

2021-2022

Master Sciences de l'Eau

Parcours Gestion des Habitats et des Bassins Versants

**Elaboration d'une grille d'évaluation simplifiée des  
fonctions des zones humides, utilisable dans le cadre  
d'inventaires de zones humides**

---

Chevallier Pauline

Sous la direction de Mme. Nathalie Boesch



## Sommaire

|   |      |
|---|------|
| <b>Introduction</b> .....   | p.2  |
| <b>Matériel et méthodes</b> .....   | p.3  |
| I. Présentation de la version actuelle de la grille simplifiée.....   | p.3  |
| II. Modifications apportées à la grille.....  | p.5  |
| 1. Prise en compte de la Zone Contributive et de la localisation de la zone humide dans le Bassin Versant   |      |
| 2. Élaboration de nouvelles pondérations  |      |
| III. Présentation des sites prospectées.....  | p.8  |
| 1. Site A - Zone riveraine de l'étang du Puisot - Nièvre (58)   |      |
| 2. Site B - Zone riveraine de l'étang d'Ouroux - Nièvre (58)  |      |
| IV. Analyses statistiques.....  | p.9  |
| <b>Résultats</b> .....  | p.10 |
| I. Résultats de la grille simplifiée par site.....  | p.10 |
| 1. Site A - Zone riveraine de l'étang du Puisot - Nièvre (58)   |      |
| 2. Site B - Zone riveraine de l'étang d'Ouroux - Nièvre (58)  |      |
| II. Comparaison avec des résultats des deux méthodes.....   | p.11 |
| <b>Discussion</b> .....   | p.13 |
| <b>Conclusion</b> .....   | p.15 |
| <b>Bibliographie</b> .....  | p.17 |
| <b>Annexes</b> .....  | p.20 |
| Annexe 1 - Présentation du Forum des Marais Atlantiques   |      |
| Annexe 2 - Bilan personnel du stage   |      |
| Annexe 3 - Tableau présentant les sources utilisés pour élaborer la première matrice de la méthode d'analyse multicritère hiérarchique, par sous-fonction |      |
| <b>Remerciements</b> .....  | p.26 |
| <b>Résumé</b> .....   | p.27 |

## Introduction

Depuis le début du XIXe siècle, on estime que 64% des zones humides en Europe ont disparu, asséchées pour être remplacées par des cultures, ou des zones résidentielles (Convention de Ramsar, 2015). Pourtant les zones humides sont des éléments clés dans les écosystèmes. Elles permettent à de nombreuses espèces animales et végétales d'accomplir leurs cycles de vie, sont des étapes de migration pour les oiseaux ou constituent des refuges pour des espèces menacées. Si ce pan biologique est plutôt connu, les rôles des zones humides ne se limitent pas à cela. Elles ont également un fort impact sur la qualité de l'eau, et sur la quantité en circulation dans le paysage (Costanza *et al.*, 1997).

Ces deux notions font d'ailleurs partie de ce qu'on appelle des sous-fonctions des zones humides. Elles appartiennent aux fonctions hydrologiques des zones humides. Une fonction, dans le cas présent, est une propriété intrinsèque résultant d'un ensemble de processus naturels dans les zones humides (Maltby *et al.*, 1996).

Selon le dictionnaire du SANDRE (Service d'Administration Nationale des Données et Référentiels sur l'Eau), les zones humides réalisent trois grandes fonctions ; hydrologiques, biogéochimiques et biologiques (2019). Ces fonctions sont ensuite divisées en quinze sous-fonctions. L'évaluation de ces fonctionnalités permet d'avoir un aperçu de l'importance d'une zone humide dans un paysage, un bassin versant ou un cours d'eau, et des rôles qu'elle remplit naturellement. Le problème étant que cette évaluation est très souvent faite sur la base du dire d'expert. Ceci constitue, par nature, un biais observateur non négligeable pouvant nuire aux résultats (Beauchamp & Dubé, 2017).

Plusieurs méthodes existent afin d'évaluer les fonctions des zones humides. Applicables pour la France, on peut citer l'évaluation fonctionnelle des zones humides de Edward Maltby (2009), ou, plus récemment, la Méthode Nationale d'Évaluation des Fonctions des Zones Humides (MNEFZH), de Guillaume Gayet (2016).

Cependant, ces deux méthodes sont très complexes et longues à mettre en place. Par ailleurs, la MNEFZH est destinée exclusivement à la réalisation de comparatifs dans le cadre de compensations, lors de destructions partielles ou totales de zones humides liées à des aménagements urbanistiques ou agricoles. Pour les acteurs de l'environnement, la disponibilité de temps rend impossible l'application de ces méthodes, et ne correspond pas aux objectifs visés. Il existe toutefois une demande importante de leur part pour qu'un outil d'évaluation rapide des fonctions des zones humides soit mis à disposition. En effet, les

maîtres d'ouvrage ayant la compétence GEMAPI<sup>1</sup> souhaitent faire des inventaires de zones humides afin de les préserver, voire de les restaurer. Selon les enjeux de leur territoire, ces acteurs ont besoin de hiérarchiser les zones humides, et cela passe par une évaluation des fonctions. Le Forum des Marais Atlantiques a donc commencé à élaborer, en 2020, une grille d'évaluation simplifiée des fonctions des zones humides pour répondre à cette demande (Malinge, 2020). Cette grille n'avait pas pu être finalisée. Le présent rapport est la suite de ce travail. À ce moment-là, des tests avaient été réalisés afin de savoir si la grille était cohérente et fiable, et si ses résultats coïncidaient avec ceux donnés par la MNEFZH. Les résultats étaient alors encourageants.

Ce stage présente plusieurs objectifs. Il vise à apporter des améliorations à la grille conçue en 2020 via une synthèse bibliographique, puis de tester la grille sur le terrain. En comparant les résultats des tests avec la MNEFZH, il est alors possible de déterminer si la grille est fiable.

Nous cherchons à savoir si la grille actualisée est toujours aussi fiable que sa version antérieure. Il est important de noter que seuls 10 des 14 sous-fonctions de la grille simplifiée peuvent être comparées avec la méthode de Gayet *et al.*, 2016, car cette dernière ne mesure pas l'ensemble des sous-fonctions. Nous supposons que la grille simplifiée actuelle, plus complète que sa version antérieure et prenant en compte davantage de paramètres pour les sous-fonctions analysées, sera aussi fiable que la précédente version, et que ses résultats seront similaires à ceux de la MNEFZH.

## **Matériel et méthodes**

### **I. Présentation de la version actuelle de la grille simplifiée**

Il nous paraît important de souligner que l'objectif de la grille n'est pas de chiffrer les sous-fonctions, ni de donner une réponse précise et arrêtée quant à l'intensité de ces dernières. Elle a pour objectif de livrer une tendance quant à l'intensité probable des sous-fonctions réalisées par la zone humide étudiée. Elle vise à constituer un outil d'aide à la décision.

L'expression des fonctions des zones humides fluctue au cours de l'année, notamment à cause du cycle de vie des végétaux. Ainsi, le phosphore est retenu par les plantes durant leur phase de croissance, mais en période hivernale, il est relargué dans le milieu (Reddy *et al.*, 1999). Naturellement, une zone humide peut ne pas pouvoir réaliser toutes les sous-fonctions. De plus, certaines sous-fonctions peuvent avoir un effet adverse sur une autre sous-fonction.

---

<sup>1</sup> Gestion des Milieux Aquatiques et Prévention des Inondations

C'est le cas, par exemple, de la dénitrification et de l'assimilation végétale de l'azote qui peuvent modifier les communautés végétales et donc l'étendue et la structure de l'habitat pour la faune (Verhoeven *et al.*, 2006). La grille compte 14 sous-fonctions, et 20 paramètres permettent d'en déterminer la présence et l'intensité possible. Ces paramètres sont détaillés dans le tableau 1.

Tableau 1 - Récapitulatif des paramètres mesurées pour chaque sous-fonction de la grille simplifiée. Les cases noires représentent les paramètres intervenant dans les sous-fonctions. Les cases rouges représentent les paramètres indispensables à l'existence même de la sous-fonction dans la zone humide. Si le paramètre en rouge ne correspond pas à ce qui est attendu pour la sous-fonction, la sous-fonction ne saurait être remplie.

| Paramètres                           | Fonctions hydrologiques           |                     |                         |                  |                                    | Fonctions biogéochimiques |                                  |                                       |                                  |                          | Fonctions biologiques |                                     |                        |                    |
|--------------------------------------|-----------------------------------|---------------------|-------------------------|------------------|------------------------------------|---------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|--------------------------|-----------------------|-------------------------------------|------------------------|--------------------|
|                                      | Ralentissement des ruissellements | Recharge des nappes | Rétention des sédiments | Soutien d'étiage | Protection contre les pics de crue | Dénitrification           | Assimilation végétale de l'Azote | Adsorption/Précipitation du Phosphore | Assimilation des orthophosphates | Séquestration du Carbone | Rétention des MES     | Support des habitats et de la flore | Connexion des habitats | Zone pour la faune |
| Rugosité de la végétation            |                                   |                     |                         |                  |                                    |                           |                                  |                                       |                                  |                          |                       |                                     |                        |                    |
| Recouvrement de la végétation        |                                   |                     |                         |                  |                                    |                           |                                  |                                       |                                  |                          |                       |                                     |                        |                    |
| Pente                                |                                   |                     |                         |                  |                                    |                           |                                  |                                       |                                  |                          |                       |                                     |                        |                    |
| Végétalisation berges/fossés         |                                   |                     |                         |                  |                                    |                           |                                  |                                       |                                  |                          |                       |                                     |                        |                    |
| Connexion au cours d'eau             |                                   |                     |                         |                  |                                    |                           |                                  |                                       |                                  |                          |                       |                                     |                        |                    |
| Typologie HGM                        |                                   |                     |                         |                  |                                    |                           |                                  |                                       |                                  |                          |                       |                                     |                        |                    |
| Texture du sol                       |                                   |                     |                         |                  |                                    |                           |                                  |                                       |                                  |                          |                       |                                     |                        |                    |
| pH                                   |                                   |                     |                         |                  |                                    |                           |                                  |                                       |                                  |                          |                       |                                     |                        |                    |
| Horizon histique                     |                                   |                     |                         |                  |                                    |                           |                                  |                                       |                                  |                          |                       |                                     |                        |                    |
| Épisolum humifère                    |                                   |                     |                         |                  |                                    |                           |                                  |                                       |                                  |                          |                       |                                     |                        |                    |
| Système de drainage                  |                                   |                     |                         |                  |                                    |                           |                                  |                                       |                                  |                          |                       |                                     |                        |                    |
| Prélèvement d'eau pour l'agriculture |                                   |                     |                         |                  |                                    |                           |                                  |                                       |                                  |                          |                       |                                     |                        |                    |
| Typologie Corine Biotope             |                                   |                     |                         |                  |                                    |                           |                                  |                                       |                                  |                          |                       |                                     |                        |                    |
| Présence d'EEE                       |                                   |                     |                         |                  |                                    |                           |                                  |                                       |                                  |                          |                       |                                     |                        |                    |
| Atteintes                            |                                   |                     |                         |                  |                                    |                           |                                  |                                       |                                  |                          |                       |                                     |                        |                    |
| Niveau de l'atteinte                 |                                   |                     |                         |                  |                                    |                           |                                  |                                       |                                  |                          |                       |                                     |                        |                    |
| Instruments de protection            |                                   |                     |                         |                  |                                    |                           |                                  |                                       |                                  |                          |                       |                                     |                        |                    |
| Zone paysagère de la ZH              |                                   |                     |                         |                  |                                    |                           |                                  |                                       |                                  |                          |                       |                                     |                        |                    |
| Zone contributive                    |                                   |                     |                         |                  |                                    |                           |                                  |                                       |                                  |                          |                       |                                     |                        |                    |
| Obstacles                            |                                   |                     |                         |                  |                                    |                           |                                  |                                       |                                  |                          |                       |                                     |                        |                    |

NB : La typologie HGM, ou typologie hydrogéomorphologique, est une approche reposant sur trois aspects, qui permet de déterminer le système hydrogéomorphologique d'une zone humide. Ces aspects sont la configuration géomorphologique, la source d'alimentation en eau, et le paysage (Brinson, 1993 ; Gayet, 2016).

## **II. Modifications apportées à la grille**

### **1. Prise en compte de la Zone Contributive et de la localisation de la zone humide dans le Bassin Versant**

Dans le contexte d'une zone humide, la zone contributive consiste en une étendue spatiale d'où provient la grande majorité des écoulements superficiels et souterrains alimentant un site (Gayet *et al.*, 2016).

La première version de la grille simplifiée d'évaluation des fonctions des zones humides, pour une question de rapidité d'application, ne prenait pas en compte la zone contributive. Or, la zone contributive, ainsi que la localisation de la zone humide dans le bassin versant, impactent une grande partie des fonctions des zones humides, notamment les fonctions hydrologiques (Montreuil, 2008).

Le choix a été fait de ne s'intéresser qu'aux conséquences de l'occupation des sols. En effet, ce facteur influence l'érosion et donc la quantité de sédiments arrivant dans une zone humide (Uwimana *et al.*, 2018), mais également la quantité de produits azotés et phosphorés qui peuvent arriver ensuite dans la zone humide. Ainsi, les sous-fonctions liées à ces paramètres, notamment les sous-fonctions biogéochimiques, sont intimement liées à la zone contributive.

Dans la version actuelle de la grille, pour chaque sous-fonction, grâce à la littérature, il a été évalué si la zone contributive avait un impact et quelle était l'importance de cet impact. Cette zone contributive est déterminée par traitement géomatique sous SIG, et sera de taille différente en fonction de la typologie hydrogéomorphologique du site, en se référant à la méthode proposée par la Méthode Nationale d'Évaluation des Fonctions des Zones Humides (Gayet *et al.*, 2016).

### **2. Élaboration de nouvelles pondérations**

Dans son fonctionnement actuel, la grille est divisée en fonctions, puis en sous-fonctions. Ces dernières dépendent de paramètres mesurables qui ne revêtent pas tous la même importance pour une sous-fonction donnée. Il est donc nécessaire de définir un poids, une pondération, pour chaque paramètre de chaque sous-fonction. À savoir qu'un même paramètre n'aura pas

la même pondération pour deux sous-fonctions dans lesquelles il est impliqué. Dans la première version de la grille, les valeurs des pondérations n'ont pas été explicitées, donc il a été décidé de les refaire.

L'un des objectifs de cette grille est de minimiser le biais observateur, il a fallu recourir à une méthode reconnue de hiérarchisation des critères qui puisse résoudre ce problème. Ici, nous avons appliqué la méthode d'analyse multicritère hiérarchique de Thomas L.Saaty (2001, 2018). Initialement, cette méthode permet de prendre une décision entre plusieurs options possibles, et se révèle applicable dans notre situation. Elle a été conduite jusqu'à la vérification de la cohérence des valeurs des pondérations. Le résultat de cette méthode est présenté, par sous-fonction et paramètres, dans les tableaux 2, 3 et 4.

Tableau 2 - Présentation des valeurs des pondérations pour les sous-fonctions hydrologiques, par paramètres. Plusieurs paramètres sont communs à différentes sous-fonctions, mais ils n'interviennent pas dans les mêmes proportions.

| <b>Fonctions hydrologiques</b>           |   |   |   |
|--|---|---|---|
| Sous-fonction                            | Paramètres (pondérations)                       | Sous-fonction                             | Paramètres (pondérations)                     |
| <b>Ralentissement des ruissellements</b> | Rugosité végétation (0.048)                     | <b>Soutien d'étiage</b>                   | Typologie HGM ( <b>capitale</b> )             |
|  | Recouvrement végétation (0.048)                 |   | Texture du sol (0.1665)                       |
|  | Pente (0.275)                                   |   | Système de drainage (0.4822)                  |
|  | Végétalisation des berges et des fossés (0.143) |   | Prélèvement d'eau pour l'agriculture (0.2853) |
|  | Texture du sol (0.261)                          |   | Occ_Sol Zone contributive (0.1001)            |
|  | Système de drainage (0.143)                     |   | Rugosité végétation (0.0986)                  |
|  | Occ_Sol Zone contributive (0.082)               |   | Recouvrement végétation (0.0624)              |
| <b>Recharge des nappes</b>               | Rugosité végétation (0.0798)                    | <b>Protection contre les pics de crue</b> | Connexion au cours d'eau ( <b>capitale</b> )  |
|  | Topographie (0.499)                             |   | Typologie HGM (0.4162)                        |
|  | Typologie HGM (0.2807)                          |   | Texture du sol (0.1611)                       |
|  | Système de drainage (0.1403)                    |   | Occ_sol Zone contributive (0.2617)            |
| <b>Rétention des sédiments</b>           | Rugosité végétation (0.1024)                    |   |   |
|  | Recouvrement végétation (0.1605)                |   |   |
|  | Pente (0.3793)                                  |   |   |

|  |  |  |
|--|--|--|
|  | Végétalisation des berges et des fossés (0.0655) |  |
|  | Texture du sol (0.2488)                          |  |
|  | Système de drainage (0.0435)                     |  |

Tableau 3 - Présentation des pondérations pour les sous-fonctions biogéochimiques, par paramètres. Plusieurs paramètres sont communs à différentes sous-fonctions, leur importance diffère.

| <b>Fonctions biogéochimiques</b>             |                                    |  |                                    |
|--|------------------------------------|--|------------------------------------|
| Sous-fonctions                               | Paramètres (pondérations)          | Sous-fonctions                                   | Paramètres (pondérations)          |
| <b>Dénitrification</b>                       | Rugosité végétation (0.031)        | <b>Assimilation végétale des orthophosphates</b> | Recouvrement végétation (0.1512)   |
|  | Recouvrement végétation (0.045)    |  | pH (0.4717)                        |
|  | Texture du sol (0.1114)            |  | Système de drainage (0.097)        |
|  | Épisolum humifère (0.072)          |  | Occ_sol Zone contributive (0.2801) |
|  | Système de drainage (0.1721)       | <b>Séquestration du carbone</b>                  | Typologie HGM (0.096)              |
|  | Occ_sol Zone contributive (0.283)  |  | Horizon histique (0.2772)          |
|  | Localisation dans le BV (0.283)    |  | Épisolum humifère (0.4659)         |
| <b>Assimilation végétale de l'azote</b>      | Rugosité végétation (0.2272)       |  | Typologie EUNIS (0.1612)           |
|  | Recouvrement végétation (0.2271)   |  | Rugosité végétation (0.1559)       |
|  | Système de drainage (0.1225)       |  | Recouvrement végétation (0.1559)   |
|  | Occ_sol Zone contributive (0.4231) |  | Pente (0.2629)                     |
| <b>Adsorption/Précipitation du phosphore</b> | Recouvrement végétation (0.1024)   |  | <b>Rétention des MES</b>           |
|  | Pente (0.0434)                     | Connexion cours d'eau (capitale)                 |                                    |
|  | pH (0.3794)                        | Typologie HGM (0.0891)                           |                                    |
|  | Système de drainage (0.0655)       | Texture du sol (0.0891)                          |                                    |
|  | Occ-sol Zone contributive (0.2489) | Système de drainage (0.0545)                     |                                    |
|  | Texture du sol (0.1604)            | Occ_sol Zone contributive (0.1559)               |                                    |

Tableau 4 - Présentation des pondérations pour les sous-fonctions biologiques, par paramètres.

Plusieurs paramètres sont communs à différentes sous-fonctions, mais ils n'interviennent pas de la même manière.

| Fonctions biologiques            |                                    |                                    |   |
|----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|---|
| Sous-fonctions                   | Paramètres (pondérations)          | Sous-fonctions                     | Paramètres (pondérations)                 |
| <b>Support pour les habitats</b> | Recouvrement végétation (0.12)     | <b>Connexion entre habitats</b>    | Habitats naturels autour du site (0.2972) |
|                                  | Typologie EUNIS (0.354)            |                                    | Obstacles (0.1638)                        |
|                                  | Présence d'EEE* (0.12)             |                                    | ZH autour du site (0.539)                 |
|                                  | Niveau de(s) l'atteinte(s) (0.218) | <b>Zone pour la faune</b>          | Recouvrement végétation (0.1215)          |
|                                  | Instruments de protection (0.068)  |                                    | Typologie EUNIS (0.375)                   |
|                                  | Occ_sol Zone contributive (0.12)   |                                    | Niveau de(s) atteinte(s) (0.2146)         |
|                                  | Instruments de protection (0.074)  |                                    |   |
|                                  |                                    | Occ_sol Zone contributive (0.2147) |   |

La toute première matrice de cette méthode permettait de déterminer les rapports d'importance entre paramètres pour une même sous-fonction. Il s'agit ainsi de prendre les paramètres deux à deux et de déterminer lequel est le plus important par rapport à l'autre, et de combien. Pour déterminer l'ordre d'importance des paramètres, la littérature grise a été utilisée. Le récapitulatif des sources utilisées pour justifier cette matrice est présenté en annexe 3.

### III. Présentation des sites prospectés

Afin de vérifier que la grille simplifiée d'évaluation des fonctions des zones humides fonctionne, elle doit être testée sur le terrain. Plusieurs sites ont été choisis, répartis dans le bassin Seine-Normandie (dont l'Agence de l'Eau est financeur du projet) et le bassin Adour-Garonne. Nous décrivons ci-après les différents sites prospectés. Il est à souligner que d'autres sites ont été prospectés, mais les analyses sont toujours en cours. Ils ne sont donc pas présentés dans ce rapport.

### 1. Site A - Zone riveraine de l'étang du Puisot - Nièvre (58)

Situé dans le Parc Naturel Régional du Morvan, l'étang du Puisot et ses abords ont été inventoriés en 2016. Le site prospecté a été classé comme une zone humide par le Conservatoire d'Espaces Naturels de Bourgogne la même année. La typologie hydrogéomorphologique du site est du type "riverain des étendues d'eau". Si on se réfère à la typologie EUNIS, le site présente deux habitats différents; une forêt marécageuse de feuillus ne se trouvant pas sur tourbe acide (G1.4) et une lisière ou prairie humide ou mouilleuse à grande herbacées et à fougères (E5.4). La prospection a été réalisée le 18 mai 2022.

### 2. Site B - Zone riveraine de l'étang d'Ouroux - Nièvre (58)

L'étang d'Ouroux est également localisé dans le Parc Naturel Régional du Morvan et a été inventorié par le même organisme précité, à la même période. La typologie hydrogéomorphologique du site est de type riverain des étendues d'eau. En ce qui concerne la typologie EUNIS, il s'agit d'une forêt riveraine et forêt galerie, avec dominance d'Alnus, Populus ou Salix (G1.1). Le site est à proximité immédiate de prairies pâturées et/ou fauchées. Il est également traversé par un cours d'eau de rang Strahler 1 (Strahler, 1952). La prospection a été effectuée le 18 mai 2022.

## **IV. Analyses statistiques**

À partir des scores issues des deux méthodes, il est possible de réaliser un test de Student pour comparer les résultats de la MNEFZH avec ceux de la grille simplifiée, ce qui a été fait. La normalité des données ainsi que l'égalité des variances ont été vérifiées par des tests de Shapiro-Wilk et de Bartlett, respectivement. L'hypothèse  $H_0$  était qu'il n'y avait pas de différence significative entre les résultats de la MNEFZH et ceux de la grille simplifiée.

## **Résultats**

### **I. Résultats de la Grille simplifiée par site**

#### **1. Site A - Zone riveraine de l'étang du Puisot - Nièvre (58)**

À notre arrivée sur le site, la première observation a été l'engorgement apparent en eau du sol. L'eau était affleurante. Pour autant, après avoir réalisé le sondage pédologique, cette eau affleurante était en fait un ruissellement de surface, et le toit de la nappe était localisé, au

moment de la prospection, à 60 cm de profondeur. Cependant des traits hydromorphiques rédoxiques étaient visibles dès 20 cm. De plus, la rupture de pente était assez nette entre la forêt située au-dessus de la zone humide le long du versant et le site en lui-même, de même que la végétation, très différente. Il a été difficile de réaliser le sondage, et impossible d'atteindre le mètre de profondeur car le sol devenait instable. Après avoir rentré les paramètres mesurés dans la grille, l'intensité probable des sous-fonctions réalisées au sein de la zone humide a été déterminée automatiquement. Le récapitulatif des résultats donnés par la grille est visible dans le tableau 5.

Tableau 5 - Intensités des différentes sous-fonctions du site A, classées selon les 4 possibilités de réponse de la grille

| Remplissage de la sous-fonction | Fort  | Moyen   | Faible | Non rempli   |
|---------------------------------|---|---|--------|--|
| <b>Sous-fonctions</b>           | Ralentissement du ruissellement / Recharge des Nappes / Rétention des sédiments / Assimilation végétale de l'Azote / Connexion des habitats | Dénitrification / Adsorption & Précipitation du Phosphore / Assimilation des Orthophosphates / Séquestration du Carbone / Support des habitats / Zone pour la Faune |        | Soutien d'étiage / Diminution des pics de crue / Rétention des MES |

Les sous-fonctions non remplies sont dépendantes de la liaison à un cours d'eau, et c'est pourquoi elles figurent dans cette case. Nous remarquons que la zone humide étudiée réalise de nombreuses sous-fonctions, mais pour autant il ne faut pas y voir forcément une bonne "santé" de la zone humide.

## **2. Site B - Zone riveraine de l'étang d'Ouroux - Nièvre (58)**

Contrairement au site précédent, il n'y a pas eu de réelle surprise sur le site B. Cependant, un fossé a été repéré, qui n'était pas indiqué dans la BD Topo. Après vérification au bureau, ce fossé n'existe pas dans la BD Topo, mais est répertorié comme un cours d'eau BCAE dans Géoportail. Le site est donc à la fois riverain d'une étendue d'eau et riverain d'un cours d'eau. Le toit de la nappe était à 50 cm de profondeur, et il n'y avait pas de ruissellement de surface. Une fois les paramètres intégrés à la grille, les calculs ont été effectués et les résultats des intensités probables des sous-fonctions réalisées par le site B sont apparus. Ces résultats sont récapitulés dans le tableau 6.

Tableau 6 - Intensités des sous-fonctions du site B, classées selon les 4 possibilités de réponse de la grille

| Remplissage de la sous-fonction | Fort   | Moyen  | Faible                                    | Non rempli       |
|---------------------------------|--|--|---|------------------|
| <b>Sous-fonctions</b>           | Recharge des nappes / Adsorption & Précipitation du P / Assimilation Orthophosphates / Rétention des MES | Ralentissement ruissellements / Rétention des sédiments / Diminution des pics de crue / Dénitrification / Assimilation végétale du N / Séquestration du C / Connexion entre habitats | Support des habitats / Zone pour la faune | Soutien d'étiage |

L'intensité de la majorité des sous-fonctions est moyenne. Mais à la différence du site A, comme le site B est traversé par un petit ruisseau, les sous-fonctions de diminution des pics de crue et de rétention des Matières en Suspension peuvent être réalisées. Toutefois, la typologie hydrogéomorphologique du site n'étant pas alluviale mais riverain d'une étendue d'eau, la sous-fonction de soutien d'étiage n'est pas remplie. C'est en effet cette typologie qui est capitale pour l'existence même de cette sous-fonction (voir Tableau 2).

## II. Comparaison des résultats des deux méthodes

La comparaison entre la Méthode Nationale d'Évaluation des Fonctions des Zones Humides et la grille d'évaluation simplifiée ne s'est pas faite à partir des variables qualitatives relatives à l'intensité des fonctions, à savoir les qualificatifs "Forte, Moyenne, Faible et Non remplie". Il a été jugé que ces termes n'étaient pas pertinents pour des analyses fines. Les comparaisons ont donc porté sur les scores, bornés entre 0 et 1, obtenus par les différentes méthodes pour chaque sous-fonction. Il est important de noter que la MNEFZH ne donne pas de score réel, mais qu'à partir des indicateurs et des informations qu'ils transmettent, il est aisé d'en déterminer un. La comparaison des scores obtenus par sous-fonction, pour les deux méthodes, pour le site A, est visible dans la figure 1.

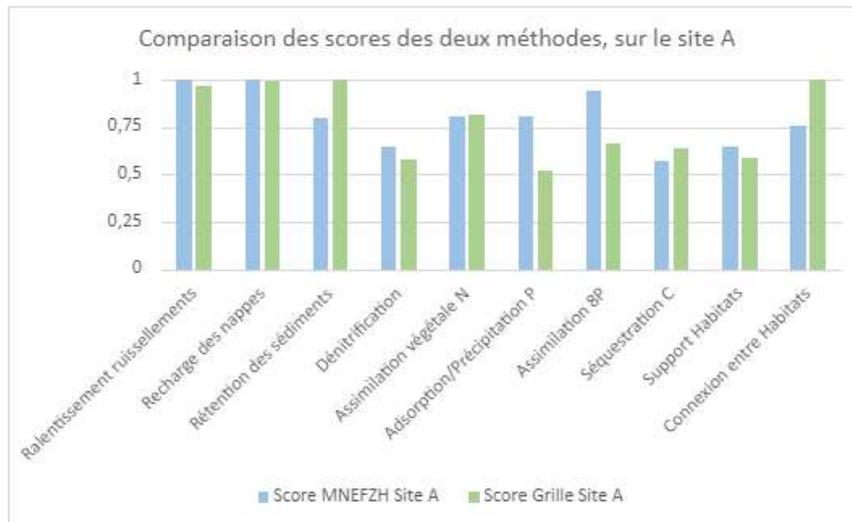


Figure 1 - Histogramme représentant les scores donnés par les méthodes pour les 10 sous-fonctions communes aux deux méthodes, sur le site A

Nous tenons à faire remarquer que les indications “Fort, Moyen, Faible et Non remplie” vus dans les tableaux 5 et 6 correspondent aux quartiles des scores possibles de chaque sous-fonction. Ainsi, plus le score est élevé, donc proche de 1, plus l’indication est favorable. Nous constatons donc que pour le site A, les scores des deux méthodes sont souvent proches, avec deux sous-fonctions présentant une différence relativement visible : l’adsorption et précipitation du Phosphore et l’assimilation des orthophosphates (8P).

Pour vérifier cette observation, un test de Student a été effectué. Pour qu’il soit applicable, la normalité des données a été vérifiée par des tests de Shapiro-Wilk. Pour les données de la MNEFZH, la p.value était de 0.4491, tandis que pour les données de la grille simplifiée, la p.value était de 0.08466. Ces valeurs étant supérieures à 0.05, la normalité est respectée. Quant à l’égalité des variances, vérifiée par le test d’homogénéité des variances, elle donne une p.value de 0.3854, et est donc respectée. Après un test de Student sur les scores des deux méthodes, il s’avère qu’il n’est pas possible de rejeter l’hypothèse H0 (p.value de 0,6972). Il n’y a donc pas de différence significative au niveau du score, même s’il en existe une au niveau du terme utilisé pour la tendance de la sous-fonction.

La comparaison des scores obtenus par sous-fonction pour les deux méthodes, sur le site B, est présentée dans la figure 2.

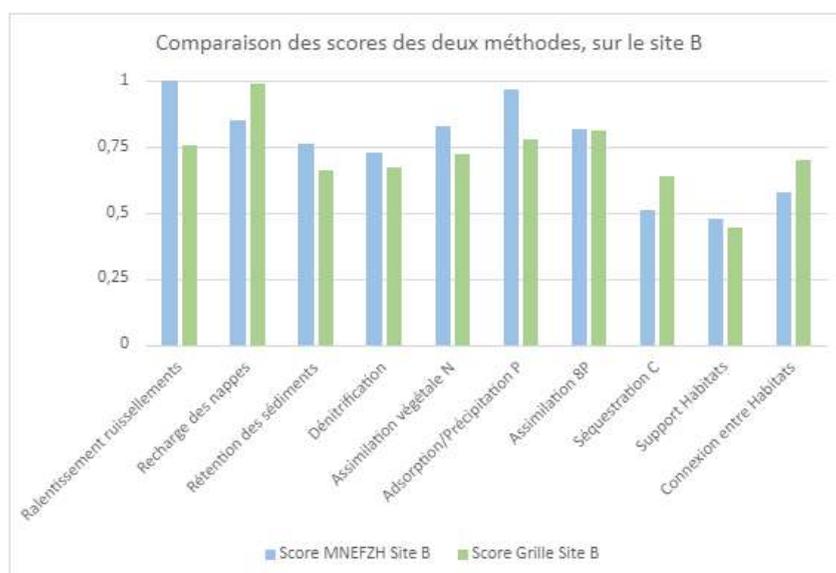


Figure 2 - Histogramme présentant les scores donnés par les deux méthodes pour les 10 sous-fonctions évaluées et communes aux deux méthodes, sur le site B

Ici, nous observons des scores très homogènes entre la Méthode Nationale d'Évaluation des Fonctions des Zones Humides et la Grille d'Évaluation Simplifiée, hormis pour la sous-fonction de ralentissement des ruissellements, où les deux méthodes semblent se démarquer. Afin de vérifier que le test de Student est applicable, deux tests de Shapiro-Wilk ont été effectués pour s'assurer de la normalité des données. Pour la MNEFZH, le test donne une p.value de 0.4874, tandis que pour la Grille Simplifiée, la p.value est de 0.5896. La normalité des données est donc respectée. Quant à l'égalité des variances, le test a donné une p.value de 0.4577. On ne peut donc pas rejeter l'hypothèse d'égalité des variances. Suite au test de Student, il s'avère que les différences observées sur le graphique ne sont pas significatives (p.value de 0.4252).

## Discussion

Au vu de ces premiers résultats, il semble que la version actuelle de la grille d'évaluation simplifiée des fonctions des zones humides donne des résultats aussi prometteurs que ceux de la version de 2020 élaborée par Malinge. Cependant, si les différences de score numérique ne sont pas significatives, les variations dans les indications de tendance sont visibles et peuvent influencer notablement les décisions des acteurs de l'environnement qui utiliseront la grille. C'est notamment le cas pour la sous-fonction relative à l'adsorption et à la précipitation du phosphore. Afin de comprendre d'où vient cette différence qui pourrait se révéler

éventuellement préjudiciable sur d'autres sites, nous avons observé les paramètres pris en compte dans la Méthode Nationale d'Évaluation des Fonctions des Zones Humides (Gayet *et al.*, 2016). Deux différences notables et aisément modifiables sont à notifier. En effet, Gayet prend en compte la rugosité du couvert végétal ainsi que la végétalisation des fossés et des berges. L'importance relative de ces paramètres vis-à-vis des autres sera déterminée dans la suite du projet. Puis ces deux paramètres seront incorporés au calcul du score de la sous-fonction. Enfin, nous réitérerons les tests pour vérifier que les changements de score sont les bons, en y ajoutant les autres sites qui auront été prospectés en parallèle.

Ces mêmes paramètres différencient le calcul du score de la sous-fonction d'assimilation végétale des orthophosphates de la MNEFZH de celui de la Grille d'Évaluation Simplifiée des Fonctions des Zones Humides. Le même raisonnement et la même démarche vont être appliqués prochainement pour améliorer les scores de cette sous-fonction et les rendre plus proches de ceux de la Méthode Nationale d'Évaluation des Fonctions des Zones Humides.

Pour la sous-fonction de ralentissement du ruissellement, les paramètres qui différencient le calcul de la MNEFZH de celui de la Grille sont différents. La MNEFZH prend en compte les caractéristiques de l'exutoire de la zone humide ainsi que le ravinement. De son côté, la Grille prend en compte le recouvrement de la végétation et la texture du sol. Il existe un lien entre le recouvrement de la végétation et le ravinement, donc nous supposons que la différence ne vient pas de là. L'un des inconvénients de la grille demeure sa rapidité d'emploi, qui ne permet pas d'inclure une observation minutieuse de l'exutoire de la zone humide. Pour néanmoins se rapprocher des scores de la Méthode Nationale d'Évaluation des Fonctions des Zones Humides, nous chercherons, durant la suite du projet, d'autres sources bibliographiques afin de modifier les pondérations pour être plus proches de la réalité.

Si la comparaison avec la Méthode de Mr. Gayet permet une analyse fine des différences existantes, elle ne permet pas d'analyser toutes les sous-fonctions. Quatre sous-fonctions ne sont pas testées : le soutien d'étiage, la protection contre les pics de crue, la rétention des matières en suspension ainsi que la sous-fonction de zone pour la faune. Les autres méthodes existantes qui pourraient servir de comparatif sont difficilement applicables, dans des études contraintes par le temps. La méthode de Maltby (2009) nécessiterait plusieurs mois d'observation et de mesures pour arriver à un résultat. Les autres méthodes existantes ne sont pas transposables directement sur le territoire français et ont été faites plus spécifiquement pour d'autres territoires, américains par exemple (Hanson *et al.*, 2008).

L'une des limites du projet est le choix des valeurs servant à borner les différentes tendances. Si une sous-fonction obtient un score de 0,49, elle sera considérée comme faiblement remplie,

alors qu'à 0,50, elle sera considérée comme moyennement remplie. Cette limite nette n'est pas une valeur probante. Pour être plus explicite vis-à-vis des futurs utilisateurs de la Grille d'Évaluation Simplifiée des Fonctions des Zones Humides, l'intitulé de l'intensité de la sous-fonction sera donc toujours assorti de son score chiffré. Cependant, ce score n'est qu'une indication, et est amené à varier au cours de l'année. Si l'exemple cité plus haut dans ce paragraphe se produit, il pourrait être utile de recommander aux utilisateurs de la Grille de réitérer l'évaluation à une autre période de l'année pour affiner le résultat.

Mis à part cette différence qui pourrait se révéler problématique, les résultats sont encourageants. Ils signifient que même après les nombreuses modifications apportées à la grille d'évaluation simplifiée, notamment sur les pondérations, les conclusions sont les mêmes que lors de la première conception de la grille, en 2020. Après l'analyse des résultats des autres sites prospectés courant juin, nous saurons si la grille d'évaluation simplifiée remplit son rôle.

Si tel est le cas, alors la suite du projet pourra avoir lieu. En effet, une fois la grille finalisée, elle pourra être insérée dans un projet QGIS, sur un format similaire à celui du logiciel Gwern<sup>2</sup>, développé par le Forum des Marais Atlantiques. Ainsi, pour chaque zone humide répertoriée avec ce projet, il sera possible de remplir les valeurs des différents paramètres, et, de manière automatisée, la tendance des sous-fonctions remplies par la zone humide sera calculée. Ces tendances seront retranscrites sous la forme des indications "fortement remplie", "moyennement remplie", "faiblement remplie" et "non remplie". Elles permettront d'améliorer les connaissances des zones humides du territoire, mais également de guider les acteurs de l'environnement dans leur choix de restauration de zones humides. Ainsi, s'ils veulent privilégier telle ou telle sous-fonction, ils sauront quelles zones humides sont plus susceptibles de les accomplir.

Mais avant cela, la grille devra être validée par le comité scientifique du Forum des Marais Atlantiques. Cette partie du projet sera prise en charge par le maître de stage pour un examen fin 2022.

## **Conclusion**

L'élaboration d'une grille d'évaluation simplifiée des fonctions des zones humides, permettant à tous les acteurs, même disposant d'une formation basique sur des notions

---

<sup>2</sup> Le logiciel Gwern est un outil permettant de faciliter la saisie de données de caractérisation de zones humides, développé par le Forum des Marais Atlantiques.

complexes comme la pédologie ou la géochimie, est une tâche ardue. Grâce au travail de Malinge de 2020 et en se basant sur la Méthode Nationale d'Évaluation des Fonctions des Zones Humides, nous estimons que la grille actuelle répond aux critères demandés par les acteurs de l'environnement.

Les résultats donnés par la grille sont très similaires à ceux donnés par la MNEFZH, bien qu'il persiste encore quelques différences pour le moment non significatives, notamment pour les sous-fonctions d'adsorption et de précipitation du phosphore et d'assimilation végétale des orthophosphates. Afin de s'assurer que les futurs utilisateurs ne soient pas mis en défaut par cette grille, elle sera encore améliorée au cours des prochaines semaines.

## **Bibliographie**

- Acreman M. & Holden J., How Wetlands affect floods, *Wetlands* n°33, pages 773-786, 2013
- Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse, Délimitation de l'espace fonctionnel par fonction et par type de zones humides du bassin Rhône-Méditerranéen, Rapport annexe : les fonctions des zones humides : synthèse bibliographique, 2006
- Barnaud Geneviève et Fustec Eliane, Conserver les milieux humides : pourquoi? comment?, Editions Quae, 2007
- Beauchamp Gilles & Dubé Jean-François, Expertise et biais cognitifs - Quels pièges de l'esprit guettent l'expert? , 2017
- Bolpagni Rossano & Piotti Andrea, The importance of being natural in a human-altered riverscape : role of wetland type in supporting habitat heterogeneity and the functional diversity of vegetation, *Aquatic Conservation : Marine and Freshwater Ecosystems*, n°26, pages 1168-1183, 2016
- Brinson Mark.M, A hydrogeomorphic classification for wetlands, *Wetlands Research Program Technical Report*, 1993
- Costanza Robert et al., The value of the world's ecosystem services and natural capital, *Nature*, n°387, pages 253-260, 1997
- Crocker Ry et al., Spatial distribution of sediment phosphorus in a Ramsar wetland, *Science of the Total Environment*, n°765, 2021
- Deng Danli et al., Seeking the hotspots of nitrogen removal : a comparison of sediment denitrification rate and denitrifier abundance among wetlands types with different hydrological conditions, *Science of the Total Environment*, n°737, 2020
- Di Luca G.A et al., Phosphorus distribution pattern in sediments of natural and constructed wetlands, *Ecological Engineering*, n°108, pages 227-233, 2017
- Dorioz J.M. et al., Phosphorus dynamics in watersheds : role of trapping processes in sediments, *Water Research* n°23, pages 147-158, 1989
- DREAL Midi-Pyrénées, L'importance des zones humides : apprenons à préserver celles qui sont près de chez nous, 2016
- Durand Patrick et Launay Josette, Zones humides et haies : rappels sur leur rôle et leur efficacité pour réduire les flux de nitrates, *HAL Open Science*, 2021
- Fustec Eliane et Lefeuvre Jean-Claude, Fonctions et valeurs des zones humides, Editions Dunod, 2000

- Gardner, R.C. et al, State of the World's Wetlands and their Services to People: A compilation of recent analyses. Ramsar Briefing Note no. 7. Gland, Switzerland: Ramsar Convention Secretariat, 2015
- Gayet G, et al., Méthode nationale d'évaluation des fonctions des zones humides - version 1.0. Fondements théoriques, scientifiques et techniques, Onema, MNHN, rapport SPN 2016
- Hanson A. et al., Wetland Ecological Functions Assessment : An overview of approaches, Canadian Wildlife Service Technical Report Series, n°497, 2008
- Hefting M. et al., Water table elevation controls on soil nitrogen cycling in riparian wetlands among a European climatic gradient, Biogeochemistry, n°67, pages 113-134, 2004
- Jordan Thomas E., et al., Nutrient Interception by a riparian forest receiving inputs from adjacent cropland, Journal of Environmental Quality, n°22, 1993
- Louvel J., Gaudillat V. & Poncet L., EUNIS, European Nature Information System, Système d'information européen sur la nature, Classification des habitats, Traduction française. Habitats terrestres et d'eau douce, MNHN-DIREV-SPN, MEDDE, 2013
- Malinge Marie, Caractérisation des zones humides - Mise en place d'une grille d'analyse permettant de limiter les critères subjectifs dans le cadre des inventaires de zones humides, Agence de l'Eau Seine-Normandie, Forum des Marais Atlantiques, Université d'Angers, 2020
- Maltby E. et al., Functional analysis of European wetland ecosystems: improving the science base for the development of procedures of functional analysis. The function of river marginal wetland ecosystems. Phase 1 (FAEWE). Office for Official Publications of the European Communities, 1996
- Maltby, E., Functional assessment of wetlands. Towards evaluation of ecosystem services. Woodhead Publishing, 2009
- McDowell, L.L., Schreiber, J.D., Pionke, H.B., Estimating soluble(PO4-P) and labile phosphorus in runoff from croplands, Conservation research report - United States, Department of Agriculture, 1980
- Montreuil Olivier, Relation entre l'ordre des bassins versants, l'organisation spatiale et le fonctionnement hydrologique et hydrochimique des zones humides riveraines, Sciences du Vivant, AGROCAMPUS OUEST, 2008
- Pärn Jaan et al., Indicators of nutrient transport from agricultural catchments under temperate climate : A review, Ecological Indicators n°22, pages 4-15, 2012
- Phillips Jonathan D., Fluvial sediment storage in wetlands, Water Resources Bulletin, volume 25, 1989
- Reddy K.R. et al., Phosphorus retention in Streams and Wetlands : A review, Critical reviews

in Environmental Science and Technology, pages 83-146, 1999

-Renato Dantas Mendes Lipe et al., Phosphorus accumulation and stability in sediments of surface-flow constructed wetlands, *Geoderma* n°331, pages 109-120, 2018

-Saaty Thomas L. , *Fundamentals of the Analytic Hierarchy Process*, University of Pittsburgh, 2001

-Saaty Thomas L. , *Decision making with the analytic hierarchy process*, University of Pittsburgh, 2008

-Schofield Kate A. et al., Biota connect aquatic habitats throughout freshwater ecosystem mosaics, *Journal of the American Water Resources Association*, volume 54, 2018

-SANDRE, *Dictionnaire des données - Description des milieux humides*, Thème : milieux humides, Version : 3.2, 2019

- Strahler Arthur Newell, Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topology, *Geological Society of American Bulletin*, volume 63, pages 1117-1142, 1952

-Smith R. Daniel et al., An approach for assessing wetland functions using hydrogeomorphic classification, reference wetlands, and functional indices, US Army Corps of Engineers, 1995

-Uden Daniel R. et al., The role of reserves and anthropogenic habitats for functional connectivity and resilience of ephemeral wetlands, *Ecological Applications*, n°24, pages 1569-1582, 2014

-Uwimana Abias et al., Effects of agricultural land use on sediment and nutrient retention in valley-bottom wetlands of Migina catchment, southern Rwanda, *Journal of Environmental Management* n°219, pages 103-114, 2018

-Verhoeven Jos T.A., Arheimer Berit, Yin Chengqing & Hefting Mariet M., Regional and global concerns over wetlands and water quality, *Trends in Ecology & Evolution*, n°21, pages 96-103, 2006

-Walton Craig et al., Wetland buffer zones for nitrogen and phosphorus retention : Impacts of soil type, hydrology and vegetation, *Science of the Total Environment*, n°727, 2020

## **Annexes**

### Annexe 1 - Présentation de la Structure

Le Forum des Marais Atlantiques est un syndicat mixte, représentant du Pôle-relais zones humides littorales de l'Atlantique, de la Manche et de la mer du Nord. Sur ces territoires, il anime et accompagne les réseaux d'acteurs menant des actions de préservation des écosystèmes. Cependant, il intervient sur les trois quarts du territoire de la métropole, et notamment sur trois bassins hydrographiques : Seine-Normandie, Loire-Bretagne et Adour-Garonne.

Les rôles du Forum des Marais Atlantiques sont multiples. Dans le cadre de leur objectif d'accroître et diffuser les connaissances sur les zones, ses membres ont mis en place un projet de cartographie nationale de toutes les zones humides de la métropole. Cette cartographie est accessible à tous sur Internet. Le Forum collecte donc les données des acteurs ayant mené des inventaires de zones humides, et les assemble afin de les rendre publiques.

Les membres du Forum des Marais Atlantiques sont également capables de fournir une assistance technique et méthodologique aux porteurs de projets relatifs aux zones humides, afin de les guider au mieux pour la réussite de leurs objectifs.

Enfin, le Forum des Marais Atlantiques dispose d'un centre de documentation ouvert à tous, qui s'agrémente régulièrement de nouveautés. Ce centre publie régulièrement un magazine "La lettre Escale".

Le siège du Forum est situé à Rochefort (17), mais dispose de deux antennes. L'une est à Brest (29), l'autre à Saint-Omer (62). Cela permet au Forum des Marais Atlantiques d'intervenir plus facilement auprès des acteurs qui en ont besoin.

## Annexe 2 - Bilan personnel du stage

Mon stage au sein du Forum des Marais Atlantiques m'a permis d'en apprendre davantage sur le sujet des zones humides, et notamment sur les fonctions qu'elles accomplissent. La plupart des fonctions sur lesquelles j'ai travaillé sont des notions liées à mes cours, notamment ceux du premier semestre sur la géochimie, l'hydrologie et la pédologie.

Ainsi, grâce aux enseignements que j'ai reçus, je n'ai pas perdu de temps à comprendre les mécanismes en jeu au sein des zones humides, et que je cherche à évaluer avec la grille simplifiée sur laquelle je travaille.

De plus, les notions qui me paraissaient parfois vagues, notamment en pédologie, ont été beaucoup plus claires grâce à des formations organisées par ma maître de stage, à destination des acteurs de l'environnement, et auxquelles j'ai participé.

Comme le Forum des Marais Atlantiques est une structure hybride, qui fait souvent le lien entre les scientifiques et les acteurs de terrain, j'ai pu avoir un aperçu de ces deux camps travaillant ensemble. J'ai également été introduite à la réalité du contact avec des partenaires n'étant pas forcément au fait des problématiques environnementales actuelles. Cela a pourtant renforcé ma conviction personnelle selon laquelle il est nécessaire de discuter avec tous les acteurs avec diplomatie, en étant à l'écoute de leurs besoins et attentes.

D'un point de vue plus pratique, j'ai pu améliorer, et continuerai de le faire, mes compétences et mes savoirs-faire. Comme ma maître de stage était surchargée de travail, j'ai dû réaliser beaucoup de choses en autonomie, et ai donc dû trouver la confiance en moi nécessaire pour ne pas douter de la moindre de mes décisions. Sur le terrain, c'est grâce à ma maître de stage que j'ai pu comprendre que j'avais les compétences suffisantes pour réaliser les tests que je voulais. Grâce à Jérôme Fernandez, j'ai pu améliorer mes compétences sur QGIS, notamment le codage sur ce logiciel.

Annexe 3 - Tableau présentant les sources utilisées pour élaborer la première matrice de la méthode d'analyse multicritère hiérarchique, par sous-fonction. Certaines sources sont communes à plusieurs sous-fonctions et apparaissent donc plusieurs fois dans le tableau.

|                                    |   |
|------------------------------------|---|
| Ralentissement des ruissellements  | <ul style="list-style-type: none"> <li>•McDowell, L.L., Schreiber, J.D., Pionke, H.B., Estimating soluble(PO4-P) and labile phosphorus in runoff from croplands, Conservation research report - United States, Department of Agriculture, 1980.</li> </ul>  |
| Recharge des nappes                | <ul style="list-style-type: none"> <li>•Barnaud Geneviève et Fustec Eliane, Conserver les milieux humides : pourquoi? comment?, Editions Quae, 2007</li> <li>•Fustec Eliane et Lefeuvre Jean-Claude, Fonctions et valeurs des zones humides, Editions Dunod, 2000</li> </ul>  |
| Rétention des sédiments            | <ul style="list-style-type: none"> <li>•Uwimana Abias et al., Effects of agricultural land use on sediment and nutrient retention in valley-bottom wetlands of Migina catchment, southern Rwanda, Journal of Environmental Management n°219, pages 103-114, 2018</li> <li>•Phillips Jonathan D., Fluvial sediment storage in wetlands, Water Resources Bulletin, volume 25, 1989</li> <li>•Fustec Eliane et Lefeuvre Jean-Claude, Fonctions et valeurs des zones humides, Editions Dunod, 2000</li> </ul> |
| Soutien d'étéage                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>•Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse, Délimitation de l'espace fonctionnel par fonction et par type de zones humides du bassin Rhône-Méditerranéen, Rapport annexe : les fonctions des zones humides : synthèse bibliographique, 2006</li> <li>•Barnaud Geneviève et Fustec Eliane, Conserver les milieux humides : pourquoi? comment?, Editions Quae, 2007</li> </ul>   |
| Protection contre les pics de crue | <ul style="list-style-type: none"> <li>•Acreman M. &amp; HOLDEN J., How Wetlands affect floods, Wetlands n°33, pages 773-786, 2013</li> <li>•Fustec Eliane et Lefeuvre Jean-Claude, Fonctions et valeurs des zones humides, Editions Dunod, 2000</li> <li>•Barnaud Geneviève et Fustec Eliane, Conserver les milieux humides : pourquoi? comment?, Editions Quae, 2007</li> </ul>   |
| Dénitrification                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>•Pärn Jaan et al., Indicators of nutrient transport from agricultural catchments under temperate climate : A review, Ecological Indicators n°22, pages 4-15, 2012</li> <li>•Jordan Thomas E., et al., Nutrient Interception by a riparian forest receiving inputs from adjacent cropland, Journal of Environmental Quality, n°22, 1993</li> </ul>  |

|                                       |   |
|---------------------------------------|---|
|                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>•Deng Danli et al., Seeking the hotspots of nitrogen removal : a comparison of sediment denitrification rate and denitrifier abundance among wetlands types with different hydrological conditions, Science of the Total Environment, n°737, 2020</li> <li>•Hefting M. et al., Water table elevation controls on soil nitrogen cycling in riparian wetlands among a European climatic gradient, Biogeochemistry, n°67, pages 113-134, 2004</li> <li>•Durand Patrick et Launay Josette, Zones humides et haies : rappels sur leur rôle et leur efficacité pour réduire les flux de nitrates, HAL Open Science, 2021</li> <li>•Fustec Eliane et Lefeuvre Jean-Claude, Fonctions et valeurs des zones humides, Editions Dunod, 2000</li> </ul>  |
| Assimilation végétale de l'azote      | <ul style="list-style-type: none"> <li>•Pärn Jaan et al., Indicators of nutrient transport from agricultural catchments under temperate climate : A review, Ecological Indicators n°22, pages 4-15, 2012</li> <li>•Durand Patrick et Launay Josette, Zones humides et haies : rappels sur leur rôle et leur efficacité pour réduire les flux de nitrates, HAL Open Science, 2021</li> <li>•Walton Craig et al., Wetland buffer zones for nitrogen and phosphorus retention : Impacts of soil type, hydrology and vegetation, Science of the Total Environment, n°727, 2020</li> <li>•Fustec Eliane et Lefeuvre Jean-Claude, Fonctions et valeurs des zones humides, Editions Dunod, 2000</li> <li>•Barnaud Geneviève et Fustec Eliane, Conserver les milieux humides : pourquoi? comment?, Editions Quae, 2007</li> </ul>                               |
| Adsorption/précipitation du phosphore | <ul style="list-style-type: none"> <li>•Pärn Jaan et al., Indicators of nutrient transport from agricultural catchments under temperate climate : A review, Ecological Indicators n°22, pages 4-15, 2012</li> <li>•Renato Dantas Mendes Lipe et al., Phosphorus accumulation and stability in sediments of surface-flow constructed wetlands, Geoderma n°331, pages 109-120, 2018</li> <li>•Di Luca G.A et al., Phosphorus distribution pattern in sediments of natural and constructed wetlands, Ecological Engineering, n°108, pages 227-233, 2017</li> <li>•Dorioz J.M. et al., Phosphorus dynamics in watersheds : role of trapping processes in sediments, Water Research n°23, pages 147-158, 1989</li> <li>•Reddy K.R. et al., Phosphorus retention in Streams and Wetlands : A review, Critical reviews in Environmental Science and</li> </ul> |

|   |   |
|---|---|
|   | <p>Technology, pages 83-146, 1999</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•Crocker Ry et al., Spatial distribution of sediment phosphorus in a Ramsar wetland, Science of the Total Environment, n°765, 2021</li> <li>•Barnaud Geneviève et Fustec Eliane, Conserver les milieux humides : pourquoi? comment?, Editions Quae, 2007</li> </ul>  |
| Assimilation végétale des orthophosphates | <ul style="list-style-type: none"> <li>•Reddy K.R. et al., Phosphorus retention in Streams and Wetlands : A review, Critical reviews in Environmental Science and Technology, pages 83-146, 1999</li> <li>•Walton Craig et al., Wetland buffer zones for nitrogen and phosphorus retention : Impacts of soil type, hydrology and vegetation, Science of the Total Environment, n°727, 2020</li> <li>•Barnaud Geneviève et Fustec Eliane, Conserver les milieux humides : pourquoi? comment?, Editions Quae, 2007</li> </ul>                             |
| Séquestration du Carbone                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>•Gayet G, et al., Méthode nationale d'évaluation des fonctions des zones humides - version 1.0. Fondements théoriques, scientifiques et techniques, Onema, MNHN, rapport SPN 2016</li> </ul>   |
| Rétention des MES                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>•Barnaud Geneviève et Fustec Eliane, Conserver les milieux humides : pourquoi? comment?, Editions Quae, 2007</li> </ul>  |
| Support pour les habitats/flore           | <ul style="list-style-type: none"> <li>•Barnaud Geneviève et Fustec Eliane, Conserver les milieux humides : pourquoi? comment?, Editions Quae, 2007</li> <li>•Gayet G, et al., Méthode nationale d'évaluation des fonctions des zones humides - version 1.0. Fondements théoriques, scientifiques et techniques, Onema, MNHN, rapport SPN 2016</li> </ul>   |
| Connexion entre habitats                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>•Schofield Kate A. et al., Biota connect aquatic habitats throughout freshwater ecosystem mosaics, Journal of the American Water Resources Association, volume 54, 2018</li> <li>•Uden Daniel R. et al., The role of reserves and anthropogenic habitats for functional connectivity and resilience of ephemeral wetlands, Ecological Applications, n°24, pages 1569-1582, 2014</li> <li>•Barnaud Geneviève et Fustec Eliane, Conserver les milieux humides : pourquoi? comment?, Editions Quae, 2007</li> </ul> |
| Zone pour la faune                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>•Bolpagni Rossano &amp; Piotti Andrea, The importance of being natural in a human-altered riverscape : role of wetland type in supporting habitat heterogeneity and the functional diversity of vegetation, Aquatic Conservation : Marine and Freshwater Ecosystems, n°26, pages 1168-1183, 2016</li> <li>•Barnaud Geneviève et Fustec Eliane, Conserver les milieux</li> </ul>  |



## Remerciements

Mes premières pensées vont à ma maître de stage, Nathalie Boesch. Je lui suis reconnaissante de m'avoir donné l'opportunité de travailler sur un tel sujet, qui, je l'espère, sera utile à beaucoup. Je la remercie de m'avoir aidé à prendre conscience de mes compétences, y compris sur le terrain, et de m'avoir fait confiance pour mener ce projet à bien.

Je remercie également Loïc Anras, qui a suivi mon travail et qui m'a encouragée sans doute sans même s'en apercevoir. Ses conseils, notamment sur le fonctionnement de la Méthode Nationale d'Évaluation des Fonctions des Zones Humides et sa bonne humeur m'ont été d'une grande aide.

J'ai une pensée pour tous les acteurs de l'environnement que j'ai contacté et qui étaient prêts à m'aider dans mon projet. Même si je n'ai pas forcément pu travailler avec eux, leur enthousiasme pour mon projet était très encourageant.

Merci à Kévin Pigeon du PNR Forêt d'Orient, et à Kyrian Medjkal du Syndicat Mixte du Bassin Versant de l'Armançon.

Merci également à Christophe Ducommun pour avoir été l'élément déclencheur de ma compréhension de l'hydromorphie des sols. C'était l'un des points sur lesquels j'étais vraiment peu sûre de moi, mais grâce à sa pédagogie, j'ai enfin pu assurer mes connaissances sur ce domaine complexe.

Merci à Marie Malinge pour avoir répondu à mes interrogations sur ses travaux. Grâce à elle, j'ai pu mieux appréhender le projet.

Merci à Margot et Ronan pour leur aide dans la réalisation des analyses et de mon rapport. Leurs conseils m'ont été précieux.

## Résumé

Dans le cadre d'inventaires de connaissances des zones humides, de nombreux syndicats et bureaux d'étude réalisent des évaluations de fonctions. Malheureusement, la plupart du temps ces analyses sont très subjectives et donc difficilement robustes scientifiquement.

Il existe plusieurs méthodes d'analyse des fonctions des zones humides, mais elles ne sont pas utilisables pour des inventaires de connaissance, à l'échelle d'un bassin versant par exemple. Cela dit, il existe une demande de plus en plus forte venant des acteurs de l'environnement pour qu'un outil d'évaluation des fonctions des zones humides simplifié et diminuant le biais subjectif soit créé.

En 2020, le Forum des Marais Atlantiques commença à élaborer une Grille d'Évaluation Simplifiée des Fonctions des Zones Humides. Le présent rapport est la suite de ce travail et vise à améliorer la grille, en prenant comme référence la Méthode Nationale d'Évaluation des Fonctions des Zones Humides. Les résultats sont prometteurs, et il est probable qu'à la suite de quelques modifications ciblées lors des analyses, la grille sera opérationnelle.