

Maîtrise des transferts de produits phytopharmaceutiques

et de phosphore à l'échelle du bassin versant.

Bilan des actions conduites sur le bassin versant du ruisseau

de la Fontaine-du-Theil en Ille-et-Vilaine, de 1998 à 2006

J. Thierry¹, P. Castillon²

1 : ARVALIS – Institut du végétal, Maison de l'Agriculture, Rond Point Maurice Le Lannou, CS 14226, F-35042 Rennes ; j.thierry@arvalisinstitutduvegetal.fr

2 : ARVALIS – Institut du végétal, F-31450 Baziège ; p.castillon@arvalisinstitutduvegetal.fr

Résumé

Les actions conduites sur le bassin versant de la Fontaine-du-Theil en Ille-et-Vilaine durant la période 1998-2006 ont permis de réduire les transferts de substances actives et de phosphore sans affecter la fonction de production agricole qui concernait plus de 90% de la surface. Ces résultats ont été obtenus à partir d'actions simples mises en oeuvre de façon volontaire par les agriculteurs en concertation avec les élus locaux et de nombreux partenaires. Ces actions ont souvent présenté un caractère novateur car leur mise en oeuvre précédait la plupart du temps l'évolution de la réglementation : arrêtés atrazine, bandes enherbées, programme d'action directive nitrates, conditionnalité PAC, arrêtés phytosanitaire 2005 et 2006. Les mesures réalisées au cours de cette étude ont par ailleurs contribué à étayer les références disponibles concernant les transferts de résidus de produits phytopharmaceutiques et de phosphore dans un bassin versant uniquement soumis à l'influence des activités agricoles.

Introduction

Le dispositif expérimental du bassin versant du ruisseau de la Fontaine-du-Theil en Ille-et-Vilaine avait pour objectif de quantifier les flux de nitrate, de phosphore et de substances actives de certains produits phytopharmaceutiques à l'exutoire d'un petit versant. Il avait aussi pour but d'évaluer la pertinence de mesures visant à restaurer la qualité des eaux sur un territoire uniquement soumis à l'activité agricole. Après 9 ans d'actions et d'engagements individuels et collectifs d'agriculteurs volontaires et d'élus locaux en collaboration avec de nombreux partenaires, il est aujourd'hui possible d'évaluer les effets de certaines mesures sur la réduction des transferts de nitrate, phosphore ou matières actives.

Les diagnostics réalisés sur le bassin versant à partir de 1998 ont conduit à la mise en œuvre d'un plan d'action pluriannuel sur le territoire du bassin versant. Si la priorité de ce plan d'action a concerné l'utilisation des produits phytopharmaceutiques, les transferts de phosphore ont également été étudiés en raison de son rôle primordial dans le déclenchement de l'eutrophisation. Les sols cultivés peuvent en effet contribuer pour une part parfois non négligeable à ces transferts (SHARPLEY *et al.*, 1997), y compris dans des bassins versants d'amont comme celui de la Fontaine-du-Theil, parfois très éloignés des milieux aquatiques où l'eutrophisation peut se manifester. Il semblait donc logique d'inclure cet élément dans l'étude des transferts conduite dans ce bassin versant.

Dans ce qui suit, seront tout d'abord présentés le contexte et le sujet de l'étude puis les différents diagnostics réalisés sur le bassin versant ainsi que leurs résultats. Les éléments spécifiques aux produits phytopharmaceutiques et au phosphore seront ensuite développés.

1. Contexte et sujet de l'étude

Les récriminations dont l'agriculture n'a cessé de faire l'objet en Bretagne, notamment lorsque le maïs est une composante importante de l'assolement, impliquait une étude à l'échelle du bassin versant pour quantifier l'ordre de grandeur des transferts de substances actives et de certains éléments minéraux imputables à la polyculture et à l'élevage de bovins.

1.1. Caractéristiques du bassin versant de "La Fontaine-du-Theil"

Une prospection a été réalisée en 1997 sur une vingtaine de sites potentiels en Ille-et-Vilaine, Morbihan et Côtes d'Armor. Après un examen préliminaire, 5 sites possibles ont été retenus et ont fait l'objet de contacts approfondis auprès des agriculteurs à l'initiative des Maires des communes concernées. Cette démarche a conduit *in fine* à retenir le bassin versant d'amont du ruisseau de la Fontaine-du-Theil car il réunissait l'ensemble des conditions recherchées pour la conduite de l'étude :

- superficie du territoire inférieure à 200 ha ;
- motivation des agriculteurs pour la mise en œuvre de l'agriculture raisonnée ;
- motivation des collectivités, Maires et élus vis-à-vis du projet ;
- absence d'autres activités que l'agriculture ;
- réseau hydrographique simple et bien identifié ;
- possibilité d'installer une station de mesure à la sortie du bassin versant.

Situé sur les communes de Saint-Léger-des-Prés, Marcillé-Raoul et Noyal-sous-Bazouges en Ille-et-Vilaine, le bassin versant de ce petit ruisseau de 2 km de long couvre 136 ha et jouxte la ligne de partage des eaux entre la Bretagne et la Normandie. **L'étude a été conduite de 1998 à 2006** (BIBARD *et al.*, 2001 ; THIERRY *et al.*, 2002, 2003, 2004).

Les **123 ha cultivés** par une vingtaine d'agriculteurs sont dédiés à la polyculture et à l'élevage de bovins, principalement pour la production de lait. Les systèmes de production y sont plutôt intensifs avec **un chargement de 1,7 UGB par hectare de SFP**. Les surfaces exploitées se répartissent en **parts à peu près égales entre prairies** (temporaires ou permanentes), **maïs** (essentiellement ensilé) **et céréales, oléagineux ou protéagineux**. Les 8% de la surface non cultivée sont en bois, friches et étangs.

L'ensemble de la Bretagne étant classé en Zone Vulnérable, le bassin versant est donc concerné sans toutefois être classé en Zone d'Excédent Structurel. Plus de la moitié du bassin versant (communes de Marcillé-Raoul et Noyal-sous-Bazouges) est classée en Zone d'Action Complémentaire.

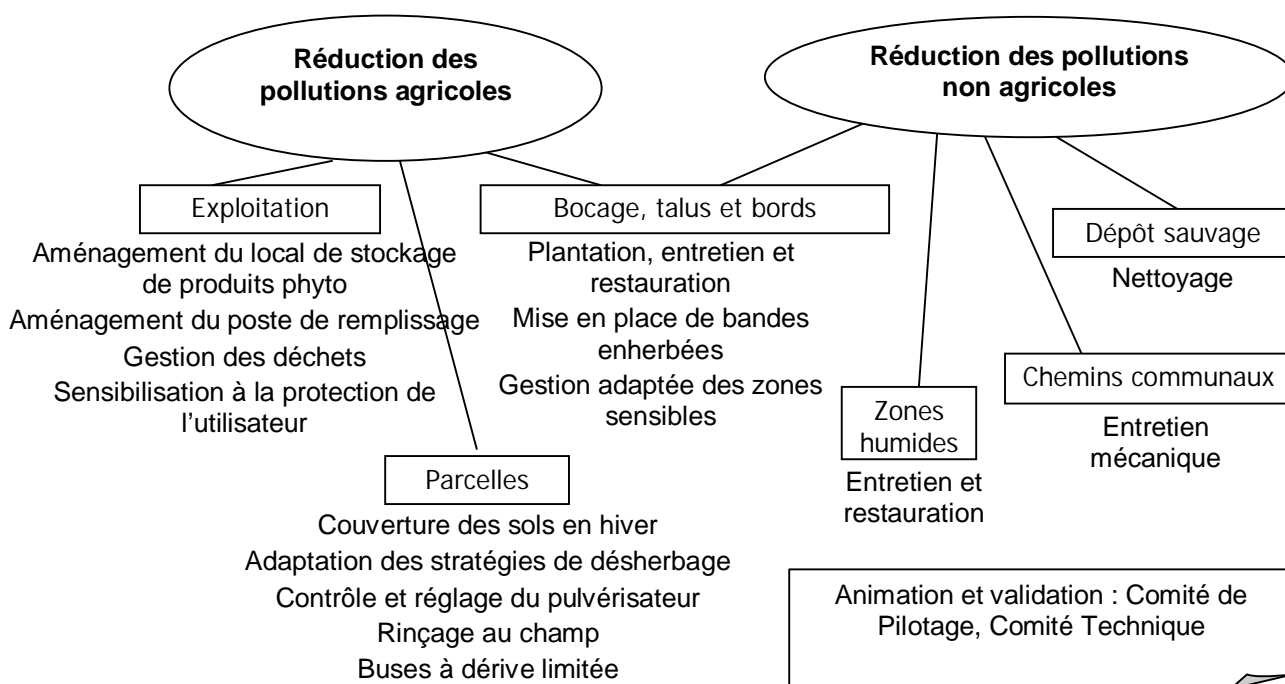
Le caractère bocager de ce bassin versant est illustré par la présence d'environ 80 parcelles et 14 km de bords de parcelles avec prédominance de talus et de haies Malgré l'absence de remembrement, des échanges de parcelles entre agriculteurs ont engendré des regroupements et découpages, cause de l'évolution permanente du nombre de parcelles dont la surface moyenne, inférieure à 2 ha, résulte d'une grande diversité de tailles, certaines occupant plus de 5 ha.

Les sols sont en majorité limoneux sur schistes, plus ou moins profonds, et hydromorphes pour certains situés dans les bas-fonds. Seules 4 parcelles sont partiellement drainées.

1.2. Un plan d'action pluri-annuel

Les diagnostics réalisés sur le bassin versant à partir de 1998 ont conduit à un **plan d'action pluriannuel** élaboré par les agriculteurs et les acteurs concernés, et validé au sein du Comité Technique du bassin versant (figure 1). Il concernait principalement la lutte contre les sources de pollutions ponctuelles et diffuses et reposait sur la mise en œuvre des recommandations du volet phytosanitaire du CORPEN. Il englobait à la fois des mesures concernant les zones agricoles, avec les sièges d'exploitation, les parcelles, l'entretien des bords de champs et des talus, et les zones non agricoles avec les chemins communaux, les dépôts sauvages, les zones humides et l'entretien du bocage (CAMBON *et al.*, 2004 ; MAILLET-MEZERAY et MARQUET, 2004).

FIGURE 1 – Programme 1998-2006 de reconquête de la qualité de l'eau pour le bassin versant de la Fontaine-du-Theil.



Les actions conduites s'inscrivaient dans la durée avec un souci à la fois d'acquisition de références et de développement :

- **l'acquisition de références** constitue la base technique et scientifique qui permet de disposer de l'ensemble des données nécessaires à l'analyse et la synthèse pluriannuelle : pratiques culturales, mesures de qualité des eaux ;

- **les actions d'animation et de développement** avaient pour but à la fois d'accompagner les agriculteurs dans leurs choix technico-économiques mais aussi de favoriser les échanges et d'installer un climat de confiance (ou au mieux une cohabitation) entre partenaires agricoles, non agricoles et élus. Les agriculteurs, élus et partenaires ont été régulièrement informés du déroulement et des acquis de ce projet :

- **le Comité de Pilotage** se réunissait une fois par an et définissait les orientations stratégiques, le cadre du projet, le budget et les relations entre partenaires ;

- **le Comité Technique** se réunissait deux fois par an pour construire le programme d'action et rendre compte de sa mise en œuvre et des résultats. C'est en son sein que les axes du plan d'action étaient validés et qu'étaient présentés le contenu des diagnostics et le compte rendu des actions,
- **les réunions d'agriculteurs**, en salle ou sur le terrain, concernaient des thèmes techniques spécifiques souvent choisis en fonction de l'actualité :
 - tours de parcelles céréales, maïs et préconisations désherbage,
 - réglementation phytosanitaire,
 - pulvérisation et conditions d'application,
 - protection des utilisateurs.

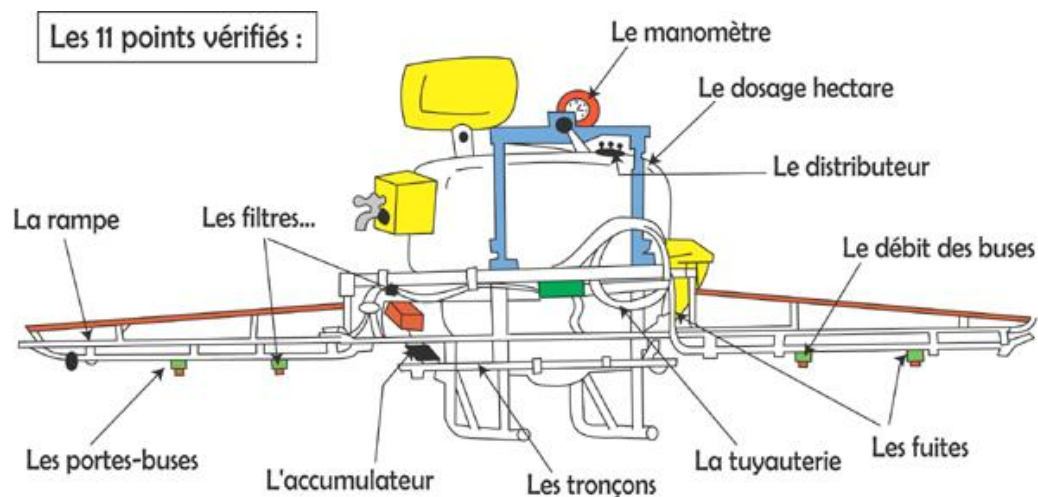
2. Les diagnostics réalisés et les résultats obtenus

Le diagnostic des risques de pollution par les produits phytopharmaceutiques à l'échelle du territoire était un préalable indispensable pour identifier la nature des problèmes et ensuite proposer des actions pour limiter la contamination des eaux. Cette démarche, qui comprend **l'ensemble des étapes de l'utilisation des produits phytopharmaceutiques** et s'appuie sur la connaissance des milieux, les observations de terrain, la circulation des eaux et la prise en compte des pratiques sur l'ensemble du territoire, a été réalisée dès la première année de l'étude (GUYOT *et al.*, 1999 ; BIBARD *et al.*, 2001). Elle concernait l'arrivée des produits sur l'exploitation, le remplissage du pulvérisateur, l'application sur les parcelles et bords de champs, le rinçage de la cuve au champ et la gestion des emballages et déchets. Un état des lieux au départ a pu ainsi être établi permettant de proposer aux agriculteurs une première série d'améliorations parmi les plus urgentes.

2.1. Diagnostic des pulvérisateurs

A la demande des agriculteurs, un diagnostic des pulvérisateurs (figure 2) a été régulièrement réalisé suivant un protocole établi au niveau régional par le Comité Régional d'Organisation du Diagnostic de matériels de Protection des cultures (CRODIP). Il a révélé l'existence de nombreux points défectueux : fonctionnement des manomètres, buses à changer, fuites dans les tuyauteries, rampes déformées, absence de filtres ou mauvais état de ceux-ci.

FIGURE 2 – Les 11 points vérifiés lors du diagnostic "CRODIP" du pulvérisateur (source : DRAF Bretagne).



Les résultats : Les diagnostics volontaires concernant le matériel de pulvérisation, son utilisation et la protection des utilisateurs ont été réalisés de 1998 à 2006. Ces opérations, encouragées par une prise en charge financière partielle de leurs coûts, ainsi que par l'indemnisation partielle pour l'installation de cuves de rinçage, ont permis **une évolution notable de la qualité des matériels** de pulvérisation (tableau 1)

Les actions entreprises dans le cadre de cette étude n'ont fait qu'anticiper le contrôle des pulvérisateurs par un organisme spécialisé qui deviendra obligatoire à partir de 2009, à raison d'un contrôle tous les 3 ans. La cuve de rinçage, indispensable pour gérer la dilution des fonds de cuve et l'épandage au champ, pourrait aussi devenir obligatoire.

TABLEAU 1 – Evolution de 1998 à 2005 de la qualité du parc des pulvérisateurs des exploitations agricoles œuvrant sur le bassin versant de La Fontaine-du-Theil.

Etat des pulvérisateurs	Fev-mars 1998	Janvier 2005
Bon état avec pastille verte	4	16
A réviser	11	0
Non diagnostiqués	5	3
Avec cuve de rinçage	1	15
Sans cuve de rinçage (ou non connu)	19	4
Nombre de pulvérisateurs utilisés	20	19

2.2. Diagnostic AQUASITE®-CRODIP

Ce diagnostic s'appuie sur **la méthode AQUASITE®** développée par ARVALIS-Institut du végétal et consiste à passer en revue au siège des exploitations **un ensemble d'éléments concernant l'usage des produits phytopharmaceutiques**. Sept étapes clés font l'objet d'un audit sur site avec l'exploitant : transport et réception du produit, local de stockage, protection des utilisateurs, équipement et remplissage du pulvérisateur, gestion des fonds de cuve et des emballages.

Les résultats : L'enquête initiale réalisée en 1998 a montré le faible niveau de maîtrise des pollutions ponctuelles tant au niveau des sièges d'exploitations que lors des traitements. Le rinçage au champ sur une surface déjà traitée ou sur une autre culture était par ailleurs peu pratiqué car peu de pulvérisateurs (5%) étaient équipés d'une cuve de rinçage.

Ces constats ont permis de proposer en 1999 la réalisation de **journées techniques d'information** pour la mise en œuvre de pratiques plus conformes à la réglementation en vigueur et susceptibles de limiter les risques de pollution directe des eaux, tout en préservant l'efficacité agronomique des traitements. C'est en 2005 que le CRODIP a créé en Bretagne un réseau d'agents agréés pour réaliser ces diagnostics au siège des exploitations. La réalisation des diagnostics sur les exploitations du bassin versant s'est effectuée en 2005. Outre la prise en charge d'une partie du coût du diagnostic, le Conseil Régional de Bretagne a financé 40% des investissements avec un plafond de 1 000 euros.

2.3. Diagnostic des parcelles à risques par la méthode CORPEN

L'objectif de cette démarche est de **caractériser le risque potentiel de transfert** de produits phytopharmaceutiques pour chacune des parcelles **en identifiant les voies de circulation de l'eau** dans la parcelle (ruissellement, drainage, écoulement hypodermique) et son écoulement vers le ruisseau.

La méthode (CORPEN, 1995) consiste d'abord à caractériser le milieu à deux périodes critiques :

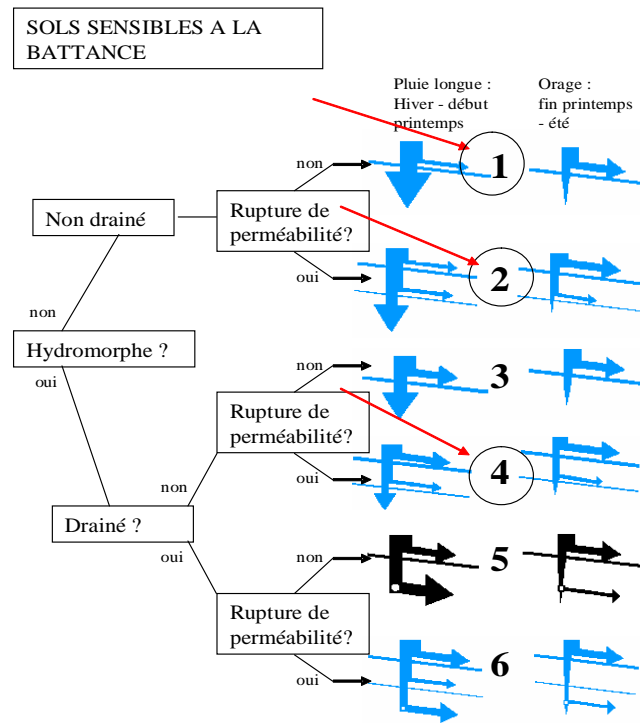
- en hiver ou début de printemps lorsque les pluies peuvent provoquer du ruissellement par saturation ;
- au printemps ou début d'été lorsque les pluies orageuses peuvent engendrer du ruissellement.

Les caractéristiques du milieu enregistrées concernent le sol (profondeur et nature, topographie, battance, hydromorphie, hydrologie avec recensement des chemins de l'eau) et les pratiques culturales (couverture des sols, modalités de travail du sol).

Les résultats : Ce type d'analyse a permis d'établir l'existence de 3 modes principaux de circulation de l'eau dans le bassin versant de la Fontaine-du-Theil (THIERRY, 2000) (figure 3) :

- un ruissellement de surface : les sols battants y présentent en effet des risques de ruissellement particulièrement importants en cas d'orages de printemps ou d'été ;
- un ruissellement surtout hivernal par refus d'infiltration dans les sols hydromorphes ;
- des écoulements hypodermiques suite à la circulation latérale des eaux sur un horizon plus argileux et sur les schistes altérés ou encore sur une semelle de labour.

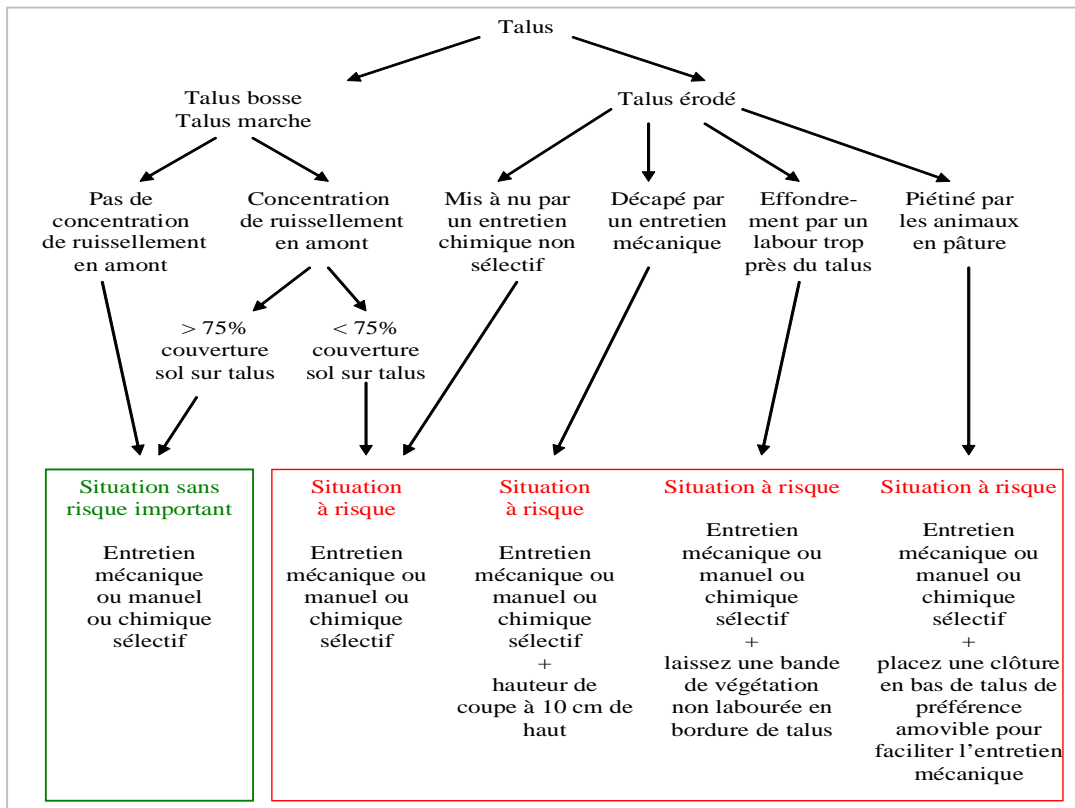
FIGURE 3 – Schéma des modes de circulation dominants des eaux dans le bassin versant de La Fontaine-du-Theil.



2.4. Diagnostic des "bords de champs" en 2005

Un diagnostic des bords de champs a été réalisé en 2005, notamment en vue de caractériser les **risques d'érosion** (figure 4) et de **transfert de solutés** (figure 5).

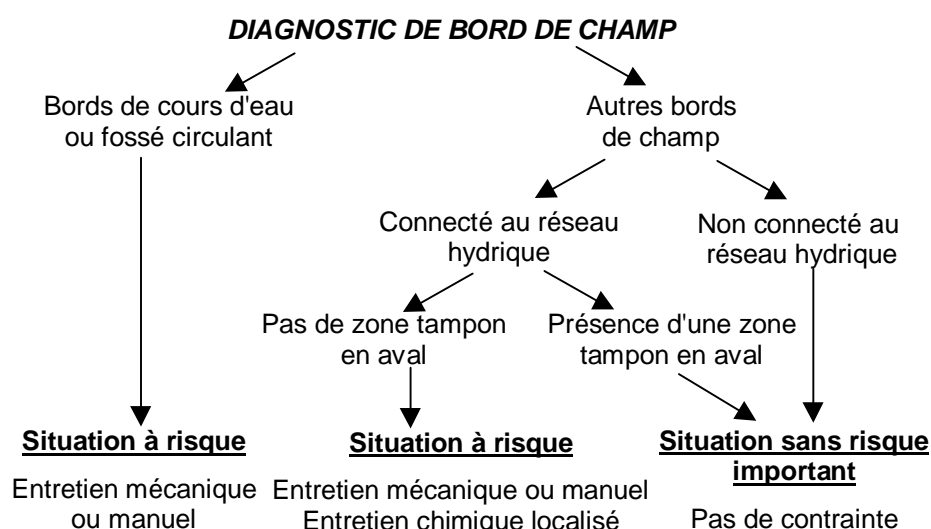
FIGURE 4 – Principe du diagnostic du risque d'érosion associé à la nature des talus.



Dans la majorité des cas les traitements étaient jusqu'alors appliqués jusqu'aux limites des cultures, y compris dans les parcelles bordées par des fossés circulants ou par les berges du ruisseau, engendrant ainsi des transferts directs de produits dans le réseau hydrographique. La pratique courante d'entretien des talus, bords de fossés et berges du ruisseau consistait à réaliser régulièrement des traitements chimiques à l'aide d'une lance de pulvérisation équipée de buses à turbulences.

Les résultats : Des relevés de flore sur des bords de champs représentatifs du bassin versant ont été réalisés en utilisant l'indicateur de flore mis au point par l'INRA-SAD Paysage de Rennes (LE CŒUR, 2006). Ils ont révélé que **la flore des bords de champs est liée à leur mode d'entretien**, chimique ou mécanique. La majorité des espèces identifiées sont considérées comme des "adventices". Le gaillet, très compétitif, et l'épilobe, résistante au glyphosate, y étaient bien représentés. Toutefois, plus d'un tiers des espèces identifiées appartiennent aux couverts forestiers ou prairiaux. Certaines sont très sensibles aux herbicides comme la germandrée des bois et la stellaire hostée qui n'ont été observées que dans les bords de champs faisant l'objet d'un entretien mécanique. La présence de ces espèces témoigne des possibilités de recolonisation lorsque la gestion du milieu leur est adaptée. **L'évolution de la gestion des bords de champs vers une diminution de l'entretien chimique au profit de l'entretien mécanique et de l'entretien mixte** (chimique localisé et fauchage des graminées) s'est faite progressivement suite à un travail d'animation concernant l'application de l'arrêté préfectoral (Bretagne) de mai 2005 interdisant le traitement chimique à moins d'un mètre des cours d'eaux, fossés et points d'eaux.

FIGURE 5 – Principe du diagnostic du risque de transfert de solutés associé à la nature des bords de champ.



3. Conséquences des actions sur le matériel de pulvérisation et sur l'usage des produits

3.1. Evolution de l'utilisation du matériel et de l'utilisation des produits phytopharmaceutiques

Parmi les principaux acquis des actions conduites, on peut tout d'abord citer la réalisation volontaire et régulière du diagnostic des pulvérisateurs qui s'avère être un moteur déterminant de l'amélioration des outils de pulvérisation et de leur utilisation. L'utilisation de buses à dérive limitée, l'installation d'une cuve de rinçage permettent de réduire notablement les risques de pollution ponctuelle. Des progrès restent cependant à accomplir notamment en ce qui concerne le local de stockage des produits, la sécurisation de la source d'approvisionnement en eau et plus généralement la protection de l'utilisateur.

3.2. Evolution des pratiques de désherbage

Les herbicides sont les produits les plus utilisés sur les terres cultivées de ce bassin versant, **bien que leur emploi ait fortement diminué** au cours de l'étude (tableau 2). Cette diminution des quantités d'herbicides utilisées a été particulièrement sensible pour le maïs pour lequel la dose moyenne d'herbicides était inférieure à 1 kg/ha en 2006 soit le même niveau que pour le blé. Elle est en partie la conséquence des modifications de stratégies de désherbage amorcées avant le retrait de

l'atrazine (2003) et de l'arrivée d'herbicides efficaces à très faible dose (sulfonylurées, tricétones). Il n'est pas toutefois certain que, face à l'évolution de la flore adventice observée suite au retrait de l'atrazine, une telle tendance puisse se poursuivre sans aggraver la nuisibilité des mauvaises herbes pour les cultures.

TABLEAU 2 – Quantités de produits phytopharmaceutiques utilisées dans le bassin versant (kg de substances actives).

Campagne agricole	1998-1999	1999-2000	2000-2001	2001-2002	2002-2003	2003-2004	2004-2005	2005-2006
Herbicides	167,1	165,8	180,9	114,4	107,8	80,4	110,4	71,7
Adjuvants	0,2	0	1,0	1,8	0,4	6,4	0,5	8,2
Régulateurs de croissance	20,8	35,7	49,6	39,4	13,1	31,7	37,7	59,6
Fongicides	31,5	51,8	39,9	48,8	22,2	58,0	44,8	49,1
Insecticides	0,2	0	1,7	0,6	0	6,0	2,8	0
Molluscicides	0	2,6	0	0,1	5,9	0	15,8	4,6

3.3. Aménagement des paysages

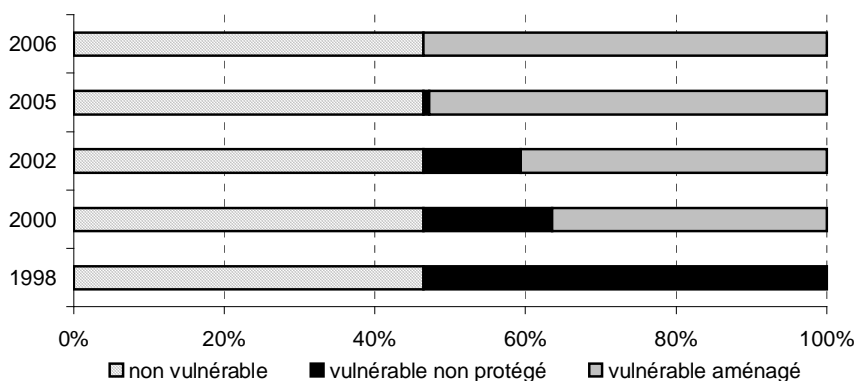
Les aménagements de l'espace mis en œuvre dans le cadre du plan d'action ont concerné :

- la restauration de 2 zones humides dans des chemins creux qui servaient auparavant de décharges sauvages ;
- la mise en place de 8 bandes enherbées, de 2 jachères ;
- la restauration et la mise en place de 4 talus et de haies ;
- le boisement de 2 friches ;
- l'entretien mécanique des bords des 2 étangs et des bords du ruisseau.

En 1998, sur plus de la moitié de la longueur du ruisseau, aucune protection ne s'opposait aux risques de dérive de produits phytopharmaceutiques dans les eaux. La mise en place de bandes enherbées, boisées pour certaines, ainsi que des aménagements de talus et haies ont progressivement été réalisés à partir de 1999, de façon volontaire et bien avant l'obligation de mise en place du couvert environnemental (conditionnalité PAC 2006). Plusieurs agriculteurs du bassin versant considérés comme "petits producteurs" au sens de la PAC (donc non soumis à l'obligation de mise en place du couvert environnemental) ont néanmoins implanté des zones enherbées.

Ce sont les zones les plus sensibles révélées par le diagnostic des parcelles à risques qui ont été aménagées en premier, puis l'ensemble du linéaire "vulnérable" du ruisseau (figure 6).

FIGURE 6 – Etats des 3690 m de bords du ruisseau de la Fontaine-du-Theil de 1998 à 2006.



Depuis 2005, l'entretien chimique des bords de champs a par ailleurs régressé au profit de l'entretien mécanique et de l'entretien chimique localisé. Ces évolutions ont résulté d'actions volontaires des agriculteurs qui se sont équipés de matériels d'entretien mécanique soit individuellement, soit collectivement en CUMA.

4. Le suivi de la qualité des eaux et les transferts de produits phytopharmaceutiques à l'exutoire du bassin versant

Le nombre de substances actives dosées dans l'eau prélevée à l'exutoire du bassin versant est passé de 10 en 1998 à 28 en 2006. Plus de 15 000 analyses ont été réalisées au cours de la période d'étude, sur des échantillons d'eau, journaliers ou hebdomadaires, selon les périodes de l'année, constitués à partir de prélèvements unitaires dont le rythme de prélèvement était asservi au volume d'eau passé.

4.1. Fréquence de contamination des eaux par des produits phytopharmaceutiques

La fréquence de détection de résidus de produits phytopharmaceutiques (proportion des dosages effectués pour laquelle la teneur de la substance active recherchée est supérieure à 0,05 µg/l) dans les eaux du ruisseau est passée de 22% pour la première campagne agricole à 5% ou moins à partir de 2000-2001 (tableau 3).

Le décret du 20 décembre 2001 fixe pour les eaux brutes les seuils de concentration à ne pas dépasser à 2 µg/l par substance active et à 5 µg/l pour le total des substances actives. Le seuil de 2 µg/l par substance active a été quelquefois dépassé mais cela représentait seulement 6 cas sur l'ensemble des 15 073 déterminations effectuées. De même, le seuil de 5 µg/l pour le total des substances actives a été quelquefois dépassé au cours des premières années, mais pas une seule fois depuis la campagne 2000-2001. Par ailleurs, la fréquence de détection de concentrations inférieures à 0,5 µg/l pour l'ensemble des substances actives a baissé de 60% de 1998-1999 à 2005-2006.

TABLEAU 3 – Fréquence (%) de détection des substances actives dans les eaux du ruisseau prélevées à l'exutoire du bassin versant.

Campagne agricole	1998-1999	1999-2000	2000-2001	2001-2002	2002-2003	2003-2004	2004-2005	2005-2006
Nombre de déterminations	2 044	2 666	1 816	2 894	1 150	896	1 371	1 386
Fréquence de détection	22,4%	6,8%	3,7%	2,6%	5,0%	2,1%	2,2%	4,8%

4.2. Flux de produits phytopharmaceutiques à l'exutoire du bassin versant

Les flux de produits ont été calculés en multipliant la concentration pour chaque échantillon d'eau analysé par la lame d'eau écoulee pendant la durée correspondant à l'échantillonnage.

Les quantités de substances actives véhiculées chaque année par les eaux du ruisseau ont été le plus souvent inférieures à 0,2% des quantités appliquées dans les champs. L'évolution des produits phytopharmaceutiques utilisés et la réduction des doses appliquées ont engendré une diminution de presque 75% des flux annuels de substances actives entre 1998-1999 et 2005-2006, variables toutefois selon les substances actives.

5. Les transferts de phosphore à l'exutoire du bassin versant

Élément clé de l'eutrophisation susceptible de se manifester dans certains milieux aquatiques, le phosphore sous ses formes P total et P"ortho" a fait l'objet de très nombreuses déterminations de sa concentration dans les eaux prélevées à l'exutoire du bassin versant.

5.1. Analyse du phosphore dans les eaux et calculs des flux de phosphore à l'exutoire du bassin versant

La concentration de phosphore dans les eaux des cours d'eau varie fortement lors des crues, au même titre que la concentration des autres éléments, mais de façon spécifique et avec une amplitude parfois très importante (GÄCHTER *et al.*, 2004). La détermination des flux de phosphore à l'exutoire d'un bassin versant requiert par conséquent un mode d'échantillonnage des eaux adapté.

La méthode d'échantillonnage mise en œuvre dans cette étude a évolué au cours du temps. De 1998 à août 2001, la fréquence d'échantillonnage variait en fonction du débit et un programme d'échantillonnage spécifique était déclenché dès que le signal d'une crue était détecté. Ce dispositif a permis de bien échantillonner 14% des crues. Des relations ont été établies pour déterminer les teneurs moyennes en phosphore des eaux pendant celles-ci en fonction de leur durée et de leur débit. Ces relations ont par la suite permis de calculer les flux de phosphore pour la période concernée. Par la suite, des échantillons quotidiens, puis hebdomadaires à partir de 2005, ont été constitués. Plus de 4 000 échantillons d'eau ainsi prélevés ont été analysés. Les teneurs en phosphore total (P total) et en phosphore dissous réagissant au ortho molybdique (P ortho) ont été mesurées. En 2005, suite au changement de laboratoire d'analyse, le dosage du P ortho a été remplacé par celui du phosphore dissous (P total de l'eau filtrée à 0,45 µm).

Outre les prélèvements d'eau à l'exutoire, de 1998 à 2004, des prélèvements manuels ont été réalisés épisodiquement en 37 points répartis le long du ruisseau pour évaluer la contribution de certaines zones du bassin aux apports de phosphore dans le ruisseau. Plus de 3 500 échantillons d'eau correspondant à 167 dates de prélèvement ont ainsi été collectés mais, compte tenu de la nature des prélèvements réalisés, seule la concentration de P ortho a été déterminée.

5.2. Concentrations et flux de phosphore à l'exutoire du bassin versant

Les concentrations de P total et de P ortho dans l'eau du ruisseau à l'exutoire du bassin versant ont fortement varié dans le temps (figure 8), tout particulièrement pendant les crues, y compris lorsque celles-ci étaient de faible amplitude et de courte durée. Les concentrations de P total ont varié de moins de 5 µg P/l à plus de 2 000 µg P/l et celles de P ortho de 1 µ P/l à plus de 200 µg P/l, les valeurs médianes étant respectivement de 108 et 25 µg P/l. Ces variations de teneurs ainsi que les valeurs médianes sont conformes à ce qui a été observé ailleurs dans le monde, sous des climats tempérés, pour des bassins versants où dominait la prairie (SMITH *et al.*, 1995 ; MC DOWELL *et al.*, 2007).

Le flux annuel de phosphore véhiculé à l'exutoire du bassin a été calculé pour chaque campagne agricole, du 1^{er} octobre au 30 septembre : en moyenne, de 415 g P total/ha/an et 84 g P ortho/ha/an ; il a été le plus important pour l'année 2000-2001 qui a été la plus pluvieuse (1 239 mm) (figure 9) : 187,6 kg P total (1 400 g P/ha) et 24,4 kg de P ortho (182 g P/ha) ont été transférés à l'exutoire du bassin versant au cours de cette année. Ces quantités correspondaient à des concentrations moyennes de la lame d'eau de 188 µg P total/l et 24 µg P ortho/l, les plus élevées de celles observées au cours de la période d'étude. Ces pertes et concentrations de phosphore peuvent néanmoins être considérées comme faibles ou modérées eu égard aux valeurs observées dans d'autres études. En Irlande, DOUGLAS *et al.* (2007) ont par exemple calculé pour l'année 2001-2002, dans un bassin versant de 84,5 km² occupé à 90% par des surfaces agricoles dont 95% en prairies et où la pluviosité fut de 1 130 mm, des pertes de phosphore total de 1 730 g/ha, 1 830 g/ha et 2 500 g/ha, respectivement pour une parcelle de 15 ha, une ferme de 62 ha, et l'ensemble du bassin versant. En Ecosse, dans une région où la pluviosité annuelle est en moyenne de 1 054 mm, HOODA *et al.* (1999) ont mesuré de 1994 à 1996 des pertes de phosphore total dans les eaux de drainage variant de 2 970 à 5 030 g P/ha/an pour deux prairies conduites de façon intensive.

Le fait que, dans le bassin versant de la Fontaine-du-Theil, les pertes de phosphore les plus élevées aient été observées au cours des 3 premières années de l'étude, qui ont été les plus pluvieuses, témoigne **du rôle majeur de l'hydrologie dans les transferts de phosphore** vers les cours d'eau. Toutefois, la très forte réduction des pertes de phosphore enregistrées au cours des dernières années (figure 8) ne peut en totalité être imputée au faible niveau des lames d'eau écoulées à partir de l'année 2001-2002. **Les aménagements** réalisés dans le bassin versant tels que la reconstitution de haies et talus ainsi que la mise en place de bandes enherbées le long du ruisseau (figure 7), **ont sans doute aussi joué un rôle non négligeable**. Les mesures réalisées dans les eaux prélevées dans les 37 points répartis tout au long du ruisseau ont montré que les eaux émanant de zones en friche, des étangs et de certaines prairies permanentes exploitées de façon peu intensive présentaient des concentrations de P ortho plus faibles que celles des eaux émanant de zones cultivées. Il s'est avéré par ailleurs que le gradient des concentrations de P ortho, croissant vers l'aval du bassin versant, correspondait aussi à celui des teneurs en phosphore disponible (méthodes DYER ou OLSEN) dans la couche de terre labourée des parcelles cultivées.

FIGURE 7 – Distribution des teneurs (fréquence et fréquence cumulée en %) en P total et P réagissant au réactif molybdique (P ortho) pour les échantillons d'eau prélevés de 1998 à 2004.

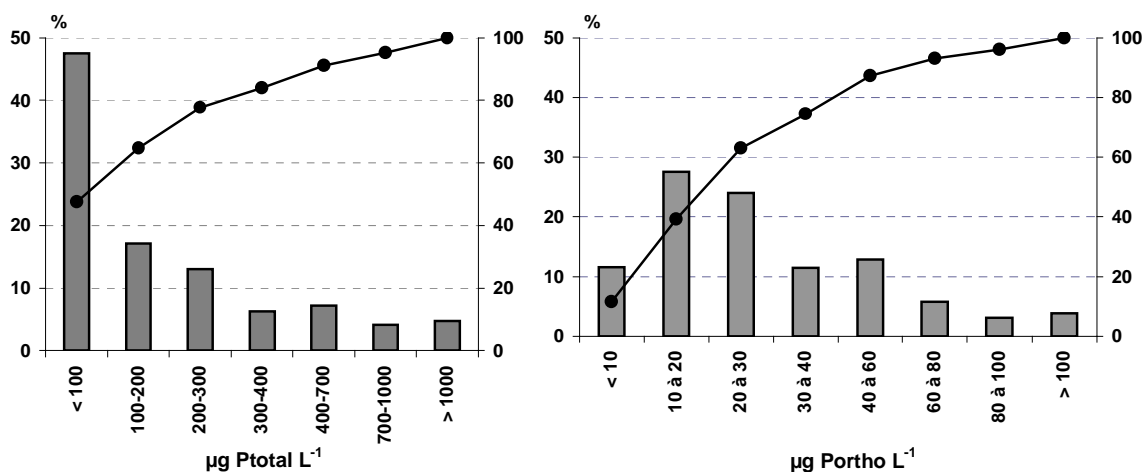
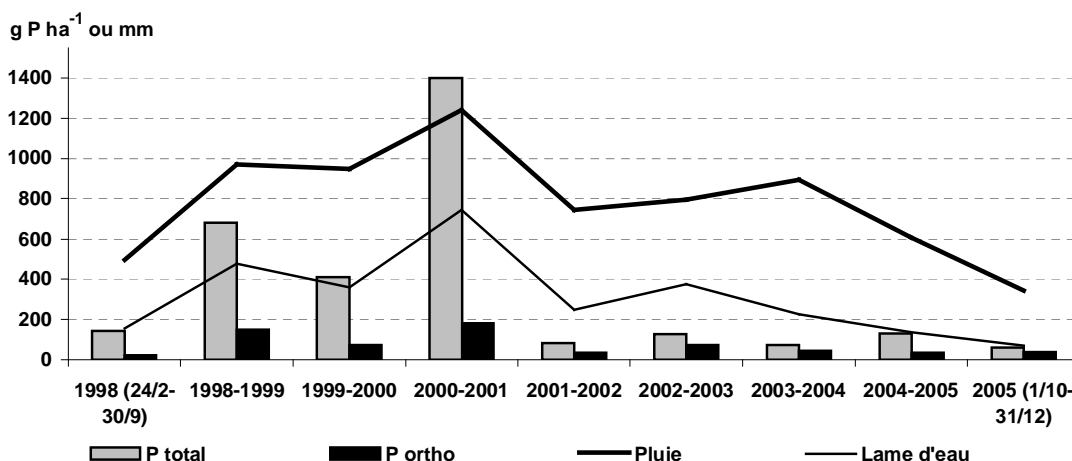


FIGURE 8 – Pluviosité annuelle, lame d'eau écoulée et flux de P total et de P ortho véhiculés à l'exutoire du bassin versant de la Fontaine-du-Theil de 1998 à 2005.



6. Prolongements et limites de l'étude

Les résultats acquis sur ce bassin versant bocager en zone de polyculture élevage l'ont été dans un contexte à la fois pédo-climatique et hydrologique spécifique : sols sur schistes, circulation des eaux superficielles, et dans le cadre de pressions environnementales d'ordre réglementaire propres à certaines régions d'élevage : zone vulnérable, zone d'action complémentaire. Cependant, même si chaque bassin versant est unique du fait de ses caractéristiques pédologiques, hydrologiques et de l'occupation agricole et humaine de son territoire, l'étude à cette échelle semble la plus pertinente pour évaluer l'impact de l'activité agricole sur la qualité des eaux.

La prise en compte des spécificités locales et l'implication des agriculteurs sont les clés de la réussite des opérations engagées à cette échelle.

Conclusion

Les actions conduites sur le bassin versant de la Fontaine-du-Theil de 1998 à 2006 débouchent sur un bilan que l'on peut considérer comme positif du point de vue des évolutions des teneurs en substances actives et en phosphore dans les eaux. Il a été montré qu'avec des actions individuelles et collectives bien ciblées grâce à un diagnostic préalable du milieu, il est possible dans un laps de temps relativement court d'améliorer de manière sensible certains paramètres de la qualité de l'eau sans altérer la fonction de production des surfaces cultivées.

Souvent perçu comme une contrainte pour les agriculteurs, **l'entretien des bords de champs** s'est révélé comme un des leviers importants pour améliorer la qualité de l'eau en conciliant la production agricole, la gestion des paysages et le maintien d'une certaine biodiversité.

Cette étude a par ailleurs montré que pour résoudre certains problèmes tels la présence de produits phytopharmaceutiques dans les eaux, **l'examen détaillé de la chaîne des interventions au niveau de l'ensemble de l'exploitation** permettait de mettre l'accent sur des mesures simples mais efficaces, telles le bon entretien et le réglage des pulvérisateurs, la protection des zones à risques: cours d'eaux et fossés, et la mise en place de zones tampons: jachères, bandes enherbées et restauration des zones humides.

Cette étude a été réalisée en étroite collaboration **avec les agriculteurs, les Maires et les élus des communes de Saint-Léger-des-Prés, Marcillé-Raoul, Noyal-sous-Bazouges qu'il faut ici remercier.** Ce projet a pu être mené à son terme grâce aux **concours financiers de nombreux organismes¹ et à un partenariat technique et scientifique très divers².**

Références Bibliographiques

- BARROIN G 2003. Phosphore, azote et prolifération des végétaux aquatiques. Courrier de l'Environnement de l'INRA 48: 13-26
- BIBARD V, THIERRY J, MARQUET N, TOURNAYRE JC, CAMBON B, GRIL J-J, GUYOT C, REAL 2001. Mise en œuvre des recommandations du CORPEN à l'échelle d'un bassin versant : premiers résultats obtenus sur le site de la Fontaine du Theil. Ingénieries N° Spécial Phytosanitaires pp 99-107.

1 Agence de l'Eau Loire-Bretagne, Association de Coordination Technique Agricole, Conseil Général d'Ille et Vilaine, Conseil Régional de Bretagne, Direction Régionale de l'Environnement de Bretagne, Europe, Union des Industries de la Protection des Plantes.

2 AGRIAL ,ARVALIS-Institut du végétal, Association de Pêcheurs de la Truite Tamoutaise, Centre national du Machinisme agricole et du Génie Rural des eaux et Forêts, Chambre d'Agriculture d'Ille et Vilaine, Chambre Régionale d'Agriculture de Bretagne, Conseil Supérieur de la Pêche, COOPAGRI , la COOP du GOUSSANT ,COOP de France, Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie de Rennes, Etudes et Chantiers, Fédération Départementale des CUMA d'Ille et Vilaine, Fédération Régionale de Défense des Cultures de Bretagne, Fédération de Pêche d'Ille et Vilaine, Etudes et Chantiers, Institut pour le Développement Forestier, Institut de l'Élevage, Institut National de Recherche Agronomique, Négoce Ouest, Service Régional de la Protection des Végétaux, ,VEGAM.

- CAMBON B, GUYOT C, MAILLET-MEZERAY J, MARQUET N, THIERRY J 2004. Bassin versant de La Fontaine du Theil. Produire et reconquérir la qualité de l'eau : actions et résultats sur la période 1998 – 2003. Colloque savoirs et savoir-faire sur les bassins versants, Vannes, 20, 21 et 22 avril 2004, pp 131-132.
- CORPEN groupe "Phytoprat" 1995 Protection des cultures et prévention des risques de pollution des eaux par les produits phytosanitaires utilisés en agriculture : recommandations générales, 88 p.
- DOUGLAS R W, MENARY W, JORDAN P 2007. Phosphorus and sediment transfers in a grassland river catchment. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 77: 99-212
- GÄCHTER R, STEINGRUBER SM, REINHARDT M, WEHRLI B 2004. Nutrient transfer from soil to surface water: differences between nitrate and phosphate. *Aquatic Science* 66: 117-122
- GUYOT C, FAGOT M, GRILL J-J, MICHEL P, REAL B, THIERRY J, TOURNAYRE J-C 1999. Le petit bassin versant expérimental : un outil pour comprendre et maîtriser la pollution des milieux aquatiques par les produits phytosanitaires XXIX Congrès du Groupe Français des Pesticides pp 144-149.
- HOODA PS, MOYNAGH M, SVOBODA IF, EDWARDS AC, ANDERSON HA, SYM G 1999. Phosphorus loss in drainflow from intensively managed grassland soils. *Journal of Environmental Quality* 28: 1235-1242
- LE COEUR D 2006. Guide d'utilisation de "l'indicateur flore" pour une évaluation écologique des bordures de champs Document provisoire INRA SAD RENNES 24 p.
- MAILLET-MEZERAY J, MARQUET N 2004. Bassin versant de La Fontaine-du-Theil : produire et reconquérir la qualité de l'eau. 19ème conférence du COLUMA, Dijon, 8, 9 et 10 décembre 2004, p 76.
- MCDOWELL RW, WILCOCK RJ 2007. Sources of sediment and phosphorus in stream flow of a highly productive dairy farmed catchment. *Journal of Environmental Quality* 36: 540-548
- SHARPLEY AN, REKOLAINEN S 1997. Phosphorus in agriculture and its implications. In *Phosphorus loss from soil to water*. Edited by Tunney H *et al.* CAB International, 1-53
- SMITH RV, LENNOX SD, JORDAN C, FOY RH, MC HALE E 1995. Increase in soluble phosphorus transported in drainflow from a grassland catchment in response to soil phosphorus accumulation. *Soil Use and Management* 11: 204-209
- THIERRY J 2000. La mise en œuvre d'une démarche de diagnostic parcellaire et territorial sur le bassin versant expérimental de la Fontaine du Theil. Colloque AFPP « Qualité des eaux et produits phytosanitaires : les actions pour la protection des eaux » 13 p.
- THIERRY J, BIBARD V, GUERILLON L, MOREL A, GILLET J-P, GUYOT C, MARQUET N, BAZILE E, BORDENAVE P, SERRAND P, BOITEAU T, FOURRIER L, CHAMBAUT H, SENEGAS I, CHARNET F, TRACZ Y, VACHET P 2002. Pratiques agricoles durables et qualité des eaux dans le bassin versant de la Fontaine du Theil. *Rapport d'étape campagne 2001, ARVALIS-Institut du végétal* 253 p.
- THIERRY J, BIBARD V, PIERRE N, REAL B, MOREL A, BAZILE E, BORDENAVE P, SERRAND P, BOITEAU T, MARQUET N, FOURRIER L, CHAMBAUT H, SENEGAS I, TRACZ Y, VACHET P 2003. Pratiques agricoles durables et qualité des eaux dans le bassin versant de la Fontaine du Theil. *Rapport d'étape campagne 2002, ARVALIS-Institut du végétal* 93 p.
- THIERRY J, BERTHELOT C, MAILLET-MEZERAY J, MOREL A, BORDENAVE P, SERRAND P, GUERINEAU F 2004. Pratiques agricoles durables et qualité des eaux dans le bassin versant de la Fontaine du Theil. *Rapport d'étape campagne 2003, ARVALIS-Institut du végétal* 64 p.