991 et les analyses faites notamment pour nitrate. La chimie des eaux de nappe est étudiée de manière plus complète depuis 2001 et, depuis 2002, on réalise une étude de la recharge de l'aquifère (eau et solutés) sur le bassin de Kerbenez.

## Recherches

Au sein d'AgrHyS les recherches se développent sur quatre grands thèmes : transfert de l'eau et des solutés, modélisation, dynamiques des matières organiques, dynamiques des MES dans les eaux superficielles en Bretagne.

Sur le thème du **transfert**, les bassins versants de l'ORE se caractérisent par un substrat à faible perméabilité, une dominante des écoulements de nappe, des variations de débit événementielles et saisonnières. Les variations saisonnières du toit de la nappe sont fortes à l'amont (2-10 m, selon la pluviométrie et les bassins versants), faibles à l'aval (< 1m), tandis que les variations au cours d'un évènement de pluie peuvent atteindre un mètre.

Les concentrations en nitrate sont en général fortes en hiver et faibles en été. C'est le cas des bassins versants de Kervidy-Naizin et de Kerrien<sup>16</sup>, pas de celui de Kerbernez qui présente peu de variations ou des variations inverses. Les variations saisonnières sont traditionnellement expliquées par la disponibilité des nitrates dans la solution du sol, liée à leur minéralisation. Ce processus devrait s'exprimer par une corrélation inverse entre la quantité d'eau drainée annuellement et les valeurs moyennes de concentration en nitrate en hiver, ce qui n'est pas en accord avec les observations faites à Kervidy-Naizin et Kerrien. Une hypothèse alternative a été mise en évidence, selon laquelle la nappe a une capacité de stockage illimitée en nitrate à l'échelle annuelle, dans sa partie superficielle (jusqu'à 10-15 m) qui correspond à l'altérite. Le transport des nitrates vers la rivière en hiver relève alors de l'augmentation des gradients hydrauliques dans le versant. Les variations saisonnières traduisent ainsi des processus hydrologiques et biogéochimiques qui agissent de façon différentielle selon les différentes composantes de la nappe : 1) nappe des fonds de vallée dont les faibles concentrations en nitrate sont liées à une dénitrification hétérotrophe (biologique), 2) nappe superficielle de versant, jusqu'à 10-15 m de profondeur, fortement chargée en nitrates, 3) aquifère fracturé sous-jacent faiblement chargé en nitrates en raison d'une dénitrification autotrophe (présence de pyrite).

Ces hypothèses quant aux processus hydrologiques et géochimiques impliqués dans le transfert ont été confir-

15. Tous les exutoires de bassins ont équipés d'appareils de mesure des débits. Depuis 1997 sur le sous-bassin du Puits et depuis 2001 sur les sous-bassins de Kerbenez et Kerrien, les débits à l'exutoire sont enregistrés automatiquement.

16. Dont le bassin de Kervidy-Naizin constitue un sous-ensemble.

mées en utilisant des modèles de nappe, notamment MODFLOW. Ainsi, les variations temporelles du lessivage de nitrate n'ont pas d'effet à court terme sur les concentrations en nitrate de la rivière, le rôle majeur étant dévolu aux apports d'azote moyennés sur quelques décennies. Il en résulte que les niveaux de pollution de la rivière sont plus liés à ceux de la nappe qu'aux pratiques agricoles actuelles. La résilience de ces systèmes est de l'ordre quelques années, comme en témoignent les différentes approches utilisées : datation des eaux, analyse spectrale et modélisation.

Ces hypothèses quant aux processus hydrologiques et géochimiques impliqués dans le transfert ont été confirmées en utilisant des modèles de nappe, notamment MODFLOW. Ainsi, les variations temporelles du lessivage de nitrate n'ont pas d'effet à court terme sur les concentrations en nitrate de la rivière, le rôle majeur étant dévolu aux apports d'azote moyennés sur quelques décennies. Il en résulte que les niveaux de pollution de la rivière sont plus liés à ceux de la nappe qu'aux pratiques agricoles actuelles. La résilience de ces systèmes est de l'ordre quelques années, comme en témoignent les différentes approches utilisées : datation des eaux, analyse spectrale et modélisation.

S'appuyant sur les observations faites sur les sites expérimentaux, la **modélisation hydrologique** a trois objectifs : 1) l'analyse des processus élémentaires impliqués dans les processus de genèse des débits et de transfert des solutés ; 2) l'identification, la délimitation et la caractérisation des structures du paysage actives du bassin versant et leurs effets sur la ressource en eau ; 3) la prédiction des impacts de l'usage des sols (agriculture et éléments du paysage) sur le débit et la qualité des eaux.

Au niveau de l'analyse des processus élémentaires, ont été étudiés les aspects suivants :

- application de la théorie de la percolation à l'analyse de l'effet de la rugosité et de l'infiltration sur le ruissellement ;
- tests de modèles de subsurface : Topmodel, modèle diffusif, modèle d'onde cinématique, Hill-Vi ;
- développement de modèles de transport de solutés s'appuyant sur des concepts existants : MODFLOW (modèle de nappe), ETNA (modèle global), EMMA (identification de pôles chimiques).

L'étude du rôle des structures actives du paysage agricole a porté principalement sur l'influence des zones humides ripariennes, délimitées par différents indices topographiques, et celle du bocage sur le réseau de drainage : conception d'un arbre de drainage ou arbre de parcelle, fondé sur la connectivité des voies de transfert d'une parcelle à l'autre.

Pour prédire l'impact de l'occupation du sol, un modèle intégré TNT<sup>17</sup> a été développé couplant pratiques agricoles et processus hydrologiques et géochimiques : interactions spatiales et temporelles entre l'occupation du sol, les pratiques agricoles et l'environnement physique (sol, roche, climat). Il a été ou est appliqué à la modélisation de l'impact d'un réseau de haies sur le bilan de l'écoulement, à l'influence de la localisation des parcelles cultivées (en lien avec géomorphologie et extension des zones humides ripariennes) sur le transfert des nitrates, à la représentation des émissions de carbone organique dissous, aux effets des caractéristiques des bassins versants sur les émissions d'azote dans les cours d'eau. Un autre modèle, SACADEAU-transf, a été développé pour calculer les flux et concentrations d'herbicides. Dans ce modèle, le ruissellement de surface est représenté en détail, au contraire de la nappe, et à l'inverse du modèle TNT.

Enfin, pour faciliter l'interprétation de modèles de complexité croissante, des techniques d'apprentissage automatique ont été utilisées pour, par simulation sur des modèles, apprendre les relations majeures entre pratiques agricoles, environnement physique et climat. Ces techniques ont été rassemblées dans le projet SACADEAU dont un objectif majeur est d'élaborer des méthodologies en modélisation, dans le cadre de la maîtrise des pollutions diffuses agricoles.

Depuis des années, on observe une dégradation de la **qualité**, sur le plan des matières organiques, des **eaux superficielles** de Bretagne captées pour AEP, comme en témoignent les chiffres de 2006 qui font état d'une situation dégradée dans 45% des captages d'eau brute en rivière et 25% en retenue.

D'où la décision, prise en 2003 par la DRASS de Bretagne et la Région Bretagne, de mettre en place un Groupe d'Etude sur la Pollution des eaux par les Matières Organiques (GEPMO) rassemblant les divers partenaires concernés, dans l'objectif d'acquérir une base de connaissances sur ce sujet et de déterminer les mesures correctives à mettre en place. Dans ce but, les études se poursuivent, conduites par les chercheurs des unités CNRS, INRA et ENSAR<sup>18</sup> du Centre Armoricaire de Recherches en Environnement (CAREN) de Rennes.

La mise à disposition des informations et résultats se fait par un site Internet spécifique<sup>19</sup> et porte sur les rubriques suivantes : risques sanitaires, réglementation, état actuel de la pollution, tendances évolutives, aspects techniques, résultats des études, bibliographie et adresses de sites. Le site est également un lieu de discussion et d'échange de données pour tous les acteurs impliqués.

17. *Topography-based Nitrogen Transfer*.

18. *École supérieure agronomique de Rennes*.

19. [www.bretagne-environnement.org](http://www.bretagne-environnement.org)



## Bassin de Roujan (34)<sup>20</sup>

Le bassin versant de Roujan<sup>21</sup> (0,91 km<sup>2</sup>), situé à environ 21 km au NE de Béziers, est un sous-bassin versant de la Peyne (110 km<sup>2</sup>) sur lequel a été développé le projet Allegro (Fig. 7 et 8) et où l'intensification des systèmes de culture depuis plusieurs décennies a conduit à une forte augmentation de la pollution des eaux par les produits de traitement agricole et à une déprise de certains terroirs à valeur agricole réduite. Occupé essentiellement par de la vigne, il est fortement anthropisé par les aménagements qui y ont été installés (réseau de fossés, versants aménagés en terrasses...).

L'équipement hydrométéorologique de base, mis en place depuis mai 1992, comporte un réseau de 9 pluviomètres et 4 pluviographes, un réseau piézométrique (14 sites), un dispositif de mesure des débits, des matières en suspension et des pesticides aux exutoires du bassin versant, de deux parcelles à pratiques culturales différentes et d'un réseau de 8 stations de mesure des teneurs en eau du sol et du potentiel hydrique. Roujan a fait partie du réseau de bassins versants de référence du Service d'Observation en réseau Utilisé pour la Recherche en Hydrologie créé par le GIP Hydrosystèmes.

Par ailleurs, Roujan fait partie de l'Observatoire de recherche en environnement (ORE) OMERE<sup>22</sup> aux côtés du bassin de Kamech (2,4 km<sup>2</sup>) en Tunisie. La création d'OMERE a été justifiée par l'impact environnemental des aménagements et pratiques agricoles sur le pourtour

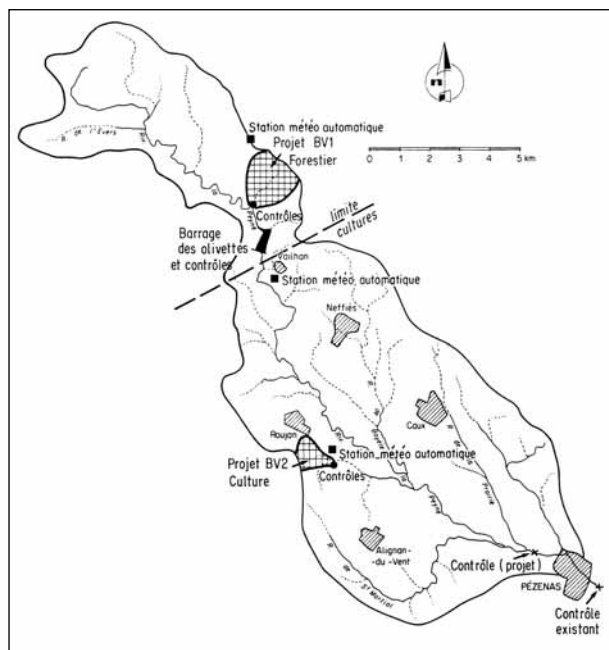


Figure 7. Le bassin de Roujan dans le bassin de la Peyne (document UMR LISAH).

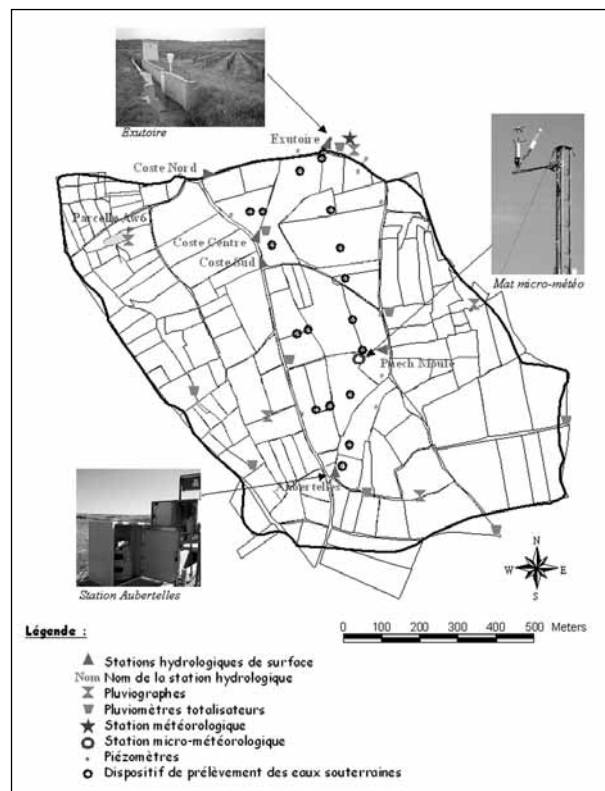


Figure 8. Le bassin de Roujan et ses équipements scientifiques (document UMR LISAH).

méditerranéen : modification du régime d'écoulement des eaux, érosion des milieux sensibles et dégradation de la qualité des eaux (eaux de surface, nappes, lagunes côtières) par les produits phytosanitaires. L'objectif est donc de comparer les deux sites, de forçage climatique similaire, en matière de processus de transfert d'eau et de matières en suspension impliqués, à des échelles de temps interannuelles, en lien avec l'évolution anthropique des territoires concernés. Les suivis portent sur les caractéristiques et l'évolution de l'hydrosystème, les variables hydrométéorologiques, les différentes formes d'érosion, le bilan hydrique des sols cultivés, la qualité chimique des eaux (de pluie, de surface et souterraines), et les activités anthropiques (pratiques agricoles et usages de l'eau)<sup>23</sup>.

Parmi les résultats de recherche qui peuvent être présentés, on insistera sur le rôle des fossés et sur le transfert des pesticides.

L'étude des fossés, qui représentent 6% de la zone étudiée, montre que ceux-ci jouent un rôle important dans la recharge des nappes aux côtés de la recharge diffuse générale, qui intervient pour 40-50% lors des événements d'automne. La conséquence est que toute modélisation hydrologique en contexte méditerranéen doit prendre en compte ces deux types de recharge. En outre, les fossés

20. Remerciements à Marc Voltz, directeur du LISAH, pour son aide dans l'élaboration du texte sur Roujan. Courriel. : voltz@supagro.inra.fr

21. [www.umr-lisah.fr/omere](http://www.umr-lisah.fr/omere)

22. Observatoire Méditerranéen de l'Environnement Rural et de l'Eau. Impacts des actions anthropiques sur les transferts de masse dans les hydrosystèmes méditerranéens ruraux

23. Des informations détaillées sur l'ORE ainsi que la disponibilité et les voies d'accès aux données acquises sont présentées sur le site web de l'ORE, [www.umr-lisah.fr/omere](http://www.umr-lisah.fr/omere).

peuvent être un facteur de concentration de la pollution diffuse, comme le montre l'étude menée en 1997 sur deux herbicides (diuron et simazine) dont il ressort qu'à l'exutoire 96% des pertes en diuron et 83% de celles en simazine sont issues d'une transmission rapide par le réseau de fossés.

Les études menées sur le transfert des pesticides montrent que ceux-ci partent du sol ou transitent par lui, qu'ils aient été appliqués directement sur le sol ou qu'ils transitent par le feuillage. Dans certains cas, leur volatilisation aérienne peut être très importante. Dans les autres cas, c'est l'eau qui est l'agent transporteur. La comparaison des pratiques culturales en vignoble méditerranéen montre que les pertes en pesticides varient d'un facteur 3 ou 10 selon la technique employée, que l'on retienne un pourcentage de produits appliqués ou une masse de produits par hectare.

Ces conclusions sont toutefois difficiles à généraliser à d'autres contextes climatiques et pédologiques car, au-delà de la masse de produits épandus, interviennent les caractéristiques du sol (couverture, structure et matière organique) et les diverses voies potentielles de contamination des eaux. Ainsi, alors que les processus de transfert des pesticides sont maintenant bien connus, notamment grâce aux travaux de laboratoire, la prévision quantitative des transferts de ces produits vers les eaux de surface et souterraines, que l'on considère l'échelle de la parcelle ou celle du bassin versant, reste incertaine. Une meilleure évaluation quantitative des différentes étapes de transfert reste donc un objectif majeur de recherche, que ce soit en climat méditerranéen ou dans un autre contexte.

L'observatoire OMERE, et particulièrement le bassin de Roujan, ont été aussi le support de nombreux travaux de modélisation visant à représenter l'influence des systèmes de cultures et aménagements de milieux sur les flux hydrologiques et les flux de produits phytosanitaires. Il en est ressorti une plateforme de modélisation des flux à l'échelle des paysages anthropisés, OPENFLUID, ainsi qu'un modèle hydrologique distribué MHYDAS, simulant les flux hydrologiques des agrosystèmes<sup>24</sup>.

### Bassin versant du Ruiné (16)<sup>25</sup>

Dans le cadre d'une étude Charente-Marennes-Oléron dont le Cemagref Bordeaux a la responsabilité, une approche globale du bassin charentais (10 000 km<sup>2</sup>) a été réalisée en 1989, suivie d'une étude plus fine sur le bassin de la Né (500 km<sup>2</sup>). Le besoin de maîtriser un système de superficie plus réduite a conduit au choix du Ruiné (25 km au sud-ouest d'Angoulême, 5,7 km<sup>2</sup>), occupé par 22 exploitations agricoles à dominante grande culture (le maïs, le blé et le tournesol représentent respectivement 34 %, 20 % et 18 % de la surface agricole utile, SAU)

et dont l'équipement a commencé en 1991 avec une chronique à l'exutoire, mesurée depuis cette date. Le substrat du bassin est marno-crayeux (Crétacé). On notera aussi, les travaux menés sur le sous-bassin de l'Aume-Coutume (25 km N-NO d'Angoulême, 350 km<sup>2</sup>), conduits en 1980.

Le but des travaux du Cemagref sur le Ruiné était d'étudier, jusqu'en 2006, les processus mis en jeu lors des transferts de nutriments et de produits phytosanitaires dans les eaux superficielles, en relation avec les pratiques agricoles, la pluviométrie et l'hydrogéologie. L'objectif final est la protection de la ressource en eau. Concrètement, il s'agit de tester des options alternatives aux pratiques agricoles, d'évaluer les contraintes pour les agriculteurs et de doter la région de méthodes et d'outils, transférables à d'autres bassins-versants.

Le diagnostic a mis en évidence des insuffisances dans la gestion technique des traitements et des excédents d'intrants azotés et de produits phytosanitaires, justifiant de modifier les pratiques agricoles sur une durée appropriée, le suivi de l'impact de ces modifications étant pérennisé dans le temps. Ces aspects techniques et scientifiques ont été de pair avec des démarches de conseil auprès des agriculteurs (traitement, entretien du matériel, gestion des emballages, aménagements de protection des cours d'eau...) et de communication auprès des agriculteurs extérieurs au bassin, les techniciens et chercheurs travaillant sur le lien agriculture et qualité de l'eau, et le grand public.

Sur le plan scientifique, un indicateur de risque de transfert des pesticides vers les eaux, notamment, a été développé à l'échelle du bassin versant. Il combine des données du milieu (pente, sol, proximité du réseau hydrographique) et des pratiques agricoles. Pour une année donnée, cet indicateur définit un risque global de transfert, ainsi que les zones les plus sensibles. Un modèle statistique permet de confronter les variables qui constituent l'indicateur aux flux réels d'herbicides mesurés dans le cours d'eau entre 1994 et 2002 et de calculer la contribution spécifique de chaque parcelle. Il permet aussi, *a posteriori*, de valider la méthode de calcul de l'indicateur.

Plus récemment, les travaux du laboratoire de chimie des eaux et de l'équipe dynamique de la qualité des milieux aquatiques et bio-indication du Cemagref de Bordeaux ont été réorientés vers l'étude des techniques d'échantillonnage ainsi que les liens entre les contaminations des cours d'eau par les pesticides et les impacts sur la phytocénose. Dans le cadre de l'application de la directive cadre sur l'eau (2000/60/EC) et plus précisément lors d'une étude cofinancée par l'agence de l'eau Adour-Garonne (2207-2008), les équipes concernées se sont intéressées aux techniques d'échantillonnage passif avec l'utilisation

24. Voir site web : [www.umr-lisah.fr/openfluid/](http://www.umr-lisah.fr/openfluid/)

25. Remerciements à Nicolas Mazzella pour son aide dans la rédaction de sous-chapitre. Courriel : [nicolas.mazzella@bordeaux.cemagref.fr](mailto:nicolas.mazzella@bordeaux.cemagref.fr)

du *Polar Organic Chemical Integrative Sampler* (POCIS) développé dès 2004 par des chercheurs de l'USGS<sup>26</sup>. Cette étude a porté sur l'intérêt et la validité de ces dispositifs pour suivre en continu la qualité des milieux aquatiques. D'autres travaux menés sur des sites tels que les coteaux de Gascogne ont également porté sur la représentativité des fractions échantillonnées par les POCIS afin d'estimer l'exposition réelle des organismes aquatiques.

### Conclusion

Si le présent article n'avait qu'un objectif, ce serait celui de défendre le suivi pérenne d'une diversité de sites ateliers représentatifs de la variété des milieux et des situations de dégradation de l'environnement (pollution des eaux en particulier) et de concentrer les efforts sur ceux-ci, en favorisant la pluridisciplinarité des recherches et les partenariats. Constater qu'aujourd'hui la plupart des sites expérimentaux pérennes sont gérés par des EPST<sup>27</sup> (INRA, CEMAGREF, CNRS...) n'est pas neutre quand on s'interroge sur les conditions pour que la pérennité d'un site soit assurée. Par comparaison, chaque fois que le BRGM (EPIC<sup>28</sup>) est intervenu sur un site expérimental, il l'a fait pour étudier un problème spécifique et sur une durée donnée.

Par ailleurs, le fait que l'INRA et le CEMAGREF soient

des structures dépendant du ministère chargé de l'agriculture conduit à ce que les préoccupations agricoles et les eaux de surface y sont abordés en priorité, ce qui n'est pas le cas des eaux souterraines. Dans une perspective de développement durable, donc par définition pérenne, il y a tout intérêt à appréhender l'ensemble des filières et en particulier la totalité du cycle de l'eau. D'où l'importance de la pluridisciplinarité et des partenariats, cautionnés et financés par l'État, les collectivités territoriales et l'Europe, car ce sont des problématiques de gestion équilibrée de territoire, à long terme, qui en sont les enjeux.

Au-delà du facteur temps qu'implique un suivi à long terme, il est aussi nécessaire que le « réseau » des sites expérimentaux soit représentatif de la diversité des milieux, notamment géologiques et climatiques, et ce n'est que partiellement le cas. Le critère géologique, qui englobe la caractérisation du substratum et de sa composante eau souterraine appréhendée avec l'ensemble du cycle de l'eau, doit être combiné avec les pratiques agricoles dans leur diversité.

Seule une stratégie, collectivement assumée à long terme, permettra donc de donner des clefs notamment d'une agriculture durable, certes soucieuse de sa rentabilité économique, mais aussi acceptant de se placer dans une logique respectueuse de l'environnement de façon durable.