Création d'un référentiel écologique pour l'évaluation du succès d'opérations de réhabilitation de zones humides

Judith Chevalier

▶ **To cite this version:**

Judith Chevalier. Création d'un référentiel écologique pour l'évaluation du succès d'opérations de réhabilitation de zones humides. Sciences agricoles. 2014. dumas-01108429

HAL Id: dumas-01108429

https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01108429

Submitted on 22 Jan 2015

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

AGROCAMPUS OUEST

☐ **CFR Angers**

☑ **CFR Rennes**

Année universitaire : 2013-2014

Spécialité : Génie de l'Environnement

Spécialisation (et option éventuelle) :

PAMEQ

Mémoire de Fin d'Études

☑ d'Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage

☐ de Master de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage

☐ d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)

Création d'un référentiel écologique pour l'évaluation du succès d'opérations de réhabilitation de zones humides

Par : Judith CHEVALIER

Soutenu à Rennes le 18 /09/14

Devant le jury composé de :

Président : Jacques HAURY

Maître de stage : Sébastien GALLET

Enseignant référent : Ivan BERNEZ

Autres membres du jury (Nom, Qualité)

Isabelle MULLER

Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle d'AGROCAMPUS OUEST

Remerciements

Je tiens à remercier Sébastien et Armel pour leur accompagnement et leurs conseils, précieux, tout au long de ce stage.

Merci à Vincent, pour avoir pris le temps de me montrer les ligules, les mucrons, et pour avoir répété les noms des fleurs.

Merci également à Claire Vételé, Jean-Christophe Gautier, Loïc Menand et Julien Le Dez pour le temps qu'ils m'ont accordé lors de mes recherches.

Un grand merci à Philippe Germain, pour avoir chamboulé ses plans lorsque les miens manquaient d'organisation.

Merci à Jenny et Clément pour leur gentillesse, les goûters, et pour avoir satisfait ma curiosité « d'écologue » même lorsque celle-ci empiétait sur leur travail de « phytochimistes ».

Enfin, je remercie toutes les autres personnes, qui, au cours de ce stage m'ont accordé de leur temps et de leur savoir-faire.

Sommaire

I- Introduction 5
A) Contexte 5
B) Les objectifs du stage 9
C) Les sites d'étude 11
II- Comparaison des sites à réhabiliter avec leur témoin 13
A) Introduction 13
B) Matériel et méthodes 14
1) Végétation 14
2) Paramètres édaphiques 15
C) Résultats 17
1) Analyse globale 17
2) Analyse site par site 19
D) Discussion 21
III- Construction et utilisation du panel de référence 23
A) Introduction 23
B) Matériel et méthode 23
1) Choix des sites de référence 23
2) Sélection des critères d'évaluation 25
C) Résultats 25
1) Sites sélectionnés pour le référentiel 25
2) Caractéristiques et utilisation du référentiel 27
D) Discussion 29
IV-Discussion générale 30
V- Conclusion 32

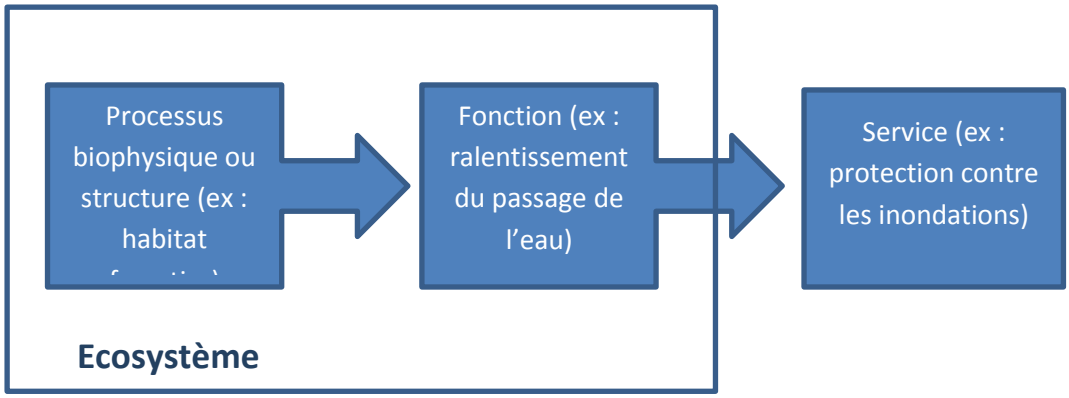


Figure 1 : Lien entre processus, fonction et service écosystémique *[*d'après *Haines-Young et Potschin 2013*]

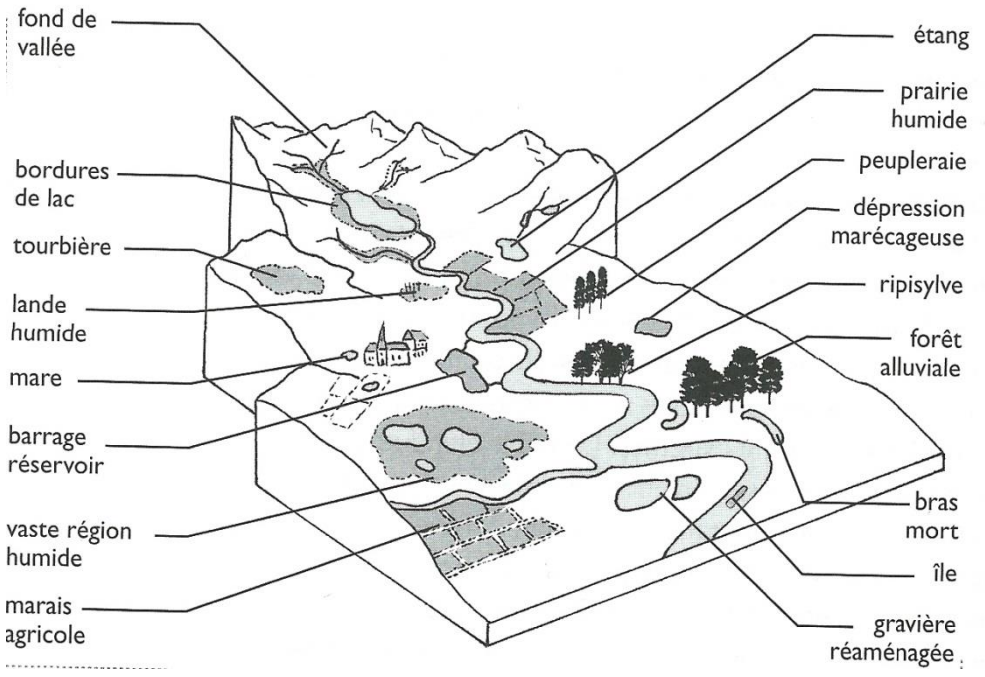


Figure 2 : Les principaux types de milieux humides continentaux, naturels et aménagés *[Barnaud, Fustec 2007]*

I- Introduction

A) Contexte

La perte de biodiversité et de services écosystémiques à l'échelle mondiale, déplorée notamment dans le Millenium Ecosystem Assessment (2005), témoigne d'une pression intense exercée par les activités humaines sur les écosystèmes. *[Aradottir et Hagen 2013]* Pour contrecarrer cette tendance, différents programmes internationaux mettent en avant les stratégies de restauration écologique *[Bullock* et al *2011]*. Ainsi, la stratégie pour la biodiversité de l'Union Européenne, pose notamment comme objectif pour 2020 de restaurer 15% des écosystèmes dégradés *[http://ec.europa.eu]* et la Convention sur la Diversité Biologique intègre aux buts à atteindre pour 2020, dans le plan stratégique pour la biodiversité, la restauration et la sauvegarde des écosystèmes qui fournissent des services essentiels (Figure 1). *[http://www.cbd.int]*

Dans ce contexte, les zones humides font l'objet d'une attention particulière du fait de leur importance en termes de services écosystémiques et des menaces qui pèsent sur elles *[Dausse 2013]*. Elles sont protégées par la réglementation française et européenne, dans le cadre de la lutte contre la dégradation de la qualité de l'eau et des milieux aquatiques, pour leur richesse biologique et culturelle intrinsèque. La convention de Ramsar (1971) sur les zones humides d'importance internationale liste les différents types de zones humides : marécages, marais, lacs, cours d'eau, prairies humides, tourbières, oasis, deltas, zones intertidales, zones marines côtières, mangroves, récifs coralliens, et zones humides artificielles (bassins de pisciculture), les rizières. *[Cizel 2010]* Ces milieux sont susceptibles de se former dans les dépressions (en altitude et en plaine), dans les zones de rupture de pente, sur les versants, dans les fonds de vallées, au niveau des bordures des lacs, dans les estuaires et sur le littoral maritime. *[Barnaud, Fustec 2007]* (Figure 2) Le bon fonctionnement de ces écosystèmes dépend de leur structure et des processus réalisés par ses composantes. Le stockage de l'eau est un exemple de fonction des zones humides, lié aux caractéristiques de composantes comme le sol, la végétation, la morphologie de la zone. C'est en partie dans le but de préserver/restaurer ces fonctions que les programmes de réhabilitation des zones humides ont été mis en place *[Barnaud, Fustec 2007]*. Parmi les fonctions assurées par les zones humides, Barnaud et Fustec 2007 listent notamment :

- Stockage des eaux de crue
- Rétention des matières en suspension et fixation des nutriments en excès (N, P)
- Rétention d'éléments traces potentiellement toxiques
- Habitats pour les espèces végétales et animales

La réhabilitation des zones humides dégradées a pour but de rétablir ces fonctions, en rétablissant leur fonctionnement global. Les dégradations résultent par exemple des actions de drainage, apports d'intrants, mise en culture, qui impactent la qualité de l'eau et déstabilisent la fonction « tampon » des zones humides *[FMA 2011, Merot* et al *2006]*.

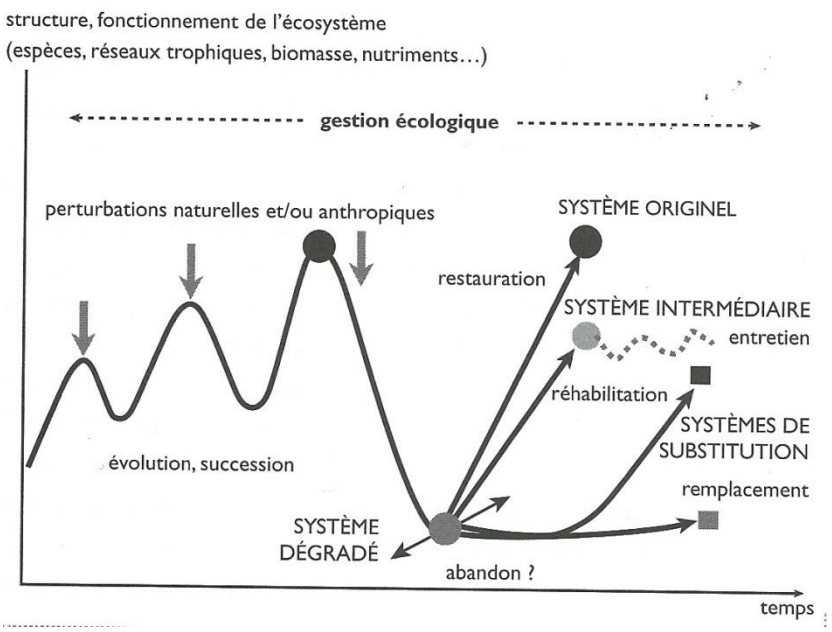


Figure 3 : Représentation schématique de l'évolution des systèmes écologiques et des options envisageables selon les objectifs *[Barnaud, Fustec, 2007]*

Pour répondre aux objectifs de restauration énoncés précédemment, les activités de restauration écologique sont devenues monnaie courante dans de nombreux pays, et portent sur des écosystèmes variés : forêts, zones humides, prairies, mangroves etc. Elles participent à la remise en place de services donnés de ces écosystèmes *[MEA 2005]*.

La restauration écologique est définie par la SER (Society for Ecological Restoration), comme *« le processus qui assiste l'autoréparation d'un écosystème qui a été dégradé, endommagé ou détruit »*. La réparation des processus, de la productivité et des services de cet écosystème, permet de rétablir la structure des communautés vivantes qui existaient historiquement, de retrouver un « état d'origine », ou « écosystème de référence » [SER 2004]. Cette définition montre rapidement les limites de ce concept. En effet, il est impossible de restaurer les exactes conditions initiales qui permettaient l'existence de l'état d'origine, que l'on ne connaît pas toujours d'ailleurs. La restauration est donc plus un concept qu'une mesure réaliste, et l'utilisation du terme restauration est généralisée pour des démarches qui font en réalité partie des mesures de réhabilitation.

Dans une démarche de réhabilitation, il est possible de se servir de l'état historique de l'écosystème comme référence, mais l'attention est portée sur la réparation des processus, services et productivité de cet écosystème *[SER, 2004]*, il est « mis sur la voie ». (Figure 3)

En écologie de la restauration, la référence est un « *site réel, sa description écrite ou les deux » [SER, 2004]*. Elle représente « *un point d'évolution avancé qui se situe quelque part le long de la trajectoire de restauration attendue »* du site en travaux. Mais un problème se pose : trouver un site de référence qui corresponde bien à celui que l'on souhaite réhabiliter est compliqué *[Kentula 2000]*. La référence peut alors être construite avec un panel de sites, qui couvrira une plus grande diversité de caractéristiques biotiques et abiotiques.

La problématique de restauration ou de réhabilitation des zones humides s'inscrit donc dans le cadre d'enjeux internationaux, mais elle trouve sa concrétisation à l'échelle locale. Ainsi, en 2011 a eu lieu dans le Finistère la conférence départementale de l'environnement sur les zones humides. Plusieurs questions ont été soulevées, parmi lesquelles: comment faire évoluer au mieux les méthodes d'exploitation des zones humides intégrées aux activités agricoles ? Quel entretien ou quelles mesures de réhabilitation mettre en place si elles ont été abandonnées *[Phillipe 2011] ?*

Il est apparu que les connaissances scientifiques manquent pour répondre à de telles questions. Notamment, les données manquent sur le gain apporté en termes de fonctions écologiques par les actions de réhabilitation.

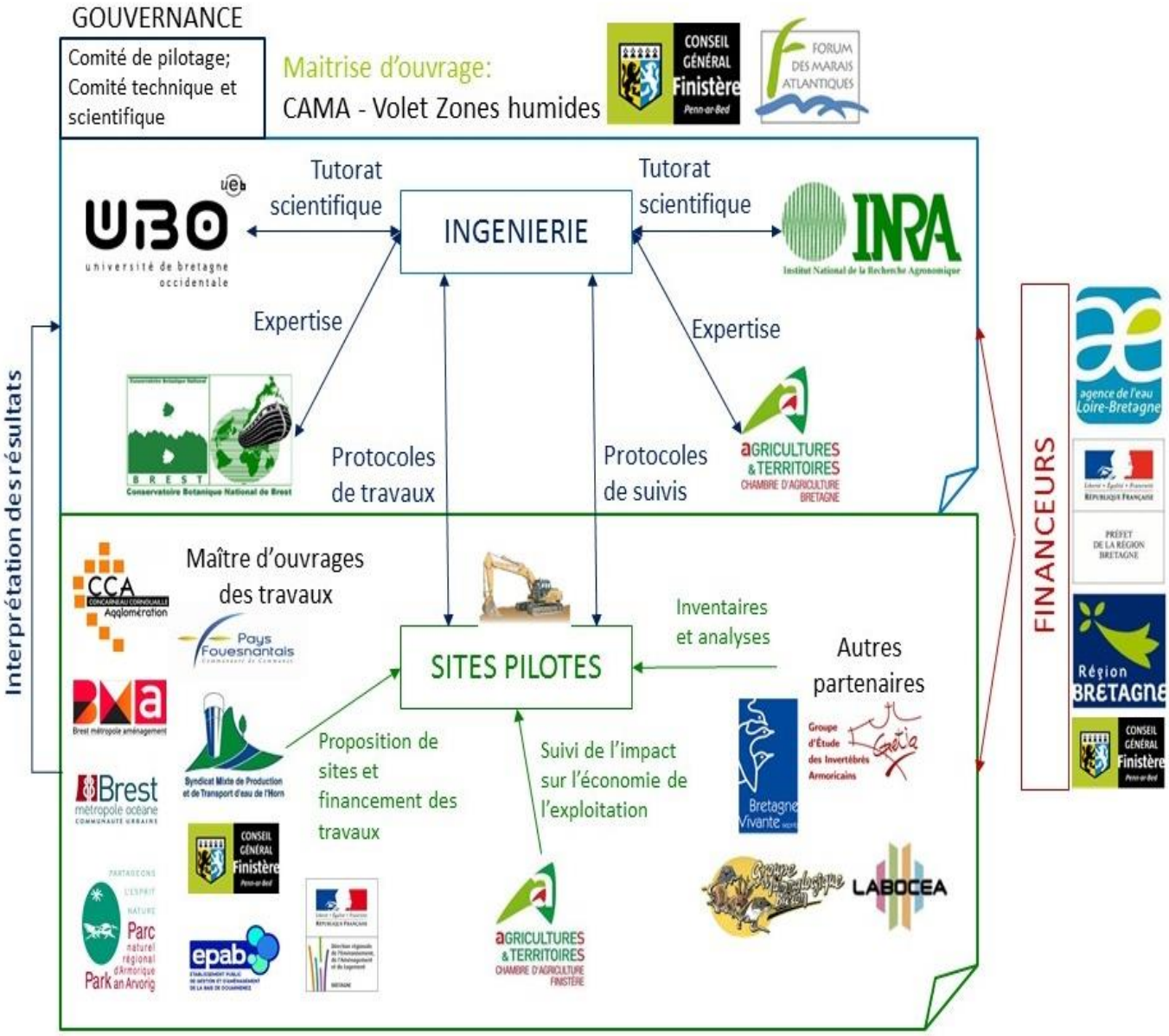


Figure 4 : Les partenaires du projet

Afin d'apporter des éléments de réponse à ces interrogations, la Cellule d'Animation sur les Milieux Aquatiques (CAMA), collaboration entre le Forum des Marais Atlantiques et le Conseil Général du Finistère, a engagé la mise en place d'expérimentations de réhabilitation de zones humides dans le Finistère. Ce projet, porté par la CAMA et accompagné par plusieurs partenaires (Figure 4) comme l'Université de Bretagne Occidentale (UBO), l'Institut National de Recherche Agronomique (INRA), etc, a pour objectifs de :

- Valider et consolider des protocoles de réhabilitations de zones humides, ainsi que des indicateurs simples de suivi
- Quantifier le gain en termes de fonctions suite à la réhabilitation (fonctions hydraulique, agricole, biodiversité)
- Mettre en place une restitution des travaux pour rendre les résultats accessibles à d'autres par la suite

Comme support de cette expérimentation, cinq zones humides du Finistère dont la réhabilitation est prévue ont été sélectionnées par le biais d'un appel à projet. Les maîtres d'ouvrages responsables de ces sites pilotes bénéficient depuis lors de l'accompagnement technique et scientifique des partenaires du projet. Ces sites font l'objet de plusieurs types de suivis :

- Hydraulique : étude de l'évolution du niveau de nappe, et qui sera complétée par un stage visant à modéliser la fonction de dénitrification
- Agricole : étude de la qualité fourragère et de son évolution, étude de l'impact de la réhabilitation sur l'économie des exploitations concernées
- Botanique : cartographie, transects, listes d'espèces
- Faunistique : suivis amphibiens, entomologique, micromammifères semi-aquatiques.

B) Les objectifs du stage

L'objet de ce stage est de répondre à l'un des objectifs de ce projet : améliorer l'évaluation du succès des opérations de réhabilitation, en termes de caractéristiques floristique et édaphiques. Pour ce faire, un référentiel de zones humides sera créé. Ces « zones humides de référence » serviront en effet de point de comparaison avec le système à restaurer, du point de vue de la biodiversité et du fonctionnement écologique *[Whigham 1999]*.
Ce référentiel sera complémentaire d'une sélection de sites « témoins » déterminés en amont du stage. A chaque site à réhabiliter correspond un site témoin lui ressemblant mais en « bon état écologique », qui en quelque sorte représente son état potentiel, et sur lequel sont engagées des analyses plus poussées que sur les sites de référence (analyses de sol, suivi du fonctionnement hydrologique etc.).
Deux types de références seront ainsi testés : la référence unique, au plus près du site à réhabiliter, avec les sites témoins (supposés en meilleur état écologique), et la référence multiple, couvrant une gamme de caractéristiques biotiques et abiotiques, avec le panel de sites de référence. Chacun de ces deux points sera l'objet d'une partie de ce rapport.

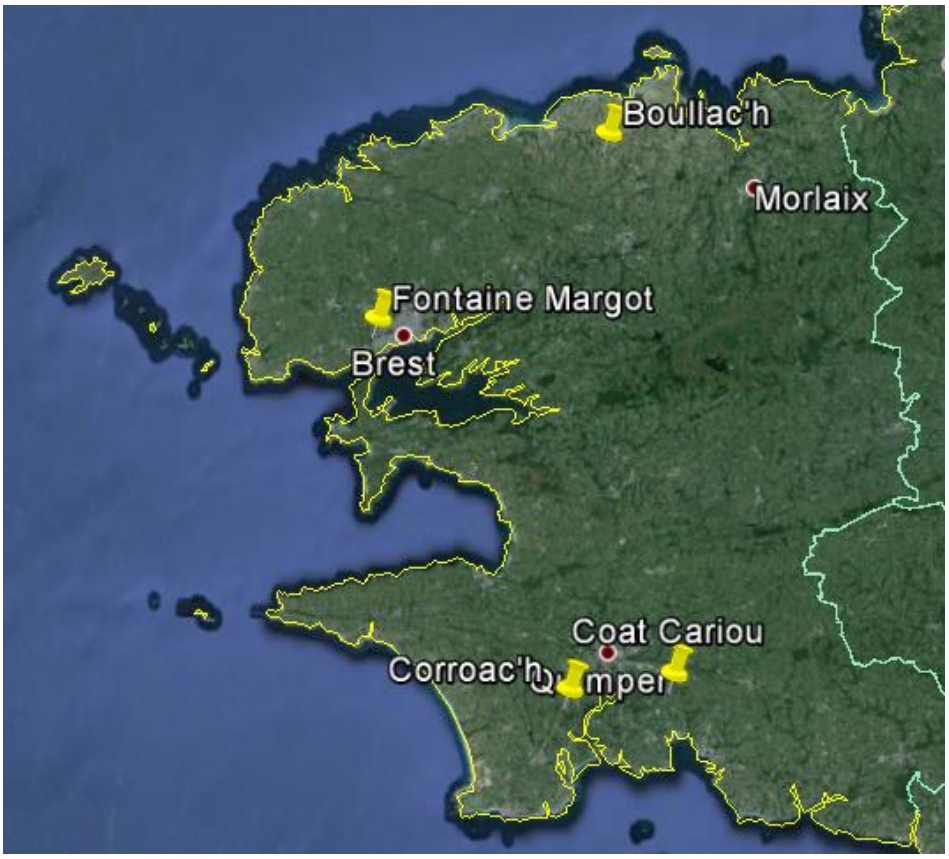


Figure 5 : Localisation des sites pilotes du projet

Nom du site	**Surface (ha)**	**Milieu cible post-réhabilitation**	**Services recherchés**	**Fonctions associées**
Fontaine Margot	2	Prairie humide	-Régulation hydrique -Accueil biodiversité -Production agricole	-Dénitrification -Stockage de l'eau -Habitat faune flore -Production biomasse
Corroac'h	1	Prairie humide, mégaphorbiaie	-Accueil biodiversité -Paysage -Production agricole	-Habitat faune flore, -Valeur esthétique -Production biomasse
Coat Cariou	0,35	Prairie humide	-Accueil biodiversité -Production agricole -Régulation hydrique	-Habitat faune flore -Production biomasse -Dénitrification
Boullac'h	2,5	Prairie humide	-Accueil biodiversité -Régulation hydrique -Production agricole	-Habitat faune flore -Stockage de l'eau -Dénitrification -Production biomasse

Tableau 1 : Objectifs de réhabilitation des sites

C) Les sites d'étude

Parmi les sites pilotes (Figure 5, annexe 1), quatre sont intégrés à cette étude. La tourbière de pente (Roc'h Plat) est en effet exclue de cette étude, l'objectif étant de de créer un référentiel de prairies humides mésotrophes à eutrophes uniquement :

- ZAC de Fontaine Margot à Brest, proposé par Brest Métropole Aménagement avec l'assistance à maîtrise d'ouvrage de Brest Métropole Océane. Il s'agit d'une parcelle cultivée, partiellement remblayée et drainée par deux fossés.
- Coat Cariou, à Saint Evarzec, site proposé par la Communauté de Communes du Pays Fouesnantais et Concarneau Cornouaille Agglomération, sur une parcelle de Jean-Yves Guillou, exploitant agricole. Il' s'agit d'une prairie humide pâturée, drainée par un réseau de fossés.
- Ancienne pisciculture du Corroac'h à Plomelin, site proposé par le Conseil Général du Finistère. La structure de l'ancienne pisciculture (bassins et système de circulation de l'eau) est toujours en place, sous 1m à 1m50 de remblai.
- Boullac'h, à Plouzévédé, site proposé par le syndicat de l'Horn. La parcelle est une prairie pâturée semée drainée par un réseau de drains enterrés se déversant dans deux collecteurs parallèles.

Ces zones humides engagées dans le projet présentent différents niveaux de dégradation, liés à la mise en place de drains, la mise en culture céréalière, ou l'existence d'anciennes infrastructures. Des objectifs spécifiques ont été définis pour chacun d'entre eux (Tableau 1). D'une manière générale, les travaux prévus doivent permettre de leur faire exprimer pleinement leur caractère humide, tout en continuant leur exploitation. En effet, les prairies humides sont des milieux qui se maintiennent principalement grâce à l'activité agropastorale. Elles se développent sur des sols hydromorphes, le plus souvent le long des lits majeurs des cours d'eau. Les prairies mésotrophes à eutrophes, qui se développent sur des sols moyennement riches à riches en éléments nutritifs, sont celles le plus fréquemment rencontrées *[Le Blévec* et al *2012]*.

Les travaux de réhabilitation sont prévus sur ces sites pour l'automne 2014. Ils se baseront sur l'hypothèse que la suppression ou la diminution des facteurs de stress permet le retour de l'écosystème vers un état physique, géochimique, écologique, plus « naturel », moins stressé. *[Simenstadt* et al *2006]*.

II- Comparaison des sites à réhabiliter avec leur témoin

A) Introduction

Les écosystèmes sont caractérisés par un ensemble de fonctions plus ou moins en interaction, qui peuvent évoluer à différentes vitesses et de façons indépendantes à la suite de travaux de réhabilitation. Il est donc impossible de baser l'évaluation du succès de la réhabilitation d'un écosystème sur le suivi d'une seule de ces fonctions. Certaines d'entre elles peuvent en effet évoluer rapidement vers l'état de référence tandis que d'autres ne l'atteindront jamais. Par exemple, la composition spécifique et la structure de la végétation tendent généralement vers le système de référence plus rapidement que les processus biogéochimiques du sol. *[Moreno-Mateos et al 2012]* De même, si certains attributs du système, comme l'hydrologie, ne sont pas réhabilités, il se peut que certaines fonctions n'atteignent jamais l'équivalence *[Kolka et al 2000*].

Il a été choisi d'étudier, sur les sites à réhabiliter et leurs témoins, les fonctions d'intérêt pour les porteurs de projet (Tableau 1). Plusieurs d'entre elles sont liées aux propriétés du sol. Notamment, l'épuration de l'eau et la production de biomasse sont permises par un bon fonctionnement biogéochimique, qui assure le recyclage des éléments nutritifs. Les indicateurs de suivi choisis sont donc en partie des paramètres édaphiques. Selon plusieurs auteurs travaillant sur la réhabilitation des zones humides *[Meyer et al 2008, Wolf et al 2011, Hossler et al 2011]*, la teneur en matière organique et la masse volumique du sol sont globalement des indicateurs efficaces du rétablissement du bon fonctionnement biogéochimique des zones humides. En effet, un sol riche en matière organique et peu compact permettra une meilleure circulation de l'eau et de l'oxygène, un meilleur contact entre les bactéries et les éléments présents dans l'eau, et donc une plus grande efficience des processus biogéochimiques, dont la dénitrification.

Le pH du sol sera également mesuré, d'une part pour connaître son acidité, d'autre part car il renseigne sur l'état du complexe argilo-humique, qui participe à la régulation de l'activité biologique, très impliquée dans les processus biogéochimiques.

D'autre part, l'étude de la végétation renseignera sur la fonction d'habitat floristique des sites, ainsi que sur l'évolution des conditions du milieu, notamment grâce aux proportions d'espèces typiques des zones humides.

Les critères choisis pour l'évaluation des sites à réhabiliter et témoins à t=0 du projet et pour leur suivi sont donc : la teneur en matière organique (MO), la masse volumique (ρ), le pH, et la composition floristique. Il existe évidemment de nombreux autres paramètres indicateurs de la structure et du fonctionnement d'un écosystème. Aronson *et al* (1993) listent 23 de ces « attributs vitaux des écosystèmes » inter corrélés, parmi lesquels les espèces clefs de voute, la biomasse microbienne, la réserve utile en eau *etc*.. Il est cependant impossible de tous les étudier simultanément.

Figure 6 : Plans d'échantillonnage. Un point correspond à un prélèvement de terre pour le calcul de masse volumique.

a : Fontaine Margot
b : Fontaine Margot témoin
c : Coat Cariou
d : Coat Cariou témoin
e : Boullac'h
f : Boullac'h témoin
g : Corroac'h témoin

La méthode du relevé phytosociologique *[Meddour 2011]* a été choisie pour décrire les formations végétales des sites. Un relevé floristique est effectué par formation végétale, en se concentrant sur les formations principales (surfaces floristiquement homogènes > $25m^2$). Sur une surface de $25m^2$ (aire minimale des prairies dans la littérature), est fait le relevé des espèces auquel on ajoute les coefficients d'abondance-dominance de Braun-Blanquet.
Dans un premier temps, deux relevés de végétation moyens en présence-absence agrégeant, d'une part, les relevés de tous les sites à réhabiliter (sauf le site de Fontaine Margot), et, d'autre part, les relevés de tous les sites témoins, sont créés. Ils permettent de rechercher l'existence de tendances qui caractériseraient les sites témoins ou les sites à réhabiliter, dans leur ensemble. Des descripteurs généraux comme la richesse spécifique, les similitudes en termes d'espèces (Annexe 2), et les spectres biologiques, sont créés pour ces relevés moyens. La base de données Baseflore *[Julve 1998]* est utilisée pour caractériser l'écologie des espèces.
Dans un second temps, une analyse est réalisée site par site.
Sur tous les graphiques, les barres d'erreur correspondent à l'écart-type.

2) Paramètres édaphiques

Compte tenu des enjeux spécifiques des sites et de leurs caractéristiques, les données des paramètres édaphiques n'ont pas été recueillies exactement dans la même optique pour les chacun, donc les plans d'échantillonnage sont différents (Figure 6):

- Coat Cariou : sur le site à réhabiliter et le site témoin, des piézomètres ont été placés afin de suivre l'évolution du niveau de la nappe d'eau. Les échantillons de sol ont été prélevés en suivant l'emplacement de ces piézomètres.

- Fontaine Margot : les échantillons de sol ont été prélevés afin de recueillir des données correspondant aux différentes « zones d'humidité » distinguables sur le site à réhabiliter et le site témoin.

- Boullac'h : les échantillons de sol ont été prélevés de part et d'autre des drains présents sur le site à réhabiliter. Sur le site témoin, une seule zone de prélèvement a été définie car le site est globalement homogène, en termes d'hydrologie et de végétation.

- Corroac'h : les échantillons de sol ont été prélevés à titre d'essai après suppression du remblai sur une partie du site à réhabiliter. Sur le site témoin, ils ont été prélevés en suivant l'emplacement de piézomètres servant au suivi hydrologique du site.

Types d'espèces	Espèces propres aux sites à réhabiliter	Espèces propres aux sites témoins	Espèces communes
Milieux tourbeux	0	3	5
Mégaphorbiaies	4	2	5
Hygrophiles à hydrophiles	3	6	16
Mésohygrophiles à mésohydrophiles	8	5	5
Mésoxérophiles à xérophiles	1	1	1
Autres (prairiales, nitrophiles, lieux piétinés, etc.)	4	4	15

Tableau 2 : Comparaison de l'expression de l'humidité des sites à réhabiliter et témoins par la caractérisation écologique des espèces

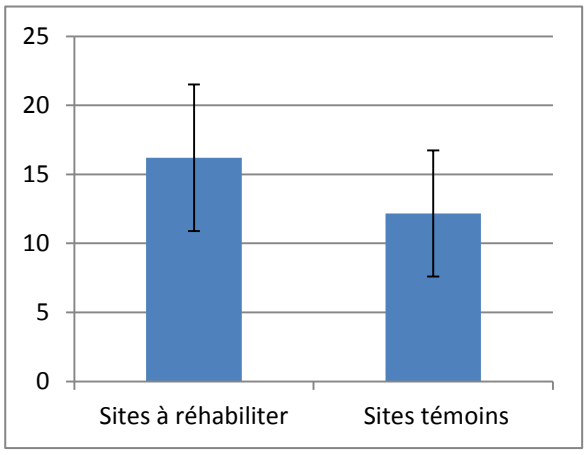


Figure 7 *:* Richesse spécifique moyenne pour les sites à réhabiliter et les sites témoins

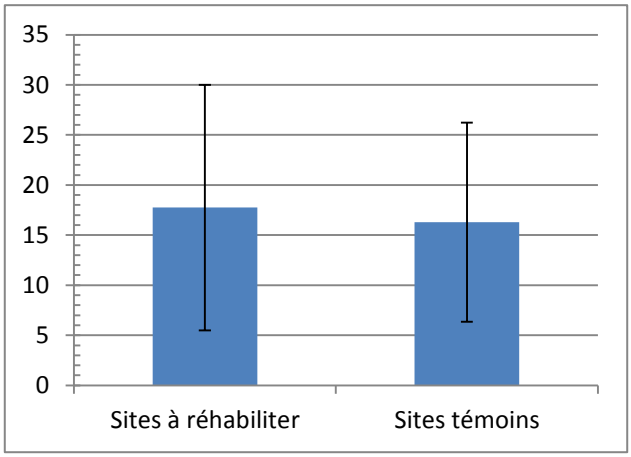


Figure 8 : Teneur moyenne de l'horizon de surface en matière organique pour les sites à réhabiliter et les sites témoins (%)

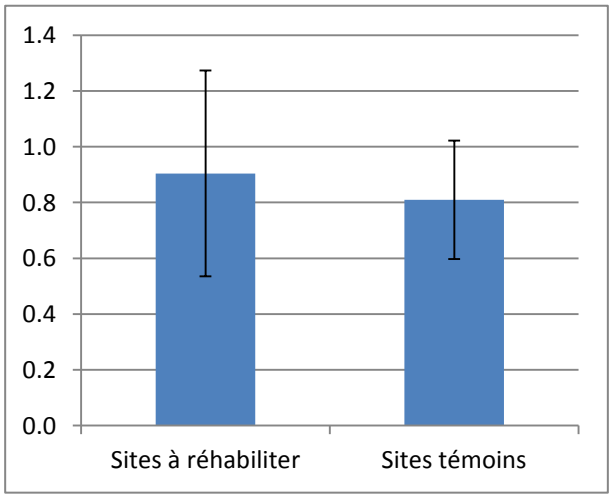


Figure 9: Masse volumique moyenne de l'horizon de surface pour les sites à réhabiliter et les sites témoins ($g.cm^{-3}$)

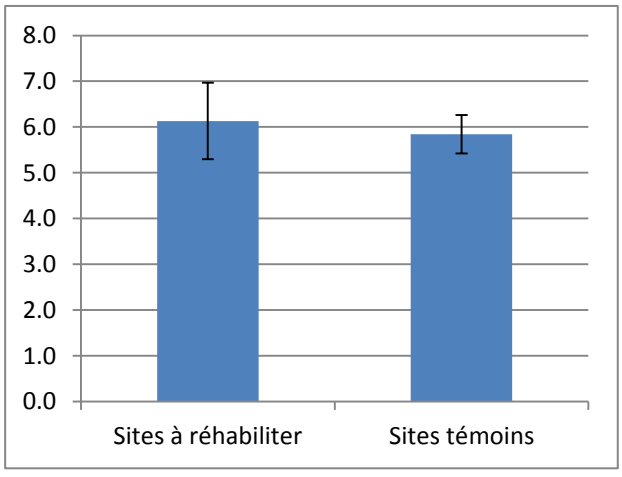


Figure 10 : pH moyen de l'horizon de surface pour les sites à réhabiliter et les sites témoins

Bien que les plans d'échantillonnage soient différents, les techniques de prélèvement et d'analyse du sol sont les mêmes :

- teneur en matière organique : trois échantillons de sol sont prélevés dans l'horizon 0-20 cm avec une tarière, et poolés. Après homogénéisation de l'échantillon poolé, la teneur en matière organique est obtenue par la méthode de la perte au feu ou calcination, à 375°C d'un sous-échantillon de 10 grammes environ.
- masse volumique : une carotte de sol de diamètre 8cm et de longueur entre 10 et 16cm à l'aide d'une tarière à densité. La masse volumique est alors : $\rho = Ms / V$ en $g.cm^{-3}$

Avec ρ : masse volumique Ms : Masse échantillon sec V : Volume échantillon humide

- pH : Les mesures sont réalisées à l'aide d'une sonde pH-mètrique dans un mélange de sol et d'eau au ratio 1 : 5 sur les mêmes échantillons que ceux prélevés pour la teneur en matière organique

Dans un premier temps, de la même manière que pour les relevés de végétation, des moyennes pour les paramètres édaphiques sont calculées pour l'ensemble des sites à réhabiliter d'une part, et d'autre part pour l'ensemble des sites témoins. Sur tous les graphiques, les barres d'erreur correspondent à l'écart-type.
Dans un second temps, une analyse est réalisée site par site. Pour chaque paramètre, un test de Student est réalisé sous R.

C) Résultats

1) Analyse globale

a) Végétation

Pour la richesse spécifique moyenne (Figure 7), aucune différence significative n'est observable entre les sites témoins et les sites à réhabiliter. La richesse spécifique globale (67 espèces pour les sites à réhabiliter, 59 pour les sites témoins) est beaucoup plus élevée que la richesse spécifique moyenne.
Les spectres biologiques moyens en présence-absence des sites à réhabiliter et témoins (Annexe 3) ne sont pas significativement différents. Dans les deux cas, la majorité des espèces présentes sont des hémicryptophytes, principalement stolonifères et cespiteux, accompagnés de quelques thérophytes et géophytes. Il semble cependant que les proportions de géophytes à rhizome et hémicryptophytes érigés sont plus grandes sur les sites témoins que sur les sites à réhabiliter.
Le tableau 2 montre que les deux types de sites ont principalement en commun des espèces caractéristiques des milieux humides, tandis que les sites à réhabiliter présentent des espèces de milieux à l'humidité moins marquée, et les sites témoins des espèces des milieux humides. La végétation reflète donc bien, de manière globale, une humidité plus marquée sur les sites témoins par rapport aux sites à réhabiliter.

b) Paramètres édaphiques

Cette approche globale (Figures 8, 9, 10) ne fait pas ressortir de tendance particulière entre les sites à réhabiliter et les sites témoins pour la teneur en matière organique, le pH, ou à la masse volumique de l'horizon de surface.

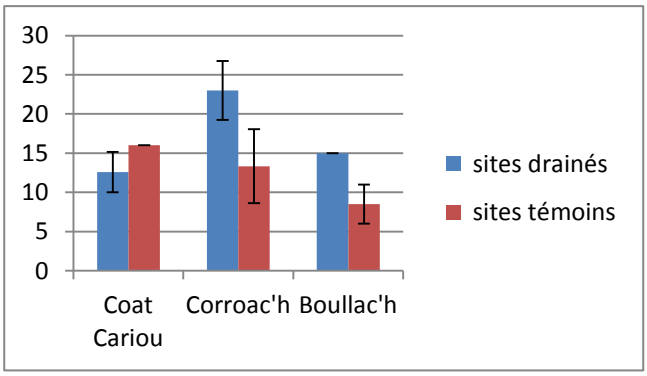


Figure 11 : Richesse spécifique moyenne des sites à réhabiliter et sites témoins

a- Coat Cariou	Espèces propres au relevé-à réhabiliter	Espèces propres au relevé-témoin	Espèces communes
Milieux tourbeux	2	1	1
Mégaphorbiaies	1	1	1
Hygrophiles à hydrophiles	10	4	1
Mésohygrophiles à mésohydrophiles	2	1	3
Mésoxérophiles à xérophiles	0	0	0
Autres (prairiales, nitrophiles, lieux piétinés, etc.)	7	0	3
Total	22	7	9

b- Corroac'h	Espèces propres au relevé-à réhabiliter	Espèces propres au relevé-témoin	Espèces communes
Milieux tourbeux	1	0	3
Mégaphorbiaies	6	0	3
Hygrophiles à hydrophiles	7	6	1
Mésohygrophiles à mésohydrophiles	9	1	3
Mésoxérophiles à xérophiles	0	0	2
Autres (prairiales, nitrophiles, lieux piétinés, etc.)	12	2	3
Total	35	9	15

c- Boullac'h	Espèces propres au relevé-à réhabiliter	Espèces propres au relevé-témoin	Espèces communes
Milieux tourbeux	1	0	0
Mégaphorbiaies	0	4	0
Hygrophiles à hydrophiles	8	0	1
Mésohygrophiles à mésohydrophiles	3	1	2
Mésoxérophiles à xérophiles	0	1	0
Autres (prairiales, nitrophiles, lieux piétinés, etc.)	5	2	1
Total	17	8	4

Tableaux 3 a, b et c : Comparaison de l'expression de l'humidité du site à réhabiliter et du site témoin par la caractérisation écologique des espèces. a :Coat Cariou, b :Corroac'h, c : Boullac'h

2) Analyse site par site

a) Végétation

La figure 11 présente la richesse spécifique moyenne des sites à réhabiliter et témoins. Le test de Student montre que pour chaque site, la différence entre le site à réhabiliter et le site témoin n'est pas significative (p-value>0,05). Il n'est donc pas possible d'interpréter quantitativement ces valeurs, seules des tendances pourront être mises en avant. Pour Boullac'h et Corroac'h, la richesse spécifique est plus importante sur le site drainé que sur le témoin, et c'est l'inverse pour Coat Cariou.

Pour Coat Cariou, aussi bien que pour Corroac'h et Boullac'h, les coefficients de similitude entre le site à réhabiliter et le site témoin sont faibles (respectivement, 19%, 20% et 12%). Dans les trois cas, le site à réhabiliter présente plus d'espèces non indicatrices de milieux humides, comme des prairiales ou des rudérales, que le site témoin. Le caractère humide de ces sites est cependant marqué par la présence d'espèces hygrophiles à hydrophiles, voire de mégaphorbiaies ou de milieux tourbeux (Tableaux 3 a, b et c).

Dans les trois cas, le caractère humide des sites témoins est également marqué, bien qu'ils présentent une moindre diversité de ces espèces caractéristiques. Les espèces banales sont moins fréquentes sur les sites témoins que sur les sites à réhabiliter.

Les spectres biologiques des différents sites ne sont pas exploitables quantitativement, mais quelques tendances se dégagent :

- Boullac'h : en moyenne, une plus grande proportion de géophytes à rhizome sur le site témoin, et une plus grande proportion d'hémicryptophytes stolonifères sur le site à réhabiliter

- Coat Cariou : en moyenne, une plus grande proportion de géophytes à rhizome et d'hémicryptophytes érigées sur le site témoin

- Corroac'h : en moyenne, une plus grande proportion de géophytes à rhizome sur le site témoin

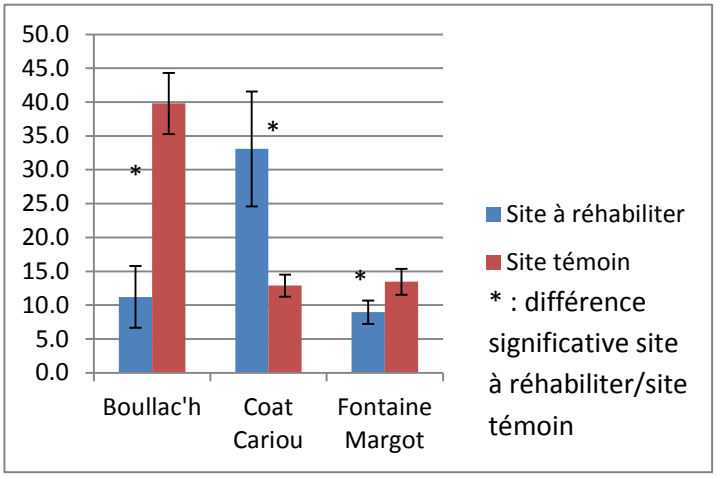


Figure 12: Teneur moyenne en matière organique dans l'horizon de surface (%) pour les sites à réhabiliter et témoins.

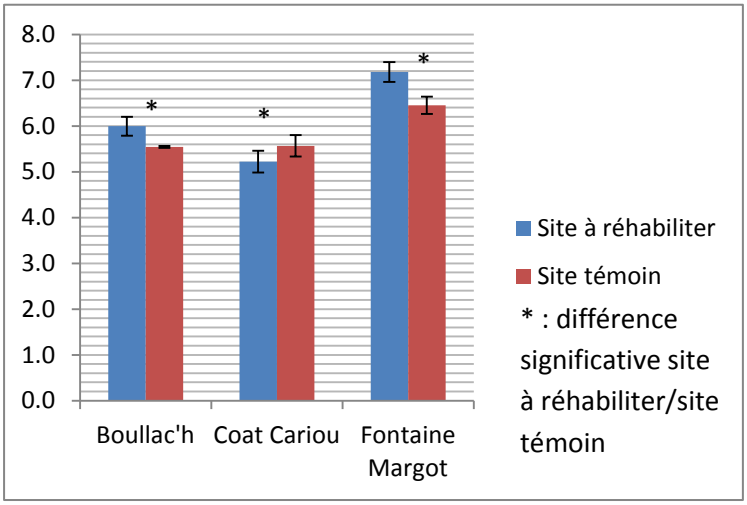


Figure 13 : pH moyen de l'horizon de surface pour les sites à réhabiliter et témoins

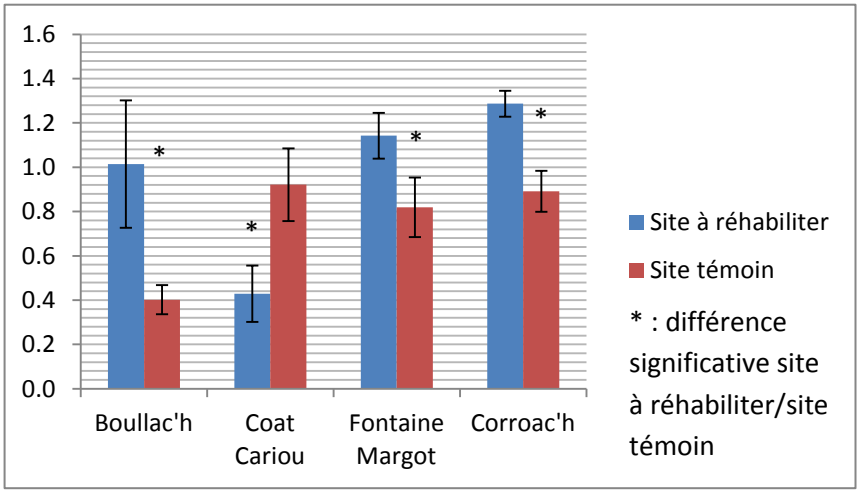


Figure 14 : Masse volumique moyenne de l'horizon de surface pour les sites à réhabiliter et témoins ($g.cm^{-3}$)

b) Paramètres édaphiques

Pour chacun des paramètres et chacun des sites, le test de Student a montré qu'il existe une différence significative entre la valeur du site à réhabiliter et celle du site témoin (p-value<0,05).

La figure 12 présente les teneurs en moyennes en matière organique dans l'horizon de surface pour les sites témoins et les sites à réhabiliter. Le site de Corroac'h n'est pas représenté car entièrement remblayé. Il peut être observé que:

- Il existe une grande variabilité inter-sites : de 9,0% à 39,8%
- Pour les trois sites, une différence significative entre le site à réhabiliter et le site témoin existe, et cette différence est la plus marquée sur Boullac'h, et la plus faible sur Fontaine Margot
- Pour Boullac'h et Fontaine Margot, la teneur en matière organique est plus importante sur le site témoin. Pour Coat Cariou, elle est plus importante sur le site à réhabiliter.

La figure 13 présente le pH moyen de l'horizon de surface pour les sites témoins et à réhabiliter. Elle permet de voir que :

- Les différents sols sont acides à neutres : de pH 5,2 à pH 7,2 pour le site à réhabiliter de Fontaine Margot
- Pour Boullac'h et Fontaine Margot, la différence de pH est faible mais existante, et le sol du site témoin est plus acide que celui du site à réhabiliter. Pour Coat Cariou il n'y a pas de différence notable de pH.

La figure 14 permet de voir que la masse volumique de l'horizon de surface est en moyenne plus grande sur le site à réhabiliter pour Boullac'h, Fontaine Margot et Corroac'h, et c'est l'inverse pour Coat Cariou.

D) Discussion

L'analyse globale des résultats a été réalisée en se basant sur l'hypothèse que les sites témoins sont en meilleur état écologique que les sites à réhabiliter. Par « meilleur état », on entend que la végétation est caractéristique des milieux humides, et que les valeurs des paramètres édaphiques ne reflètent pas de dysfonctionnement des processus biogéochimiques. Ainsi, plus l'horizon de surface, dans lequel la dénitrification est la plus intense *[Barnaud Fustec 2007]*, est riche en matière organique et peu dense, plus les processus biogéochimiques responsables de la régulation qualitative de l'eau seront efficients.

Cette tendance se reflète dans les données botaniques. En effet, les sites témoins présentent plus d'espèces caractéristiques des milieux humides que les sites à réhabiliter, et moins d'espèces banales. Les espèces classées dans banales sont des prairiales non indicatrices de milieux humides, comme *Holcus lanatus*, mais aussi des espèces nitrophiles, comme

Cerastium glomeratum, des espèces de friches (*Bromus hordeaceus)* et quelques commensales des cultures (*Geranium dissectum*).

Cependant, il n'y pas de résultats probants en ce qui concerne les paramètres édaphiques, ce qui s'explique notamment par la grande variabilité inter sites. Une comparaison des données site par site est donc nécessaire. Celle-ci doit prendre en compte la spécificité des milieux humides. En effet, la teneur médiane en matière organique des sols cultivés de Bretagne est comprise entre 1,5% et 10% (sur la période de 2000 à 2004, bretagne-environnement.org), alors que dans les sols hydromorphes, l'abondance d'eau limitant les échanges gazeux avec l'atmosphère, le dioxygène se raréfie et la matière organique est moins dégradée. La teneur en matière organique des sols dits minéraux peut donc atteindre 30%, et celle des sols organiques, ou histosols, est supérieure à 30% *[Barnaud Fustec 2007*]. Il s'agit là d'une spécificité des zones humides.
Pour chacun des sites, il existe une différence marquée entre le site à réhabiliter et le site témoin :

- Coat Cariou

Au vu de l'analyse de la végétation, le site à réhabiliter de Coat Cariou peut paraître en meilleur état que son témoin. En effet, il présente plus d'espèces typiques des milieux humides, malgré la présence de plus d'espèces banales (*Anthoxanthum odoratum*, *Holcus lanatus*, *Poa trivialis etc*.), qui elles témoignent d'une certaine eutrophisation.

D'autre part, la teneur moyenne du sol en matière organique est plus grande (33% *vs*. 13%). La plus grande teneur en matière organique du site à réhabiliter, couplée à sa plus faible masse volumique indique que son horizon de surface est plus stable et plus poreux, donc facilitant le passage de l'eau pour l'accomplissement des processus biogéochimiques. Sur une trajectoire de réhabilitation, le site à réhabiliter de Coat Cariou se trouve donc plus en avant que son témoin. Celui-ci perd alors de son utilité comme référence unique, mais il vient alimenter les données du panel de référence.

- Boullac'h

Le site témoin semble bien en meilleur état que le site à réhabiliter, surtout du point de vue des paramètres édaphiques (matière organique : 39,8% *vs.* 11,2%, masse volumique : 0,4 *vs.* 1,0). La composition spécifique fait ressortir que plus d'espèces banales et caractéristiques des milieux secs sont présentes sur le site à réhabiliter. Cependant, il y a également plus d'espèces hygrophiles que sur le témoin.

- Fontaine Margot

Comme le site à réhabiliter est cultivé, seules des données sur les paramètres édaphiques sont disponibles. Le site témoin a une teneur en matière organique un peu plus élevée (13,5% *vs*. 9%) et une masse volumique plus faible que le site à réhabiliter. Cependant, la teneur en matière organique du témoin n'est pas très élevée, quand on la compare par exemple à celle du témoin de Boullac'h (39,8%). Il faut alors se demander si le site témoin reflète vraiment le potentiel du site à réhabiliter.

- Corroac’h

Le seul paramètre édaphique recueilli pour le site à réhabiliter de Corroac’h est la masse volumique de l’horizon de surface. Les échantillons ont été récoltés à titre d’essai après suppression du remblai sur une petite zone du site lors d’un essai de travaux, donc sur une surface où le sol d’origine de la zone humide affleurait. La valeur de la masse volumique pour le site témoin est bien inférieure à celle du site à réhabiliter, le sol est donc moins tassé sur le site témoin, et donc plus poreux, facilitant le passage de l’eau.

III- Construction et utilisation du panel de référence

A) Introduction

Pour construire la référence, dans l’idéal, des sites en « bon état » de fonctionnement écologique, et situés dans le même contexte hydrogéomorphologique que le site à réhabiliter sont sélectionnés. En revanche, il peut aussi être pertinent de choisir des sites selon un gradient de dégradation ou d’âge : de dégradé à fonctionnel, et de début de succession écologique aux stades plus avancés. Le site le plus fonctionnel est alors appelé le « standard de référence ». *[Kentula 2000]* En outre, une référence composite peut être créée, en utilisant des sources de différentes natures : sites, données historiques etc. *[SER 2004]* Le parti est ici pris de créer une référence formée de plusieurs sites en « bon état écologique ». Ce panel est créé à partir de 4-6 sites de référence par site à réhabiliter, situés aussi proches que possible du site à réhabiliter, au niveau du contexte hydrogéomorphologique.

B) Matériel et méthode

1) Choix des sites de référence

Les sites du panel de références sont sélectionnés parmi l’inventaire permanent des zones humides du Finistère *[zoneshumides29.fr]*. Les données de cet inventaire qui référence les zones humides par type d’habitat sont produites par les acteurs locaux notamment dans le cdre de la mise en œuvre des SAGE, sur leur territoire de compétence. Les inventaires sont réalisés selon la méthodologie mise en place par le Conseil Général du Finistère, et en application de l’arrêté ministériel de 24 Juin 2008. Les sites du panel de référence sont donc choisis selon :

- Le type de végétation présente : prairie humide *[zoneshumides29.fr]*
- Le substrat géologique : le même que le site à réhabiliter
- Leur situation topographique: même contexte comme un fond de vallée par exemple
- La distance au site à réhabiliter : si possible à moins de 3 km pour des raisons pratiques et de contexte (bassin versant)
- Leur état : évalué d’après visite sur le terrain et dialogue avec l’exploitant. On ne peut pas faire rapidement une évaluation de l’état écologique pour toutes les fonctions d’intérêt (épuration et stockage de l’eau, habitat faune/flore, qualité fourragère). Le choix se porte sur des sites non drainés, avec de préférence une activité de pâturage.

Ces informations sont notamment centralisées grâce à l'utilisation du logiciel de SIG Q-GIS. De cette manière, 21 sites ont été pré-sélectionnés. Compte tenu des dates de fauche précoces liées aux conditions météorologiques, 9 de ces sites ont pu être exploités.

2) Sélection des critères d'évaluation

Les critères d'évaluation des sites du panel de référence sont les mêmes que ceux choisis pour les sites à réhabiliter et témoins: composition spécifique de la végétation, pH, masse volumique, et teneur en matière organique de l'horizon de surface.

a) Végétation

Les relevés effectués ont permis de décrire 26 formations végétales sur les 9 sites. La méthode du relevé phytosociologique, décrite dans le II B) 1) a été utilisée.

Afin de déterminer des groupes de relevés basés sur la végétation, une Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) a été réalisée à partir du tableau des relevés phytosociologiques des sites du référentiel et des sites témoins. Le logiciel Ginkgo *[De Cáceres, Garcia 2003]* a été utilisé.

Les particularités floristiques de ces groupes ont été déterminées par l'étude du tableau brut des données phytosociologiques sous le logiciel Juice *[Tichý 2002]*.

b) Paramètres édaphiques

Pour chaque formation végétale identifiée, une valeur de teneur en matière organique, de masse volumique et de pH du sol est obtenue.

Pour la teneur en matière organique et le pH, trois échantillons de sol sont prélevés dans l'horizon de surface (0-20 cm) à l'aide d'une tarière. Une moyenne est calculée à partir des valeurs mesurées pour ces trois échantillons (II B) 2)).
La masse volumique est déterminée sur un échantillon prélevé au centre de chaque formation végétale, et la valeur est calculée comme dans II B) 2).
Des ANOVA ont été réalisées avec le logiciel R afin de tester l'effet site sur les facteurs teneur en matière organique, masse volumique et pH.

C) Résultats

1) Sites sélectionnés pour le référentiel

Les sites sélectionnés pour le panel de référence sont localisés sur les vues aériennes en annexe 4.

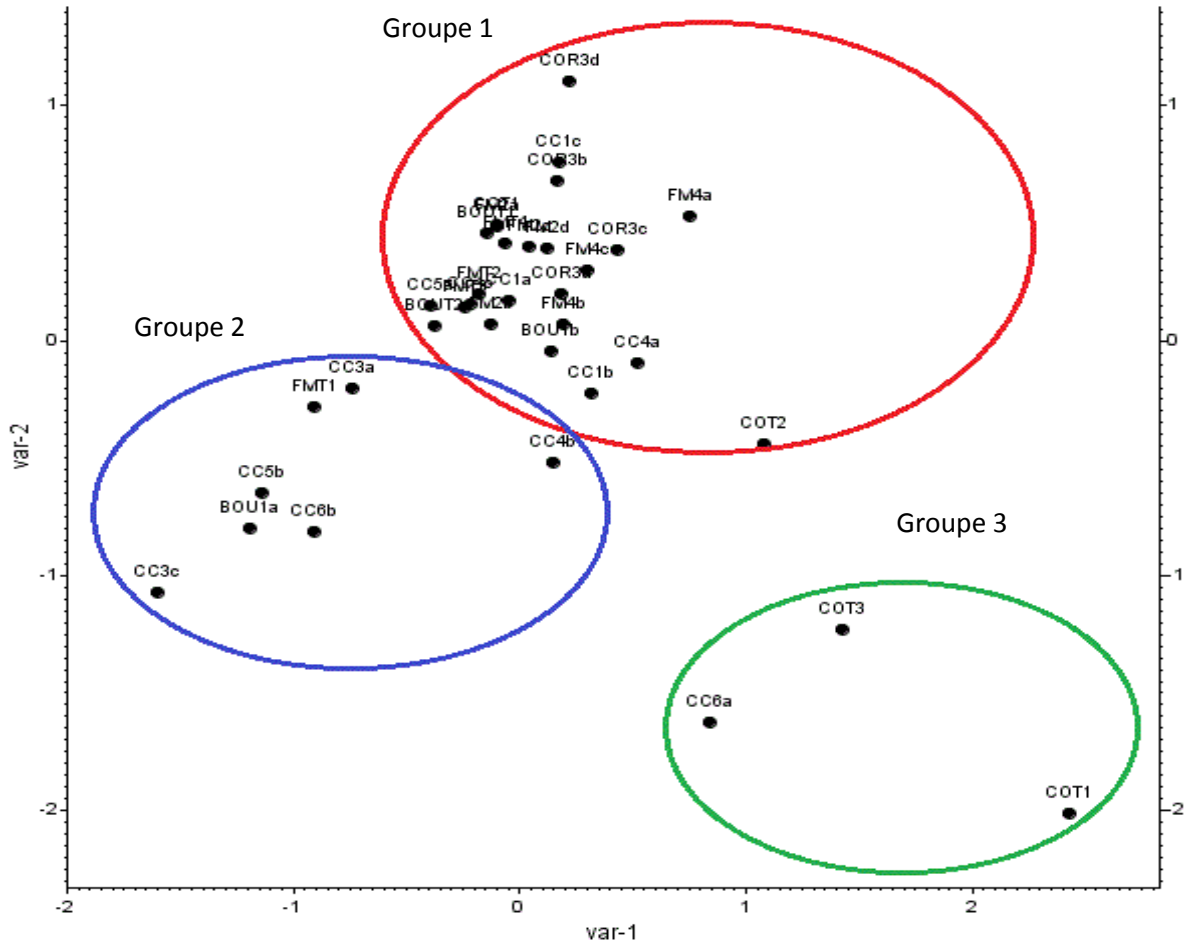


Figure 15 : nuage de points sur les deux premiers axes de l'AFC réalisée sur les relevés des sites de référence et témoins. Les groupes de relevés qui se détachent sont mis en avant par des cercles

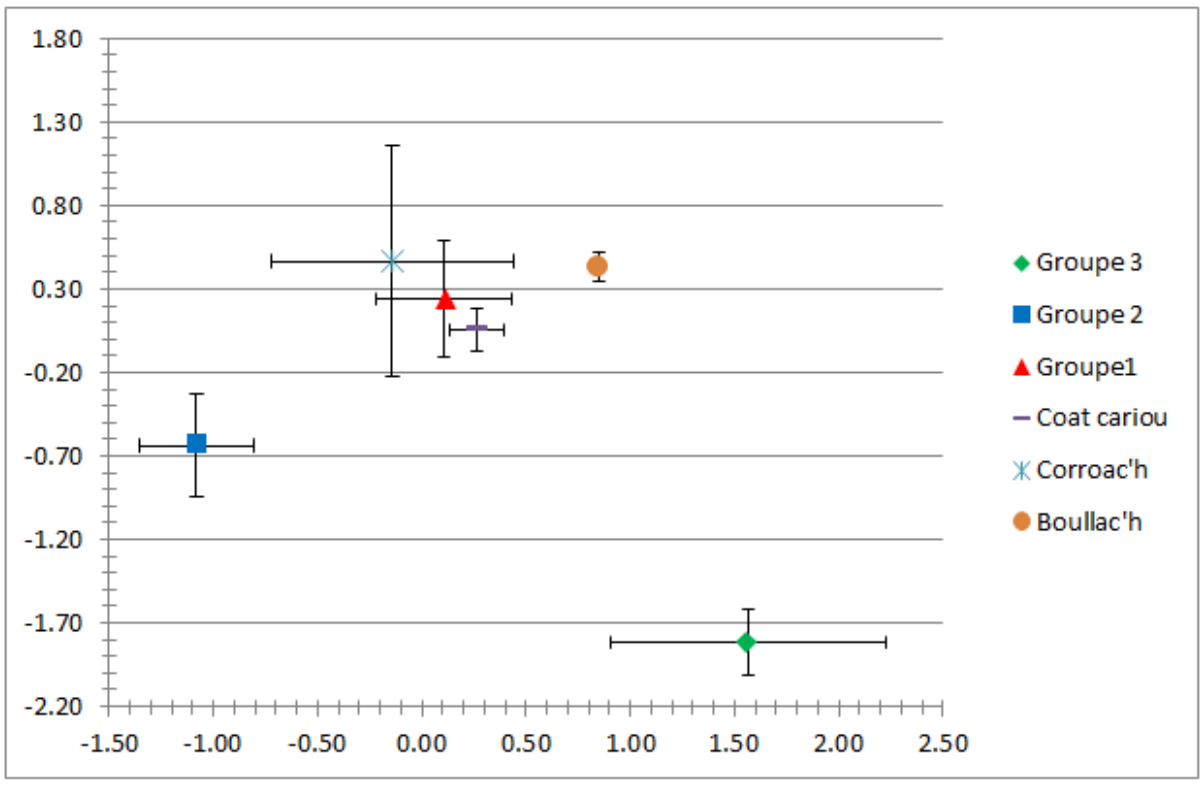


Figure 16 : Positionnement des sites à réhabiliter par rapport aux groupes de relevés identifiés par l'AFC. Chaque point est le barycentre des relevés le composant.

2) Caractéristiques et utilisation du référentiel

a) Végétation

La projection du nuage de points de l'AFC sur les deux premiers axes (Figure 15) montre que trois groupes de végétation se détachent, dont un majoritaire (groupe 1).

- Le groupe 1 correspond aux prairies humides à jonc diffus et jonc acutiflore, avec quelques sous-ensembles plus ou moins tourbeux, notamment celui à renoncule flammette et lotier pédonculé
- Le groupe 2 correspond aux prairies mésohygrophiles peu caractérisées, parfois partiellement semées
- Le groupe 3 correspond aux mégaphorbiaies eutrophes

Le plan factoriel présentant les espèces, ainsi que le tableau brut des relevés se trouvent en annexes 5 et 6. Les coordonnées des points appartenant à chacun de ces trois groupes ont été utilisées afin de calculer des coordonnées moyennes. Chaque groupe est donc représenté par un point sur la figure 16. Sur l'AFC de départ ont été ajoutés en tant que variables illustratives sous R les relevés des sites à réhabiliter. Leurs coordonnées moyennes ont été calculées pour obtenir des points correspondant aux sites à réhabiliter. La figure 16 montre que la végétation des sites à réhabiliter se rapproche du groupe 1.

c) Paramètres édaphiques

La figure 17 présente les teneurs en moyennes en matière organique dans l'horizon de surface pour le référentiel et les sites à réhabiliter. Il peut être observé que:

- la gamme de valeurs couverte par le référentiel est large (de 2,6% à 57%) et elle englobe les valeurs moyennes des sites à réhabiliter
- en moyenne, les valeurs pour Boullac'h et Fontaine Margot sont plus faibles que celles du référentiel, et celles de Coat Cariou sont supérieures

La figure 18 présente la masse volumique moyenne de l'horizon de surface pour le référentiel et les sites à réhabiliter. Il peut être observé que:

- la gamme de valeurs couverte par le référentiel est large (0,2g.cm-3 à 1,1 g.cm-3)
- en moyenne, les valeurs des sites à réhabiliter sont supérieures à celles du référentiel, sauf pour Coat Cariou

La figure 19 présente le pH de l'horizon de surface pour le référentiel et les sites à réhabiliter. Il peut être observé que :

- la gamme couverte par le référentiel va de pH 5 à pH 6,8, les sols étudiés sont donc acides à neutre
- en moyenne, le pH des sites à réhabiliter est plus élevé que celui du référentiel, sauf pour Coat Cariou

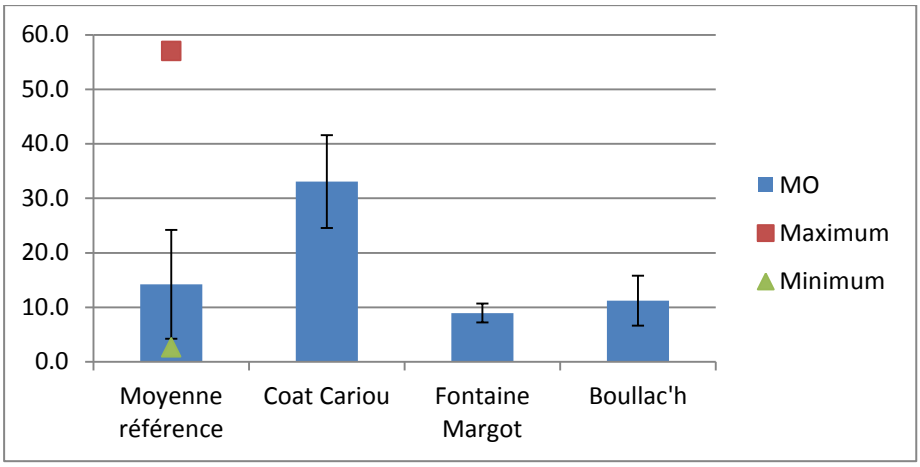


Figure 17 : Teneur moyenne en matière organique (MO) de l'horizon de surface pour le référentiel et les sites à réhabiliter (%)

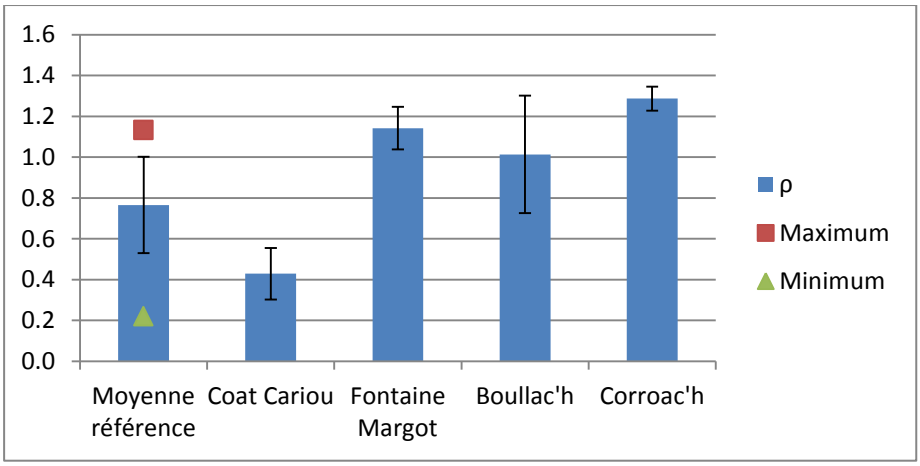


Figure 18 : Masse volumique moyenne (ρ) de l'horizon de surface pour le référentiel et les sites à réhabiliter

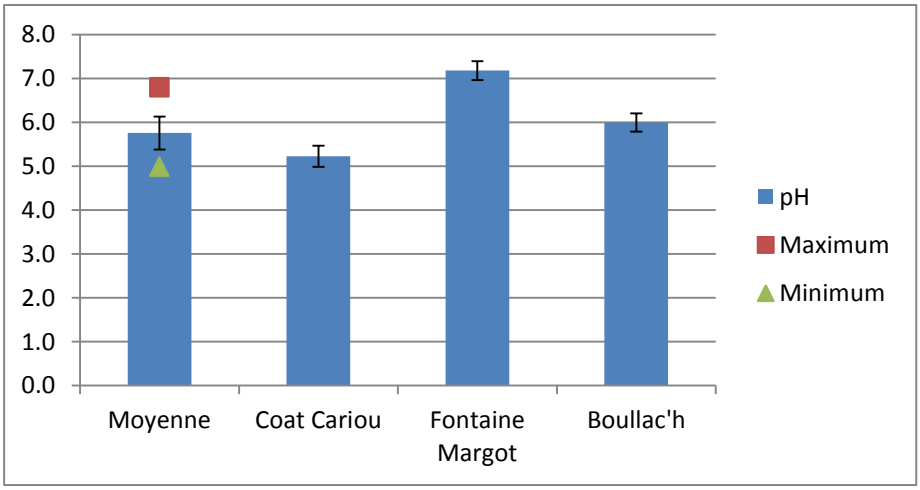


Figure 19 : pH moyen de l'horizon de surface pour le référentiel et les sites à réhabiliter

D) Discussion

La sélection de sites de référence au plus proche des différents sites à réhabiliter avait pour but de créer des « sous-référentiels » spécifiques de ces sites. Cela n'a pu ici être réalisé à cause du manque de données, mais cela sera ultérieurement nécessaire, afin d'obtenir une image plus précise de la végétation typique des prairies humides de chaque zone.

Les sites du panel de référence ont été choisis dans le même contexte hydrogéomorphologique que les sites à réhabiliter. L'AFC montre que sur ces sites les formations végétales de type « prairies à jonc diffus et acutiflore » sont prépondérantes.

L'analyse de la végétation permet de voir que les sites de Coat Cariou et Corroac'h sont déjà proches de ce type de végétation, et pourraient vraisemblablement évoluer en renforçant ces caractéristiques après les travaux. Cela semble pertinent pour Coat Cariou. Cependant, pour Corroac'h, on se rend compte que sur trois relevés du site témoin, qui jouxte le site à réhabiliter, deux se trouvent dans le groupe des mégaphorbiaies. Ces relevés reflètent l'expression de la banque de graines dans le sol de la zone humide non remblayée. Après suppression du remblai sur le site de Corroac'h, et donc retour à la surface du sol d'origine de la zone humide, c'est peut-être ce type de végétation qui s'établira alors. Le rapprochement des sites à réhabiliter des groupes de végétation identifiés est basé sur les coordonnées moyennes des relevés phytosociologiques. Une image globale de la végétation de chaque site est ainsi obtenue. Cependant, il faut garder à l'esprit que la végétation de chaque site est caractérisée par plusieurs formations végétales distinctes, qui présentent parfois de grandes différences au niveau de la composition floristique. Une cartographie des habitats réalisée en parallèle de ce stage permettra un suivi plus fin de l'évolution de la végétation sur les sites.

La teneur en matière organique moyenne des sites de Boullac'h et Fontaine Margot se trouve dans la gamme couverte par le référentiel. Cependant les valeurs maximales ne sont pas atteintes, ce qui peut signifier que le potentiel de ces sites n'est pas atteint. Cette remarque est à nuancer en fonction de la nature des sols des différents sites. En effet, tous les types de sol n'ont pas le même potentiel quant à la teneur en matière organique *[Barnaud, Fustec 2007]*.

Habituellement, au cours de projets de restauration de zones humides, les sites de référence recherchés sont des écosystèmes non perturbés par les actions humaines, qui permettent de disposer d'un modèle pour le « fonctionnement naturel d'origine » *[Smith 1995]*. Dans ce projet, les sites recherchés pour le panel devaient être soumis à l'activité humaine (pâturage), afin de correspondre au mieux aux sites à réhabiliter. Lors de la sélection des sites du panel de référence, la question s'est posée de savoir comment déterminer le « bon état écologique » des sites. En effet, il est sous-entendu par « bon état » que les fonctions, comme la régulation qualitative de l'eau, se réalisent efficacement, or, l'évaluation de ces fonctions aurait nécessité une étude approfondie des caractéristiques de chaque site. Ceci n'était pas envisageable tant par rapport aux moyens qu'au temps disponible pour la réalisation du projet. Il a donc été choisi de déterminer le bon état des sites par l'absence de dégradation visible, comme par exemple des drains. Cette condition a été difficile à remplir vis-à-vis du contexte agricole du projet, car beaucoup de prairies humides ont justement été rendues plus facilement

exploitables par le drainage. Il existe cependant plusieurs moyens d'évaluer les fonctionnalités d'une zone humide, qui vont par contre différer en fonction de l'échelle d'étude. Par exemple, afin d'évaluer les capacités de rétention des nutriments de corridors fluviaux, Fustec *et al* 1999 ont estimé le pourcentage de couverture de systèmes connus pour être des puits à nutriments (marais, prairies humides, forêts ripariennes etc.) sur les zones d'études. Dans le cadre du projet Typhon, les fonctions des zones humides sont évaluées à partir d'images de télédétection à très haute résolution, qui renseignent sur des indicateurs comme la densité de fossés ou la connectivité des haies boisées *[Clément* et al *2008]*.

IV-Discussion générale

Au cours de ce stage, deux types de références ont été testés :

- La comparaison du site à réhabiliter avec un témoin unique permet d'aller plus en profondeur dans l'analyse du fonctionnement de l'écosystème, de quantifier les fonctions. Il faut choisir un site qui corresponde vraiment à la zone humide à réhabiliter, en termes d'hydrologie, d'utilisation, de qualité du milieu *[Craft, Hopple 2011]*. Une valeur potentielle est obtenue pour les différents paramètres, qui sert de point de comparaison d'une part avec l'état initial du site à réhabiliter, et d'autre part pour le suivi post-travaux. Cependant, il est difficile de statuer sur le succès de réhabilitation à partir de ce seul jeu de valeurs. En effet, si le site à réhabiliter n'atteint jamais les valeurs du témoin, il est impossible de dire si la réhabilitation a « échoué » ou si le site avait un potentiel inférieur à celui du témoin. Il dépend également des porteurs de projet de définir le seuil, à partir duquel ils considèreront que le succès a été atteint *[Palmer* et al *2005]*.

- La comparaison du site à réhabiliter avec une référence composée de plusieurs sites en bon état écologique. Les sites à réhabiliter peuvent être comparés non plus à un seul jeu de valeur mais à une gamme pour chaque paramètre étudié. Il est ainsi possible de se rendre compte de la variabilité inter sites des paramètres. Les gammes de référence reflètent également la variabilité intra site qui peut être élevée. Elle est principalement due, pour la teneur en matière organique, aux variations du microrelief, ainsi qu'à a végétation présente *[Citeau 2008]*.

En utilisant ces références, il est important de conserver à l'esprit qu'elles représentent l'état à un instant t d'un système dynamique *[Palmer* et al *2005]*.

L'écologie de la restauration se concentre actuellement sur l'évolution de trajectoires de restauration. Ces trajectoires résument les taux d'évolution pour les différents paramètres biophysiques, et permettent d'évaluer les progrès de restauration lorsqu'une référence existe [*Ballantine, Schneider 2009]*. Grâce au suivi des différents indicateurs sélectionnés sur les

sites à réhabiliter et les sites témoins, de telles trajectoires seront construites. Les données récoltées au cours de ce stage participeront à l'élaboration d'un état des lieux avant travaux.
Il faudra prendre en compte que les différentes fonctions d'un écosystème suivent des trajectoires différentes. Par exemple, Il semblerait que le retour de la biomasse végétale soit rapide par rapport aux autres paramètres (moins de 10 ans). Cependant, plusieurs facteurs influencent le retour de la végétation en quantité et en qualité : banque de graines, distance à la source de propagules, mécanismes de dispersion des espèces.
D'autre part, il a été observé dans plusieurs projets de réhabilitation que la teneur en matière organique peut mettre plusieurs dizaines d'années à atteindre les valeurs de référence, et évoluer plus ou moins rapidement au cours du temps : elle augmenterait lentement pendant la première quinzaine d'années après travaux, puis plus rapidement. Il ne faut donc pas se baser uniquement sur le taux d'évolution initial des paramètres étudiés pour juger du succès de réhabilitation, mais l'observer pendant de nombreuses années [*Ballantine, Schneider 2009]*.

Pendant ce stage, des données quantitatives ont été recueillies, mais l'interprétation qui en est ici faite est essentiellement qualitative. En effet, le bon fonctionnement biogéochimique d'un sol dépend de nombreux facteurs reliés les uns aux autres, et l'étude de certains d'entre eux seulement ne peut que donner des tendances sur le fonctionnement global. La modélisation du fonctionnement hydraulique et des fonctions associées des sites à réhabiliter fera l'objet d'un stage ultérieur. De plus, l'aspect agricole de ces projets de réhabilitation est exploré en parallèle de l'étude des fonctions des sites d'études. Il est en effet nécessaire de s'interroger sur l'impact que ces opérations de réhabilitation peuvent avoir sur l'économie des exploitations agricoles concernées, ainsi que sur les changements des méthodes d'exploitation qu'elles vont entrainer. Certaines fonctions sont optimisées par des pratiques de gestion, comme par exemple l'abattement des nitrates qui est favorisé par la fauche avec exportation des produits *[FMA 2011]*.

Les observations faites sur la signification de la composition spécifique sont à nuancer au vu de la faible richesse spécifique des sites comparés. Ce sont en effet des différences de l'ordre de trois espèces dont il est question, et il est donc difficile de savoir ce qu'elles représentent. Il serait possible de présenter les données en pourcentages, mais les proportions seraient alors surévaluées. Plusieurs indicateurs permettent de porter un regard qui se veut plus objectif sur les données recueillies, comme par exemple l'indice d'intégrité de la structure de la communauté *[Jaunatre* et al *2013]*, qui mesure la proportion de l'abondance des espèces de la communauté de référence représentée dans la communauté réhabilitée, ou des indices plus basiques comme la richesse spécifique. L'utilisation de tels indices ne doit cependant pas servir à surévaluer la quantité d'information réellement présente dans les données.

V- Conclusion

Ce stage avait pour sujet la création d'un référentiel écologique pour l'évaluation du succès d'opérations de réhabilitation de zones humides. Les sites pilotes du projet auquel il est intégré sont exploités dans un contexte agricole. Globalement, l'objectif de réhabilitation est le rétablissement du caractère humide des sites sous la forme de prairies humides, et de fonctions comme l'épuration et le stockage des eaux, l'habitat floristique. Afin d'évaluer l'état initial des sites pilotes et de suivre leur évolution post-travaux, des paramètres reflétant le fonctionnement des processus biogéochimiques des prairies humides et leur fonction d'habitat, ont été sélectionnés: teneur en matière organique, masse volumique, pH, végétation.

Ces paramètres ont été mesurés sur les sites à réhabiliter, mais également sur des « références écologiques », qui serviront de point de comparaison pour évaluer le succès des opérations de réhabilitation. Il a été décidé de construire deux types de références, afin de comparer leurs avantages et inconvénients :

- La référence unique, site « jumeau » du site à réhabiliter ou « site témoin », sélectionné en amont du stage, qui représente le potentiel du site à réhabiliter, dont les caractéristiques sont étudiées en profondeur.
- La référence composée de plusieurs sites en bon état écologique. Pour chaque paramètre, une gamme de valeurs est obtenue, les sites ne sont pas considérés au cas par cas.

La sélection des sites témoins et des sites du panel de référence est une étape clef pour l'évaluation du succès des travaux à posteriori. La sélection par les traits hydrogéomorphologiques et les conditions d'exploitation assure d'obtenir des sites proches du site à réhabiliter, mais une évaluation effective de l'état écologique nécessite du temps et des moyens. La sélection a ici été faite sur l'absence de signes visibles de dégradation, et les résultats obtenus ont été dans l'ensemble satisfaisants.

Ce travail de création de référentiel représente un aspect du projet d'expérimentations de réhabilitation de zones humides dans le Finistère. Il a permis de poser un état des lieux des sites à réhabiliter, et de créer une trame pour le référentiel écologique. En parallèle, d'autres études ont été menées sur les sites à réhabiliter et témoin : étude de la faune, cartographie des formations végétales, valeur fourragère, etc., qui permettront d'appréhender de façon plus complète le fonctionnement des sites et donc de mieux évaluer par la suite le succès de leur réhabilitation.

BIBLIOGRAPHIE

Aradottir, A.L., Hagen, D., 2013. Ecological Restoration, in: Advances in Agronomy. Elsevier, pp. 173–222.

Aronson, J., Floret, C., Floc'h, E., Ovalle, C., Pontanier, R., 1993. Restoration and Rehabilitation of Degraded Ecosystems in Arid and Semi-Arid Lands. I. A View from the South. Restoration Ecology 1, 8–17. doi:10.1111/j.1526-100X.1993.tb00004.x

Ballantine, K., Schneider, R., 2009. Fifty-five years of soil development in restored freshwater depressional wetlands. Ecological Applications 19, 1467–1480. doi:10.1890/07-0588.1

Barnaud, G., Fustec, E., 2007. Conserver les milieux humides: pourquoi? comment?, Sciences en partage. Quæ éditions ; Educagri éditions, Versailles : Dijon.

Bretagne Environnement, n.d. Matière organique dans les sols cultivés de Bretagne, Portail de l'information environnementale en Bretagne. URL http://www.bretagne-environnement.org/Media/Atlas/Cartes/Matiere-organique-dans-les-sols-cultives-de-Bretagne/(categorie)/32890 (accessed 8.27.14).

Bullock, J.M., Aronson, J., Newton, A.C., Pywell, R.F., Rey-Benayas, J.M., 2011. Restoration of ecosystem services and biodiversity: conflicts and opportunities. Trends in Ecology & Evolution 26, 541–549. doi:10.1016/j.tree.2011.06.011

Caceres, M.D., Garcia, R., 2003. Ginkgo. Université de Barcelone.

Citeau, L., 2008. Gestion durable des sols. Éditions Quæ, Versailles, pp. 336

Cizel, O., 2010. Protection et gestion des espaces humides et aquatiques. Guide juridique d'accompagnement des bassins de Rhône-Méditerranée et de Corse, http://www.pole-lagunes.org/documentation/publications-du-pole/guide-juridique-d-accompagnement-des-bassins-de-rhone-mediterrane.

Clément, B., Hubert-Moy, L., Rapinel, S., 2008. Evaluation des fonctions des zones humides à partir de données de télédétection à très haute résolution spatiale Application expérimentale à la Basse Vallée de la Dordogne (Rapport d'étude). Université Rennes 1 et 2.

COP 10 Decision X/2, n.d. Convention on Biological Diversity. URL http://www.cbd.int/decision/cop/?id=12268 (accessed 10.8.14).

Craft, C., Hopple, A., 2011. Reference wetlands for assessing wetland mitigation projects: When is one not enough? SWS Research Brief.

Dausse, A., 2013. Réseau expérimental sur la réhabilitation de zones humides du Finistère, Méthode d'évaluation des opérations.

EU Biodiversity Strategy to 2020 – towards implementation, n.d. European Commission. URL http://ec.europa.eu/environment/nature/biodiversity/comm2006/2020.htm

(accessed 8.20.14).

Forum des Marais Atlantiques, n.d. Compte-rendu de la rencontre entre des experts scientifiques “zones humides” et des chargés de mission SAGE - Rencontre du 9 mai 2011.

Fustec, E., Boët, P., Amezal, A., Fauchon, N., 1999. Methodology for multifunctional assessment of riverine wetlands in the Seine river basin. Hydrobiologia 410, 213–221. doi:10.1023/A:1003759931321

Haines-Young, R., Potschin, M., 2012. Common International Classification of Ecosystem Services (CICES): Consultation on Version 4, http://cices.eu/wp-content/uploads/2012/07/CICES-V43_Revised-Final_Report_29012013.pdf.

Hossler, K., Bouchard, V., Fennessy, M.S., Frey, S.D., Anemaet, E., Herbert, E., 2011. No-net-loss not met for nutrient function in freshwater marshes: recommendations for wetland mitigation policies. Ecosphere 2, art82. doi:10.1890/ES11-00009.1

Inventaire permanent des zones humides, 2005, http://zoneshumides29.fr:8080/cartoweb3/htdocs/ipzh.php

Jenny, H., 1994. Factors of soil formation: a system of quantitative pedology. Dover, New York.

Julve, P., 1998. Baseflor. http://philippe.julve.pagesperso-orange.fr/catminat.htm

Kentula, M.E., 2000. Perspectives on setting success criteria for wetland restoration. Ecological Engineering 15, 199–209. doi:10.1016/S0925-8574(00)00076-8

Kolka, R.., Nelson, E.., Trettin, C.., 2000. Conceptual assessment framework for forested wetland restoration: the Pen Branch experience. Ecological Engineering 15, S17–S21. doi:10.1016/S0925-8574(99)00083-X

LeBlévec, M., Dallemagne, H., Porcher-Déchar, C., 2012. Guide technique d’aménagement et de gestion des zones humides du Finistère. Conseil Général du Finistère, Forum des Marais Atlantiques, Agence de l’eau Loire-Bretagne, pp. 225.

Meddour, R., 2011. La méthode phytosociologique sigmatiste ou Braun-Blanqueto-Tüxenienne.

Merot, P., Hubert-Moy, L., Gascuel-Odoux, C., Clement, B., Durand, P., Baudry, J., Thenail, C., 2006. A Method for Improving the Management of Controversial Wetland. Environmental Management 37, 258–270. doi:10.1007/s00267-004-0391-4

Meyer, C.K., Baer, S.G., Whiles, M.R., 2008. Ecosystem Recovery Across a Chronosequence of Restored Wetlands in the Platte River Valley. Ecosystems 11, 193–208. doi:10.1007/s10021-007-9115-y

Millennium Ecosystem Assessment (Program), 2005. Ecosystems and human well-being: synthesis. Island Press, Washington, DC.

Mitchell, R.J., Auld, M.H.D., Le Duc, M.G., Robert, M.H., 2000. Ecosystem stability and resilience: a review of their relevance for the conservation management of lowland heaths. Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics 3, 142–160. doi:10.1078/1433-8319-00009

Moreno-Mateos, D., Power, M.E., Comín, F.A., Yockteng, R., 2012. Structural and Functional Loss in Restored Wetland Ecosystems. PLoS Biology 10, e1001247. doi:10.1371/journal.pbio.1001247

Phillipe, M.-H., 2011. Les enjeux agricoles de la restauration des zones humides, Conférence départementale de l'environnement.

SER, Society for Ecological Restoration International Science & Policy Working Group, 2004. The SER International Primer on Ecological Restoration.

Simenstad, C., Reed, D., Ford, M., 2006. When is restoration not? Ecological Engineering 26, 27–39. doi:10.1016/j.ecoleng.2005.09.007

Smith, R.D., Ammann, A., Bartoldus, C., Brinson, M.M., 1995. An Approach for Assessing Wetland Functions Using Hydrogeomorphic Classification, Reference Wetlands, and Functional Indices (No. WRP-DE-9), Wetland research programm.

Tichy, L., 2002. Juice. Université de Masaryk.

Van Wesemael, B., 2006. Les teneurs en matières organiques en Région wallonne.

Whigham, D.F., 1999. Ecological issues related to wetland preservation, restoration, creation and assessment. Science of The Total Environment 240, 31–40. doi:10.1016/S0048-9697(99)00321-6

Wolf, K.L., Ahn, C., Noe, G.B., 2011. Development of Soil Properties and Nitrogen Cycling in Created Wetlands. Wetlands 31, 699–712. doi:10.1007/s13157-011-0185-4

ANNEXE 1 : Fiches descriptives des sites d'étude

COAT CARIOU, SAINT-EVARZEC, 0.35 HA

Présentation

Maître d'ouvrage
Communauté de Communes du Pays Fouesnantais/Concarneau Cornouaille Agglomération

Etat actuel
Prairie humide pâturée

Contexte hydrogéomorphologique
Zone humide de pente associée à une zone humide alluviale

Nature de l'altération
Fossés de drainage et surcreusement du cours d'eau

Contexte

Enjeux
Qualité de l'eau
Qualité fourragère

Objectif principal
Rehausser le niveau de la nappe afin d'optimiser les conditions d'abattement de l'azote par dénitrification

Objectif associé
Augmenter la valeur fourragère par contrôle du jonc diffus

Milieu cible
Prairie humide

Type d'intervention
Suppression du drainage

Travaux

Travaux proposés
Comblement des fossés à l'aide des matériaux de curage déposés sur les berges

Date prévue
Fin septembre ou début octobre 2014

Suivis

Fonctions évaluées:

- Régulation qualitative de l'eau
- Accueil d'espèces végétales
- Accueil d'espèces animales
- Support de production agricole

Suivis réalisés :

- Hydropériode: grille de 5 x 3 piézomètres relevés tous les 15 jours
- Régulation de l'azote et du phosphore: évaluation des variations de concentrations en azote minéral dissous (nitrate et ammonium) et orthophosphates à travers la zone humide
- Recyclage de la matière organique du sol (teneur en matière organique totale, N, P et C totaux)
- Flore/Habitats: cartographie, transects, liste d'espèces
- Faune (inventaires): batraciens, lépidoptères, orthoptères, odonates, micromammifères semi-aquatiques
- Qualité fourragère

CORROAC'H, PLOMELIN, 1 HA

Présentation

Maître d'ouvrage
Conseil Général du Finistère

Etat actuel
Ancienne pisciculture, remblayée. Prairie mésophile et humide. Friche.

Contexte hydrogéomorphologique
Zone humide alluviale

Nature de l'altération
Imperméabilisation, présence des bassins de la pisciculture et remblais.

Contexte

Enjeux
Continuité des milieux humides, Biodiversité

Objectif principal
Restaurer la continuité de milieux humides fonctionnels le long du cours d'eau

Objectifs associés
Colonisation du milieu par une flore et une faune de zone humide
Qualité fourragère valorisable
Restauration des processus liés aux cycles biogéochimiques (N, P, C)

Milieu cible
Prairie humide ou mégaphorbiaie

Type d'intervention
Suppression de remblai

Travaux

Travaux proposés
Suppression du remblai et des bassins de la pisciculture
Remise au niveau du terrain naturel des zones surcreusées

La réhabilitation de la zone humide est associée à un second projet en cours pour la restauration de la continuité écologique du cours d'eau. Ce projet implique la recréation de l'ancien lit du cours d'eau après suppression des remblais.

Date prévue
2015

Suivis

Fonctions évaluées:

- Régulation quantitative de l'eau
- Accueil d'espèces végétales
- Accueil d'espèces animales

Suivis réalisés :

- Hydropériode: grille de 3 x 3 piézomètres relevés tous les 15 jours
- Stockage de la matière organique du sol (teneur en matière organique totale, N, P et C totaux)
- Flore/Habitats: cartographie, transects, liste d'espèces
- Faune (inventaires): batraciens, macroinvertébrés épigés du sol, lépidoptères, orthoptères, odonates, micromammifères semi-aquatiques

FONTAINE MARGOT, BREST, 2HA

Présentation

Maître d'ouvrage
Brest Métropole Aménagement

Assistance à maitrise d'ouvrage
Brest Métropole Océane

Etat actuel
Champs cultivé en maïs

Contexte hydrogéomorphologique
Zone humide perchée et zone humide de pente

Nature de l'altération
Labour et culture, fossés de drainage et remblai

Contexte

Enjeux
Qualité de l'eau
Biodiversité végétale et animale

Objectif général
Réhabiliter une zone humide fonctionnelle en tête de bassin versant.

Objectifs déclinés
Colonisation du milieu par une flore et une faune de zone humide
Présence de processus liés aux cycles biogéochimiques (N, P, C)
Abattement d'azote dans le site

Milieu cible
Prairie humide permanente

Types d'interventions
Suppression de drainage
Suppression de remblai
Conversion de culture en prairie

Travaux

Travaux proposés
Suppression du remblai
Comblement des fossés et réalisation d'un talus de ceinture à l'aide des matériaux de remblai
Semis

Modalités expérimentales
Evaluation de différents semis:

- RGI monospécifique 25 g/m2
- RGI monospécifique 3 g/m2
- Mélange commercial destiné aux prairies fauchées humides
- Transfert de foin d'une parcelle donneuse en prairie permanente

Date prévue
Fin août 2014

Suivis

Fonctions évaluées:

- Régulation qualitative de l'eau
- Accueil d'espèces végétales
- Accueil d'espèces animales
- Support de production agricole

Suivis réalisés :

- Régulation de l'azote: mesures régulières des teneurs en nitrate et ammonium du sol
- Recyclage de la matière organique du sol (teneur en matière organique totale, N, P et C totaux)
- Flore/Habitats: cartographie, transects, liste d'espèces
- Faune (inventaires): batraciens, macroinvertébrés épigés du sol, lépidoptères, orthoptères, odonates
- Evaluation de l'impact économique de la réhabilitation de la zone humide à l'échelle de la parcelle et de l'exploitation agricole

BOULLAC'H, Plouzévédé, 2,5 HA

Présentation

Maître d'ouvrage
Syndicat Mixte de l'Horn

Etat actuel
Prairie mésohygrophile semée.

Contexte hydrogéomorphologique
Zone humide de pente en tête de bassin versant

Nature de l'altération
Drainage enterré et fossés.
Le drainage consiste en des drains enterrés dont les plus en amont captent la source. Ces drains se jettent dans un fossé et un collecteur enterré parallèles, drainant chacun la moitié de la parcelle.

Contexte

Enjeux
Régulation qualitative et quantitative de l'eau; biodiversité.

Objectifs
Améliorer la capacité épuratrice du site vis-à-vis de l'azote;
Réguler les débits à l'exutoire;
Améliorer la biodiversité végétale et animale du site.

Objectifs associés
Expérimenter sur un drainage régulé (drainage maintenu en période d'exploitation et supprimé en hiver).
Qualité fourragère valorisable
Restauration des processus liés aux cycles biogéochimiques (N, P, C)

Milieu cible
Prairie humide

Type d'intervention
Mise en place de systèmes de vannage à l'exutoire des drains et fossés. Bouchage de certains drains.

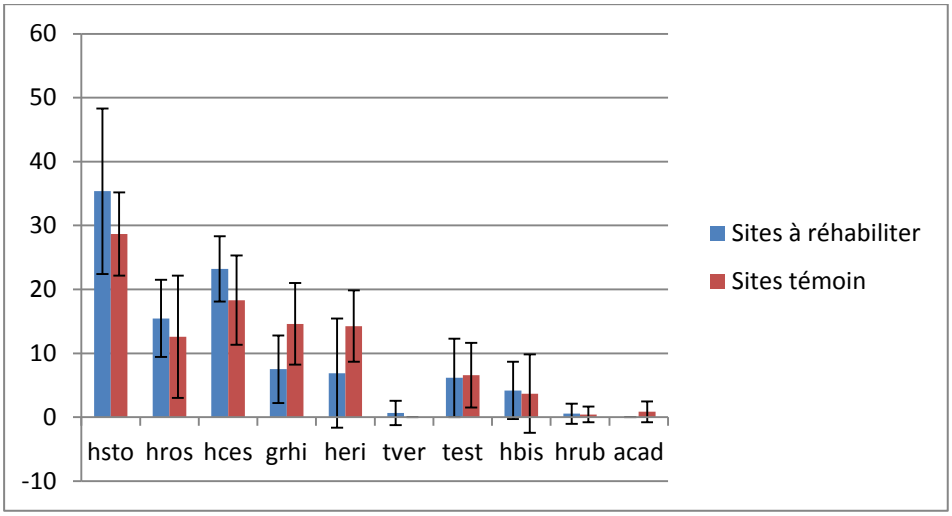
Travaux

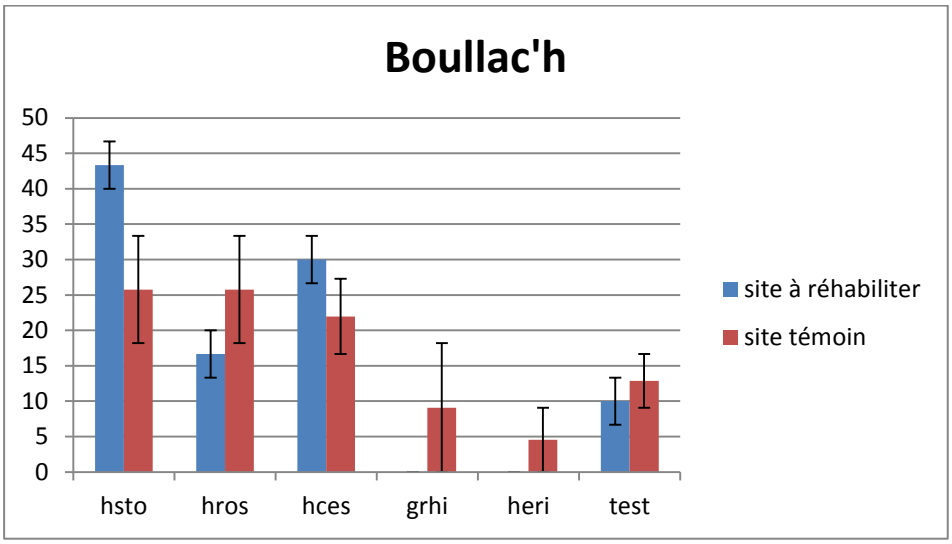
A venir

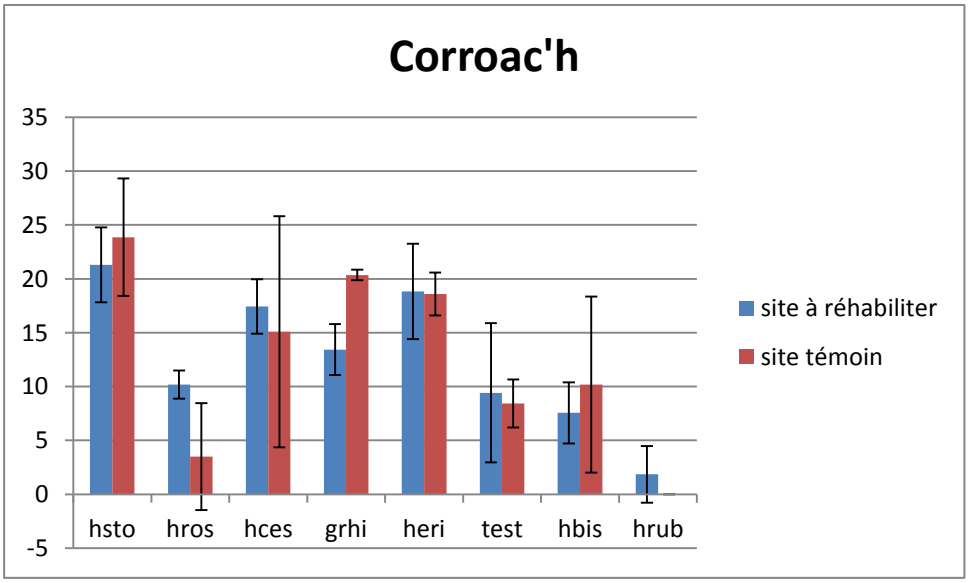
ANNEXE 2 : Espèces des sites à réhabiliter et des sites témoins

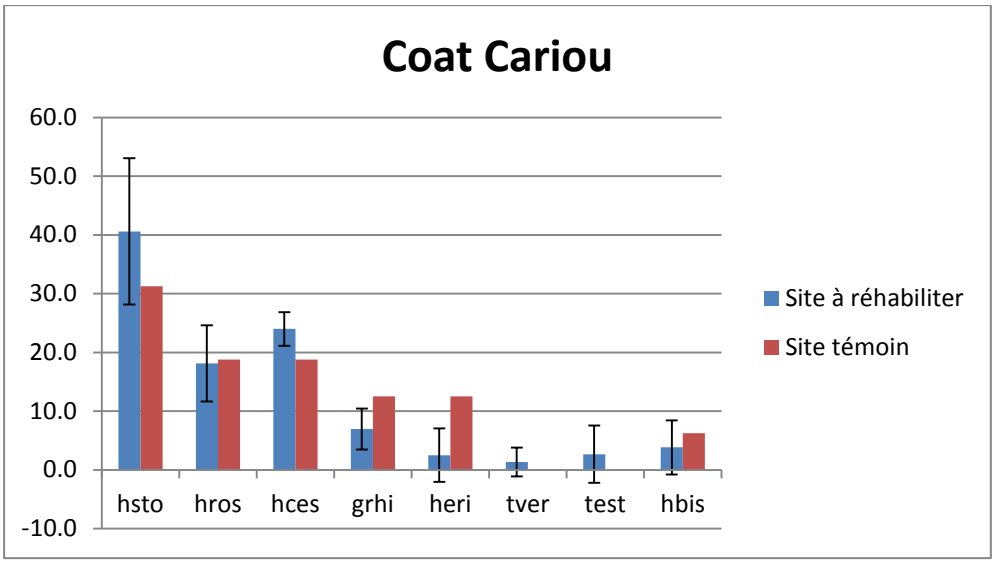
Espèces communes	**Espèces propres aux sites à réhabiliter**	**Espèces propres aux sites témoins**
Agrostis stolonifera L.	Alopecurus pratensis L.	Agrostis canina L.
Alopecurus geniculatus L.	Bromus hordeaceusL.	Agrostis x murbeckii Fouill.
Anthoxanthum odoratum L.	Carex pendulaHuds.	Angelica sylvestris L.
Calystegia sepium (L.) R.Br.	Cirsium arvense(L.) Scop.	Argentina anserina(L.) Rydb.
Cardamine pratensis L.	Cirsium vulgare(Savi) Ten.	Bellis perennis L.
Carex ovalisGooden.	Crepis vesicaria subsp. taraxacifolia	Bromus racemosus L.
Cerastium fontanum Baumg.	Elytrigia repens (L.) Desv. ex Nevski	Carex echinataMurray
Cerastium glomeratumThuill.	Epilobium cf ciliatum	Carex laevigataSm.
Cirsium palustre (L.) Scop.	Epilobium hirsutum L.	Cynosurus cristatus L.
Dactylis glomerata L.	Epilobium parviflorumSchreb.	Eupatorium cannabinum L.
Epilobium tetragonum/obscurum	Geranium dissectum L.	Jacobaea vulgarisGaertn.
Galium aparine L.	Helosciadium nodiflorum (L.) W.D.J.Koch	Lotus corniculatusL.
Galium palustre L.	Heracleum sphondylium L.	Luzula campestris (L.) DC.
Glyceria fluitans(L.) R.Br.	Hypericum tetrapterumFr.	Mentha aquatica L.
Holcus lanatus L.	Linum usitatissimum subsp. angustifolium	Phalaris arundinaceaL.
Holcus mollisL.	Lolium perenneL.	Potentilla erecta (L.) Räusch.
Juncus acutiflorus Ehrh. ex Hoffm.	Lythrum salicaria L.	Quercus robur L.
Juncus bufonius L.	Medicago lupulinaL.	Ranunculus acrisL.
Juncus conglomeratus L.	Myosotis secundaA.Murray	Stellaria alsine Grimm
Juncus effusus L.	Phleum pratenseL.	Stellaria graminea L.
Lolium multiflorum Lam.	Poa annua L.	Trifolium dubium Sibth.
Lotus pedunculatusCav.	Poa pratensis L.	
Lychnis flos-cuculi L.	Prunella vulgarisL.	
Oenanthe crocata L.	Rumex crispus L.	
Plantago lanceolataL.	Rumex obtusifoliusL.	
Poa trivialis L.	Silene dioica (L.) Clairv.	
Potentilla reptans L.	Symphytum officinale L.	
Ranunculus flammula L.	Vicia sativa L.	
Ranunculus repens L.	Vicia tetrasperma(L.) Schreb.	
Rubus sp.		
Rumex acetosa L.		
Rumex conglomeratus Murray		
Schedonorus arundinaceus		
Scrophularia auriculata L.		
Taraxacum officinaleF.H.Wigg.		
Trifolium pratenseL.		
Trifolium repensL.		
Urtica dioica L.		

ANNEXE 3 : Spectres biologiques moyens (%)









Légende :

Hémicryptophytes :

érigés	heri
stolonifères	hsto
cespiteux	hces
rosettés	hros
ruboïdes	hrub
bisannuels	hbis

Géophytes :

à rhizome	grhi

Thérophytes :

vernaux	tver
estivaux	test

Phanérophytes :

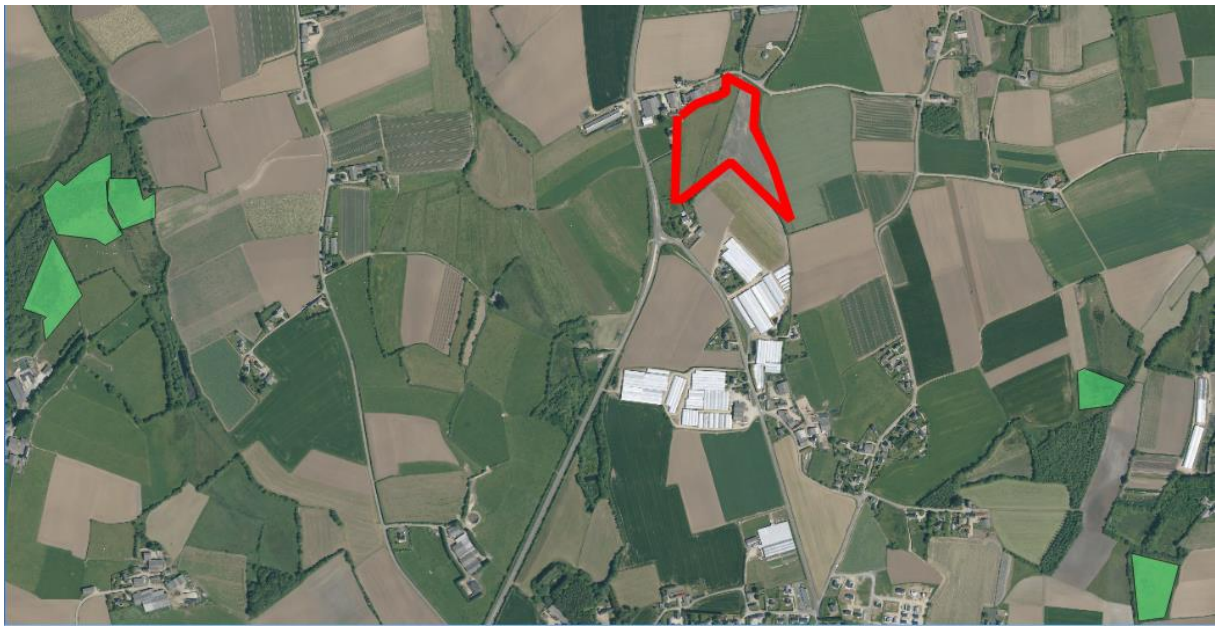
caducifolié	acad

ANNEXE 4 : Vues aériennes des sites sélectionnés pour le panel de référence

En rouge le site à réhabiliter, et en vert les sites de référence

Coat Cariou

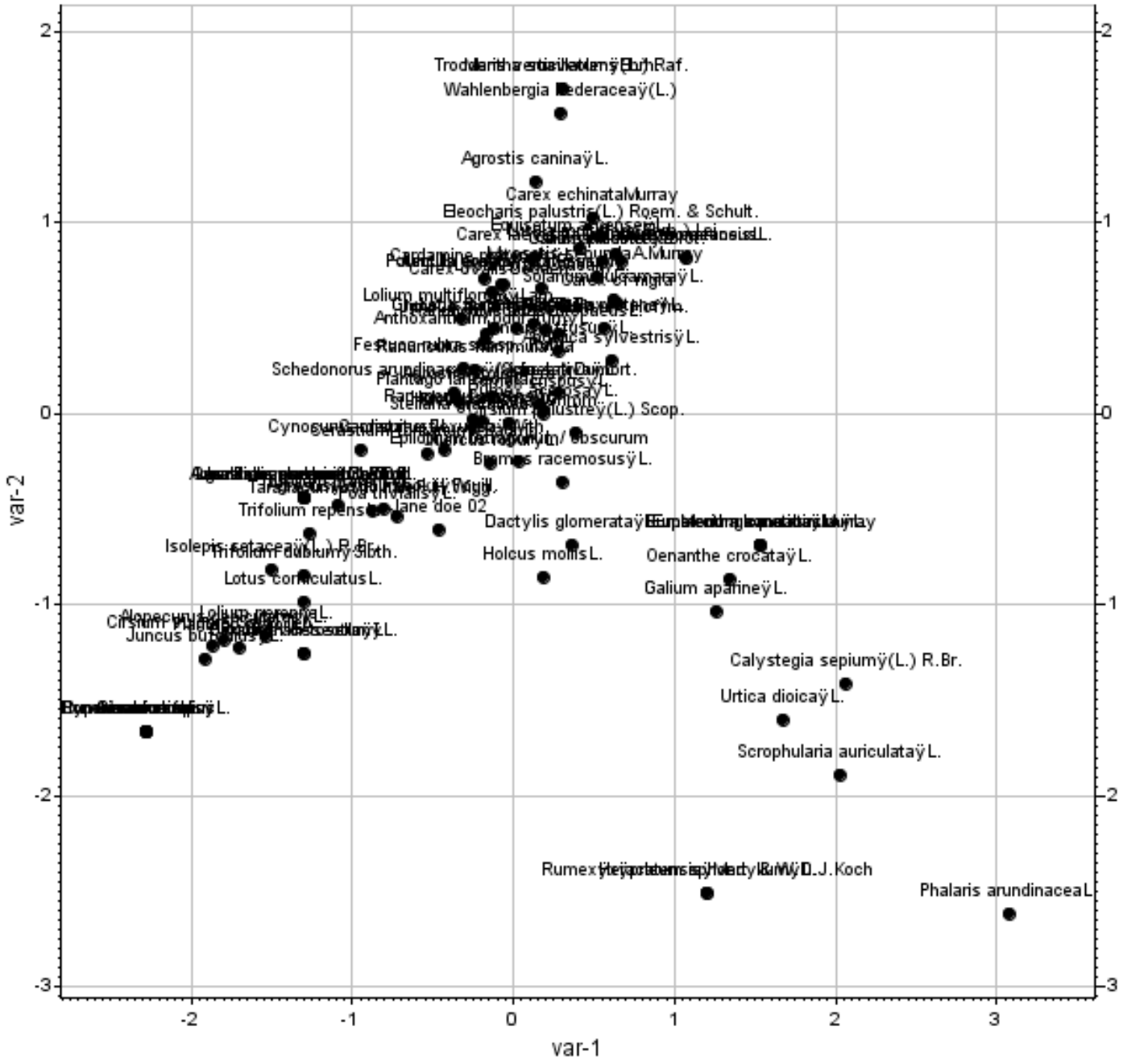
Fontaine Margot



Boullac’h

Corroac’h

ANNEXE 5 : Plan factoriel des espèces végétales



ANNEXE 6 : Tableau brut des relevés phytosociologiques

Code du relevé	CCC4a	CCC4b	CCC4c	CCC5a	CCC5b	CCC1a	CCC1b	CCC1c	CCC6a	CCC6b	CCC3a	CCC3b	CCC3c	FM2a	FM2b	FM2c	FM2d	FM4a	FM4b	FM4c	CORR3a	CORR3b	CORR3c	CORR3d	BOU1a	BOU1b	FMT1	FMT2	FMT3	FMT4	CCT1	BOUT1	BOUT2	COT1	COT2	COT3
Agrostis canina L.								2a																2a							2a					
Agrostis stolonifera L.				2b	2b	1	1	1	+	1	2b		2a	2b	2b	2b	2a		2b	2b	3	3	3	2b	2b	2a		2a		1				1	1
Agrostis x murbeckii Fouill.		2a	2a		2b					2b															1		2b	2a		+					
Alopecurus geniculatus L.											1		4												2a			r			+				
Angelica sylvestris L.	+					2b	2b	2b									1	2a	2b		2a	1	2b	2b		1								1	2b	
Anthoxanthum odoratum L.		+	2b			2b		2a		1	2b			2a	+	2b		1	1	2b	+			1			2a	3		2a	2b	1				
Argentina anserina(L.) Rydb.																											+								
Bellis perennis L.																											r								
Bromus hordeaceusL.																		+																	
Bromus racemosus L.							+		+																						1				
Callitriche sp.												2a																							
Calystegia sepium (L.) R.Br.	+								+								+	2b															4	3	2b
Cardamine flexuosa With.											1															1									
Cardamine pratensis L.				2a				+									+							1			r	+		r	2a	+			
Carex cf nigra																		1		2a															
Carex echinataMurray								2b										1										r							
Carex laevigataSm.								2a								+	+	+												3					
Carex ovalisGooden.			+	2a	1	2a		2a			+			1		2a	+					2a		2b			r	+		1	+				
Cerastium fontanum Baumg.					1					+			+				+	+	+	1							+			+					
Cerastium glomeratumThuill.																											r								
Cirsium palustre (L.) Scop.	2a	2a	2a			+	1	1	+					1		1	+									1				r	1		+	1	
Cirsium vulgare(Savi) Ten.											+	1	1																						
Coniza sp.												1																							
Cynosurus cristatus L.																											2a	1							
Dactylis glomerata L.		4				2b	2a		2b	2b						1	+		1	2a															2a
Eleocharis palustris(L.) .																	1	2b		2a				2a											
Epilobium tetr./obsc.	2a	1									+	2a	1		+	1						+				1				+			r	+	
Equisetum arvense L.								+														2a	2a												
Eupatorium cannabinum L.																																		r	
Festuca rubra subsp. Rubra			3																																
Galium aparine L.		+					+																							+			+	+	+
Galium palustre L.														+			1	2a			1	2a	1	2a										1	
Geranium dissectum L.										2a																									
Geranium sp													+																						
Glyceria fluitans(L.) R.Br.				1							+				2a		2a					1	1						2a		+	2b				
Heracleum sphondylium L.									2a																										
Holcus lanatus L.			2a	2b	2b	2b	2a	1	2b	1	2a		2a	2b	5	3	3	1	2b	2b	2b	+	+		1	2b	2a	2a	4		3	3		1	1
Holcus mollisL.									2b	2b									2b	1										+				+	
Hypericum elodes L.													+																						
Isolepis setacea (L.) R.Br.					1						2a		1																						
Jacobaea vulgaris																											r								
Juncus acutiflorus		1	+	2b		2b	2b	2b			3			2b		2a	2b	3	2b	3	2b	3	2a	3			r	3		1	2b			3	
Juncus bufonius L.					1								1														r								
Juncus bulbosus L.												1																							
Juncus conglomeratus L.														1		1	1													+		2a			
Juncus effusus L.	4			2b			1	1				3				2b	2b		2b	1			3	2a		2b	+	1	+	2a	4	2a			2b	1

Lathyrus pratensisL.																+																
Lolium multiflorum Lam.																												2b	1			
Lolium perenneL.					2a				2a													2b										
Lotus corniculatusL.									1															+								
Lotus pedunculatusCav.			1	+		2a	1	2a		1	1			2a		2a	2b	2b	2b	2b			1			+	2a		2a	+			
Luzula campestris (L.) DC.																										+						
Luzula multiflora(Ehrh.) Lej.			+					1								2a																
Lychnis flos-cuculi L.						1	+	2a							+		1										1		1	+			
Lycopus europaeusL.										+											2a											
Mentha aquatica L.																															+	
Mentha suaveolensEhrh.																						2a										
Myosotis secundaA.Murray								2a							+	2a		1					1									
Oenanthe crocata L.							2b		1			1			+		2a	+	1			2a				r	1				2b	2a	5
Persicaria hydropiper (L.)											2a																					
Phalaris arundinaceaL.																															2b	+	
Plantago lanceolataL.		+	1	2a		2a	2a	2b	+	2a	1							1		+		+		3	2b		2b		+	2b			
Plantago majorL.																							+										
Poa trivialis L.		+		2a	2a	2a	2a			1		2b											2b				+	1			r		+
Potentilla erecta (L.)													2b		2a												2a						
Potentilla reptans L.																2a	2a	2b						r								
Quercus robur L.		+																						r	+							
Ranunculus acrisL.		+	2a													+	+					1		1	+	r		2a				
Ranunculus flammula L.						2a		2b			+	1	2a			1	1			+	1	1	+	1		r					r	
Ranunculus repens L.	+		2a	2a	2a	2a	2b	1		1		1	2b		+	2a	+	1		2b	+	1	1	2b	2b			3	2a	+	1	3	+	1	
Rubus sp.																		+	+									1					
Rumex acetosa L.	2a	2a	2a			2a	2a	1	1	1						2b	+		1	+	+		+	+		1	r			1	1			+	
Rumex acetosa L.										+																							
Rumex conglomeratus																																1	
Rumex crispus L.				+		1	2b													+													
Rumex obtusifoliusL.											2a	2a																					
Rumex x pratensis Mert. & W.D.J.Koch								2b																									
Salix atrocinereaBrot.													+			1																	
Schedonorus arundinaceus																	2a							2b	r		2b						
Scrophularia auriculata L.											1																						+
Solanum dulcamara L.																					1												
Sonchus arvensis L.												1																					
Stellaria alsine Grimm												+			1		+						+		r		+			r		+	
Stellaria graminea L.																	1							+									
Taraxacum officinale				1	2a			+	1	2a												+	+	+	+	+		r		r			
Trifolium dubium Sibth.									2a																2a								
Trifolium pratenseL.					1				1																1				1				
Trifolium repensL.				2a	2b				2b	2a		2a	1												2a								
Trocdaris verticillatum (L.)																						2a											
Urtica dioica L.	+	+				1		1			1						+		+				1							3		1	
Veronica sp												+																					
Vicia sativa L.																	1																
Wahlenbergia hederacea (L.)																				+		2a											