



28489 RM



Agence de l'eau
Bretagne

FÉDÉRATION
DE RECHERCHE



14

PNRZH



INRA

Centre National de la Recherche Agronomique



CENTRE NATIONO
DE LA RECHER
SCIENTIFIQUE



PÔLE D'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE RECHERCHE AGRONOMIQUE
DE RENNES



UNIVERSITE DE RENNES 1



TY-FON

Typologie fonctionnelle des zones humides de fonds de vallée en vue de la régulation de la pollution diffuse

Septembre 2000

Rapport de synthèse final

Coordination – édition : Ph. MEROT, UMR INRA-ENSA Sol et
Agronomie de Rennes-Quimper

Collaborations : BARRIUSO E., BEAUJOUAN V., BENOIT P., BIDOIS J.,
BOURRIE G., BUREL F., CHAPLOT V., CHARNAY M-P., CLEMENT B.,
CLEMENT J-C., COTONNEC A., CURMI P., DURAND P., GANZETTI I.,
GASCUEL-ODOUX C., GRIMALDI C., HOLLIER LAROUSSE A., HUBERT-MOY L.,
JAFFREZIC A., KAO C., KAO C., MEROT PH., MOLENAT J., OUIN A.,
PINAY G., PIVETTE E., REGIMBEAU C., RUIZ L., TROCCAZ O., TROLARD
F., WALTER C., ZIDA M.

Table des matières

A : Objectifs du projet et contexte général	4
1 Justifications théoriques et pratiques	4
2 Plan de recherche ; Objectifs scientifiques et opérationnels.	7
B : Résultats	
Thème 1 : Caractérisation et fonctionnement hydrologique :	
- Approches de modélisation pour estimer la dynamique spatio-temporelle des zones humides de fonds de vallée et leur rôle de contrôle hydrologique.	17
Le fonctionnement hydrologique des zones humides en interaction avec le versant ; le cas du bassin versant de Naizin-Kervidy.	18
Etude et modélisation des relations hydrauliques entre réseaux de fossés, ouvrages hydrauliques et zones hydromorphes de fonds de vallons Cas du bassin Pilote de Ru de Cétrais (44)	25
Thème 2 : Caractérisation et fonctionnement pédologique	
- Organisation pédologique et dynamique interne des sols hydromorphes de fonds de vallée ; relations avec la géomorphologie	32
Apport de la géophysique à la caractérisation des sols hydromorphes de fond de vallée	36
Fonctionnement hydrodynamique	38
Fonctionnement géochimique : l'anoxie et les échanges ruisseau/zone hyporhéique	41
Thème 3 : Caractérisation et fonctionnement géochimique	
3.a Zones humides et régulation des flux d'azote	43
3 b Les éléments métalliques en trace (ETM) dans les zones humides	51
3 c Devenir des pesticides dans les zones humides de fonds de vallée,	56
Thème 4 : Caractérisation et fonctionnement biologique :	
Impact des apports diffus sur la biodiversité des zones humides de fonds de vallée.	63
Thème 5 : Relations entre les activités agricoles et l'utilisation des zones humides de fond de vallée	69
Thème 6 : Apport de la télédétection à l'inventaire des zones humides de fond de vallée	80
Thème 7 : Vers une typologie fonctionnelle des zones humides de fonds de vallée.	88
Influence de la forme du versant sur le fonctionnement des zones humides : étude théorique par modélisation	95
Typologie hydrologique des petites zones humides ripariennes	98
C : Valorisation, Publications, Congrès, Transfert	112

A : Objectifs du projet et contexte général

1 Justifications théoriques et pratiques

1.1 Objectif

Le projet proposé est centré sur la typologie et le fonctionnement des zones humides de fonds de vallée, et parmi celle-ci, de façon prioritaire aux zones humides situées dans les bassins versants d'ordre 1 à 3, où l'eau acquiert ses principales caractéristiques hydrologiques et géochimiques. L'objectif est d'aboutir à une typologie fonctionnelle des fonds de vallée dans une optique de contrôle des pollutions diffuses. Cette typologie sera construite en prenant en compte les structures spatiales dans lesquelles se trouvent ces zones, ainsi que les modalités d'utilisation et de gestion auxquelles elles sont soumises.

La situation des zones humides de fonds de vallée.

Oubliées des inventaires du fait de leur caractère diffus dans le paysage, ces zones humides ceignent les rivières en un réseau dense et anastomosé composé d'étroites lanières humides s'élargissant en raquette dans les têtes de vallon. Elles sont particulièrement représentées dans les massifs anciens, mais pas uniquement. Dans l'Ouest, elles sont insérées au cœur d'un paysage agricole fortement intensif où elles couvrent cependant de 15 à 20 % de la surface des sols.

La problématique qui s'y développe est simple. Ces zones humides ont jusqu'à un passé très récent subi le développement d'une agriculture à la recherche d'espaces productifs intensifs qui a menacé leur existence même. Dans un retour de balancier, face à la dégradation notamment de la qualité des eaux, et après de nombreux travaux (qui seront rapidement évoqués dans la suite) la prise en compte de ces zones apparaît comme un élément essentiel dans la régulation du fonctionnement des paysages, sur différents plans : hydrologie, géochimie, biodiversité, paysage. Cependant les réponses que les chercheurs peuvent proposer pour quantifier ces fonctions et donc guider des aménagements (réhabilitation, conservation,...) sont malheureusement insuffisantes alors que la demande sociale est très forte.

De là découlent les grandes orientations du projet qui intègrent 2 contraintes :

- Nécessité de caractériser la diversité des zones humides, ce qui implique de travailler à l'échelle au moins régionale, sur différents sites. Un certain nombre de sites sont déjà l'objet de recherches. C'est sur ceux-ci que les recherches seront orientées. Leur bonne répartition permettra d'établir des méthodes de typologie et d'évaluation fonctionnelle à l'échelle du Massif armoricain, et qui seront confrontées à d'autres sites en France.

- Du fait de la bonne coordination sur ce thème en Bretagne, les différentes équipes ont construit cette réponse en l'articulant avec les propositions qu'elles ont faites à un grand programme de recherche finalisée développé au niveau régional dans le cadre de BEP II (Bretagne Eau Pure II). Ces dernières portent notamment sur la réhabilitation des zones humides et leur gestion dans une optique de contrôle de la qualité des eaux. L'ensemble de ces réponses permet d'avoir une démarche clairement finalisée. Dans le cadre du projet Ty-Fon par contre, certains aspects de ce programme ne sont pas directement finalisés, mais indispensables pour la cohérence générale de notre démarche.

1.2 Situation du sujet et étude bibliographique au moment du démarrage du projet.

En effet, si l'on a pu mettre en relation les changements dans les pratiques agricoles et les augmentations des flux azotés au cours de ces vingt dernières années, il n'en demeure pas moins qu'il est très difficile de mettre en relation la dynamique des flux d'azote dans les cours d'eau, la structure paysagère du bassin versant et les pratiques agricoles (Dermine & Lamberts, 1987). A cela, deux raisons : la première raison est que l'azote est un composé qui passe sous différentes formes, solides, dissoutes et gazeuses sous l'action de processus biologiques et ne constitue donc pas un "traceur" conservatif. Ainsi, il a pu être mis en évidence le rôle tampon des zones humides en général (voir Johnston 1991 pour une revue), et des zones riveraines de fonds de vallées en particulier (Peterjohn & Correll 1984 ; Pinay & Décamps 1988 ; Pinay et al. 1993) vis-à-vis des flux d'azote. Ces structures paysagères humides représentent donc des "puits" d'azote dans les bassins versants (Knowles, 1981). L'autre raison est la non-prise en compte de la connectivité existant entre les différentes structures du paysage, lors du recensement dans le paysage de ces "puits" d'azote (Jones 1976, Osborne 1988, Johnston et al. 1990). Il existe en effet une grande différence entre la capacité tampon potentielle de ces zones humides, liée à leurs caractéristiques intrinsèques (engorgement des sols, présence de carbone organique facilement minéralisable) et leurs capacités réelles, intimement liées au flux d'azote les traversant, véhiculés par le vecteur eau, donc liées à leur connectivité. Le caractère interstitiel des zones humides de fonds de vallée, au contraire des grandes zones humides, comme les marais du Cotentin ou les Marais de l'Ouest, sur la façade atlantique, en fait toute l'originalité, la multiplication des interfaces étant importante non seulement du point de vue écologique, mais aussi du point de vue agronomique, hydrologique, géochimique.

Ces zones tampons ne sont d'ailleurs pas les seules : les sédiments des cours d'eau, les haies-talus doivent aussi contribuer à la régulation des flux d'azote dans les paysages, parfois en synergie avec les zones humides (Vought et al. 1995, voir Merot et al. 1994 pour une revue).

Le rôle des zones humides apparaît ainsi majeur vis à vis de nombreux processus de régulation. On a illustré ce fait vis à vis de l'azote ; on aurait pu l'illustrer vis-à-vis des métaux lourds des pesticides ou du phosphore pour lesquels cependant le rôle tampon des zones humides est moins établi, et pour lesquels il existe d'ailleurs beaucoup moins de données.

En hydrologie, la notion de zone humide de fonds de vallée, traduite par celle de *zone contributive ou zone de source à surface variable* est un des concepts les plus fertiles des 20 dernières années : on considère qu'au sein d'un bassin versant la dynamique de la zone contributive contrôle et régule le cycle de l'eau. Ce concept de *zone contributive* trouve de nombreuses applications comme la caractérisation et l'inventaire des zones humides à travers, notamment, la modélisation hydrologique distribuée.

1.3. Mise en perspective du programme par rapport à l'état de l'art en 2000.

La tenue à Québec lors de l'été 2000 de "l'évènement du millénaire sur les terres humides", colloque réunissant plus de 2000 participants traitant des divers aspects des zones humides donne une bonne base pour mettre en perspective le programme Ty-Fon par rapport à l'état de l'art actuel.

La nécessité d'une caractérisation spatiale et fonctionnelle des zones humides, avec la recherche de méthodes très opérationnelles est incontestablement un des points forts actuel. Dans cette optique, *la prise en compte du bassin versant* pour délimiter, évaluer, hiérarchiser les zones humides est en plein développement notamment aux Etats Unis. C'est l'approche proposée par l'U.S Fish and Wildlife service (Tiner, 2000), l'US EPA (Leibowitz, 2000), le Maine state Planning Office (Hertz, 2000), le Penn state cooperative wetland center (Brooks et al, 2000) - qui propose le "Wetlands, Wildlife and Watershed Assessment techniques" -, le N.Y. city département of environmental protection (Machung & Forgione, 2000). On pourrait encore citer des équipes de Caroline du sud, du Massachusset, de l'état de Washington. Dans cette optique opérationnelle, les SIG sont largement employés (Jenkins et al., 2000, Suter, 2000 ; Epps et al., 2000)). Ces travaux, en général à une échelle large, prennent en compte la position dans le paysage (notamment la distinction des zones humides de tête de bassin et les autres le long de la rivière), la géomorphologie et les chemins de l'eau. L'ordre des bassins est ainsi un élément qui peut contribuer à la classification des zones humides. Si la

plupart de ces méthodes restent empiriques, on notera au contraire la méthode proposée par Rohde et Seibert (1999) sur la prédiction des potholes (dépressions post glaciaires fermées) par un modèle analytique basé sur MNT, qui est la reprise directe de la méthode proposée naguère (Merot, et al., 1995).

A coté de ces approches pragmatiques reliant zones humides et bassin versant des travaux plus analytiques prennent en compte les *relations entre zones humides et nappes superficielles* et leurs conséquences sur la qualité des eaux. LaBaugh et al. (2000) avec d'autres, classent ainsi les zones humides par rapport au fonctionnement de la nappe (recharge, décharge ou transit). Puckett (a, 2000) montre les erreurs d'interprétation sur le rôle épurateur des zones humides, si l'on ne prend pas en compte le *temps de transfert* de l'eau et des éléments dissous dans les nappes peu profondes liées à la zone humide. La variabilité du fonctionnement de la zone humide en fonction des épisodes est également développée (Prior et Johnes, 2000).

La recherche d'indicateurs sur le *statut hydrique des sols* pour permettre l'identification des zones humides a fait l'objet de travaux originaux, à cotés de méthodes classiques de mesure par des capteurs locaux. Sprecher et Warna (2000)proposent ainsi de se baser sur un index des pluies antécédentes tirées de fichiers météorologiques nationaux. Richardson et al (2000) introduisent le concept de zones humides potentielles, basé sur des facteurs abiotiques. Huddleston et Verble (2000) attirent l'attention sur la difficulté de prévoir la localisation de zones humides en position de versant.

Bien le *rôle d'abattement* sur les nutriments qui est joué par les zones humides, est une question de recherche importante. Il n'y a pas encore de synthèse générale, les auteurs insistant en général sur la nécessité de prendre en compte les conditions locales. Certains auteurs (Brenner-Zalewski et al, 2000) proposent cependant des modèles simples pour prédire la taille optimale de la zone humide pour atteindre des objectifs fixés d'abattement, basés notamment sur la surface relative de la zone humide (lagune) par rapport au bassin versant et le taux de couverture végétale. En terme d'aménagement ou de création de zones humides visant à diminuer la charge des eaux (nutriment, bactérie,...), de nombreuses configurations sont proposées, tant pour la pollution diffuse que celle liée au siège de l'exploitation, souvent avec d'excellents résultats. Notons cependant que le contexte Nord-américain, différent sur le plan physiographique mais surtout sur le plan réglementaire, permet de tester un éventail très large de technique qui vont jusqu'au lagunage.

Les travaux sur les pesticides dans les zones humides ont fait l'objet d'une session, traitant de l'influence de pesticides sur la dénitrification, des phénomènes d'adsorption et de désorption en conditions anoxique, de persistance de DTT dans des zones humides anciennement traitées. Les conséquences les plus marquantes et sur le long terme ne sont mises en évidence cependant que lors d'épandage massif, comme ceux dans le delta du Mékong.

L'étude des émissions de gaz à effet de serre à partir des zones humides qui constitue un domaine de recherche en pleine expansion, avec quelques tentatives de synthèse pour exprimer le GWP (Global Warming Potential) des zones humides. De nombreuses références sont ainsi disponibles, l'essentiel des travaux étant orienté sur les émissions de méthane. Forsberg , et al. (2000) ainsi, associant imagerie satellitaire Radar et mesures locales estime sur l'Amazonie l'émission de méthane d'une zone inondable en la reliant à la vitesse de baisse du niveau d'eau sur 10 J. D'autres auteurs proposent de nouvelles techniques ou modèles pour mesurer ou prédire les émissions de gaz à effet de serre (par exemple Zhang et al., 2000).

Pour certains auteurs, le rôle de puits de carbone des zones humides est privilégié (Roulet et al. 2000).

1.3 Intérêt scientifique

L'objectif de cette proposition est de faire converger un ensemble de disciplines : hydrologie, hydrobiologie, écologie, science du sol, agronomie, géographie, écologie du paysage, pour établir un corpus de connaissances sur le fonctionnement hydrologique, géochimique, écologique de ces zones humides de fonds de vallée, sur les modalités de leur gestion, ainsi qu'une approche cohérente de leur typologie. Cet intérêt scientifique rejoint les grandes questions de recherche actuelle sur les zones humides dont un certain nombre ont été évoqué ci-dessus, à l'exception de l'incidence des zones humides sur l'émission de gaz à effet de serre, question que nous n'avons pas pu aborder malgré son intérêt.

1.4 Intérêt pour l'application. Relations avec les "questions d'Orléans".

Il s'agit de permettre la prise en compte des différentes fonctions des zones humides de fonds de vallée dans la gestion et l'aménagement rural en zone d'agriculture intensive, notamment vis à vis du contrôle de la qualité des eaux. La valorisation attendue en terme de transfert aux utilisateurs est de donner aux utilisateurs des outils pour l'inventaire zones humides de fonds de vallée et l'évaluation quantitative de leurs différentes fonctions. Ce programme devrait permettre d'établir un corpus de connaissances non contestables qui serviront de base aux actions de sensibilisation et de formation des acteurs du monde rural, actions qui se mettront en place dans les toutes prochaines années.

L'intérêt dépend également du contexte local. Sur le plan géographique, ce projet sera majoritairement centré sur le Massif Armoricaïn, dans la mesure où cette problématique y semble particulièrement pertinente. Cependant, il ne s'agit pas de faire une typologie régionale. Pour cela il sera intégré au travail une confrontation avec des sites couvrant le territoire national, notamment en région alpine.

Par rapport aux questions – thèmes posés lors du colloque d'Orléans, le projet Ty-Fon est particulièrement orienté pour répondre aux 2 premières questions :

- peut-on disposer d'indicateurs simples de terrain utilisable par les gestionnaires?
- peut – on évaluer de manière objective et standardisée la valeur de la zone humide?

Les questions de la réversibilité de la dégradation d'une zone humide ont été abordées moins directement. Cependant, on trouvera dans l'analyse du fonctionnement hydrologique d'une zone humide un certain nombre d'éléments utiles pour répondre à cette question, dans la mesure où ce fonctionnement hydrologique est la clé du fonctionnement général des zones humides.

Enfin si la question du niveau d'intervention acceptable dans une zone humide sans la dénaturer n'est pas une question qui se pose réellement sur les zones humides considérées dans le projet Ty-Fon, une question voisine, plus pertinente sans doute dans le contexte visé, a été traitée : il s'agit des relations entretenues par l'agriculteur avec les zones humides en fonction du type d'exploitation et des contraintes spatiales. Il s'agit là d'un enjeu important sur le long terme pour un maintien dynamique des zones humides en milieu agricole.

2 Plan de recherche ; Objectifs scientifiques et opérationnels.

Ce projet, axé sur la typologie fonctionnelle des zones humides de fonds de vallée en vue de la régulation de la pollution diffuse, s'articule autour des 6 grands thèmes suivants :

Caractérisation et fonctionnement hydrologique :

1 - Approches de modélisation pour estimer la dynamique spatio-temporelle des zones humides de fonds de vallée et leur rôle de contrôle hydrologique.

Caractérisation et fonctionnement pédologiques :

2 - Organisation pédologique et dynamique interne des sols hydromorphes de fonds de vallée ; relation avec la géomorphologie.

Caractérisation et fonctionnement géochimique

Résultats de la recherche pouvant faire l'objet de valorisation

Il est difficile d'extraire du programme les résultats pouvant faire l'objet de valorisation, dans la mesure où l'ensemble du projet a été orienté vers des objectifs finalisés. Les possibilités de valorisation dépendent cependant des différents thèmes abordés où le niveau de connaissance initiale était très hétérogène.

Nous renvoyons plutôt aux différents chapitres, à partir du tableau suivant :

Thème	Valorisation
Thème 1 : Caractérisation et fonctionnement hydrologique : 1 - Approches de modélisation pour estimer la dynamique spatio-temporelle des zones humides de fonds de vallée et leur rôle de contrôle hydrologique.	modèles de fonctionnement de zones humides <ul style="list-style-type: none"> - à l'échelle du bassin versant (fonctionnement général) - et à l'échelle de la zone humide (contrôle dynamique des crues)
Thème 2 : Caractérisation et fonctionnement pédologique	modèles de distribution des zones humides; rôle de la géomorphologie rôle de la géologie dans la distribution régionale des zones humides
Thème 3 : Caractérisation et fonctionnement géochimique 3.a Zones humides et régulation des flux d'azote	validation des hypothèses fonctionnelles sur les zones humides mise au point d'indicateurs et de modèles d'évaluation fonctionnelle
3 b Les éléments métalliques en trace (ETM) dans les zones humides	premiers résultats et références
3 c Devenir des pesticides dans les zones humides de fonds de vallée,	premiers résultats et références
Thème 4 : Caractérisation et fonctionnement biologique : 4 Impact des apports diffus sur la biodiversité des zones humides de fonds de vallée.	éléments critiques sur les critères de conservation des zones humides
Thème 5 Relations entre les activités agricoles et l'utilisation des zones humides de fond de vallée	proposition d'une méthode d'analyse en fonction de l'usage
Thème 6 : Apport de la télédétection à l'inventaire des zones humides de fond de vallée	utilisation opérationnelle de capteurs connus et tests de nouveaux capteurs
Thème 7 : Vers une typologie fonctionnelle des zones humides de fonds de vallée.	proposition de typologie appliquée à différentes situations