

Introduction

Les zones humides - leurs fonctions et leurs protections

La Bretagne est une région avec des écosystèmes diversifiés et de nombreuses zones humides. Elles sont étudiées depuis de nombreuses années et, en 2019, selon le Forum des Marais Atlantique (FMA), 97% du territoire était couvert d'inventaire de zones humides (Dausse, 2020). Après la seconde guerre mondiale, la mécanisation et l'intensification agricole ont progressivement altéré ces milieux humides. Les altérations les plus fréquentes sont la mise en culture avec drainage et remblaiement, l'urbanisation, la modification des cours d'eau et la prolifération d'espèces invasives. A cause de ces impacts, il ne reste que 20% des zones humides potentielles en 2020 en Bretagne (Dausse, 2020). Ces valeurs sont légèrement plus faibles que la moyenne mondiale qui est de 29 à 36% de zones humides potentielles réellement présentes (Davidson, 2014(REF diapo de dausse)).

De nombreux chercheurs, tels que Skinner et Zalewski (1995) (REF laurene ou dausse) et Gallet et al. (2017), ont souligné l'aspect remarquable des zones humides pour leurs richesses et leurs biodiversités. Elles accueillent une grande diversité d'espèces et de communautés végétales, certaines endémiques ou leur étant inféodées pour leur cycle de vie (Fustec et Lefevre, 2000). Enfin, elles contribuent à une variété importante d'habitats.

Les zones humides assurent aussi différentes fonctions écologiques : fonction **biologique**, elles sont support de biodiversité et de continuité écologique; **hydrologique**, elles régulent les inondations et rechargent la nappe; **biogéochimique**, elles assurent une qualité de l'eau, une régulation des nutriments et un stockage du carbone (Barnaud et Fustec, 2007; Dausse, 2020).

L'importance des zones humides a poussé les politiques publiques à protéger ces milieux par le Code de l'environnement en 1992. Des objectifs de préservation et de gestion équilibrée sont donc inclus dans les outils réglementaires (*zones humides d'intérêt environnemental*, les *arrêtés biotope*) et de planification, notamment le SDAGE (schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux) et les SAGE. Des labels nationaux et internationaux comme *site Ramsar*, et des inventaires, comme les *ZNIEFF* et *inventaires de zones humides*, permettent une reconnaissance et une valorisation de ces milieux. Un recensement exhaustif des outils est mis à disposition par le gouvernement français (les-zones-humides.org, 2015).

Au regard de la diminution des zones humides et de leurs qualités, les outils de conservation ne suffisent pas, la pratique de la restauration écologique a alors émergé. C'est une des interventions proposée par le SDAGE Loire-Bretagne. Elle peut être appliquée de façon contraignante dans le cadre de compensation, ou de façon spontanée par une volonté propre des acteurs locaux.

L'écologie de la restauration - une discipline jeune

L'écologie de la restauration, et ses pratiques de restauration écologique, est une discipline récente et voit ses premières définitions en 1980. La publication scientifique considérée comme fondement est "Restoration Ecology" (R.Jordan, 1993). Puis le monde de la recherche s'en est emparé avec un accroissement de publication à partir de 2009. Si les objectifs du projet sont dirigés vers les fonctions et la structure de l'écosystème, c'est bien de la restauration. S'il est question de s'occuper uniquement des fonctions, c'est de la réhabilitation (Le Floc'h et Aronson, 1995 (REF HDR Gallet, p.42)).

Dans les années 1990 le débat porte sur le principe d'écosystème de référence. Les premières références étaient un état « historique » tandis qu'aujourd'hui il est aussi question de se diriger vers une référence basée sur l'analyse des conditions du milieu (White et Walker, 1997, (REF HDR Gallet, p. 46)). D'autre part, afin de prendre en compte les variations locales des écosystèmes considérés et les différents niveaux de perturbations acceptables, le concept de "panel de référence" a été créé (Gallet, non parue; Suganuma et Durigan, 2018). C'est ce qui est mis en œuvre dans le cadre du programme ETREZH.

Programme ETREZH et Contexte du stage

De bonnes connaissances du territoire et des pratiques sont nécessaires pour réussir un projet de restauration (Gallet et al., 2017). C'est pourquoi, en 2013, le Conseil départemental du Finistère et le Forum des Marais Atlantiques ont initié un réseau visant à promouvoir les projets de restauration et les bonnes pratiques. C'est le Réseau Expérimental pour la Restauration des Zones Humides (RERZH). L'objectif était de favoriser la mise en commun de connaissance, de formation, et des méthodes de suivi et d'évaluation dans le département du Finistère.

Afin de poursuivre et élargir les objectifs du réseau RERZH, le programme ETREZH voit le jour en 2019 "Evaluation des effets des Travaux de Restauration sur les fonctions des Zones Humides". Celui-ci étend l'analyse et la mise en réseau à toute la région Bretagne.

Ce programme regroupe de nombreuses structures. Le FMA (Forum des Marais Atlantique) assure la coordination du projet, il participe à la mise en œuvre technique, scientifique et à la valorisation de données. D'autres structures assurent un soutien scientifique, c'est le cas de l'Université Bretagne Occidentale (qui est la structure d'accueil de ce stage), l'INRA et l'Université Rennes 1.

Les études sur les sites du programme ETREZH comportent trois volets, **faunistique, hydro-géomorphologique et floristique** (figure 1).

Le programme ETREZH a pour objectif d'étudier 14 sites en zone humide à travers la Bretagne ayant subi des travaux de restauration entre 2010 et 2019. Ces travaux de restauration ont pris la forme de suppression de remblais ou de drainage.

Les observations et relevés ont été réalisés sur deux années :

- 2020 : **Guerven, Keravilin, Kerguilidic, Pégase V, Penn-ar-Stang, Traou-Guern, Pont-Guérin** (ces sites ont été caractérisés lors du stage de Laurène Lutherer)
- 2021 : **Le Bois Orcan, La Haie, Keribet, La Roche, Launay-Geffroy, Ruguen 01, Le Matz.**

La première partie de ce rapport présente le contexte des sites ETREZH 2020 et 2021 grâce à une étude de l'évolution paysagère. Les relevés phytosociologiques des sites 2021 et leurs

analyses seront faites dans la deuxième partie, avec à la fin une comparaison sur l'ensemble des sites de Bretagne RERZH et ETREZH. La troisième partie est une discussion sur les limites et la complémentarité des analyses du volet floristique et du programme.

Partie I – Contextualisation des sites par étude de l'évolution paysagère

1.1 Introduction

Pour évaluer les projets et les dynamiques de restauration, il est important de connaître les contextes des sites et notamment son intégration dans le paysage. Le contexte paysager prend en compte plusieurs paramètres, la nature de l'occupation du sol, la densité du linéaire de haie et la taille des surfaces.

Le type d'occupation du sol peut influencer les communautés et les connectivités du site. Par exemple, une augmentation de l'emprise agricole intensive a entraîné un appauvrissement de la biodiversité floristique dans les prairies inondables du Val de Meuse (Gréville et Muller, 2013). D'autre part, ces occupations évoluent dans le temps, aussi il est intéressant de voir quelles ont été les trajectoires des contextes paysagers des sites entre 1950 et aujourd'hui. Les haies influencent la parcelle au niveau de ses continuités écologiques et des interactions biologiques. Une haie arborée peut protéger des maladies et favoriser la biodiversité locale, mais aussi du vent et de l'érosion de la parcelle (Lecq, 2013). Pour finir les haies peuvent servir de filtre dans le cas d'une ripisylve, limitant ainsi la perte d'éléments et de potentielles pollutions (Pinay et J.C, 2003). Ces analyses de contexte paysager pourront permettre de discuter des résultats obtenus sur les différents volets.

Enfin, la taille des parcelles est un indicateur sur l'anthropisation, la diversité et la continuité au sein du paysage (seules les catégories cultures et prairies seront prises en compte). Ces analyses de contexte paysager pourront permettre de discuter des résultats obtenus sur les différents volets.

1.2 Matériel et Méthode

Les photos aériennes ont été récupérées sur la base de données du portail national de la connaissance du territoire (*Géoportail*) au travers du module IGN remonter le temps (*remonterletemps.ign.fr*). Quatre années sont étudiées : **1950, 1970, 1990, 2010**.

Lorsqu'il n'y avait pas de photo pour l'année en question, c'est celle ayant été prise l'année la plus proche supérieure qui a été choisie.

Pour l'analyse des 28 photos, quatre étapes ont été suivies sur l'application SIG *Arcmap*.

1. Géolocalisation des photos aériennes. Une couche WMTS de l'IGN a été importée avec les photo-aériennes de 2017. Cette couche a servi de référence. Les photos historiques ont été importées avec le même système de coordonnées puis, à l'aide 10 points, chacune a été géoréférencée. Les toits des églises et les croisements de routes ont été privilégiés pour positionner les points.
2. Réalisation d'un buffer de 500 mètres à partir du centroïde des sites.

3. Attribution d'un type d'occupation du sol pour les parcelles au sein du buffer. La catégorisation des sites étudiés en 2020 a été reprise afin de faciliter l'analyse des résultats globaux. Les catégories sont :

Zones boisées, prairies, zones humides, fourrés, cultures, cours d'eau, milieu urbain

4. Cartographie du **linéaire de haie** au sein du buffer.

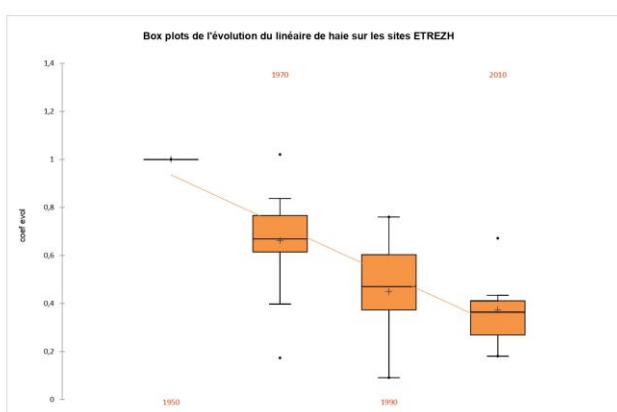
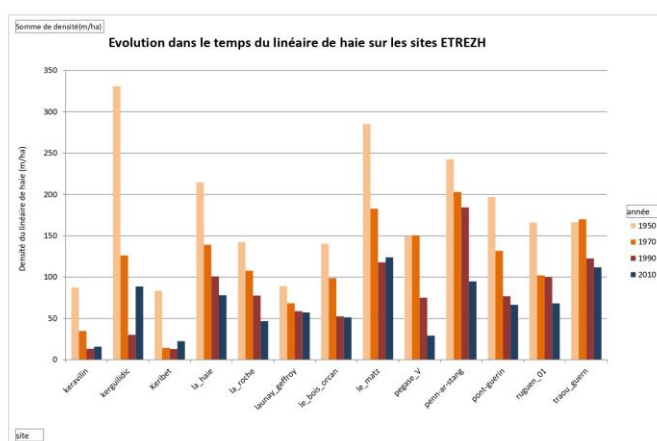
Pour finir, une Analyse en Composante Principale (ACP) est réalisée avec l'outil R à partir des données issues de la cartographie du type d'occupation des sols.

1.3 Résultats et analyse de l'évolution paysagère depuis 1950

L'évolution paysagère n'a pu se faire que sur **13 des sites ETREZH**, il n'y avait pas de photo aérienne pour le site de **Guerven** (Lutherer, 2020). Au final, 56 cartes de l'occupation du sol et 56 cartes du linéaire de haie ont été réalisées, des exemple sont présentés en [annexe 1](#).

1.3.1 Evolution du linéaire de haie et de la taille des parcelles

Tous les sites présentent une diminution de la densité du linéaire de haie entre 1950 et 2010 ([figure 2](#) et [figure 3](#)), en moyenne 63%. Le site le plus impacté est Keravilin avec une perte de 82%, quand à Traou-Guern la perte est la plus faible avec 33% de régression.

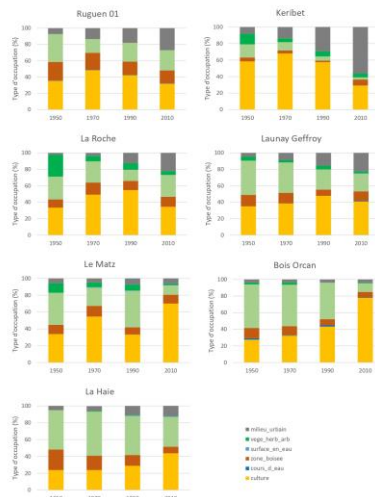


Pour la taille des parcelles, la tendance générale est à l'agrandissement ([figure 4](#) et [figure 5](#)). En 1950 la taille moyenne était de 5 800 m² et en 2010 de 12 500 m².

1.3.2 Evolution de l'occupation du sol

Pour rappel, les 7 types d'occupation du sol sont : **zone boisée, prairie, zones humides, fourré, culture, cours d'eau, milieu urbain**. La [figure 6](#) résume l'évolution du contexte paysager pour chaque site. L'exemple de Launay-Geffroy, dont les photos interprétations sont disponibles en [annexe 2](#), montre qu'60 ans, la part du milieu urbain a été multipliée par 5,5 et les cultures par 1,2, à l'inverse, les zones boisées ont été multipliées par 0,8 et les prairies

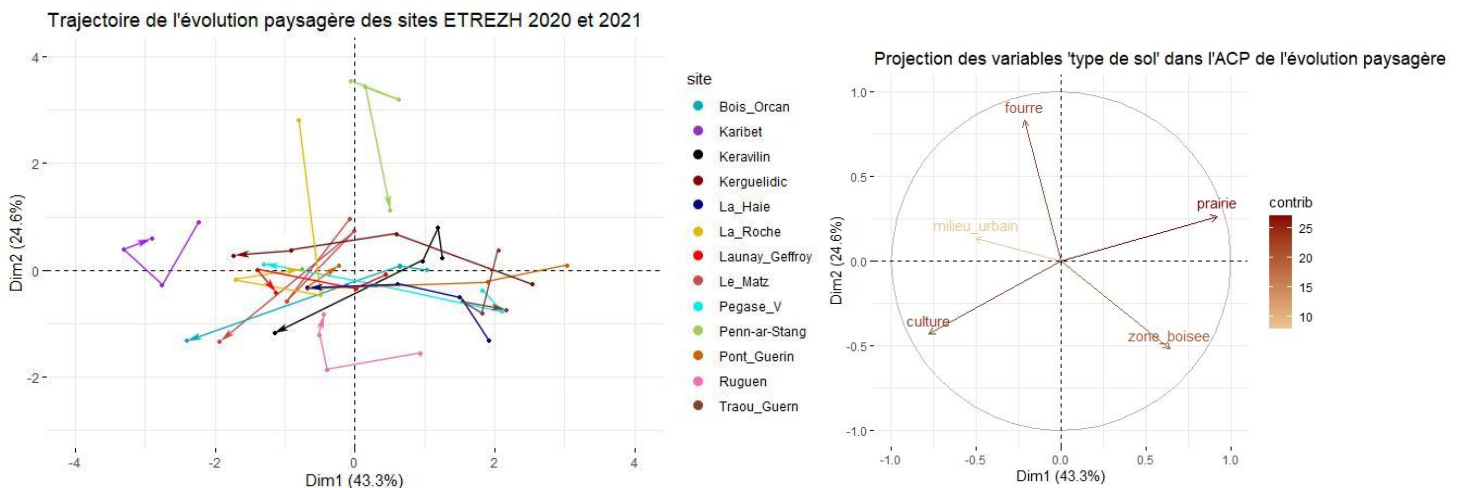
par 0,5. **De façon générale, les milieux plus "naturels" et extensifs ont donc laissé place au milieu anthropisé.**



1.3.3 Analyses des trajectoires paysagères

Les variables «surface en eau» et «cours d'eau» ont été exclues de l'analyse. Ces milieux occupent des surfaces paysagères très faible, respectivement 0,01% à 0,33% et 0,29% à 0,26%, or, la forte évolution de la première lui donne une grande contribution dans l'ACP alors que ce milieu est très peu présent, et leur taux d'erreur de photo-interprétation est très important, surtout pour l'année 1950. Ces deux raisons font que prendre en compte ces deux variables fausserait l'Analyse en Composante Principales.

L'ACP, en **figure 8**, permet de voir que la qualité des variables explicatives est de 43,3% pour l'axe une et 24,6% pour l'axe deux. La représentation au total de 67,9%, **cela représente alors un modèle de bonne qualité.**



Pour la dimension 1 : La variable “prairie” a la plus forte contribution, 39%, avec une coordonnée à 0,92. Elle est opposée à la variable “culture”, 28% de contribution, qui a une coordonnée de -0,78. L'axe 1 représente donc un gradient d'intensification agricole suivi par la majorité des trajectoires des sites, excepté **Traou-Guern** et **Keribet** qui suivent le gradient de façon moins nette. L'intensification agricole y semble donc moins prononcée.

Pour la dimension 2 : La variable “fourré” a la plus forte contribution, 56%, avec une coordonnée à 0,83. Elle est opposée à la variable “zones boisées” avec 22% de contribution et une coordonnée de -0,52. L'axe 2 représente donc un gradient de densité de boisement et de déprise agricole associé au fourré. Les trajectoires ne se déplacent pas vers “zones boisées” il n'y a donc pas de reconquête des espaces boisés, sauf de façon très légère pour **Keribet**, de plus, les trajectoires des sites de **Penn-ar-Stang** et de **La Roche** se déplacent vers le bas, indiquant une diminution des fourrés et donc de la déprise agricole.

En 60 ans les sites sont en majorité passés d'une dominance des milieux plus "naturels" ou "extensifs" pour évoluer vers une plus grande présence de milieu anthropique.

Partie II - Etude des communautés floristique et évaluation des travaux de restauration

2.1 Introduction

Cette deuxième partie présente l'évaluation des projets de restauration par le volet floristique pour les **7 sites 2021**. Selon [Lahondère](#), la *phytosociologie* permet de connaître les conditions édaphiques et climatiques en un point donné à partir des associations végétales ([1997](#)). L'évaluation se fera donc par comparaison des relevés floristiques entre les sites restaurés et les références. Les références correspondent à des zones humides "en bon état de conservation". Plusieurs étapes sont présentées, tout d'abord, la façon dont les relevés phytosociologiques ont été effectués, puis l'identification des parcelles de référence et la construction du panel, pour enfin, pouvoir comparer les sites restaurés au panel de référence avec plusieurs indicateurs.

2.2 Matériel et Méthode du volet floristique

2.2.1 Relevés phytosociologiques

Les parcelles de sites restaurés et les parcelles de référence sont composées d'une ou plusieurs zones homogènes, les relevés et les comparaisons sont effectués par zone homogène et non par parcelle. L'identification des zones homogènes se fait par appréciation de l'observateur. Elle doit correspondre à un espace cohérent au sein d'une parcelle représentée par une homogénéité physiologique, de composition floristique et des conditions écologiques. Plus de précisions sont disponibles dans le guide du terrain du conservatoire botanique national de Brest ([CBNB, 2015](#)). Un relevé est constitué par les identifications des espèces et attribution d'un coefficient d'abondance dominance de Braun-Blanquet. D'autres parts, une cartographie des zones homogènes a été réalisée par GPS pour chaque site avec une tablette de terrain et le logiciel Qgis ©.

2.2.2 Construction du panel de référence

Identification des parcelles de référence

Pour constituer le panel de référence, le comité de pilotage du programme a décidé qu'il fallait 3 sites référents pour chaque site restauré. Certains sites restaurés dit "approfondies" ont fait l'objet d'une étude plus importante sur les volets faunistique et hydro géomorphologique. Il y a 4 sites approfondis sur les 14 sites d'ETREZH, deux pour 2020 et deux pour 2021. Pour les sites approfondis, en plus des 3 parcelles référentes, 1 témoin est identifié.

Au début du stage les sites restaurés et témoins étaient déjà définis, mais pas les sites référents. L'objectif est donc de sélectionner **21 parcelles de références** pour les 7 sites ETREZH 2021. Les critères suivant ont été utilisés :

- La parcelle doit être une zone humide dans la même zone biogéographique et contexte hydrologique

- Elle doit se trouver à proximité du site restauré (dans un rayon de 2-3 km, pour le mieux) et avec un même contexte paysager (bordure de champs ou de boisement)
- Elle ne doit pas avoir subi de travaux de restauration ou de perturbation anthropique majeure (drainage, mise en culture, bord de grande route)
- Elle doit avoir le même mode de gestion que la parcelle restaurée. C'est-à-dire soit la fauche soit le pâturage.

Pour identifier les parcelles de référence qui répondent à ces critères la procédure ci-dessous a été suivie :

1. Importer les inventaires de zones humides disponibles sur *GéoBretagne* et sélectionner les parcelles potentielles.
2. Contacter les syndicats de bassins versant et les agglomérations locales pour avoir leurs avis sur les parcelles et les contacts des propriétaires.
3. Contacter les propriétaires (exploitant agricole, commune, particulier, etc.) pour leur présenter le projet, connaître le mode de gestion et avoir l'autorisation de mener cette étude sur leurs parcelles.
4. Visiter les parcelles pré-identifiées pour voir si elles correspondent bien aux critères et les valider en tant que parcelle référente.

Groupe de référence et corpus de relevés

A partir des relevés phytosociologiques effectués sur les parcelles sélectionnées, une ACP est réalisée, puis une Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) est calculée grâce à sa matrice de distance. **Chaque point, ou observation, correspond à un relevé sur une zone homogène.** Ainsi il est possible de repérer les références éloignées du panel. Si leur composition floristique ne correspond pas aux objectifs définis de "zones humides en bon état de conservation" elles seront retirées.

Pour améliorer la lisibilité des grandes tendances l'ensemble des relevés floristique, que l'on appelle corpus de relevés, est **épuré**. Les identifications au coefficient i et r et les espèces présentes dans 1 seul relevé sont exclus, et les espèces de semis du même groupe taxonomique ayant les mêmes types d'habitat sont regroupées.

2.2.3 Conformité des sites restaurés et panel de référence par ACP

Les observations des sites restaurés sont ajoutées en **individus supplémentaires** sur l'ACP du panel de référence, sans modifier les projections. Ainsi, si le site restauré est à l'intérieur de l'Ellipse du panel de référence, il est conforme et s'il est en dehors, il est non conforme. Pour améliorer la qualité des projections plusieurs dimensions peuvent être prises en compte. La dernière étape est de regarder la composition floristique des sites restaurés non conforme et d'analyser ce qui les différencie des références. Cette méthode a été mise en place depuis quelques années par Sébastien Gallet et dont un travail de publication est aujourd'hui en cours.

2.2.4 Comparaison entre sites restaurés et références par indicateur écologique

Pour compléter la méthode de conformité au panel de référence par ACP, des indicateurs écologiques peuvent être calculés à partir des relevés phytosociologiques, voir **tableau 2**.

Espèces indicatrices de Zones Humides	Les espèces indicatrices de zone humides sont disponibles dans la table de l'Annexe II de l'arrêté du 24 juin 2008 en application des articles L.214-7-1 et R. 211-108 du code de l'environnement. Le recouvrement des espèces indicatrices sur le recouvrement total des espèces floristiques de chaque relevé est calculé. Les dominances des espèces indicatrices des sites restaurés et des références peuvent ainsi être comparées.
Indice d'Ellenberg et d'Hydrométrie	L'indice d'Ellenberg adapté par Hill est un indice allant de 0 à 12 (EcoFact2, 1999 (CF Laurene p23)) et associe chaque espèce à des conditions d'humidité édaphique (F), de lumière (L), de température (T), de continentalité (K), de réaction du sol - pH (R), de nutriments du sol - nitrates et ammoniac (N) et de salinité (S). De plus, à partir de l'indice d'humidité édaphique de chaque espèce et selon sa dominance, les pourcentage de types d'hydrométries peuvent être attribués à chaque relevé, voir Annexe 3 (cf vw4) . Une Non Metric Multidimensional Scaling (NMDS) peut être réalisée pour visualiser la position des sites restaurés par rapport aux références.
Associations phytosociologiques et code EUNIS	Le document <i>Classification phytosociologique et phytosociologique des végétations</i> (Delassus et al., 2014) permet d'attribuer les associations phytosociologiques aux relevés floristiques selon les espèces dominantes. D'autre part, ces associations permettent grâce au <i>Guide de détermination des habitats terrestres et marins de la typologie EUNIS</i> (Gayet et al., 2018) d'attribuer un type d'habitat aux relevés. Les associations et les habitats du code EUNIS peuvent ne pas être flagrants, notamment lorsque les écosystèmes sont en transition ou ont été perturbés.
Habitats préférentiels	Les espèces recensées dans la base de données Baseflor (Julve, 1998) ont, pour la plupart, un habitat préférentiel lié. A partir des dominances des espèces, leurs pourcentages sont obtenus par relevé. La liste des habitats préférentiels et leur groupe est disponible en Annexe 4 . Une NMDS peut être réalisée pour visualiser la position des sites restaurés par rapport aux références.

Tableau 2 : liste des indicateurs écologiques et de leur utilisation

2.3 Résultats du volet floristique

2.3.1 Définition du panel de référence

Identification des parcelles

Les inventaires de zones humides de Bretagne ont permis de pré-identifier 52 parcelles de références, et une dizaine de syndicats des Côtes d'Armor et des Îles-et-Vilaines ont été contactés pour connaître leurs propriétaires et exploitants. Ensuite, la prise de contact avec chacun de ces propriétaires a permis de leur présenter l'étude et demander l'autorisation de l'effectuer sur leurs propriétés, 26 d'entre eux ont refusé et 26 ont accepté. En vue de rencontrer les propriétaires et connaître les historiques des sites et les modes de gestions, un déplacement a été fait sur chacune des parcelles dont le propriétaire a accepté l'étude. Ces déplacements ont aussi permis de vérifier la qualité écologique des parcelles et de voir si elles correspondaient aux critères établies de zones humides "en bon état de conservation". Sur les 26 parcelles avec accord, **se sont 18 parcelles de références qui ont été retenues pour l'étude finale.**

Constitution du corpus de relevé

L'épuration a permis de simplifier le corpus de 119 à 63 espèces. **Parmi les 18 parcelles de références, 53 zones homogènes ont fait l'objet de relevés et constituent les observations du panel de référence.** La richesse spécifique des relevés de référence est en moyenne de 10 et de 13 pour les relevés de sites restaurés. Les espèces les plus présentes sont *Holcus Lanatus*, *Anthoxanthum odoratum*, les rumex, les renoncles et les joncs. L'analyse multivariée en ACP et en CAH permet de regrouper les observations en 5 grands groupes, voir les figures 9 et 10.

figure 9 : ACP du panel de référence

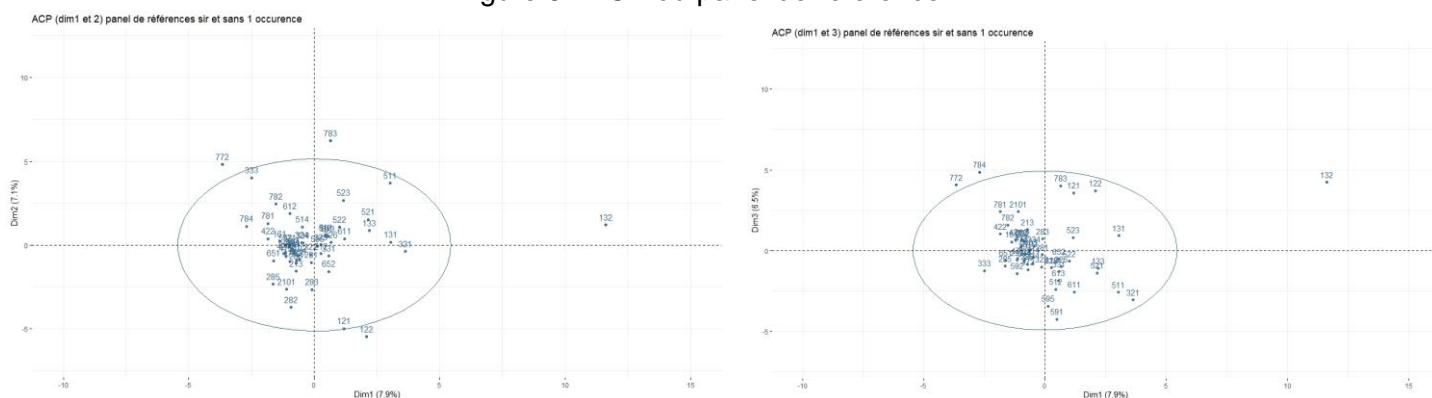


Figure 10 : Clustering du panel de référence

Groupe du relevé 132 (1 relevé) : le relevé 132 est une zone homogènes particulièrement humide, *Agrostis Stolonifera* (coef de 3) et *holcus lanatus* (coef de 3) vont dominer. De plus, elle est l'une des deux seules références à héberger une orchidée *Dactylorhiza maculata*. Donc, même si ce relevé est représentatif de zones humides en bon état de conservation, il fausse la projection du reste du panel de référence, il a donc été supprimé.

Groupe des relevés 121 et 122 (2 relevés) : les relevés 121 et 122 sont dominés par *Ranunculus repens* (coef de 4 pour les deux), *Holcus lanatus* (coef de 4 et 3) et *Agrostis stolonifera* (coef de 2b et 2a).

Groupe des relevés 333 et autres (8 relevés) : cet ensemble de relevés est dominé par *Holcus lanatus* et *x hybridus*, *Rumex acetosa* et *Dactylis glomerata*.

Groupe des relevés 652 et autres (16 relevés) : cet ensemble de relevé est dominé par *Anthoxanthum odoratum*, *Holcus lanatus* et *Ranunculus acris*.

Groupe des relevés 282 et autres (26 relevés) : cet ensemble de relevé est dominé par un nombre d'espèce plus varié avec *Holcus lanatus* majoritairement, *Anthoxanthum odoratum*, certain jonc, *Juncus acutiflorus* et *effusus* et enfin sur certains relevés, *Festuca arundinacea*.

2.3.2 Conformité des sites restaurés au panel de référence par ACP

A partir du panel de référence final, **figure 11**, les observations des sites restaurés et le relevé 132 sont ajoutées en individus supplémentaires sans modifier les projections, **figure 12**. Les projections sont de 7,8% pour la dimension 1, 7,2% pour la dimension 2 et 6,3 pour la dimension 3, soit un total de 21,3%.

note : Le numéro des relevés correspond à l'identifiant du site, par exemple Ruguen 01 dont l'ID est "1.0" a deux zones homogènes appelées 101 et 102.

figure 11: Panel de Référence Final - sans 132

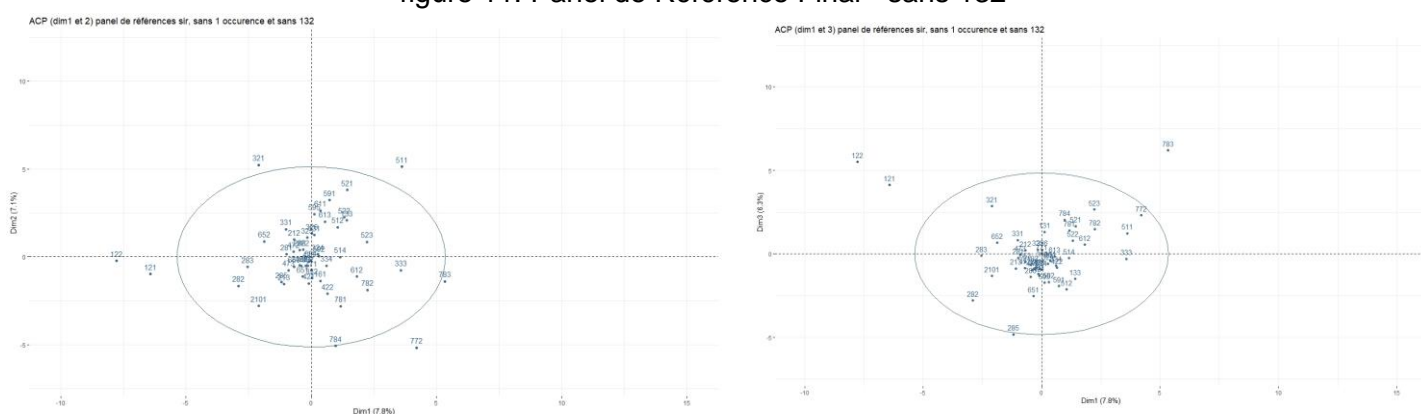
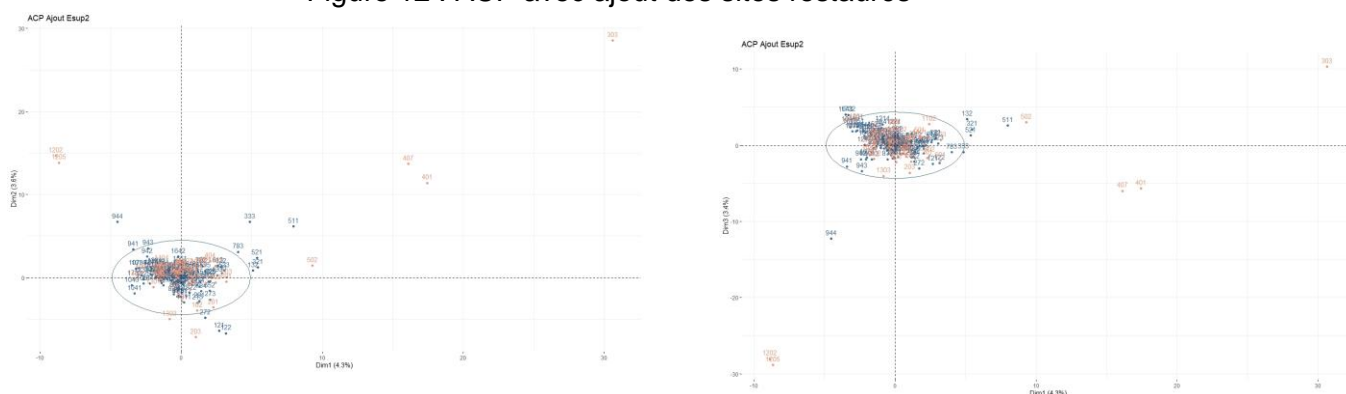


Figure 12 : ACP avec ajout des sites restaurés



Il y a 9 relevés sur les 25 des sites restaurés qui sont en dehors de l'ellipse formée par le panel de référence. Ces relevés sont considérés comme non conformes aux zones humides en bon état de conservation. En pondérant la classification conforme ou non par la taille des zones homogènes dans les parcelles, un tableau de conformité des sites restaurés est obtenu, voir **tableau 3**.

ID	Site restauré	nb zone homogène	nb zone homogène conforme	Conformité au PR ETREZH 2021
1.0	Ruguen 01	2	1	63%

2.0	La Haie	3	1	32%
3.0	Le Matz	6	5	99%
4.0	Bois Orcan	6	3	6%
5.0	La Roche	3	1	58%
6.0	Launay-Geffroy	2	2	100%
7.0	Kéribet	3	3	100%

Tableau 3: Conformité des sites restaurés au panel de référence des zones humides en bon état de conservation

Les compositions floristiques des sites de Launay-Geffroy et de Kéribet sont considérés comme entièrement conformes au panel de référence. Les autres sites sont en partie conformes, excepté Bois Orcan qui l'est très peu. Le détail est analysé en **partie discussion 3.1** en croisant les autres indicateurs.

2.3.3 Conformité des sites restaurés au panel de référence par indicateur écologique

Un tableau résumant tous les résultats des différents indicateurs pour chaque zone homogène est disponible en **annexe 2**.

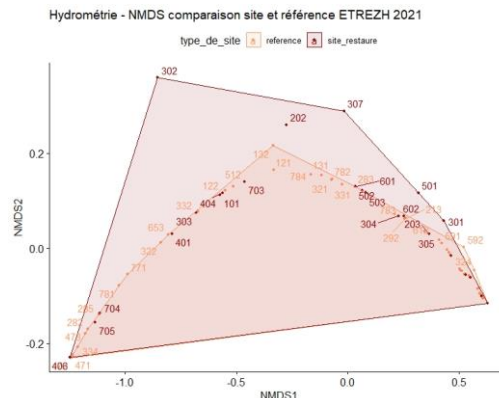
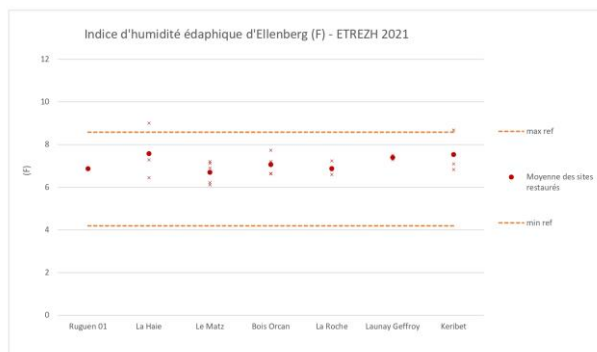
Espèces indicatrices de Zones Humides

Par manque de temps, la composition en espèces indicatrices de zones humides a été calculée uniquement pour les sites d'étude approfondis. Le site restauré de la Haie a une densité d'espèce indicatrice de 0,2 et Bois Orcan de 0,38. Ces valeurs sont comprises dans la plage de leurs référence qui correspond à (0,17; 0,35) pour la Haie et (0,15; 0,38) pour Bois Orcan.

Indice d'Ellenberg et Hydrométrie

L'indice d'humidité d'Ellenberg (F), sur les 119 espèces de la base de donnée, 15 n'ont pas de donné (F). La **figure 13** permet de voir les indices d'Ellenberg de chaque zone homogène et de la moyenne des sites, et la limite maximal et minimal de l'indice atteint par le panel de référence. Tous les sites ont une moyenne comprise dans l'amplitude de référence, malgré quelques points en dehors, il est possible de considérer que l'humidité édaphique des sites restaurés correspond aux objectifs.

L'analyse de l'hydrométrie à partir de l'NMDS en **figure 14**, permet de voir les points de site restaurés à l'extérieur du polygone formé par les références, ses points sont non conformes aux objectifs.



Associations phytosociologiques et du code EUNIS

Les associations phytosociologiques sont attribuées aux relevés. L'ensemble des résultats est disponible dans [l'annexe 3](#).

- *Junco acutiflori* - *Cynosuretum cristati* (Sougnez 1957) est la plus courante avec 21 des 78 relevés. Elle correspond typiquement à des prairies hygrophile plutôt pâturées.
- *Loto pedunculati* - *Cynosuretum cristati* (Tüxen 1937) correspond à 9 des relevés et elle indique une prairie pâturée plutôt mésohygrophile.
- 12 relevés n'ont pas d'association typique mais ont comme habitat associé *Agrostietea stoloniferae*, avec beaucoup de fétuques pour la 471 qui indique qu'elle a probablement été semée.
- *Brachypodio rupestris* - *Centaureion nemoralis* (*Lino angustifolii* - *Oenanthenion pimpinelloidis*) correspond à 17 des relevés et indique une prairie de fauche méso-hygrophile
- *Brachypodio rupestris* - *Centaureion nemoralis* (*Brachypodio rupestris* - *Gaudinienion fragilis*) est attribué à 2 relevés et indique une prairie de fauche mésophile avec aucune espèce de zones humides.
- 13 relevés n'ont pas d'association typique mais ont comme habitat associé *Arrhenatheretea elatioris*.
- *Convolvulion sepium* (Tüxen 1958) est attribué uniquement au relevé 285 et correspond à un mégaphorbiaie eutrophile.
- Enfin, il n'y a pas eu de rattachement phytosociologiques possibles pour les relevés 285, 592, 304 et 203.

Les sites restaurés ont tous une association présente dans le panel de référence.

Habitats préférentiels

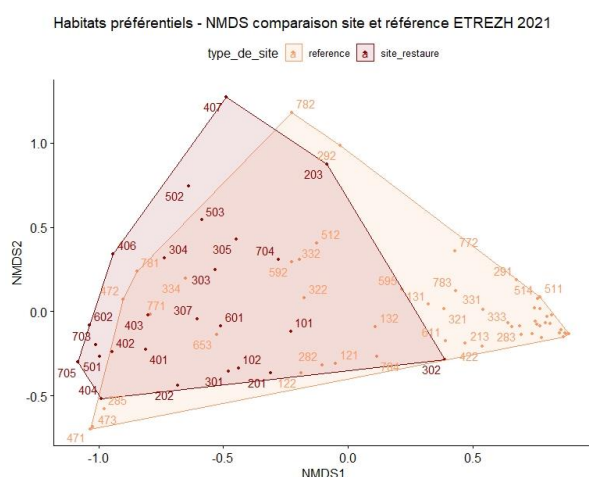
Enfin la base de données Baseflor de Julve (1999), permet d'attribuer à chaque espèce son habitat préférentiel. L'habitat "prairies, pelouses et landes" est associé à 33 espèces, "prairies humides, mégaphorbiaies et cariçaies" à 49, "tourbières et prés tourbeux" à 17, "bois, ourlets et fourrés" à 24, "friches et lisières" à 25, "cultures" à 8, "milieux aquatiques" à 1 et enfin 34 espèces n'avaient pas de donnée.

Puis, un pourcentage de chaque type d'habitat préférentiel est obtenu en pondérant par l'abondance des espèces dans les relevés.

L'habitat le plus présent est alors **"prairies, pelouses et landes"**, il constitue 39% des abondances moyennes. Suivis de **"prairie humides"** à 29%, **"tourbières et prés tourbeux"**

à 16%. Les milieux les plus rares sont “**friches et lisière**” et “**milieux aquatiques**” avec 0,03 et 0,01% des abondances. Les habitats non définis correspondent en moyenne à 10%.

La **figure 15** permet de voir les points de site restaurés à l’extérieur du polygone formé par les références, ses points sont non conformes aux objectifs.



2.4 Analyse sur l’ensemble de sites de Bretagne RERZH et ETREZH

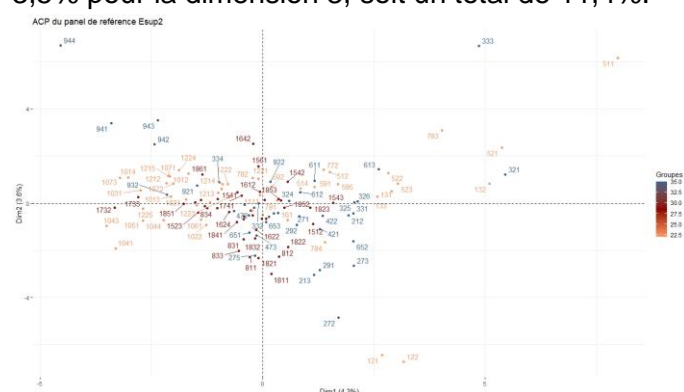
Les analyses présentées ici initient une étude qui va se dérouler post-stage et dont il est question dans la partie retour d’expérience.

2.4.1 Définition du panel de référence à l’échelle de la Bretagne

Les 7 sites étudiés cette année sont présents au Nord et à l’Est de la Bretagne, alors que les 7 sites de 2020 se positionnent à l’Ouest. Maintenant que l’ensemble des sites du programme ETREZH ont été analysés, et en ajoutant les références du programme RERZH, la comparaison des résultats à l’échelle de la Bretagne est possible. Sur les **18 sites**, il y en a donc 7 dans le Finistère (29), 6 dans les Côtes d’Armor (35) et 5 en Illes-et-Vilaines (22).

Pour constituer le panel de référence, la même méthode, développée dans la **partie 2.2.3**, est appliquée.

Les résultats du panel de référence montrent que les 130 relevés constituent cinq groupes identifiés, voir **figures 14 et 15**. Aucun relevé n’est éloigné de façon aberrante, ils sont tous considérés comme représentatif de zones humides de Bretagne en “bon état de conservation”. Les projections sont de 4,3% pour la dimension 1, 3,6% pour la dimension 2 et 3,5% pour la dimension 3, soit un total de 11,4%.

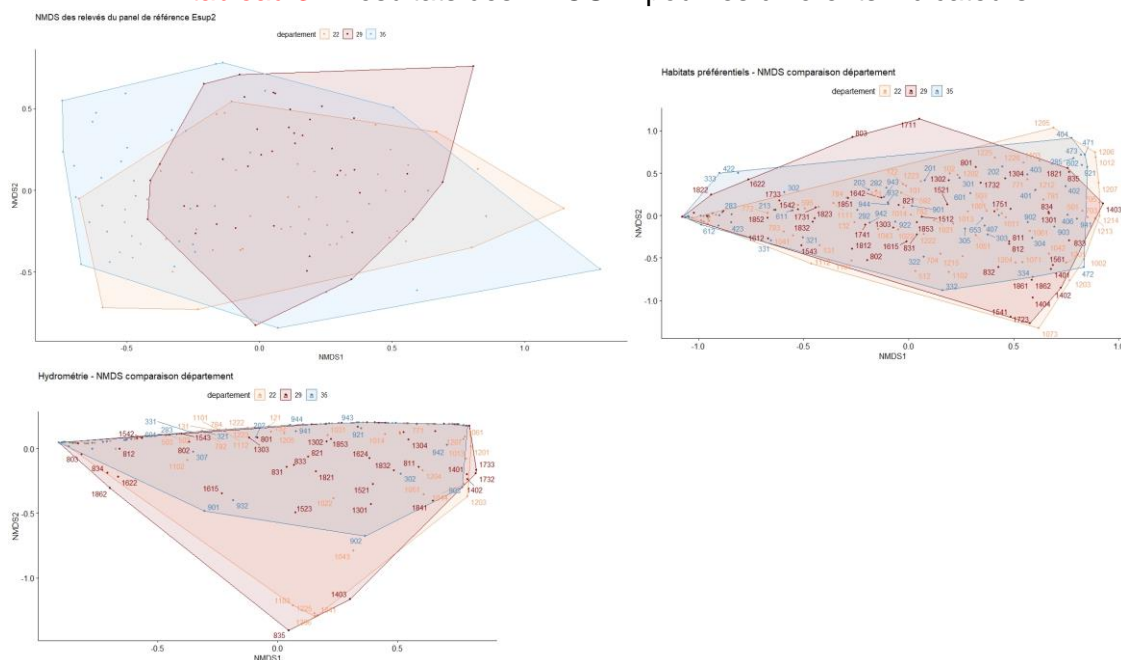


2.4.2 Comparaison géographique grâce aux indicateurs écologique

Certains indicateurs utilisés dans la partie **méthode 2.2.4** sont réutilisés, mais cette fois-ci, en prenant uniquement les références et en catégorisant les observations selon leurs départements. De plus, une anosim est calculée à partir des NMDS pour tester la significativité des différences entre les départements. Les figures vont permettre de comparer la similarité des indicateurs écologiques selon les départements et le **tableau 3** résume les tests statistiques. L'hypothèse H0 : les départements ne sont pas significativement différents.

Indicateur écologique	p-value (ANOSIM)	Signification
Relevés phytosociologiques (figure 18)	1e-04	H0 est rejeté
habitat préférentiel (figure 19)	0,02	H0 est rejeté
hydrométrie (figure 20)	2e-03	H0 est rejeté

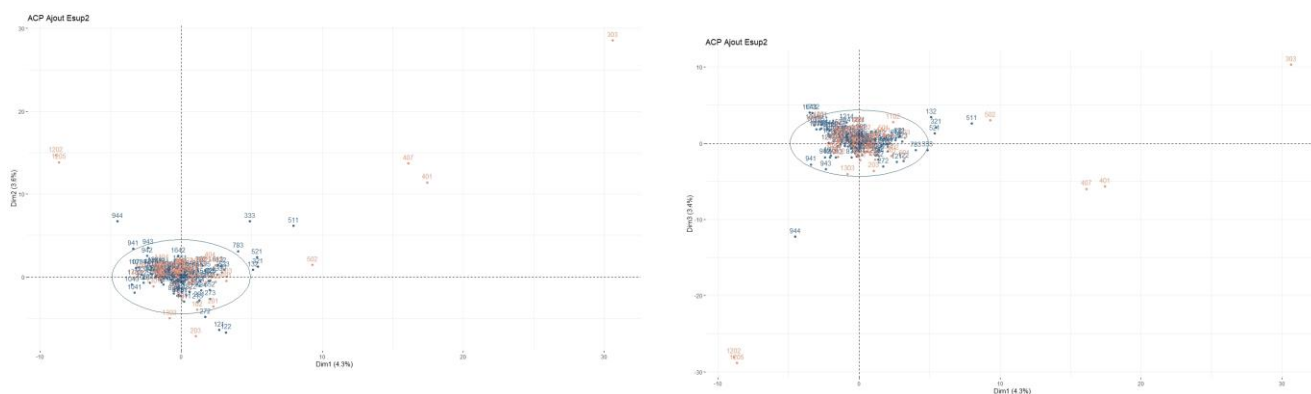
tableau 3 : Résultats des ANOSIM pour les différents indicateurs



Pour les 3 indicateurs les p-value sont inférieure à 0,05, l'hypothèse H0 est rejetée et les 3 départements de Bretagne sont considérés comme significativement différents.

2.4.3 Conformité des sites restaurés au panel de référence par ACP à l'échelle de la Bretagne

Les sites restaurés, composés de 51 relevés, sont ajoutés en individus supplémentaires à l'ACP du panel de référence de Bretagne, voir **figure 16 et 17**.



Toujours en pondérant la classification conforme ou non conforme par la taille des zones homogènes, un tableau de conformité des sites restaurés est obtenue voir [tableau 4](#).

ID	Site restauré	nb zone homogène	nb zone homogène conforme	Conformité au PR Bretagne
1.0	Ruguen 01	2	2	100%
2.0	La Haie	3	2	95%
3.0	Le Matz	6	5	99%
4.0	Bois Orcan	6	4	15%
5.0	La Roche	3	2	64%
6.0	Launay Geffroy	2	2	100%
7.0	Keribet	3	3	100%
8.0	Keravilin	3	3	100%
9.0	Pont-Guerin	3	3	100%
10.0	Traou-Guern	2	2	100%
11.0	Pégase V	3	3	100%
12.0	Penn ar Stang	7	5	73%
13.0	Kerguilidic	4	3	72%
14.0	Guervern	4	4	100%

Tableau 4 : Conformité des sites restaurés au panel de référence Bretagne des zones humides en bon état de conservation

Les sites de Ruguen 01, Launay-Geffroy, Keribet, Keravilin, Pont-Guerin, Traou-Guern, Pégase V et Guervern sont entièrement conformes au panel de référence, leurs projets de restauration auraient donc permis une bonne résilience de la zone humide. A l'inverse, les sites de Bois Orcan et de La Roche ne sont que très peu conformes, avec 17% et 64%. La majorité des sites du programme ETREZH semble donc montrer l'efficacité des projets de restauration sur les zones humides de Bretagne.

Partie III – Discussion et conclusion sur les travaux de restauration en zone humide de Bretagne

3.1 Expliquer les succès et les échecs de restauration selon les différents indicateurs du volet floristique et de l'évolution paysagère

La conformité des sites restaurés ETREZH 2021 au panel de référence selon les différents indicateurs floristique est résumé dans le [tableau 6](#).

Bois Orcan

La zone homogène du relevé 401 est la plus importante du site et elle est dominée par *Ranunculus repens* (87,5%) et *Juncus acutiflorus* (37,5%). Ces espèces, bien qu'elles soient indicatrices de prairie humides ([code de l'environnement, 2008](#)) et soient présentes dans le panel de référence, dominant trop la zone homogène pour qu'elle soit considérée comme zone humide en "bon état de conservation". Les autres indicateurs confirment que la parcelle est humide conformément au panel de référence. De plus, selon l'étude de l'évolution paysagère, la proportion de parcelles en culture passe de 30% en 1950 à quasiment 80% en 2010, cela a pu impacter les connectivités et la résilience de la zone humide. Ce site a historiquement subi une mise en réseau de drainage agricole et le travail de restauration effectué est le passage d'une sous-soleuse en 2016.

La Haie

Les zones homogènes numéro 201 et 203 sont dominées par du *Lolium sp*, jusqu'à 87,5%, accompagné par *Holcus lanatus* avec 62,5% et 37,5%. La première espèce est un semi de culture, et bien que la parcelle soit humide selon les autres indicateurs, voire même trop pour le relevé 203, elle ne correspond donc pas au panel de référence. Pour finir, les cultures sont passées de 22% à 42% et le milieu anthropique de 5% à 13% entre 1950 et 2010. Le contexte paysager suit donc de façon légère la tendance de perte de milieu naturel et extensif.

Le Matz

Le site de Le Matz est globalement constitué d'espèces présentes dans les références. Néanmoins, les indices d'Ellenberg des espèces dominantes montrent que le site n'a pas une hydrométrie conforme au panel de référence. La zone homogène 302 est dominée à 20% d'espèce hygrophile et la 307 à 7%, alors que les références sont à grande tendance méso-hygrophile. Le relevé 303 est le plus éloigné du panel de référence dans l'ACP puisqu'il est dominé à 87,5% par *Vicia sativa*. Le projet de restauration a donc permis de reconquérir les espèces des parcelles de référence mais la structure générale de la parcelle est très hétérogène avec des espaces quasiment inondés, ce qui la rend non conforme au panel de référence. Enfin, les cultures sont passées de 34% à 70% entre 1950 et 2010, ce site suit les tendances générales du contexte paysager avec une perte importante de milieu naturel et extensif.

Tendance générale

Tous les sites ont un des indicateurs qui correspond au panel de référence. Les projets de restauration sur les sites de Keribet et Launay-Geffroy ont permis une bonne résilience des zones humides, les méthodes étaient donc adaptées au contexte et aux objectifs. Les projets pour les sites de Ruguen 01, la Haie, le Matz la Roche et Bois Orcan ont reconquis seulement

une partie des objectifs. L'enjeu pour le FMA sera maintenant de voir pourquoi les méthodes employés ont permis dans certains cas d'atteindre les objectifs de zones humides "en bon état de conservation" et dans d'autres cas non.

Concernant l'évolution paysagère, la densité moyenne en France du linéaires de haie est passée de 128,6 m/ha en 1972, à 68,7 m/ha en 2012 (ONCFS, IGN, 2018). Pour les sites ETREZH la densité moyenne est passée de 177 m/ha en 1950, à 118 m/ha en 1970 et 66 m/ha en 2010. Sur les zones humides de Bretagne semble suivre la moyenne nationale sur la densité du linéaire de haie. D'autre part, l'occupation du sol sur le site de Keribet est particulière puisque malgré une grande évolution du milieu anthropique 7% en 1950 à 58% en 2010, le site restauré est 100% conforme aux parcelles de références. L'évolution paysagère n'est donc pas la seule explication des succès des projets de restauration.

Comparaison à l'échelle de la Bretagne

Le département le plus à l'est de la Bretagne, l'Ille-et-Vilaine, a le moins de zones humides potentielles de Bretagne (FMA, 2020). Par ailleurs, il accueille les trois sites les moins conformes au panel de référence, Bois Orcan, la Haie et le Matz. Une prochaine étude pourrait analyser s'il y a un lien entre la densité de zones humides non dégradées sur un territoire et leur résilience.

Les tendances des résultats de conformité des relevés floristiques au panel de référence restent les mêmes entre les sites ETREZH 2021 (partie 2.3.3) et les sites ETREZH 2020 ET 2021 et RERZH (partie 2.4.3). Cela signifie que même en ayant un panel de référence avec tous les sites de Bretagne, Bois Orcan est toujours considéré comme un site peu conforme par exemple. Les résultats et les analyses des différents programmes RERZH et ETREZH 2020 et 2021 semblent donc cohérents.

3.2 Les limites du volet floristique

Le volet floristique est un indicateur pratique à mettre en place et représentatif des conditions du milieu (Maria C. Ruiz-Jaen et T. Mitchell Aide, 2005). Il est donc souvent utilisé dans l'évaluation de projets de restauration. Toutefois cet indicateur a certaines limites.

Lors des relevés

L'identification des espèces floristiques peut se révéler compliquée. En effet, elle nécessite des connaissances approfondies et une maîtrise des clés de détermination, mais aussi elle est influencée par la période des relevés. Les parcelles du programme ETREZH sont toutes gérées en fauche ou en pâturage, il fallait que les relevés soient réalisés avant ça, en juin. Toutes les espèces n'ont pas atteint leur stade de floraison début juin, cela a compliqué certaines identifications.

La qualité de l'évaluation des projets de restauration par le volet floristique est basée sur l'identification des espèces. Il est donc impératif d'avoir une certaine qualité de ces relevés.

Lors du choix des références et des analyses

L'objectif était fixé à 23 parcelles de références. Les critères de la partie méthode permettent de choisir les références les plus représentatives de zones humides en "bon état de conservation". Néanmoins il n'a pas été possible de trouver assez de références qui répondent à tous les critères. Le choix a été fait de prendre 3 références même si elles étaient dans une zone biogéographique éloigné et qui n'avait pas les mêmes modes de gestion.

D'autre part, à cause du grand nombre d'espèces et de relevés, et malgré le cumul des 3 premières dimensions, les projections des différentes ACP sont très faibles. Respectivement de 21,3% pour la comparaison des sites et du panel de référence 2021 ([partie 2.3.3](#)) et de 11,4% pour la comparaison à l'échelle de la Bretagne ([partie 2.4.3](#)). Ces qualités limitent les interprétations, d'où aussi la nécessité de comparer les résultats avec les autres indicateurs écologiques.

Enfin, le panel de référence permet de représenter une variation d'écosystème de référence ([Gallet HDR, Thiry, 2015, Suganuma et Durigan, 2018](#)), toutefois il n'est pas exhaustif, certaines compositions floristique présentes dans les zones humides en "bon état de conservation" ne sont pas présentes dans le panel de référence. L'exemple vient aussi du relevé numéro 132 qui a été retiré du panel de référence parce que sa composition était trop différente et faussait les projections de l'ACP. Le risque serait de dire qu'un site restauré ne correspond pas à une zone humide "en bon état de conservation" puisqu'il est non conforme alors que c'est parce qu'il n'y a pas de référence qui lui ressemble. D'où l'importance une nouvelle fois de combiner les analyses et les indicateurs.

3.3 Croiser le volet floristique au volet entomologique et hydro-géomorphologiques

L'indicateur floristique et plus précisément le relevé phytosociologique est représentatif des conditions écologiques d'une parcelle et de ce fait est un bon indicateur pour l'évaluation de projet de restauration ([Gallet et al., 2010](#)), toutefois les indicateurs faunistique et hydro-géomorphologique apportent d'autres informations complémentaires.

Volet faunistique

La grande diversité taxonomique des Arthropodes en fait un indicateur pertinent pour évaluer les dynamiques écologiques suite à des travaux de restauration ([McGeosh, 1998, cf rapport Axel](#)). Trois taxons ont été étudiés dans le cadre du programme ETREZH, les odonates, les orthoptères et les araignées. Les deux premiers sont faciles à mettre en place et sont complémentaires. L'étude des odonates est peu sensible aux habitats très humides tandis que l'étude des orthoptères est peu sensible aux habitats faiblement humides. Enfin les araignées sont de très bon indicateur mais le protocole demande plus de ressources. Les premières conclusions montrent que les sites restaurés ont des diversités plus importantes puisqu'ils sont composés d'une mosaïque d'habitat plus hétérogène. A l'inverse, les parcelles référentes sont plus homogènes ([Hacala, 2020](#)).

Volet Hydro-géomorphologique

La hauteur des nappes a été mesurée sur les deux sites approfondis, la Haie et Bois Orcan. Pour ce premier, elles sont similaires au témoin adjacent. Quant à Bois Orcan, il présente une hydrométrie typique des zones humides ([Verseil, 2021](#)), la nappe ne déborde pas. Cela corréle le fait que Bois Orcan présente des espèces de zones humides, bien qu'elles soient non conforme au panel de référence. Les projets de restauration ont donc permis de reconquérir une partie des fonctions hydrologiques.

3.4 Conclusion générale

Ce rapport a permis d'évaluer 7 projets de restaurations en zones humides de Bretagne à l'aide de l'indicateur floristique. Les sites ont évolué de façon hétérogène. Bois Orcan a très peu reconquis les communautés floristique présent dans les références, contrairement aux

autres sites. Les références choisies représentent des zones humides en “bon état de conservation”, mais il a été vu, entre autres limites, que le panel de référence n’est pas encore exhaustif. D’autre part, les indicateurs écologiques calculés à partir des relevés floristique permettent de voir que les projets de restauration ont tous permis aux zones humides de reconquérir une partie, voire la totalité de leur caractéristique écologique. Que ce soit dans les types d’habitats préférentiels, dans l’humidité édaphique ou les types d’hydrométrie. Même si l’indicateur floristique est représentatif et pratique à mettre en place, une évaluation complète des projets de restauration nécessite le cumul d’autres indicateurs. Le programme ETREZH a permis d’étudier conjointement le volet floristique, faunistique et hydro-géomorphologique. Les rapports de Nathan Viel et Rémi Verseil rédigé en 2021 détaillent respectivement ces deux volets. A la suite des différents rapport rédigés tout au long du programme, les responsables de ce dernier, Armel Dausse et Sébastien Gallet, vont assembler les analyses et interpréter, sur l’ensemble des résultats, la qualité des projets de restauration. L’ambition à terme est d’identifier les facteurs de réussites et d’échecs des projets pour pouvoir conseiller au mieux les futurs meneurs de projet.

Retour d’expérience

Ce stage au laboratoire Géoarchitecture de l’Université Bretagne Occidentale a été encadré par M.Sébastien Gallet et Mme.Armel Dausse du Forum des Marais Atlantique. C’est une structure de recherche avec maîtres de conférence, doctorants et ingénieurs d’étude.

J’ai dû mobiliser de nombreuses compétences pour mener à bien mes missions. Une prise en main du sujet du programme était importante puisque mon stage se trouve dans la continuité de deux autres stages de fin d’étude.

Lors des deux premiers mois, j’ai dû m’emparer de la bibliographie dans le domaine de la restauration, concevoir un protocole et préparer le terrain. La prise de contact avec les acteurs a nécessité beaucoup d’organisation et de diplomatie. C’est plus d’une cinquantaine d’agriculteurs et de syndicat qui ont été contactés pour présenter la mission et négocier de mener l’étude chez eux. Les contacts ont parfois été difficiles avec une grande méfiance, notamment la crainte de leur imposer des restrictions selon les résultats des espèces identifiées. Ensuite il y a eu deux mois de terrain, où j’ai dû mobiliser des compétences botaniques pour l’identification des espèces de zones humides et de l’organisation pour effectuer ses relevés dans toute la Bretagne avant les fauches. Enfin, les deux derniers mois se sont concentrés sur l’analyse des données et la rédaction, j’ai pu travailler en autonomie pour réaliser les analyses exploratoires qui me paraissaient pertinente et ainsi renforcer mes capacités de recherche.

Les difficultés qui se sont présentées à moi ont été la prise de contact avec les agriculteurs, le choix et la compréhension des analyses et de l’homogénéisation du rapport, et enfin de la mise en commun des bases de données des relevés avec les stages antérieurs.

Une expérience acquise avec ce stage est la plongée dans le monde de la recherche. J’ai dû réaliser un poster pour le colloque de REVER_11 à Gap en juin 2021. Ce poster décrivait le programme du stage.

La deuxième expérience a été l’encadrement d’un stagiaire de licence 3. En effet, afin de m’accompagner sur le terrain et pour les premières analyses, M.Gallet a engagé un stagiaire, M.Jonathan Veillet pour 6 semaines en juin et en juillet, du master GC bio de Brest, et m’a confié la charge de son encadrement. Pour la première, j’ai été responsable du travail d’une autre personne. Mon ambition a été de pouvoir lui apporter de nouvelles compétences et de nouvelles expériences. La partie terrain lui a permis de travailler la détermination floristique.

Quant à la partie analyse, j'ai souhaité le faire travailler avec un logiciel SIG et avec R, ce sont deux logiciels qu'il n'avait pas encore pris en main. J'ai donc pris le temps de lui apporter mes premières connaissances pour l'initier à ces logiciels et aux analyses associées. Cette expérience m'a été très bénéfique et il semble que pour lui aussi.

Enfin, la démarche ACP et panel de référence employé dans ce stage est une méthode élaborée par M.Gallet depuis quelques années. Suite à mon intérêt pour le sujet et la recherche il m'a proposé de l'aider pour finir la rédaction de l'article et le mettre à jour avec les résultats de ce stage. Je m'y emploierais, en tant que second auteur, dès la fin de ce stage en septembre 2021 et nous espérons une publication pour l'année 2022. Si l'objectif de la publication est réalisé, cela m'apportera un grand atout dans mes constructions de projet de thèse.

Bibliographie

Annexe