
Rapport de stage individuel

5 me année

Prise en compte des zones humides dans
le cadre de projets énergies renouvelables :
cas des parcs photovoltaïques

THEMA Environnement
1 mail de la Papoterie
37170 CHAMBRAY-LES-TOURS FRANCE



Tuteur entreprise :
Maxime THOMAS
Chef de projets

Anthéa MONTJAUX
5A IMA
2022-2023

Tuteur académique :
Francesca DI PIETRO

Remerciements

Clôturent une scolarité riche en apprentissages, en expériences et en rebondissements, ce rapport met un terme à mon stage de fin d'études à THEMA Environnement, et par là même à ma formation initiale en tant qu'ingénieur en aménagement et en environnement au DAE de Polytech Tours.

Je tiens tout d'abord à remercier M. THOMAS Maxime, chef de projets à THEMA Environnement et tuteur entreprise, pour son encadrement, sa pédagogie et sa patience, qui m'ont permis de très vite compenser mon manque de connaissances et de mener à bien les missions qui m'ont été confiées. Outre son rôle de maître de stage, ses interventions ainsi que celles de M. GROSSAIN Edouard à Polytech Tours ont grandement renforcé mon intérêt au sujet des zones humides et m'ont aidé à constituer mon projet professionnel aujourd'hui.

Je remercie également M. MESPOULHES Hugo, chargé d'études à THEMA Environnement, pour son aide, son temps et ses précieux conseils, me permettant d'organiser plus sereinement et efficacement mon apprentissage en bénéficiant de ses retours d'expérience.

J'adresse bien sûr mes remerciements à la direction de THEMA Environnement, M. LEBOT Ludovic, directeur général, M. LEBOT Laurent, directeur associé et M. LECOMTE Jean-Philippe, co-directeur associé, pour m'avoir fait confiance en me permettant de réaliser mon stage au sein de leur entreprise. Je remercie également l'ensemble des chefs de projet et chargés d'études avec lesquels j'ai eu l'occasion de travailler et d'échanger, tant à titre professionnel que personnel.

Enfin, je remercie l'équipe pédagogique de Polytech Tours, et en particulier les enseignants de la spécialité IMA, qui ont joué un rôle moteur dans ma formation et dans le développement de mes centres d'intérêt.

Table des matières

Introduction.....	4
1. Cadre théorique et réglementaire	6
1.1. Présence dans les textes législatifs et définition.....	6
1.2. Fonctions des zones humides.....	6
1.3. Prise en compte des zones humides dans le cadre des projets d'aménagement	8
2. Méthodologie	10
2.1. Les Méthodes d'Évaluations Rapides (MER)	10
2.2. La Méthode Nationale d'Evaluation des Fonctions des Zones Humides (MNEFZH)	13
3. Etude de cas : impact d'un projet photovoltaïque sur une zone humide.....	17
3.1. Présentation des projets étudiés	17
3.2. Impact d'un projet photovoltaïque sur une zone humide	19
3.3. Choix des mesures ERC.....	24
4. Discussion	27
4.1. Limites de l'étude	27
4.2. Solutions alternatives	28
Conclusion	29
Bibliographie.....	30

Liste des figures

Figure 1 : Déclinaison schématique de l'état du site impacté et site de compensation (GAYET, G. et al., 2016b)	14
Figure 2 : Extrait de l'évaluation fonctionnelle de la MNEFZH – Tableau 4 (THEMA Environnement, 2023)	16
Figure 3 : Extrait de l'évaluation fonctionnelle de la MNEFZH (THEMA Environnement, 2023)	16
Figure 4 : Schéma de principe d'une installation type photovoltaïque (DGEC, 2011)	19
Figure 5 : Zone humide pédologique et impact projet du Vieux Domaine	21
Figure 6 : Évaluation de l'équivalence fonctionnelle des indicateurs du couvert végétal à Bridoré (THEMA Environnement, 2023)	21
Figure 7 : Évaluation de l'équivalence fonctionnelle des indicateurs du sol à Nançay (THEMA Environnement, 2023)	22
Figure 8 : Jonchaie entre et sous les panneaux du parc du Vieux Domaine (THEMA Environnement, 2023)	23
Figure 9 : Évolution de la zone projet au sein de la ZIP à Nançay	24
Figure 10 : Vue en coupe de la mesure compensatoire ZH n°1 à Nançay (THEMA Environnement, 2023)	26
Figure 11 : Vue en plan de la mesure compensatoire ZH n°3 à Nançay (THEMA Environnement, 2023)	26

Listes des tableaux

Tableau 1 : Rubrique de la nomenclature « loi sur l'eau » de l'article R.214-1 sur les zones humides	9
Tableau 2 : Synthèse des points faibles et points forts des MER (RIVERAIN, C. et al., 2011-2012)	12

Listes des annexes

Annexe 1 : Organigramme de THEMA Environnement (THEMA Environnement, janvier 2023)	31
Annexe 2 : Localisation de la zone d'étude dans le territoire élargi à Nançay (ADEV Environnement, 2021)	32
Annexe 3 : Localisation de la zone d'étude à Nançay (ADEV Environnement, 2021)	33
Annexe 4 : Localisation des zones humides identifiées à Nançay (THEMA Environnement, 2023)	34
Annexe 5 : Localisation de la zone d'étude dans le territoire élargi du Vieux Domaine (THEMA Environnement, 2023)	35
Annexe 6 : Localisation de la zone d'étude du Vieux Domaine (THEMA Environnement, 2023)	36
Annexe 7 : Localisation des zones humides identifiées du Vieux Domaine (THEMA Environnement, 2023)	37
Annexe 8 : Localisation de la zone d'étude dans le territoire élargi à Bridoré (THEMA Environnement, 2023)	38
Annexe 9 : Localisation de la zone d'étude à Bridoré (THEMA Environnement, 2023)	39
Annexe 10 : Localisation des zones humides identifiées à Bridoré (THEMA Environnement, 2023)	40
Annexe 11 : Occupation du sol à Nançay (THEMA Environnement, 2023)	41
Annexe 12 : Occupation du sol de la ZAC du Vieux Domaine avant-projet, issu de l'étude d'impact (INGEROP C&I - Sun'R, 2014)	42
Annexe 13 : Relevé botanique partiel – Suivi du parc du Vieux Domaine (THEMA Environnement, 2023)	43
Annexe 14 : Vue en plan et en coupe de la mesure compensatoire à Bridoré (THEMA Environnement, 2023)	44
Annexe 15 : Vue en plan et en coupe de la mesure compensatoire à Nançay (THEMA Environnement, 2023)	45

Introduction

Au terme de la dernière année du cycle ingénieur proposé par le Département Aménagement et Environnement de Polytech Tours en spécialité Ingénierie des Milieux Aquatiques, un stage ingénieur d'au moins 16 semaines est réalisé. C'est dans ce contexte que s'inscrit le présent travail concernant la prise en compte des zones humides dans le cadre des projets de parcs photovoltaïques, réalisé au sein du bureau d'études THEMA Environnement, agence de Chambray-lès-Tours, du 13 janvier au 11 août 2023.

THEMA Environnement est un bureau d'études en environnement créé en 2000 par **Dominique IGLESIAS**, qui associe les compétences des spécialistes dans différents domaines de l'écologie et de l'aménagement du territoire.

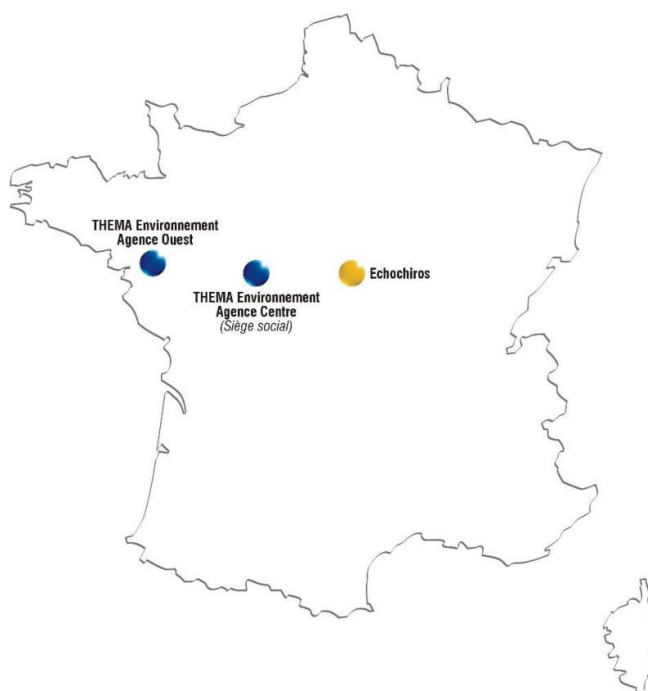
En mai 2022, la **SAS COMBO**, dont les actionnaires sont Ludovic LEBOT, Laurent LEBOT et Jean-Philippe LECOMTE et jusqu'alors actionnaire à hauteur de 15%, a fait l'acquisition de la totalité des parts de THEMA Environnement qu'elle ne détenait pas déjà. Cette opération de transmission / reprise s'est opérée dans une logique de continuité de l'activité et de la philosophie de l'entreprise. La société est de type Société par Actions simplifiées (S.A.S.), d'un capital de 100 000 euros.

Actuellement, THEMA Environnement est implanté sur 2 sites :

- **Chambray-lès-Tours (37) (siège social)**
- **Ancenis (44)**

En plus des 2 agences, la société regroupe également **ECHOCHIROS**, filiale de THEMA Environnement, qui est un bureau d'études en environnement spécialisé dans l'expertise des chauves-souris. Basé à Bourges, ECHOCHIROS intervient dans le cadre d'études d'impact et d'évaluations d'incidences mais aussi dans le cadre d'inventaires, de suivis naturalistes, de diagnostics écologiques, de la définition de « trames noires », et de programmes de recherche réalisés sur des espaces naturels protégés.

L'implantation actuelle du groupe THEMA Environnement figure ci-dessous.



Localisation des implantations de THEMA Environnement (THEMA Environnement, mai 2022)

THEMA Environnement intervient dans des prestations diverses telles que : demande d'examen au cas par cas, dossier d'étude d'impact, inventaires naturalistes faune-flore, étude de délimitation des zones humides, étude de trame verte et bleue, dossier loi sur l'eau, document d'évaluation des incidences sur Natura 2000, évaluation environnementale de plans et programmes, plan de gestion des milieux naturels, dossier de demande d'utilité publique, demande de dérogation à la protection des espèces.

Les multiples implantations de THEMA Environnement sur le territoire lui permettent d'intervenir sur un large périmètre et d'être représenté au niveau local. Ainsi, le bureau d'études travaille pour une clientèle très diversifiée : Etat, collectivités locales, établissements publics, sociétés d'économie mixte, particuliers, industriels, agriculteurs. Toutes les prestations sont réalisées dans un même souci de qualité de service. **Par ailleurs, THEMA Environnement est signataire depuis juin 2015 de la charte d'engagement des bureaux d'études dans le domaine de l'évaluation environnementale.**

Dirigé par Ludovic LEBOT, THEMA Environnement est composé à ce jour d'une équipe pluridisciplinaire d'environ 30 personnes. Son activité est organisée autour de deux pôles : un **pôle réglementaire** (auquel sont par ailleurs rattachés les trois pédologues travaillant sur les Zones Humides, coordonnés par Maxime THOMAS, Chef de Projets) et un **pôle naturaliste**. L'organigramme complet de THEMA Environnement est présenté sur l'Annexe 1 figurant à la page 31.

Outre l'opportunité de bénéficier d'une première expérience professionnelle concrète et de se familiariser avec les méthodes de travail d'un bureau d'études en environnement, ce stage représente l'occasion d'approfondir certains questionnements en lien avec l'étude des zones humides.

Notamment, comment sont aujourd'hui prises en compte les zones humides dans le cadre des projets photovoltaïques en France ? Quelles sont les méthodes utilisées pour évaluer l'impact des projets d'aménagement sur les zones humides ? Comment mesurer l'équivalence fonctionnelle entre la perte de fonction générée par l'impact d'un projet sur une zone humide et le gain de fonction obtenu par la création d'une mesure compensatoire ?

Pour apporter plus de clarté sur ces aspects, il est tout d'abord nécessaire de définir le cadre théorique et réglementaire qui encadre les zones humides françaises.

Ensuite, le premier volet de ce rapport présente les méthodologies existantes pour évaluer les impacts d'un projet sur une zone humide. Celui-ci traite également des outils permettant de quantifier l'équivalence fonctionnelle estimée entre la mise en application des mesures compensatoires et l'impact résiduel sur la zone humide. Le développement porte entre autres sur les Méthodes d'Évaluations Rapides (MER) américaines et la Méthode Nationale d'Évaluation des Fonctions des Zones Humides (MNEFZH) de l'Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques (ONEMA).

Le second volet, organisé sous la forme d'une étude de cas, consiste en l'application de ce cadre théorique sur trois projets énergies renouvelables étudiés dans le cadre du stage : le projet de parc photovoltaïque de Nançay, le suivi du parc photovoltaïque du Vieux Domaine et le projet de parc éolien de Bridoré. Bien que le sujet de cet exercice soit les parcs solaires au sol, une étude complémentaire à Bridoré a permis de constater que l'évaluation des projets éoliens souligne également les limites des méthodes utilisées pour le photovoltaïque, justifiant l'ajout de cette troisième étude.

In fine, cette analyse a pour objectif d'aboutir à une vision globale de l'importance des impacts des parcs solaires sur les zones humides, ainsi que de proposer une discussion sur les limites des méthodes actuellement utilisées pour prendre en compte ces projets.

1. Cadre théorique et réglementaire

Bien qu'aujourd'hui les zones humides soient reconnues comme des milieux essentiels à préserver dans le cadre de la gestion durable de la ressource en eau, la relation entre l'homme et les zones humides n'a pas toujours été ainsi.

En effet, sous l'Antiquité romaine, les « marais » étaient associés aux épidémies et ont fait l'objet d'une grande politique d'assèchement et de poldérisation. Ces pratiques ont ensuite été renforcées à partir du XVI^{ème} siècle, appuyées par des textes réglementaires en faveur de l'assèchement des zones humides, notamment avec la multiplication des grands aménagements et le changement du mode d'agriculture. Le phénomène s'est intensifié au cours du XX^{ème} siècle, où l'on a pu constater la disparition de 67% des zones humides métropolitaines entre 1960 et 1990 (BERNARD, 1994).

A partir des années 90, face à ce constat alarmant, une première prise de conscience des services rendus par les zones humides peut être constatée, donnant lieu à un ralentissement progressif de leur tendance à la régression, et avec elle, un changement de la réglementation en vigueur.

1.1. Présence dans les textes législatifs et définition

La première mention de protection des zones humides dans la réglementation apparaît avec la **loi n°92-3 du 3 janvier 1996**, plus communément appelée « **Loi sur l'Eau** », modifiée par les lois n°92-1336 du 16 décembre 1992 et n°95-101 du 2 février 1995. Elle promeut une gestion équilibrée de la ressource en eau, visant notamment à assurer « la préservation des écosystèmes aquatiques, des sites et des zones humides ». Cette volonté sera ensuite renforcée (et par ailleurs appuyée par la traduction de la Directive Cadre Européenne sur l'Eau de 2000) dans la **Loi n° 2006-1772 du 30 décembre 2006** sur l'Eau et les Milieux Aquatiques, ou « **LEMA** », qui demande aux agences de l'eau de « Mener et favoriser des actions de préservation, de restauration, d'entretien, d'acquisition et d'amélioration de la gestion des milieux aquatiques et des zones humides ».

Ces deux lois seront ensuite codifiées dans le code de l'environnement, Livre II, Titre 1, article L.210 et suivants, et article L.211-1. Une zone humide y est alors définie comme « terrains, exploités ou non, **habituellement inondés ou gorgés d'eau** douce, salée ou saumâtre de façon permanente ou temporaire, **OU** dont la végétation, quand elle existe, y est **dominée par des plantes hygrophiles** pendant au moins une partie de l'année ». Ainsi, une zone humide doit répondre **soit au critère d'engorgement en eau, soit au critère de végétation hygrophile, soit au deux**. L'article R.211-108 du Code de l'Environnement se base d'ailleurs sur ces critères pour définir comment doit être effectuée la délimitation des zones humides.

A noter que le principe de la caractérisation alternative sera plus tard remis en question par une décision du Conseil d'Etat rendue le **22 février 2017**, qui interprétera le « **ET** » de la définition comme la nécessité de **présence simultanée des deux critères** cités par l'article L.211-1. Mais cette décision sera rendue caduque le **26 juillet 2019** par la loi portant création de l'Office Français de la Biodiversité (OFB), qui vient réintroduire et affirmer le **caractère alternatif** des zones humides en ajoutant le « **OU** » à la définition utilisée actuellement.

1.2. Fonctions des zones humides

De par leur nature si particulière, les zones humides assurent des fonctionnalités écologiques qui leur confèrent un rôle fondamental, tant vis-à-vis de l'homme que vis-à-vis des écosystèmes. Ces fonctions peuvent être regroupées en trois catégories : les fonctions **hydrologiques**, les fonctions **biogéochimiques** et les fonctions **biologiques** (GAYET, G. et al., 2016a).

1.2.1. Fonctions hydrologiques

Du point de vue hydrologique, les zones humides ont un impact sur l'aspect **quantitatif** des eaux de surface et des eaux souterraines. Leur efficacité dépend notamment de la position et de la superficie de la zone humide par rapport au bassin versant, de son couvert végétal, ou encore de sa capacité de stockage. Il est possible d'identifier 4 sous-fonctions :

- **Régulation naturelle des crues** : en stockant et restituant l'eau graduellement, les zones humides ont un effet direct sur l'étalement des crues et un effet indirect sur le stockage d'eau en amont des cours d'eau ;
- **Soutien d'étiage** : comme mentionné précédemment, les zones humides assurent un ressuyage lent qui permet d'alimenter un cours d'eau à l'étiage, ou encore de recharger la nappe qui soutient le cours d'eau en période d'étiage ;
- **Recharge des nappes** : lorsque les terrains sont perméables et que le niveau piézométrique est inférieur à celui de la zone humide, celle-ci peut augmenter le temps de séjour de l'eau dans les sols et favoriser son infiltration vers les nappes ;
- **Ralentissement des ruissellements** : lorsqu'une zone humide est située sur un versant, celle-ci freine les écoulements et les flux solides en direction des cours d'eau, permettant de limiter le phénomène d'érosion du sol.

1.2.2. Fonctions biogéochimiques

De par leurs fonctions hydrologiques, les zones humides ont également un impact sur l'aspect **qualitatif** des eaux superficielles et des eaux souterraines en engendrant l'immobilisation, l'utilisation ou encore la sédimentation des nutriments et des polluants. Ce rôle de filtre est essentiel pour préserver la qualité des milieux et peut également avoir un impact sur la quantité de gaz à effets de serre émis. Cette fonction dépend fortement de la végétation de la zone humide et peut être divisée en 4 sous-fonctions :

- **Régulation des nutriments** : dans le cas de l'azote ($\text{NO}_3^-/\text{NO}_2^-$), la végétation permet d'absorber et de dénitrifier les différentes formes de l'élément chimique pour le réduire à l'état gazeux ; dans le cas du phosphore, ce sont les processus de déphosphatation et la fixation (sédimentation) du phosphore qui entrent en jeu, permettant d'immobiliser jusqu'à 95% des nutriments de l'eau ;
- **Rétention des micropolluants** : les zones humides jouent un rôle similaire dans la sédimentation, la photodégradation ou encore la biodégradation des pesticides, ainsi que l'immobilisation des métaux lourds ;
- **Interception des Matières en Suspension (MES)** : les zones humides permettent la sédimentation des MES apportées par les ruissellements et le bassin versant amont, pouvant aller jusqu'à une rétention quasi-totale en l'absence d'exutoire ;
- **Séquestration du carbone** : enfin, en piégeant le CO_2 pendant leur croissance, les végétaux permettent au sol des zones humides de stocker une quantité importante de carbone, allant jusqu'à constituer le second puits de carbone après les océans.

1.2.3. Fonctions biologiques

Des conditions hydrologiques et biogéochimiques particulières retrouvées au sein des zones humides découlent d'intéressantes potentialités **d'habitats**, permettant d'héberger une grande **diversité d'espèces** animales et végétales. On dénote ainsi 3 sous-fonctions biologiques :

- **Support de biodiversité** : les zones humides représentent un milieu d'habitat, de reproduction, d'abris, de refuge ainsi que de repos pour une multitude d'espèces animales, ainsi qu'un milieu de développement important pour la végétation ;
- **Intérêt patrimonial** : étant donnée la diversité d'habitats et d'espèces inféodées aux zones humides, ces dernières abritent 35% des espèces rares et en danger, représentant un véritable intérêt patrimonial ;
- **Notion de corridor écologique** : les zones humides constituent des corridors de migration et de déplacement pour de nombreuses espèces (en particulier pour l'avifaune).

1.3. Prise en compte des zones humides dans le cadre des projets d'aménagement

1.3.1. Critères de délimitation des zones humides

Afin de faciliter la délimitation des zones humides et par extension, leur prise en compte dans le cadre des projets d'aménagement, **l'arrêté du 24 juin 2008**, en application des articles L.214-7 et R.211-108 du code de l'environnement (modifié par l'arrêté du 1^{er} octobre 2009) **précise les critères de définition et de délimitation** des zones humides. Une zone est ainsi considérée comme humide si elle présente :

- Un sol correspondant exclusivement à **un ou plusieurs types pédologiques** tels que ceux mentionnés dans la liste de l'annexe 1.1 de *l'Arrêté du 24 juin 2008 modifié* ;
- Ou une végétation, qui si elle existe, est caractérisée soit par **des espèces** identifiées et quantifiées selon la méthode et la liste d'espèces figurant à l'annexe 2.1 de *l'Arrêté du 24 juin 2008 modifié*, soit par des communautés d'espèces végétales, dénommées "**habitats**", caractéristiques de zones humides, identifiées selon la méthode et la liste correspondante figurant à l'annexe 2.2 de *l'Arrêté du 24 juin 2008 modifié*.

Pour aider à la mise en application de l'arrêté, la **circulaire de 18 janvier 2010** (établie par le ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de la mer ainsi que le ministère de l'alimentation, de l'agriculture et de la pêche), précise le mode opératoire à mettre en œuvre pour délimiter et caractériser une zone humide, en application des articles L.214-7-1 et R.211-108 du code de l'environnement.

1.3.2. Réglementation en cas d'impact d'un projet sur les zones humides

De manière à préserver les zones humides présentes sur le territoire, l'article **R.214-1** du code de l'environnement détermine si les projets d'Installations, d'Ouvrages, de Travaux ou d'Activités (regroupés sous l'abréviation **IOTA**) sont susceptibles ou non d'affecter la gestion durable de la ressource en eau.

Pour ce faire, l'article est décliné en **5 titres** (prélèvements, rejets, milieu aquatique ou sécurité publique, milieu marin, régimes d'autorisation), lesquels comprennent chacun une **liste de rubriques** déclinant les impacts des projets IOTA sur la gestion de l'eau.

Selon la surface ou le volume d'eau impacté, la nomenclature détermine si le projet sera soumis à demande de **déclaration** ou à demande d'**autorisation** (ce second type de dossier étant nettement plus long et complexe à constituer que le précédent). Le cas des zones humides est mentionné dans le TITRE III – IMPACTS SUR LE MILIEU AQUATIQUE OU SUR LA SÉCURITÉ PUBLIQUE, de l'article R.214-1, **Rubrique 3.3.1.0.**, tel que présenté dans le tableau ci-après.

Tableau 1 : Rubrique de la nomenclature « loi sur l'eau » de l'article R.214-1 sur les zones humides

N° de la rubrique	Intitulé
3.3.1.0	Assèchement, mise en eau, imperméabilisation, remblais de <u>zones humides</u> ou de marais, la zone asséchée ou mise en eau étant : • 1° Supérieure ou égale à 1 ha (Autorisation) ; • 2° Supérieure à 0,1 ha, mais inférieure à 1 ha (Déclaration).

Ainsi, lorsque la surface de zone humide impactée est **supérieure ou égale à 1 hectare**, celle-ci sera soumise à une demande d'**autorisation**. Si elle est **inférieure à 1 ha mais supérieure à 0.1 ha**, elle sera soumise à demande de **déclaration**. En dessous de 0.1 ha, celle-ci ne sera pas soumise à la réglementation (sauf si la surface cumulée des opérations antérieures menées par le même pétitionnaire sur le même bassin versant dépasse ce seuil). Néanmoins, que le projet IOTA soit soumis à une demande de déclaration ou à une demande d'autorisation, il sera demandé au porteur de projet de fournir au sein de son dossier loi sur l'eau un **document d'incidences**, regroupant entre autres, un état initial de la zone humide et de ses fonctions, ainsi qu'un descriptif précis des incidences directes, indirectes, temporaires ou permanentes sur le milieu.

Il est donc crucial pour le porteur de projet de savoir définir précisément et le plus exhaustivement possible les impacts de l'aménagement envisagé sur la zone humide et les procédures administratives qui le concernent.

1.3.3. Séquence Éviter / Réduire / Compenser (ERC)

En amont de ce processus, le projet IOTA se doit également d'être **compatible** avec les dispositions et orientations des documents cadres que sont le Schéma Direction d'Aménagement et de Gestion des Eaux (**SDAGE**) et le Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (**SAGE**).

Par ailleurs, le SDAGE 2022-2027 du bassin Loire-Bretagne mentionne qu'afin de préserver les zones humides dans les projets IOTA, les maîtres d'ouvrage devront d'abord chercher une autre implantation qui **évite** la dégradation de zones humides. Si l'évitement n'est pas total, des mesures visant à **réduire** l'impact devront être proposées. En dernier recours, des mesures **compensatoires** prévoyant la récréation ou la restauration des zones humides pourront être envisagées. Ces dernières devront permettre de retrouver une **équivalence** sur le plan fonctionnel, sur le plan de la qualité de la biodiversité et se trouver dans le même bassin versant que la masse d'eau concernée. A défaut, « si l'un de ces trois critères ne peut être respecté, la compensation devra porter sur une surface équivalente à au moins 200% de la surface impactée » (SDAGE Loire-Bretagne, 2022-2027).

Il s'agit de la traduction de la **doctrine nationale « Éviter, Réduire, Compenser » (ou « ERC »)**, visant à promouvoir une démarche de développement durable ainsi qu'une meilleure prise en compte de l'environnement dans les décisions publiques. Cette séquence, mise en œuvre lors de la réalisation de tout projet ou programme susceptible d'impacter l'environnement, est par ailleurs inscrite dans la loi du 10 juillet 1976 sur la protection de la nature dans son article 2 (ALLIGAND, G. et al., 2018), ainsi que dans la loi n° 2016-1087 du 8 août 2016 pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages.

A noter que la détermination de mesures compensatoires nécessite de connaître, en plus des impacts du projet, les éventuels facteurs de dégradation de la zone humide, de manière à proposer des solutions de restauration de récréation, compatibles avec la réalité des milieux.

2. Méthodologie

Comme mentionné précédemment, il existe aujourd'hui en France un cadre réglementaire rigoureux ainsi qu'une méthodologie détaillée permettant d'identifier et de délimiter le périmètre d'une zone humide (1.3.1 Critères de délimitation des zones humides). Néanmoins, qu'en est-il des méthodes évaluant les fonctionnalités d'une zone humide avant-projet, l'impact d'un projet d'aménagement sur une zone humide, ou encore de la conception et du suivi de mesures de compensation ?

2.1. Les Méthodes d'Évaluations Rapides (MER)

2.1.1. Origine des MER

Une piste de réflexion peut être trouvée en s'inspirant des méthodes appliquées aux Etats-Unis. En effet, suite à l'adoption du « **Clean Water Act** » (loi fédérale américaine) en 1978, le maintien et la restauration de l'intégrité physique, chimique et biologique des eaux (et par extension, des zones humides) est devenu une des préoccupations environnementales majeures du pays (FENNESSY, S. et al., 2007).

Cette dernière se décline par la séquence d'action « **éviter – réduire – compenser** » (connue aux Etats-Unis sous le terme de « **Wetland Mitigation** » lorsqu'elle est appliquée aux zones humides), obligeant le maître d'ouvrage à compenser les effets négatifs de son projet sur l'environnement par le biais du financement de la restauration, de la création, de l'amélioration ou encore de la préservation des fonctionnalités écologiques du milieu naturel impacté (SCHWOERTZIG, 2011), similairement aux exigences européennes.

La nécessité de pouvoir évaluer l'état initial d'une zone humide donne lieu dans les années 1980 aux premières « **Méthodes d'Évaluations Rapides** » (MER) ou « **Rapid Assessment Methods** » (RAM) en anglais. Leur objectif est d'estimer de manière rapide, rigoureuse et peu coûteuse, l'état d'un système écologique complexe ou de ses fonctionnalités écologiques. Appliquées aux mesures compensatoires, les MER peuvent également évaluer les pertes fonctionnelles d'une zone humide et l'impact sur la biodiversité engendrés par un projet d'aménagement (FENNESSY, S. et al., 2007).

Tandis qu'en France les fonctions des zones humides étaient jusqu'alors évaluées « au cas par cas », reposant sur des méthodes dites « à dire d'expert », c'est plus d'une quarantaine de MER qui virent le jour aux Etats-Unis, chacune adaptée à un ou plusieurs états (GAUCHERAND, S. et al., 2015).

2.1.2. Fonctionnement général des MER

Bien que présentant des particularités selon les États américains, le climat régional et le type de zones humides auxquels elles s'appliquent, il est possible d'identifier un fonctionnement général caractérisant les MER appliquées aux zones humides.

Tout d'abord, la méthode commence par la mesure sur le terrain d'un certain nombre d'**indicateurs**. D'après les travaux de RIVERAIN (RIVERAIN, C. et al., 2011-2012), ces indicateurs peuvent être liés :

- aux **conditions écologiques** (contexte paysager, hydrologie, sol ou substrat, habitat faune / flore) ;
- aux **fonctions ou services écosystémiques** des zones humides (qualité de l'eau, hydrologie et sols, biodiversité (dont habitat), utilisations anthropiques) ;
- ou plus généralement aux **activités humaines** (facteurs de stress sur le milieu).

L'évaluation de ces indicateurs abouti ensuite à des scores, qui combinés, donneront une note globale à la zone humide, définissant son **état écologique** ou sa **capacité fonctionnelle**.

A partir de cette évaluation, certaines MER permettent également d'identifier le type de mesure compensatoire à mettre en place pour compenser la perte des fonctions, d'établir une comparaison entre plusieurs sites ou encore de comparer l'état d'un même site, avant et après intervention (SCHWOERTZIG, 2011).

2.1.3. Limites des MER

En effectuant une comparaison entre différentes MER, les travaux de FENESSY (FENESSY, S. et al., 2004) (FENESSY, S. et al., 2007) identifient un certain nombre de **limites aux méthodes américaines**. A noter que les appellations entre guillemets cités dans les paragraphes ci-dessous correspondent à des exemples de méthodes appliquant les procédés mentionnés, bien que ces dernières ne soient pas détaillées dans le cadre de ce rapport.

Tout d'abord, étant donnée la grande diversité de méthodes existantes selon les États et types de zones humides, se pose la question de la définition de l'aire d'évaluation de la zone humide. En effet, dans le cas de zones humides de petite taille, certaines méthodes préconisent d'évaluer l'ensemble du milieu en suivant les limites écologiques, hydrologiques ou juridiques (« New Hampshire Coastal Method »). Néanmoins, lorsque la zone humide couvre une aire très importante, il convient plutôt de réaliser un échantillonnage autour d'un point donné (par exemple sur une aire de 0,5 ha plutôt que sur l'ensemble de la zone humide, « Delaware Method »). Cette diversité de définitions entre les méthodes génère un biais dans la consistance et la pertinence des résultats, affectant leur utilisation et leur comparaison.

La diversité des types de zones humides est également une limite lors de la conception des méthodes puisque que tous les milieux ne réagissent pas de la même manière aux différents facteurs de stress. De manière à prendre en compte ce paramètre, il est possible de développer une nouvelle méthode pour chaque classe de zones humides (« HGL assessment ») bien que cela soit très coûteux et chronophage, de pondérer les indicateurs en fonction des types de zones humides (« ORAM ») ou encore de développer des nouveaux indicateurs au sein de la même méthode s'appliquant spécifiquement à certains types de milieux (« Washington State Wetland Rating System for Western Washington »). D'autres méthodes partent également du postulat que peu importe les spécificités du milieu, certains facteurs de dégradation sont impactant de la même manière pour tous les types de zones humides, et s'affranchissent ainsi de ce paramètre (« Delaware Method »).

Par ailleurs, un élément central mais complexe des MER est le choix du système de notation. Faut-il évaluer l'état de l'intégrité écologique de la zone humide (par rapport à un état de référence) ou plutôt sa capacité à remplir les fonctions attendues selon le type de milieu ? A priori un milieu en bon état écologique sera à même de remplir ses fonctions, mais dans ce cas qu'en est-il des milieux fonctionnels considérés comme dégradés ? Il apparaît difficile de définir un score d'intégration unique répondant à ces problématiques. De ce fait, plusieurs méthodes choisissent d'utiliser des scores qualitatifs (par exemple : faible, moyen, fort) déclinés en différentes catégories (« Oregon Method », « Minnesota Method », etc.). Néanmoins, ce système de notation implique de réaliser une analyse détaillée reposant sur un grand nombre d'informations spécifiques, se soldant généralement par une évaluation dite « au meilleur jugement professionnel » (« Wisconsin Rapid Assessment Method »).

De manière à nuancer la notation, certaines méthodes proposent l'utilisation de « métriques de valeur ajoutée » utilisées pour mettre l'accent sur un critère ou un aspect de la zone humide jugé important à mettre en valeur (par exemple, favoriser des milieux humides qui comportent une forte diversité végétale « ORAM », ou la présence d'une espèce très rare « Western Washington Method »). Ces

métriques peuvent être utilisées dans le cadre de procédures réglementaires pour accroître la valeur d'un milieu à protéger. Elles peuvent également être utilisées selon la volonté des parties prenantes du projet, pour améliorer le score relatif à des éléments considérés importants, ou encore pour signifier la différence entre plusieurs classes de zones humides. Dans tous les cas, ces métriques doivent être évaluées séparément des métriques de condition et peuvent éventuellement être intégrées dans la note finale en tant que facteur de pondération.

Enfin, une MER n'est pertinente que si les résultats qu'elle propose sont cohérents avec une évaluation écologique complète (analyses et relevés de terrains approfondis avec expertise). L'évaluation de la fiabilité de la méthode doit être réalisée avec un plan d'échantillonnage minutieux afin de pouvoir extrapoler les résultats à la ressource zone humide et déterminer les limites de la méthode.

2.1.4. Transposabilité des MER en France

Entre 2010 et 2015, plusieurs travaux de recherche se sont intéressés aux particularités des MER américaines et à la possibilité d'adapter ces méthodes d'évaluation aux zones humides françaises.

Parmi eux, le travail de recherche réalisé en 2011-2012 par RIVERAIN C. et al. intitulé « Les Méthodes d'Évaluation Rapides des zones humides américaines et leur transposabilité au territoire français dans le cadre de mesures compensatoires », s'appuyant notamment sur les travaux de GAUCHERAND et FENESSY (GAUCHERAND, S. et al., 2015) (FENESSY, S. et al., 2004) (FENESSY, S. et al., 2007), propose la sélection puis la comparaison de 10 MER. À l'issue de ce travail, l'analyse des points faibles et des points forts de l'ensemble des méthodes américaines avait pour vocation de conduire à la construction d'une MER française, et d'en étudier les limites. La synthèse des résultats est présentée ci-dessous, dans le Tableau 2 :

Tableau 2 : Synthèse des points faibles et points forts des MER (RIVERAIN, C. et al., 2011-2012)

POINTS FAIBLES	POINTS FORTS
- Pas d'intégration de la notion de suivi des mesures compensatoires ou de prévision des impacts (utilisation à un instant donné uniquement) - Critères qualitatifs trop imprécis et subjectifs - Focus soit sur l'état écologique soit sur les fonctions (pas de couplage état-fonction) - Références aux systèmes de classification et à la législation américaine - Préférence pour les milieux fermés - Souvent destinées à un public expert ou nécessitent une formation	- Certaines méthodes proposent des pistes de mesures compensatoires - Critères quantitatifs permettent des résultats reproductibles et mesurables par un public non expert - Prise en compte des activités anthropiques permet d'identifier les bénéfices (et les impacts) pour l'homme et pour la biodiversité - Rapides et simples (si guide d'utilisation)

Dans l'ensemble, malgré un certain nombre de points forts identifiés dans l'application des MER américaines, un paramètre empêche complètement l'application de ces méthodes en France : **la fréquence de référence à des documents spécifiques aux États-Unis.**

En effet, alors que la législation française est basée sur le SDAGE et le SAGE (appliquant la Loi sur l'Eau de 1992), les MER américaines sont basées sur la **Classification Hydrogéomorphologique (HGM)** qui caractérise le contexte géomorphologique, hydrologique et hydrodynamique des masses d'eau. Les classes hydrogéomorphologiques donnent ensuite lieu à une procédure d'évaluation des fonctions qui doit satisfaire les exigences techniques du Clean Water Act. Or, la classification HGM et le SDAGE /

SAGE reposent sur des paramètres complètement différents, ne permettant pas d'établir une équivalence pertinente entre les classes de zones humides (RIVERAIN, C. et al., 2011-2012).

Par ailleurs, pour estimer l'état d'une zone humide ou l'impact d'une mesure compensatoire, le système américain se base sur la **comparaison avec un écosystème « naturel »**, c'est-à-dire non ou très peu altéré par l'Homme. Cette référence est pertinente en Amérique du Nord, mais en Europe, ces milieux sont rares voire inexistant, nécessitant de travailler plutôt sur des fonctionnalités ou des éléments de biodiversité (GAYET, G. et al., 2017), ou encore d'opter pour une « approche fondée sur les meilleures conditions possibles » (GAUCHERAND, S. et al., 2015). Pareillement, les **listes et statuts des habitats et espèces** protégées ou envahissantes doivent être réadaptées.

Il existe également une discordance entre les deux continents concernant la définition d'une « bonne » zone humide. En effet, les travaux de (SCHWOERTZIG, 2011) ont identifié le fait que dans les mêmes conditions écologiques, les **milieux ouverts et entretenus** (par exemple les prairies humides) ont systématiquement un score plus bas que les **milieux fermés** (zone forestière). Ce constat est peut-être pertinent aux États-Unis, mais appliqué en France il pénaliserait grandement la notation de ces milieux.

En conclusion, il apparaît que les MER américaines ne sont pas transposables directement au territoire français sans y appliquer des modifications lourdes. Néanmoins, ces dernières peuvent constituer une base intéressante pour le développement d'une nouvelle méthode, appliquée au territoire français.

Dans cette optique, la **Méthode d'Évaluation Rapide de la Compensation des Impacts écologiques** (MERCle), directement inspirée de l'Uniform Mitigation Assessment Method (MER américaine), a été développée par l'ONEMA en avril 2016 avec pour objectif d'évaluer le besoin et la réponse de compensation d'une zone humide française à un projet d'aménagement (MECHIN, A. et al., 2016). Cependant, aucun travail ou mise à jour récente n'a pu être retrouvé sur cette dernière, qui semble avoir été abandonnée au profit de la MNEFZH (méthode de référence en France aujourd'hui). L'élaboration d'un nouvel outil d'évaluation des zones humides représentant un travail très conséquent et chronophage, cet aspect n'a pas été traité au cours de ce stage.

2.2. La Méthode Nationale d'Évaluation des Fonctions des Zones Humides (MNEFZH)

Sauf mention contraire, l'ensemble des éléments détaillés ci-dessous provient du Guide de la méthode nationale d'évaluation des fonctions des zones humides – Version 1.0, publié en Mai 2016 par l'ONEMA (GAYET, G. et al., 2016b).

2.2.1. Objectif et fonctionnement de la MNEFZH

Publiée en mai 2016 par l'ONEMA, la Méthode Nationale d'Évaluation des Fonctions des Zones Humides, ou MNEFZH, vise à permettre « **l'évaluation des fonctions associées aux zones humides, applicable tout au long des phases de conception puis de réalisation d'un projet, conduisant au choix de mesures « éviter, réduire, compenser » pertinentes** ». Cette méthode est notamment utilisée dans le cadre de la conception de projets dits « de moindre impact environnemental » car elle facilite l'instruction du dossier par les services de l'État et renforce la sécurité juridique des actes administratifs le concernant. À noter que bien qu'il ne soit pas mentionné explicitement si la MNEFZH est inspirée ou non des MER, son mode de fonctionnement et ses limites laissent supposer une forte influence de la méthodologie américaine, adaptée ensuite au territoire français.

Conçue pour être opérationnelle, la MNEFZH peut (en théorie) être mise en application sur une journée à deux opérateurs pour un site allant jusqu'à 5 ha. Elle se veut être objective, reproductible et

indépendante de la phénologie ou des variations saisonnières. Son utilisation n'est pas réservée à un public d'experts mais aux bureaux d'études, aux collectivités, etc. Par ailleurs, les données cartographiques nécessaires à son application sont toutes disponibles en libre accès sur Internet (SCAN 25, registre parcelle graphique, carte géologique du bureau de recherche géologique et minière, etc.). Toutefois, il est préférable que les opérateurs possèdent à minima des connaissances générales sur le fonctionnement des zones humides.

Comme mentionné précédemment, cette méthode s'applique aux **zones humides continentales de France métropolitaine**. Attention cependant, elle ne concerne pas le lit mineur des cours d'eau, la zone de pleine eau des lacs, la zone inondée des grandes étendues d'eau stagnantes (étangs, gravière, etc.) ou encore les milieux saumâtres ou salés littoraux. Elle ne constitue pas non plus une méthode de délimitation des zones humides, étape qui devra obligatoirement avoir été réalisée au préalable de l'application de la méthode.

Par ailleurs, cette méthode présente la particularité de pouvoir être appliquée sur la zone humide du **site impacté**, ainsi que sur la zone humide du **site de compensation** envisagé (les deux zones humides étant définies selon l'arrêté du 24 juin 2008, modifié le 1^{er} octobre 2009). Pour chacun des deux sites, on distinguera :

- « **le site avant impact / avant action écologique** », qui correspond à l'état observé du site avant la mise en œuvre du projet IOTA / des actions écologiques ;
- « **le site avec impact envisagé / avec action écologique envisagée** », qui correspond à l'état du site simulé par l'observateur (représentation fictive) après la mise en œuvre du projet IOTA / des actions écologiques envisagées ;
- « **le site après impact / après action écologique** », qui correspond à l'état observé du site après la mise en œuvre du projet IOTA, et après la mise en œuvre des mesures d'évitement et de réduction / après la mise en œuvre des actions écologiques.

Le phasage des évaluations concernant le site impacté et le site de compensation est représenté ci-dessous sur la Figure 1.

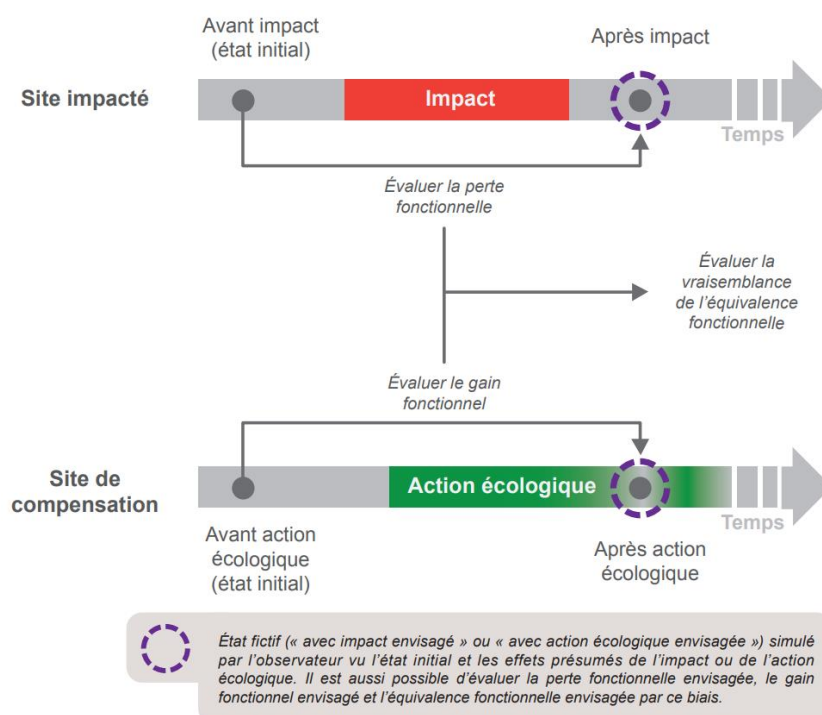


Figure 1 : Déclinaison schématique de l'état du site impacté et site de compensation (GAYET, G. et al., 2016b)

2.2.2. Fonctions évaluées par la MNEFZH

Il convient tout d'abord de mentionner que la MNEFZH n'est pas en capacité d'évaluer les fonctions « effectivement réalisées » par la zone humide mais plutôt les fonctions « vraisemblablement réalisées », nécessitant de garder un regard critique sur les résultats obtenus.

Les trois grandes fonctions évaluées par la méthode sont : la fonction **hydrologique**, la fonction **biogéochimique** et la fonction **d'accomplissement du cycle biologique des espèces**. La MNEFZH propose des indicateurs pour évaluer ces fonctions, regroupés en cinq catégories :

- **le couvert végétal** : prend en compte la nature du couvert végétal, la rugosité du couvert végétal et la végétalisation du site ;
- **les systèmes de drainage** : prend en compte la rareté des drains, la rareté des fossés, la rareté des rigoles et la végétalisation des fossés ;
- **l'érosion** : prend en compte la rareté du ravinement et la végétalisation des berges ;
- **le sol** : prend en compte l'acidité du sol, la matière organique enfouie, la matière organique incorporée en surface, la tourbe en surface, la tourbe enfouie, la conductivité hydraulique en profondeur, la conductivité hydraulique en surface, l'hydromorphie, la texture de profondeur et la texture en surface ;
- **les habitats** : prend en compte l'équipartition des grands habitats, l'équipartition des habitats, la proximité des habitats, la rareté de l'artificialisation de l'habitat, la rareté des invasions biologiques, la rareté des lisières, la richesse des grands habitats, la richesse des habitats et la similarité avec le paysage.

En tout, ce sont donc **47 indicateurs** (qualitatifs et quantitatifs) qui sont évalués par la MNEFZH, dont 32 mesurés directement sur le site et 15 concernant l'environnement du site.

La mesure des indicateurs à l'état initial est découpée en trois temps. Tout d'abord, l'utilisation des données en libre accès et d'un logiciel de SIG permettent de renseigner « **au bureau** » **avant terrain** un ensemble d'indicateurs concernant la localisation, l'occupation et la superficie de la zone humide, de sa zone tampon, de sa zone contributive, ainsi que de son paysage. Ensuite, la **phase terrain** implique d'analyser en détails la couverture végétale du site, son fonctionnement hydraulique, ainsi que son fonctionnement pédologique (via la réalisation de sondages pédologiques). Enfin, une seconde analyse « **au bureau** » **après terrain** permet de renseigner les dernières informations concernant la météorologie et la disposition des habitats dans le site.

2.2.3. Résultats de la MNEFZH

Une fois l'évaluation des différents indicateurs réalisée, avant et pendant impact, sur le site impacté et sur le site de compensation (soit 4 onglets en tout), la MNEFZH permet de générer les résultats obtenus sous la forme de 6 tableaux et 6 figures. A noter que l'évaluation après impact est généralement réalisée à posteriori, pour évaluer l'efficacité des mesures.

Le « Tableau 1 : Diagnostics de contexte du site avant impact et du site de compensation » permet de vérifier sous la forme de cinq conditions si les deux zones humides étudiées sont comparables. Cette vérification se base sur la comparaison de la masse d'eau concernée, de l'occupation de la zone contributive, de la composition du paysage, du système hydrogéomorphologique du site et des types d'habitats retrouvés dans les deux sites.

Les « Tableau 2 : Synthèse sur l'équivalence fonctionnelle par fonction dans le sites » et « Tableau 3 : Synthèse sur l'équivalence fonctionnelle par indicateur dans les sites » permettent de définir le ratio d'équivalence fonctionnelle souhaité pour réaliser l'évaluation (généralement de 1/1 pour des

mesures de création de zones humides dont la garantie de succès est importante, et de 2/1 pour des mesures d'amélioration d'une zone humide existante) et de déterminer quels indicateurs laissent apparaître une perte ou un gain fonctionnel.

Ensuite, les « Tableau 4 : Détails de la valeur des indicateurs dans les sites » et « Tableau 5 : Détails de la valeur des indicateurs dans l'environnement des sites » offrent une évaluation détaillée de l'impact et de l'action écologique envisagée sur chaque indicateur, comprenant sa valeur relative entre 0 et 1, ainsi qu'un commentaire sur le résultat, dans le site et dans l'environnement du site.

Propriétés générales de l'indicateur				Mesures de l'indicateur dans le site impacté		Sous-fonctions associées									
Nom	Question associée	La valeur de l'indicateur et l'intensité des sous-fonctions sont moins fortes quand...	La valeur de l'indicateur et l'intensité des sous-fonctions sont plus fortes quand...	Valeur de l'indicateur indépendante de la superficie du site [0-1]	Commentaire	Sublèvement des intrasédiments	Recharge des sédiments	Rétention des sédiments	Déminution des intrasédiments	Assimilation végétale de l'azote	Assimilation végétale de l'azote	Assimilation végétale de l'azote	Assimilation végétale de l'azote	Assimilation végétale de l'azote	Assimilation végétale de l'azote
Les rectangles bleus, rouges ou verts indiquent les sous-fonctions renseignées par l'indicateur.															
Le couvert végétal															
Végétalisation du site	41	... la part du site avec un couvert végétal permanent est très faible	... la part du site avec un couvert végétal permanent est très forte	Avant impact Avec impact envisagé Après impact	Couvert vég. permanent très important (100 %). Absence de couvert vég. permanent.										
Couvert végétal 1	56	... le couvert végétal est principalement clairsemé ou muscinal	... le couvert végétal est principalement herbacé avec export de biomasse et/ou arborescent	Avant impact Avec impact envisagé Après impact	Couvert court/intermédiaire avec export de biomasse et/ou arborescent et/ou herbacé avec export de biomasse et/ou arborescent et/ou herbacé.										
Couvert végétal 2	56	... le couvert végétal est principalement clairsemé ou muscinal	... le couvert végétal est principalement arborescent	Avant impact Avec impact envisagé Après impact	Couvert surtout arborescent. Couvert intermédiaires.										
Rugosité du couvert végétal	56	... le couvert végétal est absent ou principalement bas	... le couvert végétal est principalement arborescent	Avant impact Avec impact envisagé Après impact	Non renseigné. Site non alluvial. Non renseigné. Site non alluvial.										

Figure 2 : Extrait de l'évaluation fonctionnelle de la MNEFZH – Tableau 4 (THEMA Environnement, 2023)

Enfin, le « Tableau 6 : Informations complémentaires aux indicateurs dans les sites » présente une synthèse des informations complémentaires relevées lors de l'évaluation.

Les six figures correspondent quant à elle à une représentation graphique de la valeur absolue obtenue pour chaque indicateur, sur les deux sites, avant, pendant et après impact / action écologique. Elles comportent également une schématisation quantitative du déclin fonctionnel, de l'équivalence fonctionnelle, du gain fonctionnel et de la perte fonctionnelle trouvés entre les différentes phases du projet. Ces graphiques peuvent être utilisés pour appuyer l'équivalence fonctionnelle entre un site impacté et un site de compensation (après action écologique) dans le cadre des dossiers loi sur l'eau.

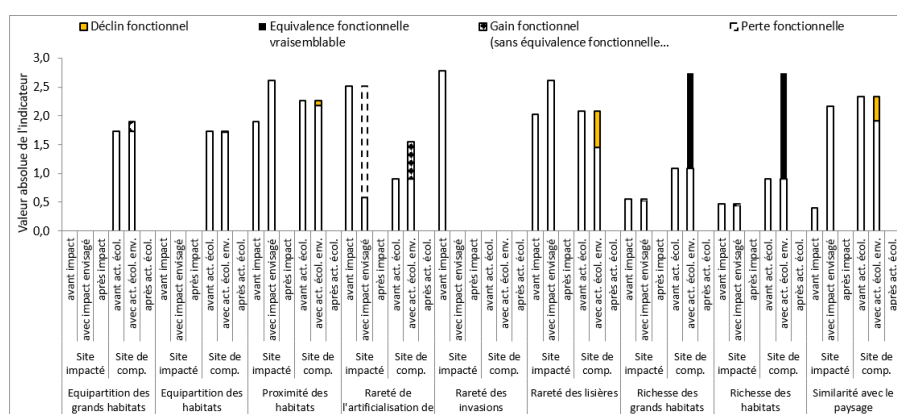


Figure 3 : Extrait de l'évaluation fonctionnelle de la MNEFZH (THEMA Environnement, 2023)

Couramment utilisée pour les projets d'aménagement en zone humide et reconnue par les services territoriaux français, la MNEFZH est un outil qui se veut exhaustif, accessible et facile à mettre en œuvre, contrairement à la plupart des MER. Néanmoins, l'interprétation de ses résultats nécessite un effort d'analyse, de compréhension et de rédaction qui implique en réalité une certaine expertise.

3. Etude de cas : impact d'un projet photovoltaïque sur une zone humide

Dans le cadre de ce stage, il a été choisi de travailler majoritairement sur les projets d'énergies renouvelables, et plus particulièrement, le cas des parcs solaires photovoltaïques.

En effet, depuis la signature du protocole de Kyoto le 11 décembre 1997 (mis en vigueur le 16 février 2005), le développement des énergies renouvelables est encouragé par l'Union Européenne et le gouvernement français. La Loi relative à la Transition Énergétique pour la Croissance Verte (LTECV), publiée le 18 août 2015, fixe notamment pour objectif à la France de « porter la part des énergies renouvelables à 23% de la consommation finale brute d'énergie en 2020 et à 32% de la consommation finale brute d'énergie en 2030 ».

Dans ce contexte de promotion des installations de production d'électricité à partir de ressources renouvelables, les parcs solaires photovoltaïques présentent un intérêt certain, donnant lieu à la création d'un nombre important de nouveaux parcs sur le territoire français, et avec elle, la nécessité d'évaluer l'impact de ces projets sur les milieux naturels.

3.1. Présentation des projets étudiés

3.1.1. Avant-propos : phasage des projets

Afin de mieux comprendre la sélection d'études proposée ci-dessous, il convient d'explicitier le phasage des projets IOTA ayant trait aux zones humides. Plus concrètement, une fois le devis établi entre le commanditaire et la structure réalisant l'étude, 5 phases d'évaluation sont généralement distinguées :

- **Délimitation** : la première étape de l'étude consiste à réaliser un diagnostic environnemental afin de délimiter une éventuelle zone humide sur le site du projet, selon la méthodologie détaillée précédemment (partie 1.3.1) ;
- **Diagnostic** (fonctionnel) : en présence d'une zone humide, il devient possible d'évaluer ses fonctions, l'objectif étant de pouvoir dégager le fonctionnement mais également les facteurs de dégradation potentiels du milieu ;
- **Impact** : l'implantation du projet sur la zone humide est simulée afin d'identifier sur quelle surface et à quelle hauteur le milieu pourrait être impacté. C'est également au cours de cette phase que la séquence Éviter, Réduire, Compenser (ERC) est appliquée. Si des impacts résiduels persistent après calage du projet et intégration des mesures d'évitement / réduction, alors il devient nécessaire de mettre en place des mesures compensatoires ;
- **Mesures compensatoires** : dimensionnées et simulées pour pallier les impacts résiduels du projet, leur objectif est le maintien d'une équivalence entre les pertes fonctionnelles perçues par le milieu et les gains fonctionnels apportés par les mesures ;
- **Suivi** : enfin, de manière à confirmer ou infirmer l'efficacité des solutions envisagées, il est nécessaire de réaliser un suivi de la zone humide (impactée et/ou compensatoire), et au besoin, de prévoir des mesures complémentaires.

Ainsi, entre la signature du devis et la mise en place des mesures compensatoires (sans parler du suivi), il s'écoule généralement plusieurs mois voire plusieurs années, rendant impossible la réalisation d'une étude zones humides complète sur un seul projet dans le cadre d'un stage de 6 mois. Pour cette raison, il a été choisi de travailler sur plusieurs études distinctes aux stades d'avancement différents.

3.1.2. Projet de parc photovoltaïque à Nançay (18)

Le projet de parc photovoltaïque de Nançay, situé dans le département du Cher (18), en région Centre-Val de Loire, a constitué le fil directeur de cet exercice.

L'emplacement précis de la Zone d'Implantation Projet (ZIP) de Nançay figure sur les cartographiques présentes en Annexe 2 (p. 32) et en Annexe 3 (p. 33).

Il s'agit d'un terrain particulier puisque, positionné en partie sur une ancienne carrière (extraction d'argiles), les sols du site sont marqués par la présence importante de remblais sur toute sa moitié sud, empêchant l'apparition des processus pédogénétiques naturels. Toutefois, la teneur très argileuse des sols permet tout de même un engorgement permanent en eau, appuyé par la présence d'une flore caractéristique des zones humides. Cette particularité est mise en évidence via le développement d'un cortège d'espèces végétales inféodées aux zones humides. Ainsi, sur les 32 hectares de terrain prospectés, 13,6 ha apparaissent aujourd'hui en zones humides au sens de la réglementation en vigueur. L'emplacement des zones humides identifiées est détaillé sur l'Annexe 4 (p.34).

Dans le cadre de ce stage, le travail réalisé a concerné les phases de délimitation, de diagnostic, d'évaluation des impacts et d'élaboration des mesures compensatoires.

3.1.3. Suivi du parc photovoltaïque du Vieux Domaine (18)

Comme son nom l'indique, le travail réalisé sur le site du Vieux Domaine à Vierzon (département du Cher (18), région Centre-Val de Loire) consiste en un suivi d'une mesure compensatoire réalisée directement sur le site impacté (extension de zone humide).

L'emplacement précis de la ZIP du Vieux Domaine figure sur les cartographiques présentes en Annexe 5 (p.35) et en Annexe 6 (p.36).

Les sols du site présentent aujourd'hui une forte hydromorphie sur la grande majorité de sa surface (plus de 80% est en zone humide), ainsi que des ornières parfois conséquentes, en eau au moins la moitié de l'année. Cependant, l'étude initiale ayant été réalisée en 2014 par une structure différente, la comparaison des inventaires d'il y a 10 ans avec ceux réalisés récemment pose un certain nombre de difficultés et engendre des questionnements quant à l'actualité de l'hydromorphie observée en 2023. Notamment, que peut-on conclure par rapport à l'efficacité de la mesure compensatoire mise en place au nord du site ? Qu'est-il advenu du couvert végétal humide en phase d'exploitation du parc ? L'emplacement des zones humides identifiées figure en Annexe 7 (p.37).

Dans le cadre de ce stage, seule la phase de suivi a été réalisée.

3.1.4. Projet de parc éolien de Bridoré (37)

Afin d'alimenter la réflexion sur les énergies renouvelables, il a été choisi de retenir également le projet de parc éolien de Bridoré. En effet, bien que celui-ci ne constitue pas un projet de parc photovoltaïque, l'évaluation des impacts et des mesures compensatoires réalisées pour la mise en place du projet souligne également les limites de l'application de la MNEFZH.

Le projet de parc éolien de Bridoré est rattaché au canton de Loches, situé dans le département d'Indre-et-Loire (37), en région Centre-Val de Loire.

L'emplacement précis de la ZIP de Bridoré figure sur les cartographiques présentes en Annexe 8 (p.38) et en Annexe 9 (p.39).

Similairement aux parcs photovoltaïques, l'impact d'un parc éolien sur une zone humide est relativement complexe à évaluer puisque l'impact direct sur les sols correspond uniquement à l'emprise du socle béton de l'éolienne (ou des pieux des panneaux dans le cadre du photovoltaïque), des locaux techniques et des pistes les desservant. Cependant, le couvert végétal qui occupe les zones humides joue un rôle important dans les fonctionnalités du milieu. Or dans le cas de Bridoré, il est envisagé un fauchage complet de la végétation ainsi qu'une mise en culture de la parcelle d'implantation de l'éolienne, obligeant à mettre en place des mesures compensatoires. L'emplacement des zones humides identifiées est détaillé sur l'Annexe 10 (p. 40).

Lors de la prospection des terrains susceptibles d'accueillir une compensation, deux zones humides ont été identifiées, et avec elles, des facteurs de dégradation sur lesquels il est possible d'agir. Toutefois, l'amélioration de zones humides n'est pas aussi bien prise en compte par les méthodes d'évaluation que la création de zones humides, mettant là encore en lumière les limites des outils reconnus aujourd'hui.

Dans le cadre de ce stage, seules les phases de diagnostic, d'impact et de mesures compensatoires ont été réalisées.

3.2. Impact d'un projet photovoltaïque sur une zone humide

3.2.1. Fonctionnement d'un parc photovoltaïque

Afin de proposer une évaluation de l'impact d'une installation photovoltaïque au sol sur un milieu, il convient d'avoir en tête l'organisation générale d'un parc solaire et de ses différents composants. A cet effet, la Direction Générale de l'Énergie et du Climat (DGEC) a proposé en avril 2011 un guide intitulé « *Installations photovoltaïques au sol – Guide de l'étude d'impact* » (DEVAUZE, C. et al., 2019), duquel sont issues les informations qui figurent ci-dessous (incluant la Figure 4).

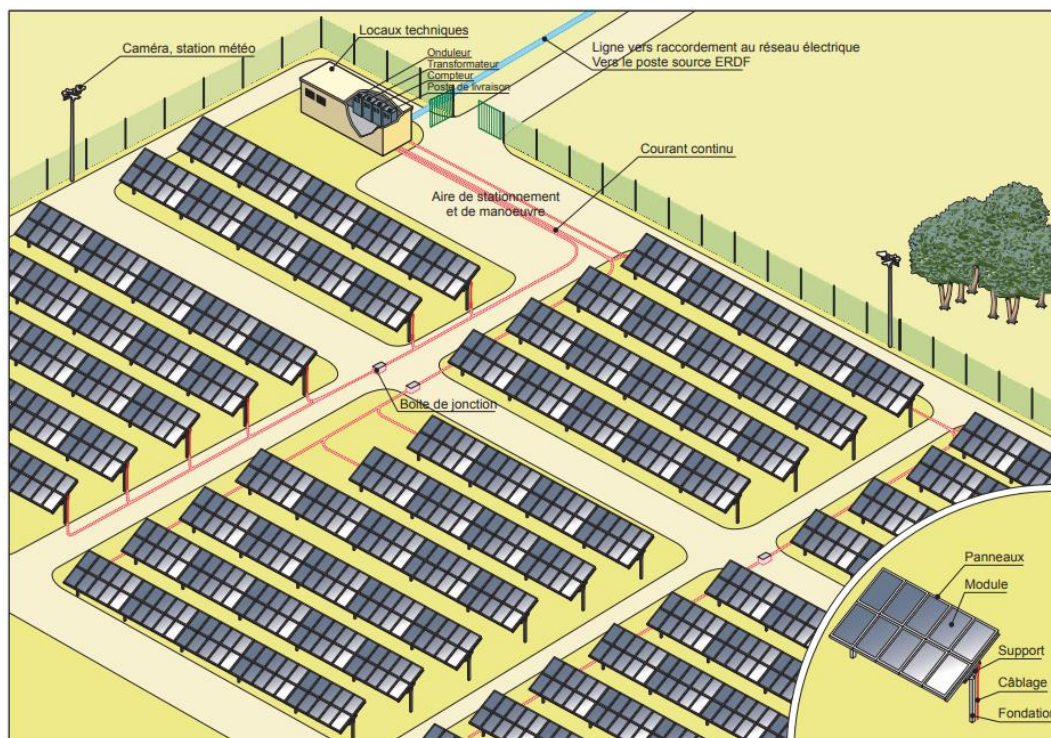


Figure 4 : Schéma de principe d'une installation type photovoltaïque (DGEC, 2011)

Pour rappel, l'objectif d'une installation solaire thermique est de convertir l'énergie solaire en chaleur ou en électricité. Celle-ci pourra être utilisée directement sur place, ou à l'inverse, être réinjectée dans le réseau de distribution de l'électricité. Pour ce faire, les cellules des installations photovoltaïques convertissent les radiations solaires en un champ électrique, lequel génère ensuite un flux électrique.

Les installations photovoltaïques peuvent être de plusieurs types. On retrouvera les installations fixes (c'est le cas des projets présentés précédemment) et les installations mobiles orientables ou « trackers ». Dans les deux cas, le parc photovoltaïque sera composé des éléments suivants :

- **Système photovoltaïque** (comprend les alignements de panneaux et leurs fondations) ;
- **Câbles de raccordement** (connecte les panneaux au local technique) ;
- **Locaux techniques** (regroupe les onduleurs, transformateurs, compteurs et protections) ;
- **Poste de livraison** (inclus ou non dans le local technique) ;
- **Sécurisation du site** (clôture autour du site, caméras de surveillance, système d'alarme, etc.) ;
- **Voies d'accès et zones de stockage** (pistes lourdes / légères, stockage, stationnement, etc.).

L'ensemble de ces éléments va avoir un impact sur le milieu naturel et doit être quantifié.

3.2.2. Impacts sur la zone humide pédologique

A ce jour, aucun document de référence ne liste les impacts des projets d'aménagement (et encore moins des projets photovoltaïques spécifiquement) sur les zones humides. Les opérations de préparation du terrain auront un impact direct sur les sols et la végétation, et les impacts spécifiques liés à la biodiversité auront un impact sur le couvert végétal (altérant les trois fonctions de la zone humide) et plus particulièrement les fonctions biologiques du milieu. Ces questions ont été traitées à travers l'étude des sites de Nançay, du Vieux Domaine et de Bridoré.

Dans le cadre des projets photovoltaïques, il arrive fréquemment que **l'impact sur les sols de zones humides soit faible**. En effet, bien que les panneaux soient implantés sur une superficie conséquente, la surface au sol d'un parc photovoltaïque est peu importante, d'autant plus quand les fondations des panneaux sont réalisées sous la forme de pieux battus.

Cet aspect peut être constaté en prenant l'exemple du parc du Vieux Domaine (Figure 5).

En effet, le site d'étude du Vieux Domaine couvre une surface de 6,5 ha, au sein desquels ont été identifiés 4.8 ha de zone humide pédologique. On part du postulat que la surface de zone humide impactée correspond à la somme de celle occupée par les pistes lourdes (en rouge sur la figure ci-dessus), celle occupée par les bâtiments (local technique, poste de livraison, etc.), ainsi que celle occupée par les pieux (non schématisée sur la cartographie mais correspondant à la surface d'un pieu d'environ 10x10 cm, multipliée par le nombre total de pieux impactant la zone humide sur le parc).

En tout, l'impact sur les zones humides représenterait 2 739 m², soit moins de 5% de la surface totale de la zone humide pédologique.

Si cette hypothèse s'avère exacte, il devrait être constaté pendant la phase d'exploitation du projet la persistance de sols caractéristiques de zones humides sur l'ensemble de la surface non concernée par ces éléments. Le suivi du parc du Vieux Domaine est effectué dans l'optique de vérifier ce postulat.

Par ailleurs, la surface de zone humide pédologique est souvent majorante par rapport à la surface de zone humide botanique (la végétation humide nécessitant un sol humide pour se développer). Attention cependant, ce constat comporte tout de même des exceptions, comme le cas de Nançay, qui sera explicité dans la partie suivante.

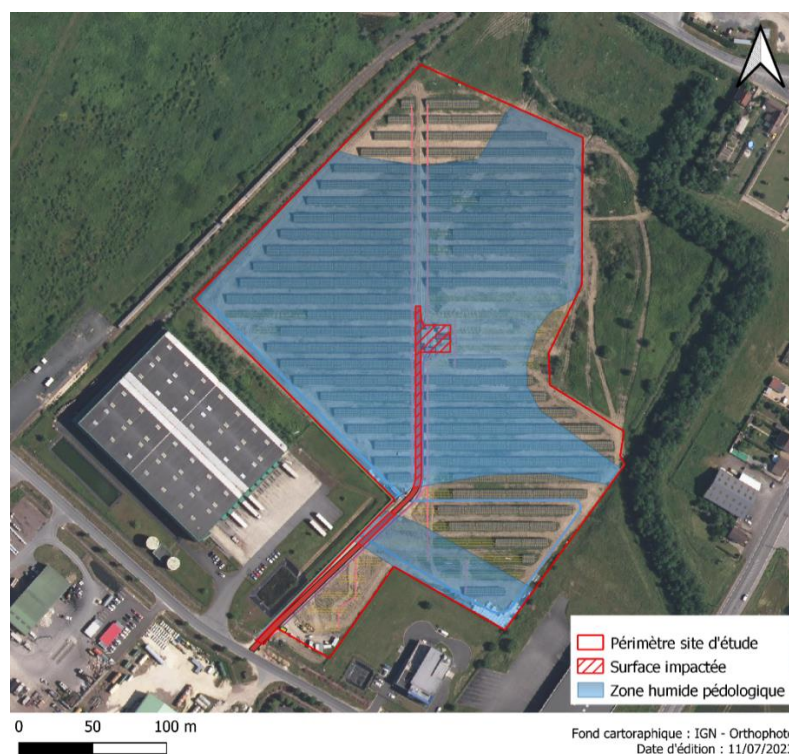


Figure 5 : Zone humide pédologique et impact projet du Vieux Domaine

La MNEFZH (Cf. 2.2) a été appliquée sur les sites de Nançay et de Bridoré.

A Bridoré, la mise en culture de la parcelle envisagée pour le parc éolien engendre un impact négatif sur la végétalisation du site et la nature du couvert végétal (perte du couvert arbustif et permanent) (Cf. Figure 6). Une perte de fonctionnalité est également attendue concernant la matière organique incorporée en surface (25 cm avant-projet et 23 cm avec projet) et la rareté de l'artificialisation de l'habitat. Les autres indicateurs de la MNEFZH n'indiquent aucun impact significatif.

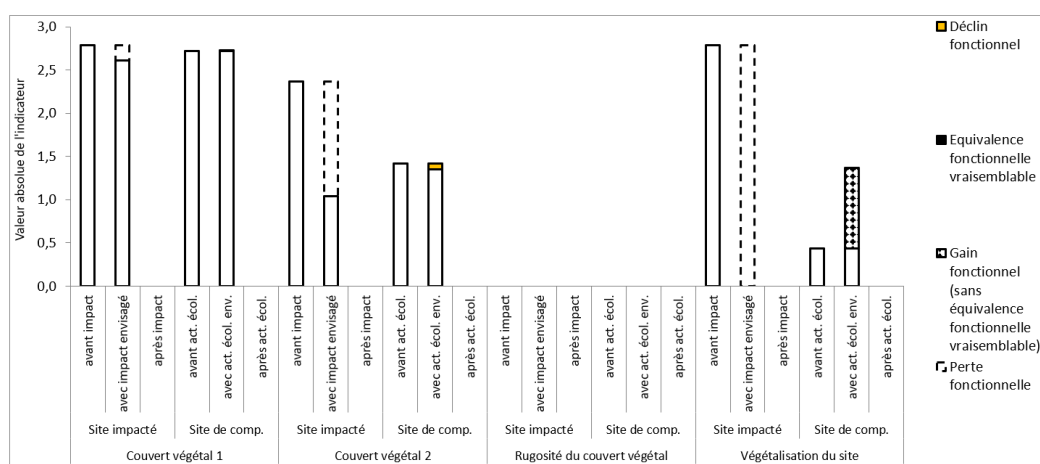


Figure 6 : Évaluation de l'équivalence fonctionnelle des indicateurs du couvert végétal à Bridoré (THEMA Environnement, 2023)

Un constat similaire peut être fait à Nançay, où il n'est pas question de mise en culture mais d'un entretien de la végétation du parc photovoltaïque par éco-pâturage ovin ou fauchage mécanique. Là aussi, la principale perte attendue concerne le couvert végétal et l'équipartition des habitats, liée à la suppression des habitats arbustifs et arborescents (obligatoire pour la mise en place du parc).

Les indicateurs du critère sol ne présentent quant à eux aucune modification notable avant et pendant la phase d'exploitation du projet (Figure 7).

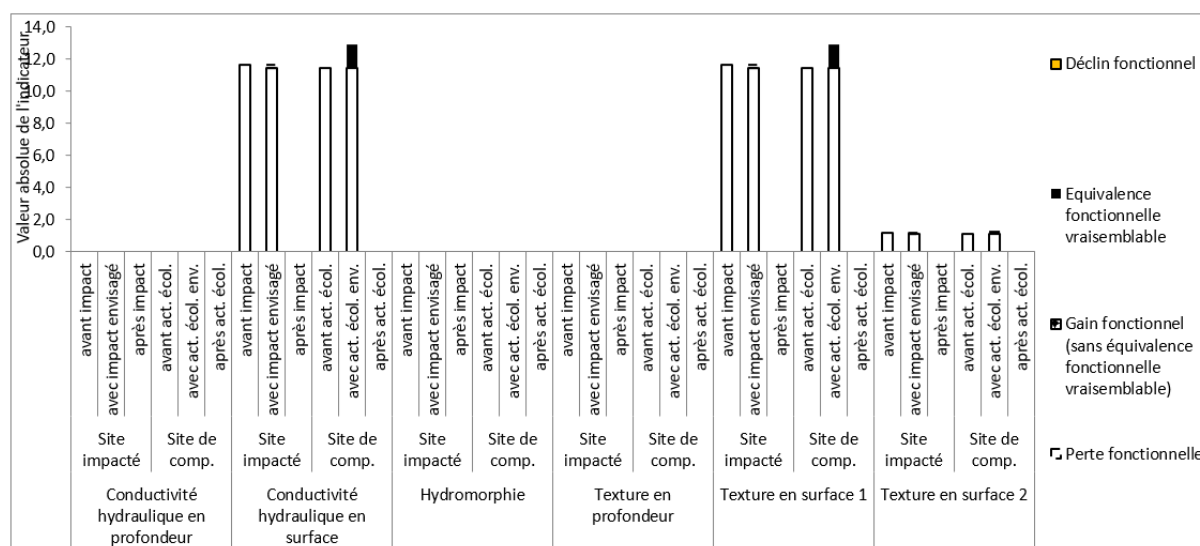


Figure 7 : Évaluation de l'équivalence fonctionnelle des indicateurs du sol à Nançay (THEMA Environnement, 2023)

Ainsi, d'après les résultats obtenus, **aucune différence significative n'est à signaler sur la qualité de la zone humide pédologique** entre le site impacté avant impact et le site impacté avec impact simulé. La seule perte constatée sur le sol est liée aux constituants du parc photovoltaïque, minoritaires par rapport à la surface totale de la zone d'étude. Ces éléments ont été détaillés précédemment pour le parc du Vieux Domaine.

3.2.3. Impacts sur la zone humide botanique

Concernant les zones humides botaniques, le constat est très différent.

L'exemple de Nançay est particulièrement intéressant puisque, situé au sein d'une ancienne carrière remise en état (sur la moitié sud du site), les sols remblayés ne correspondent plus à des sols de zones humides selon la réglementation en vigueur. Néanmoins, la présence d'une forte proportion d'argiles en profondeur confère au sol une bonne capacité de stockage de l'eau et a permis le développement d'une surface importante de végétation de zones humides. La carte de l'occupation du sol à Nançay figure en Annexe 11.

Au sein de la zone humide botanique de 11,6 ha présente sur la moitié sud de la ZIP, on retrouve une mosaïque de prairies atlantiques et subatlantiques humides (E3.41) et de saussaies marécageuses et fourrés des bas-marais à *Salix* (F9.2), plus ou moins colonisées par des habitats non humides tels que des fourrés à pruneliers et ronces (F3.111), des formations tempérées à *Cysticus scorparius* (F3.14) et des plantations de conifères indigènes (G3.F1). Cet ensemble de végétation, bien que dégradé, constitue un habitat de zones humides, et à ce titre, fait l'objet d'une étude d'impact.

L'impact du parc solaire sur la végétation humide pose question car, dans le cadre de la mise en place et de la gestion du projet, il est envisagé un « entretien de la végétation par fauchage mécanique ou éco pâturage, au travers duquel seuls les arbres et arbustes seront retirés (la végétation rase n'est pas enlevée) ». Ainsi, les saussaies marécageuses et fourrés des bas-marais à *Salix* seront supprimés par le projet, mais qu'en est-il de l'impact sur les prairies atlantiques et subatlantiques humides ? Un habitat végétal herbacé peut-il prospérer à long terme malgré l'implantation de panneaux photovoltaïques ? Pour répondre à ces questions, il convient de s'intéresser au suivi du parc du Vieux Domaine.

En effet, mis en service depuis début 2020, la centrale solaire de la ZAC du Vieux Domaine offre la possibilité de constater l'évolution à moyen terme du couvert végétal sur un parc photovoltaïque au sol. En 2014, l'étude d'impact réalisée sur le site permet de disposer de données sur l'occupation du sol avant-projet : le site d'étude était majoritairement occupé par une friche herbacée (CCB : 87.1), localement agrémentée de prairies à joncs et communautés associées (CCB : 37.2), de fourrés (CCB : 31.8) ainsi que de saussaies (CCB : 44.9).

Or, d'après le suivi réalisé par THEMA Environnement en 2023, le site est aujourd'hui occupé en grande partie par une jonchaie (Figure 8), ainsi que par plusieurs espèces de zones humides (Cf. Relevé botanique partiel en Annexe 13). Par rapport à l'habitat humide initial, on constate une forte expansion de la jonchaie, probablement liée à la suppression de l'enfrichement et à l'ouverture du milieu. A la date de rédaction de ce rapport, le suivi botanique n'est pas assez avancé pour pouvoir bénéficier de données chiffrées sur les surfaces occupées par l'habitat, néanmoins on estime que celui-ci couvre plus d'un tiers de la surface du parc (contre à peine un cinquième en 2014).

A noter que, le parc étant entretenu par pâturage ovin non intensif (rotation d'une dizaine d'individus sur plusieurs sites), cet itinéraire technique ne semble pas non plus délétère pour les habitats humides.



Figure 8 : Jonchaie entre et sous les panneaux du parc du Vieux Domaine (THEMA Environnement, 2023)

Concernant la faune amphibienne, en 2014, plusieurs individus de Grenouille verte (*Rana kl. esculenta*) et de Triton palmé (*Lissotriton helveticus*) avaient été identifiées avant projet au sein ou à proximité du site d'étude. Tous les amphibiens sont protégés au niveau national au titre de l'arrêté du 19 novembre 2007, notamment le Triton palmé, qui est inscrit à l'article 3 de ce même arrêté. Lors de la première prospection de 2023, une douzaine de Tritons palmés ont été contactés sur le site d'étude, ainsi qu'une Grenouille agile (*Rana dalmatina*) et 6 Crapauds calamites (*Epidalea calamita*). La présence de ces espèces indique le bon fonctionnement des habitats présents sur le site après projet, et même une augmentation de l'attractivité du site pour les amphibiens (néanmoins cet aspect devra être confirmé avec les données des autres passages de l'inventaire).

En somme, on constate une **modification des habitats naturels engendrée par la mise en place du parc photovoltaïque**, bien que celle-ci ne semble pas délétère aux habitats herbacés ou semi-aquatiques. Au contraire, l'inventaire faunistique réalisé semble attester d'une plus grande fonctionnalité des habitats retrouvés sur le site pendant la phase d'exploitation du parc. Toutefois, se pose la question de l'équivalence en termes de diversité d'espèces faunistiques et floristiques (au moment de la rédaction de ce rapport, le suivi du parc du Vieux Domaine n'est pas suffisamment abouti pour pouvoir disposer de ces données). Concernant notamment l'avifaune, on pressent une attractivité du site moindre, liée à la disparition d'habitats. Toutefois, cet aspect ne concerne pas directement les zones humides.

3.3. Choix des mesures ERC

3.3.1. Évitement et réduction

Concernant Bridoré, l'état d'avancement du projet au moment de la réalisation du diagnostic n'a pas permis la mise en place de mesures d'évitement. En revanche, le parc de Nançay n'étant pas figé au sein de la ZIP, il a été possible de **revoir son emprise de manière à éviter les éléments les plus sensibles** sur le site (Figure 9).



Figure 9 : Évolution de la zone projet au sein de la ZIP à Nançay

En l'occurrence, dès la première version de la ZIP, il a été choisi de conserver la mare présente au centre du site (expliquant l'encoche visible au nord de la zone d'implantation). De plus, la volonté de conserver les habitats de fourrés présents au nord de la zone d'implantation V1 a justifié la proposition d'une zone d'implantation V2, tirant profit du faible intérêt écologique de la plantation de conifères au sud-est du site et de l'absence de zone humide.

A noter que, comme mentionné précédemment, la zone d'implantation de Nançay est localisée au sud de la ZIP, sur un **espace déjà dégradé** par l'exploitation de la carrière. Ce choix de privilégier un espace dégradé pour l'implantation d'un projet d'aménagement constitue également une mesure d'évitement et est recommandé par France Nature Environnement (MATHIEN, A. et al., 2022).

Lors de la conception du projet, une attention particulière est portée sur la configuration naturelle du site (lignes topographiques, caractéristiques morphologiques, etc.), de manière à **éviter toute opération de terrassement** (décapage, décaissement, remblais, etc.) et **minimiser autant que possible le défrichement** engendré par l'entretien du parc ou les obligations légales de défrichement. En effet, de manière à limiter les risques d'incendie et préserver la ressource forestière, l'implantation d'un aménagement implique de supprimer la végétation herbacée, les fourrés et certains arbres sur une profondeur de 50 mètres (voire 100 mètres selon la commune) autour des équipements.

Concernant les mesures de réduction, il est généralement opté un système de **fondations à base de pieux en acier battus**, enfoncés ou vissés dans le sol, bien moins impactant pour le milieu qu'une semelle en béton (Cf. exemple de la ZAC du Vieux Domaine, Partie 3.2.2). Le choix d'enfouir ou non le réseau électrique permet également de limiter la surface de sol impactée. A Vieux Domaine par exemple, les câbles entre panneaux sont en partie aériens, fixés sous les tables, et rejoignent le sol au niveau des pistes lourdes en bout de rangée, pour atteindre les locaux techniques.

Selon l'ampleur des opérations envisagées et la nature du terrain d'étude, il convient aussi **d'adapter les techniques et le matériel utilisé** sur le site, de manière à limiter l'impact sur le milieu. Dans le cas d'un étrépage par exemple, on privilégiera lorsque cela est possible l'utilisation d'une mini-pelle, plutôt que d'une tractopelle ou d'une pelleteuse. Le **choix de la période de travaux** est également déterminant. Ainsi on préférera planifier les opérations en dehors de la période de reproduction ou de végétation des espèces cibles, et éviter les saisons de hautes eaux (liées à une faible portance du sol).

Une autre manière de réduire l'impact du parc solaire sur le milieu pendant la phase d'exploitation est d'opter pour une **gestion de la végétation par pâturage**, comme c'est le cas à Nançay et à Vieux Domaine. Recommandé par le « *Guide technique d'aménagement et de gestion des zones humides du Finistère* », publié par le Conseil général du Finistère en 2012, le pâturage, lorsqu'il n'est pas intensif, permet d'allier l'objectif de production fourragère avec celui de gestion et de préservation des milieux, notamment humides (CERESA, 2012). Dans tous les cas, l'objectif est de maintenir un couvert végétal permanent sur le site.

Dans la même optique, la **gestion choisie pour les pistes légères** peut également constituer une mesure de réduction. En effet, en addition aux pistes lourdes (qui doivent être renforcées pour permettre l'accès aux engins), des pistes légères se trouvent sur la périphérie du site. Celles-ci ne nécessitent pas la réalisation d'un décaissement et peuvent, lorsqu'elles sont entretenues convenablement, être transparentes vis-à-vis des habitats de prairie humide. La réutilisation de chemins existants pour la réalisation des pistes est également conseillée.

3.3.2. Compensation

Pour rappel, lorsque les mesures d'évitement et de réduction ne suffisent pas à pallier l'impact du projet, il est nécessaire de concevoir des mesures de compensation. Celles-ci doivent permettre d'apporter une équivalence fonctionnelle par rapport à la perte identifiée, voire dans la plupart des cas, une plus-value fonctionnelle, de manière à pallier l'incertitude de réussite des mesures.

Il n'apparaît pas pertinent de lister ici les mesures compensatoires pouvant être mises en place dans le cadre des projets photovoltaïques puisque celles-ci doivent être conçues au cas par cas selon le terrain d'étude, ses potentialités, et surtout l'impact estimé. Néanmoins, de nombreux outils existent pour faciliter la description de solutions techniques, comme le guide technique du Finistère (CERESA, 2012), qui a servi de base pour l'élaboration des mesures compensatoires de Nançay et Bridoré.

Que ce soit à Nançay ou à Bridoré, le principal impact supposé du parc sur le milieu est l'altération du couvert végétal permanent et la suppression d'une partie de la strate arbustive. Pour pallier cette perte, il a été proposé à Bridoré sur une surface d'environ 580 m² la **mise en place d'une mare**, entourée d'une ceinture d'hélophytes, ainsi que la création d'un talus discontinu surmonté d'une haie arbustive. Entre les différents éléments de cette mesure, la culture occupant initialement le site de compensation sera remplacée par une prairie de fauche humide. L'objectif final de la mesure est de permettre une diversification des habitats d'une part, et de limiter l'érosion des sols en freinant les écoulements de surface.

Ci-dessous figure une vue en coupe de l'ensemble de ces éléments, issue de la fiche de l'Annexe 14.

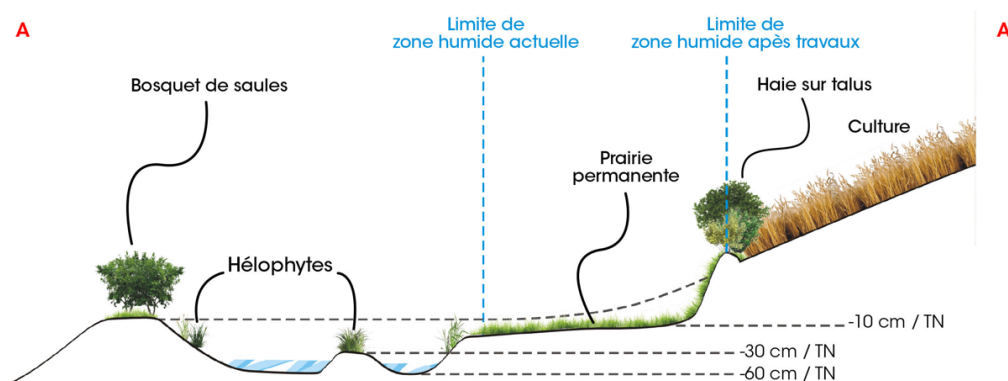


Figure 10 : Vue en coupe de la mesure compensatoire ZH n°1 à Nançay (THEMA Environnement, 2023)

A Nançay, en plus de la création d'un chapelet de mares, est envisagée par exemple la **restauration de deux plans d'eau** situés sur la moitié nord du site. En effet, ces deux pièces d'eau, caractérisées par des berges abruptes et une forte profondeur, constituent à l'heure actuelle un milieu peu favorable au développement d'une faune et d'une flore de zones humides. La mesure compensatoire vise à écraser les berges des deux plans d'eau, le tout sur une surface d'environ 4600 m², de manière à recréer des zones humides de type mare et accroître les fonctionnalités du milieu.

Ci-dessous figure une vue en plan des contours des mares au droit des deux plans d'eau, superposées à l'orthophotographie actuelle. La fiche complète de la mesure se trouve en Annexe 15.



Figure 11 : Vue en plan de la mesure compensatoire ZH n°3 à Nançay (THEMA Environnement, 2023)

Afin de garantir la pérennité ainsi que la faisabilité technique et foncière des mesures, il est crucial d'en définir précisément la localisation, la gestion (via par exemple un plan de gestion qui précise clairement les modalités et la durée de gestion des espaces) et le suivi envisagé.

Toute la difficulté de l'exercice réside dans le choix des indicateurs qui permettront d'évaluer les pertes et les gains fonctionnels sur le milieu. L'utilisation de la MNEFZH par exemple, aujourd'hui admise par les services de l'État, a mis en lumière un nombre important de limites lors de son application qui peuvent grandement nuire à la notation.

4. Discussion

4.1. Limites de l'étude

Les premières limites rencontrées dans le cadre de l'évaluation des zones humides apparaissent au stade de **délimitation des zones humides pédologiques** (la délimitation des zones humides botaniques ne constituant pas le sujet de ce stage).

Tout d'abord, l'étude des sols repose généralement sur l'établissement d'un devis en amont de l'étude avec un nombre de points de sondage fixe, nécessitant de construire rigoureusement le plan d'échantillonnage du site avant les prospections (au détriment d'une délimitation plus précise du milieu). Dépendamment de la nature des sols, certains peuvent être particulièrement difficiles à interpréter (notamment les cas particuliers mentionnés par l'arrêté du 24 juin 2008), générant un risque d'erreur dans les résultats. Pareillement, il arrive parfois de retrouver des traces d'hydromorphie fossile, correspondant à une hydromorphie passée qui ne doit pas être considérée comme actuelle. De ce fait, il est primordial de disposer d'une bonne connaissance du terrain et de ces exceptions avant de conclure sur l'inventaire. Enfin, de par la nature assez subjective des interprétations de sondages (et notamment de la profondeur d'apparition de l'hydromorphie), un biais opérateur considérable existe, d'autant plus lorsque les prospections ont été réalisées par une autre structure et/ou à une date très antérieure (Cf. étude du Vieux Domaine).

Comme mentionné précédemment, des limites ont également été identifiées concernant **l'application de la MNEFZH**.

Le premier point à mentionner est les fonctions qui n'ont pas pu être intégrées dans la méthode lors de sa conception, soit pour des raisons de fiabilité de documentation, soit pour des raisons pratiques. Ainsi, les sous-fonctions de soutien d'étiage ou encore l'interception des MES et produits phytosanitaires ne sont pas évaluées par la méthode. Pareillement, celle-ci n'est pas conçue pour évaluer les zones humides sous influence marine.

Ensuite, plusieurs éléments intrinsèques à la méthode tendent à sous-évaluer les fonctionnalités des milieux ou l'efficacité des mesures compensatoires.

Par exemple, en ce qui concerne le *critère sol*, la profondeur d'apparition et l'intensité de l'hydromorphie rédoxique ne sont pas pris en compte dans la notation. Pourtant, il est évident qu'une remontée ou intensification de l'hydromorphie dans les sols aura un impact bénéfique sur ses fonctionnalités. De la même manière, si l'hydromorphie constatée ne correspond pas aux classes GEPPA des zones humides, elle ne sera pas retenue dans l'évaluation. Dans l'ensemble, si le site étudié ne présente pas de zone humide pédologique (c'est-à-dire, qu'il s'agit uniquement d'une zone humide botanique), ni d'horizon histique marqué, la note du critère sol sera mauvaise.

Au regard du *critère végétation*, les zones humides de milieux ouverts présentent toujours un score plus faible que celles des milieux boisés. Cet aspect, discriminant lorsqu'il est appliqué au territoire français, semble être un reliquat de l'adaptation des méthodes américaines (Cf. Partie 2.1.4). Pareillement, aucune distinction n'est faite entre le score d'un couvert végétal fauché avec export (comme une culture) et celui d'un couvert fauché sans export (dans le cadre de l'entretien d'une prairie de fauche par exemple), pénalisant la notation des mesures de reconversion d'un labour en prairie humide entretenue. A noter également que selon le contexte du site d'étude, certains indicateurs peuvent apparaître comme antagonistes. En effet, un site d'étude boisé au sein d'un contexte très agricole obtiendra une note faible en ce qui concerne sa similarité au paysage, et tendra à donner une impression de dégradation du milieu, alors que c'est plutôt le paysage entourant le site qui est

dégradé. Ces nuances nécessitent d'adopter un regard critique sur les résultats de la MNEFZH et d'apporter une argumentation supplémentaire dans les comptes rendus.

Par ailleurs, la *taille minimale* des zones humides et habitats pris en compte par la méthode a également constitué un frein dans l'évaluation des sites de Nançay. En effet, il est impossible de renseigner dans le tableur une zone humide de surface inférieure à 156 m². Le guide technique conseille alors de regrouper plusieurs entités de zones humides dans la même évaluation, mais cette solution n'apparaît pas pertinente lorsque les zones humides ont des fonctionnements différents (par exemple une zone humide riveraine des étendues d'eau et une zone humide alluviale).

Enfin, la prise en compte de la *fonction de biodiversité* apparaît très limitée dans la MNEFZH. Les espèces faunistiques et floristiques sont renseignées sous forme de listes dans le tableur (en fonction des textes de protection qui les encadrent) sans traitement ou utilisation réelle de la donnée. Il apparaît également très difficile de simuler l'arrivée d'une espèce sur le site, à moins que celle-ci ne soit intégrée à une mesure d'introduction.

4.2. Solutions alternatives

Afin de limiter les impacts générés sur les milieux naturels, tout en répondant aux objectifs de production d'énergie, des solutions alternatives aux parcs photovoltaïques au sol existent. Encore méconnues du grand public et des aménageurs, certaines présentent pourtant des résultats encourageants et doivent être envisagées dans le cadre des projets futurs :

- **L'agrivoltaïsme** est un terme qui peut être utilisé lorsque des panneaux photovoltaïques sont installés sur une parcelle de production agricole avec pour objectif de la protéger contre les aléas climatiques et les divers stress abiotiques. Attention, l'objectif de production photovoltaïque apparaît alors comme secondaire et doit soutenir la production agricole (même si l'ADEME envisage plutôt le dispositif comme une « synergie » entre les deux productions). Dans ce système, les panneaux sont conçus pour être « pilotables en temps réel » et s'orienter en fonction des besoins en eau ou en lumière des plantes. Ce système est largement déployé en Asie et est expérimenté en France depuis quelques années, soutenu notamment par l'ADEME (MATHIEN, A. et al., 2022).
- Le **photovoltaïque flottant** est également une alternative émergente de plus en plus populaire auprès des acteurs du solaire. De manière à limiter les conflits d'usage des sols, les panneaux photovoltaïques sont montés sur des flotteurs et installés au sein des lacs et plans d'eau. Selon les premières expérimentations, le rendement énergétique et les coûts d'installation des structures aquatiques seraient plus intéressants que ceux des structures terrestres. De manière à éviter un impact sur la biodiversité et les usages, il est possible d'utiliser les plans d'eau des carrières désaffectées et autres bassins inexploités (MATHIEN, A. et al., 2022).
- Enfin, il convient également de favoriser un **équilibre du photovoltaïque au sol et du photovoltaïque sur toitures**, notamment en **tirant profit de la surface importante de toitures et de zones délaissées** présentes sur le territoire (sans pour autant faire concurrence aux surfaces agricoles utiles). Dans cette optique, la loi Énergie Climat a autorisé en novembre 2019 « la construction de panneaux solaires aux abords des autoroutes et routes express ». Ainsi, il devient possible d'envisager la construction de dispositifs solaires sur les délaissés de voirie, mais également au sein des aires de repos, de service ou encore de stationnement (sous forme d'ombrières par exemple). Toutefois, il convient de mentionner que dans le cas du photovoltaïque sur bâtiment, des contraintes techniques et réglementaires spécifiques supplémentaires doivent être prises en compte (MATHIEN, A. et al., 2022).

Conclusion

Les 6 mois de stage passés au sein de THEMA Environnement m'ont permis de comprendre en quoi consiste la prise en compte des zones humides dans le cadre des projets énergies renouvelables, en particulier en ce qui concerne les projets photovoltaïques.

Cet exercice nécessite d'avoir une bonne compréhension du cadre théorique et réglementaire qui encadre ces milieux, et également d'être familier avec les outils utilisés. La MNEFZH, reconnue en France pour l'évaluation des zones humides, est une méthode qui permet de caractériser de manière efficace les fonctionnalités d'une zone humide, les pertes fonctionnelles engendrées par un projet sur le milieu, ainsi que les gains fonctionnels apportés par la mise en place de mesures compensatoires. Néanmoins, elle comporte également des limites, notamment vis-à-vis des critères écologiques, qui rendent son interprétation complexe. A ce jour, aucun autre outil adapté au territoire français ne semble être suffisamment développé pour pouvoir remplacer ou seconder la MNEFZH de l'ONEMA.

Une piste de réflexion pour aller plus loin dans ce travail pourrait être la constitution d'une nouvelle méthode d'évaluation des zones humides, éventuellement ciblée sur les projets énergies renouvelables, s'intéressant plus directement et précisément à l'impact des projets sur le couvert végétal du site. En effet, l'altération de la zone humide pédologique semble être négligeable du moment que les itinéraires techniques retenus par les porteurs de projet sont respectueux de l'environnement. Celui sur les zones humides botaniques en revanche, est encore assez méconnu et présente des perspectives de cohabitation intéressantes entre les aménagements et le milieu naturel.

A titre personnel, cet exercice fut l'opportunité d'en apprendre davantage sur le processus de délimitation des zones humides (surtout pédologiques), mais également de découvrir les quatre autres phases d'évaluation de ces milieux, incluant une première approche des techniques de génie écologique. Ces 6 mois furent également l'occasion de développer mes capacités d'analyse, de synthèse et de rédaction au travers des études de délimitation des zones humides, des études d'impacts et des dossiers loi sur l'eau auxquels j'ai participé. Enfin, j'ai aussi apprécié pouvoir découvrir d'autres domaines en accompagnant les chargés d'études naturalistes sur des inventaires floristiques et faunistiques, impliquant des méthodes de travail assez différentes des études pédologiques.

Les principales difficultés rencontrées au cours de ce stage concernent les tout premiers mois d'exercice, au cours desquels une conséquente remise à niveau fut nécessaire. En effet, outre le temps d'adaptation aux méthodes de travail du bureau d'études, mon manque de connaissances concernant la géologie, les sols et les processus pédologiques a constitué une difficulté supplémentaire à mon arrivée. Néanmoins, l'encadrement dont j'ai bénéficié m'a permis de rapidement assimiler les notions de base nécessaires pour mener les études zones humides. Sur le plan physique, le travail de terrain était également assez exigeant les premières semaines, malgré le fait d'avoir été fortement ménagée par mes collègues. Toutefois, la réalisation de prospections sur le terrain est toujours appréciée puisqu'elle permet de se rendre compte de la réalité des milieux étudiés.

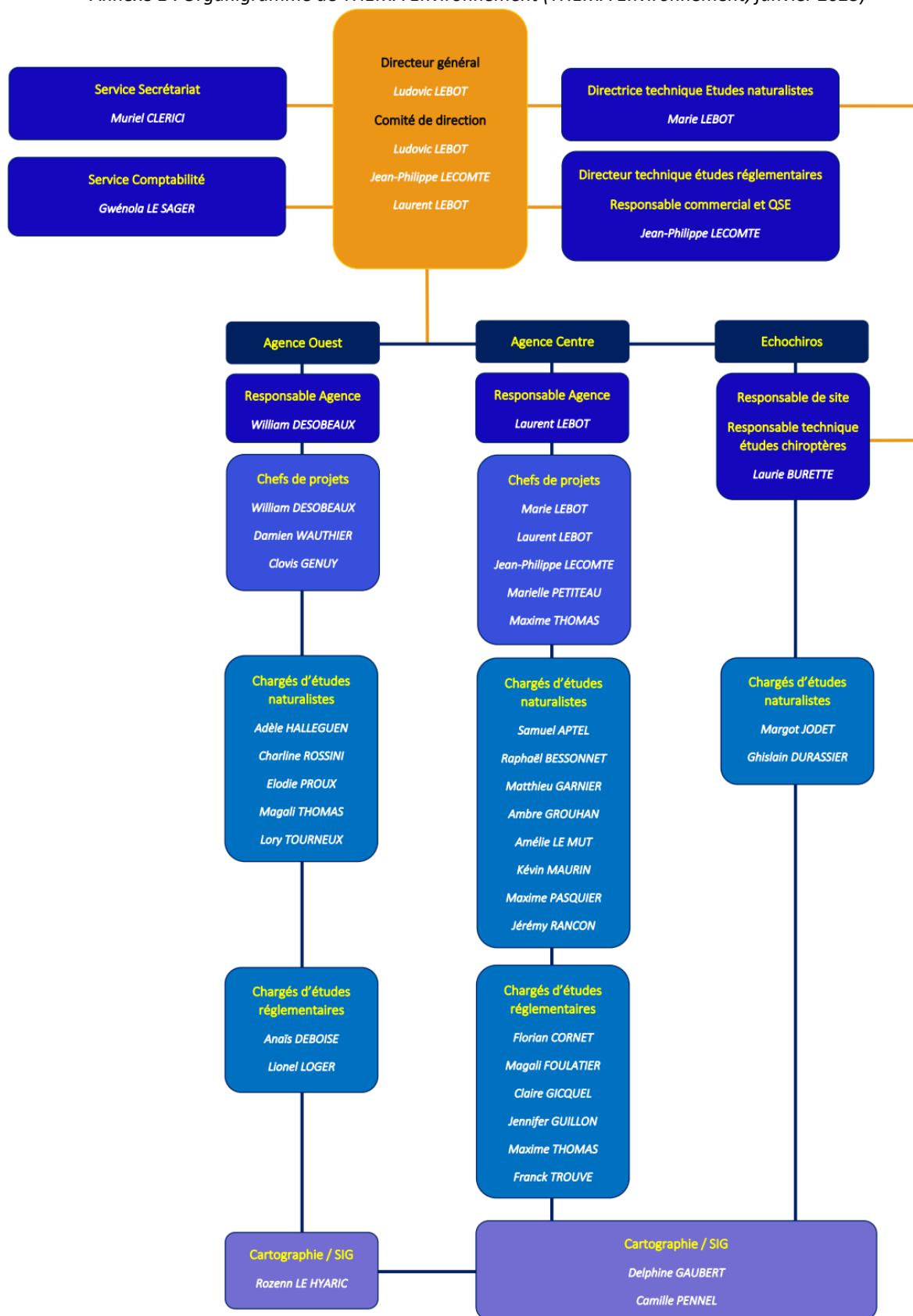
Une fois diplômée, j'aspire à continuer de travailler autour des zones humides, sur l'aspect pédologique, mais également de développer mes connaissances en botanique, de manière à pouvoir proposer une expertise complète de ces milieux. La réalisation d'inventaires faunistiques au sein des zones humides, même partiels, serait un plus que j'aimerais pouvoir apporter à long terme. De ce fait, un poste de chargé d'études en bureau d'études me semble être le type de structure le plus adapté.

Bibliographie

- ALLIGAND, G. et al. (2018). *Évaluation environnementale - Guide d'aide à la définition des mesures ERC*. Cerema, Commissariat général au développement durable. La Défense cedex: Service de l'économie, de l'évaluation et de l'intégration du développement durable. Consulté le 05 30, 2023, sur <https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Th%C3%A9ma%20-%20Guide%20d%E2%80%99aide%20%C3%A0%20la%20d%C3%A9finition%20des%20mesures%20ERC.pdf>
- BERNARD, P. (1994). *Les zones humides*. Paris: La Documentation française. Consulté le 04 28, 2023, sur http://www.zones-humides.org/sites/default/files/a9r8.tmp_.pdf
- CERESA. (2012). *Guide technique d'aménagement et de gestion des zones humides du Finistère*. Conseil général du Finistère, Service des espaces naturels et des paysages. Quimper cedex: Conseil général du Finistère. Consulté le 07 12, 2023, sur http://www.zoneshumides29.fr/telechargement/GTAGZH_Complet_032012.pdf
- DEVAUZE, C. et al. (2019). Etat de l'art des impacts des énergies renouvelables sur la biodiversité, les sols et les paysages, et des moyens d'évaluation de ces impacts. 58. Consulté le 07 10, 2023, sur <https://bibliothèque.ademe.fr/energies-renouvelables-reseaux-et-stockage/17-etat-de-l-art-des-impacts-des-energies-renouvelables-sur-la-biodiversite-les-sols-et-les-paysages-et-des-moyens-d-evaluation-de-ces-impacts.html>
- FENESSY, S. et al. (2004). *Review of Rapid Methods for Assessing Wetland Condition*. Environmental Monitoring and Assessment Program, Delaware Department of Natural Resources and Environmental Control, Biology Department, Corvallis. Consulté le 28 04, 2023, sur <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/P1003GXN.TXT?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=2000+Thru+2005&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=0&XmlQuery=>
- FENESSY, S. et al. (2007, Septembre). An evaluation of rapid methods for assessing the ecological condition of wetlands. *WETLANDS*, 27(3), pp. 543-560. Consulté le 04 28, 2023, sur https://www.researchgate.net/publication/225664104_An_evaluation_of_rapid_methods_for_assessing_the_ecological_condition_of_wetlands
- GAUCHERAND, S. et al. (2015, Avril). The Cultural Dimensions of Freshwater Wetland Assessments : Lessons Learned from the Application of US Rapid Assessment Methods in France. *Environmental Management*, pp. 246-259. Consulté le 04 28, 2023, sur https://www.researchgate.net/publication/274998547_The_Cultural_Dimensions_of_Freshwater_Wetland_Assessments_Lessons_Learned_from_the_Application_of_US_Rapid_Assessment_Methods_in_France
- GAYET, G. et al. (2016a). *Méthode nationale d'évaluation des fonctions des zones humides – version 1.0. Fondements théoriques, scientifiques et techniques*. Rapport SPN 2016-91, Onema, MNHN. Consulté le 05 02, 2023, sur <https://inpn.mnhn.fr/docs-web/docs/download/247392>
- GAYET, G. et al. (2016b). *Guide de la méthode nationale d'évaluation des fonctions des zones humides - version 1.0*. Onema, collection Guides et protocoles. Consulté le 05 02, 2023, sur <http://zones-humides.org/sites/default/files/images/methode%20ZH/guidezh-complet.pdf>
- GAYET, G. et al. (2017, Septembre 4). Une méthode nationale pour évaluer les fonctions des zones humides dans le cadre de la compensation écologique des impacts. *Sciences Eaux & Territoires*(24), pp. 60-65. Consulté le 05 02, 2023, sur <https://revue-set.fr/article/view/6746>
- MATHIEN, A. et al. (2022). *Photovoltaïque Enjeux & Impacts*. Paris: France Nature Environnement. Consulté le 07 10, 2023, sur https://ged.fne.asso.fr/silverpeas/services/sharing/attachments/kmelia243/e293a056-4653-44f7-aac1-3e5b5d82f817/6693f9fa-2bb6-498d-b718-145f06ca14a1/FNE_Photoscope_Synth%C3%A8se-bibliographique.pdf
- MECHIN, A. et al. (2016). *Une méthode expérimentale pour évaluer rapidement la compensation en zone humide - La méthode MERCIe : principes et*. Rapport final, ONEMA. Consulté le 05 02, 2023, sur <https://ecommed.fr/wp-content/uploads/2018/11/rapport-methode-mercie.pdf>
- RIVERAIN, C. et al. (2011-2012). *Les Méthodes d'Évaluation Rapides des zones humides américaines et leur transposabilité au territoire français dans le cadre de mesures compensatoires*. Rapport de Projet de Fin d'Etudes, Polytech Tours, Département Aménagement, Tours. Consulté le 04 28, 2023, sur http://www.applis.univ-tours.fr/scd/EPU_DA/2012PFE_Riverain_Salinesi.pdf
- SCHWOERTZIG, E. (2011). *Sélection d'indicateurs appropriés à la définition d'échelles d'équivalence écologique : Analyse de la pertinence de méthodes d'évaluation développées pour les zones humides aux Etats-Unis et appliquées au département de l'Isère*. Rapport de stage de Master 2ème année, Laboratoire d'Ecologie Alpine UMR 5553 du CNRS, Grenoble. Consulté le 04 28, 2023, sur <https://admin.robvq.qc.ca/uploads/73020687a913ccdf333328e0f245917.pdf>

Annexes

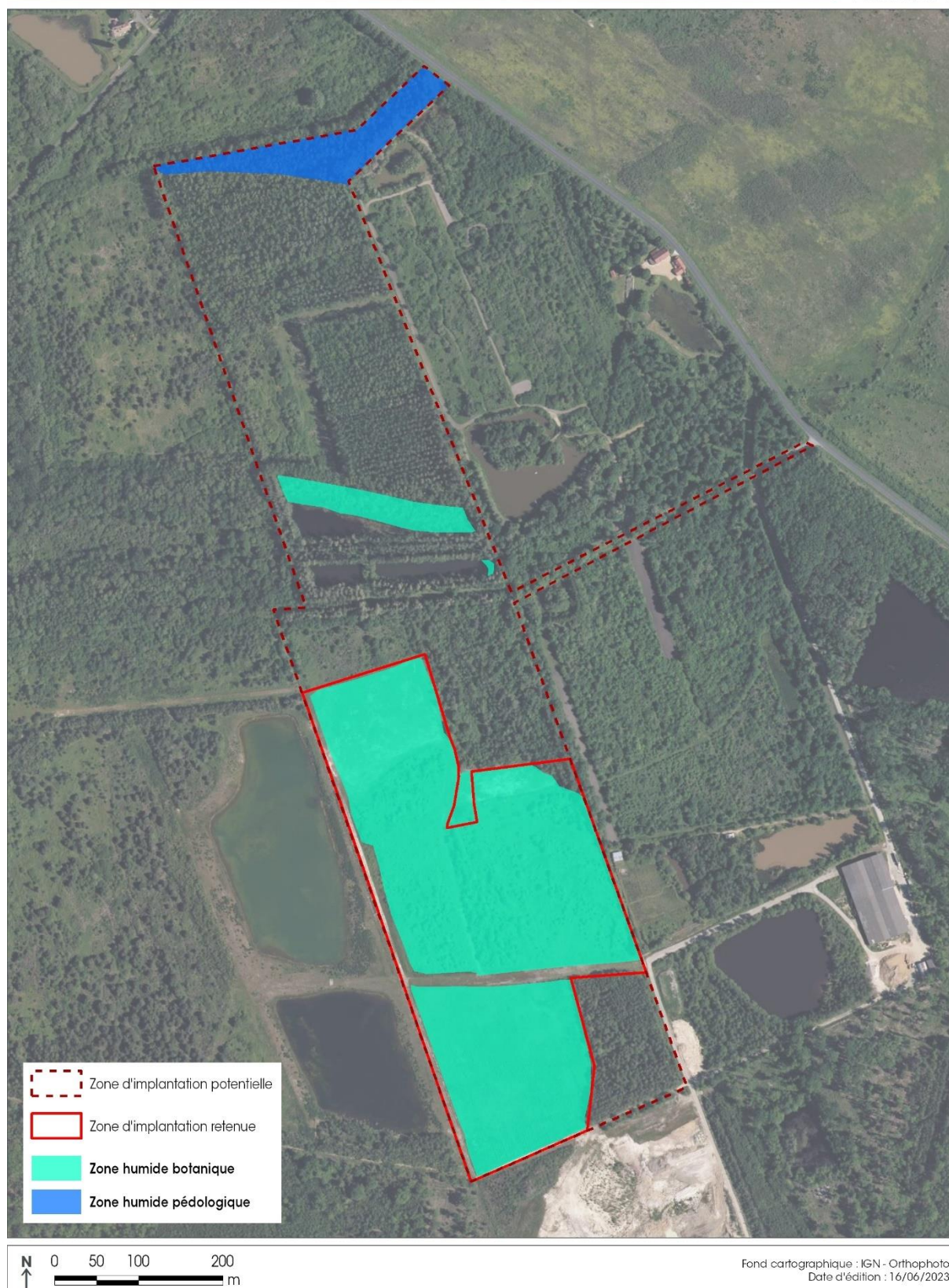
Annexe 1 : Organigramme de THEMA Environnement (THEMA Environnement, janvier 2023)







ZONES HUMIDES RÉGLEMENTAIRES



Annexe 5 : Localisation de la zone d'étude dans le territoire élargi du Vieux Domaine (THEMA Environnement, 2023)





0 25 50 m

Fond cartographique : IGN - Orthophoto
Date d'édition : 12/06/2023
Auteur : A. MONTJAUX



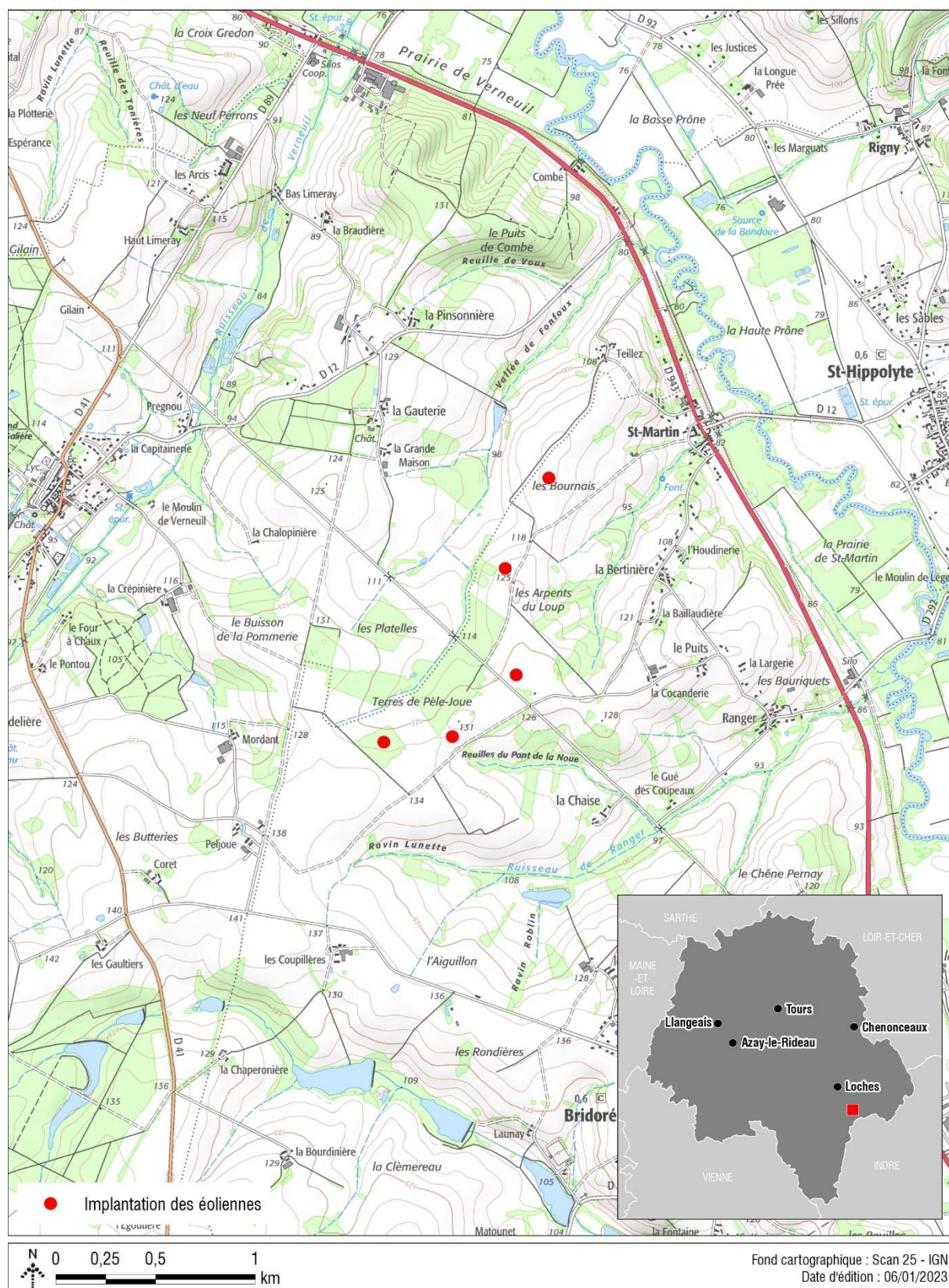
0 25 50 m



Fond cartographique : IGN - Orthophoto
Date d'édition : 12/06/2023
Auteur : A. MONTJAUX

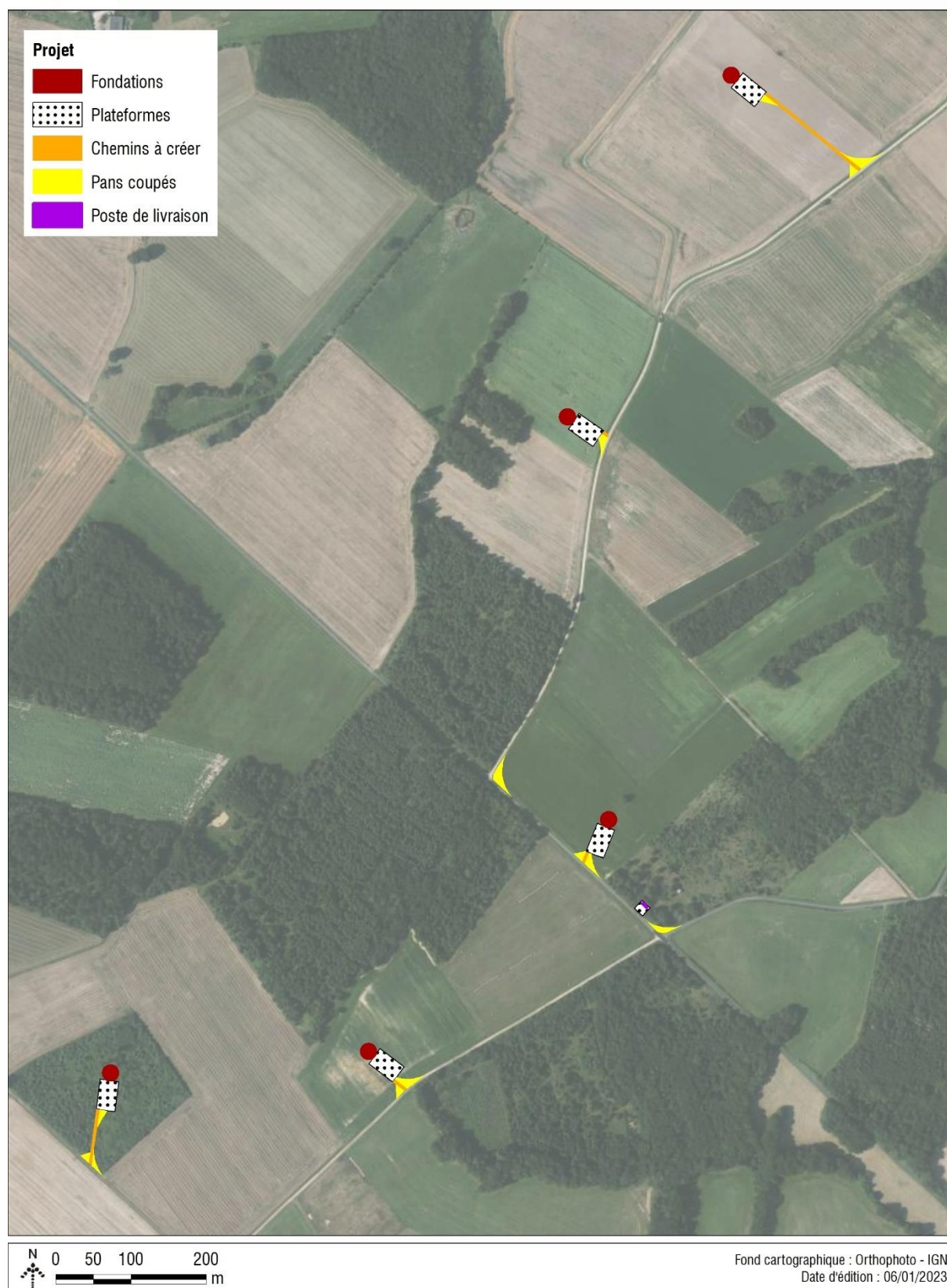


LOCALISATION DU PROJET





VUE AÉRIENNE DU PROJET

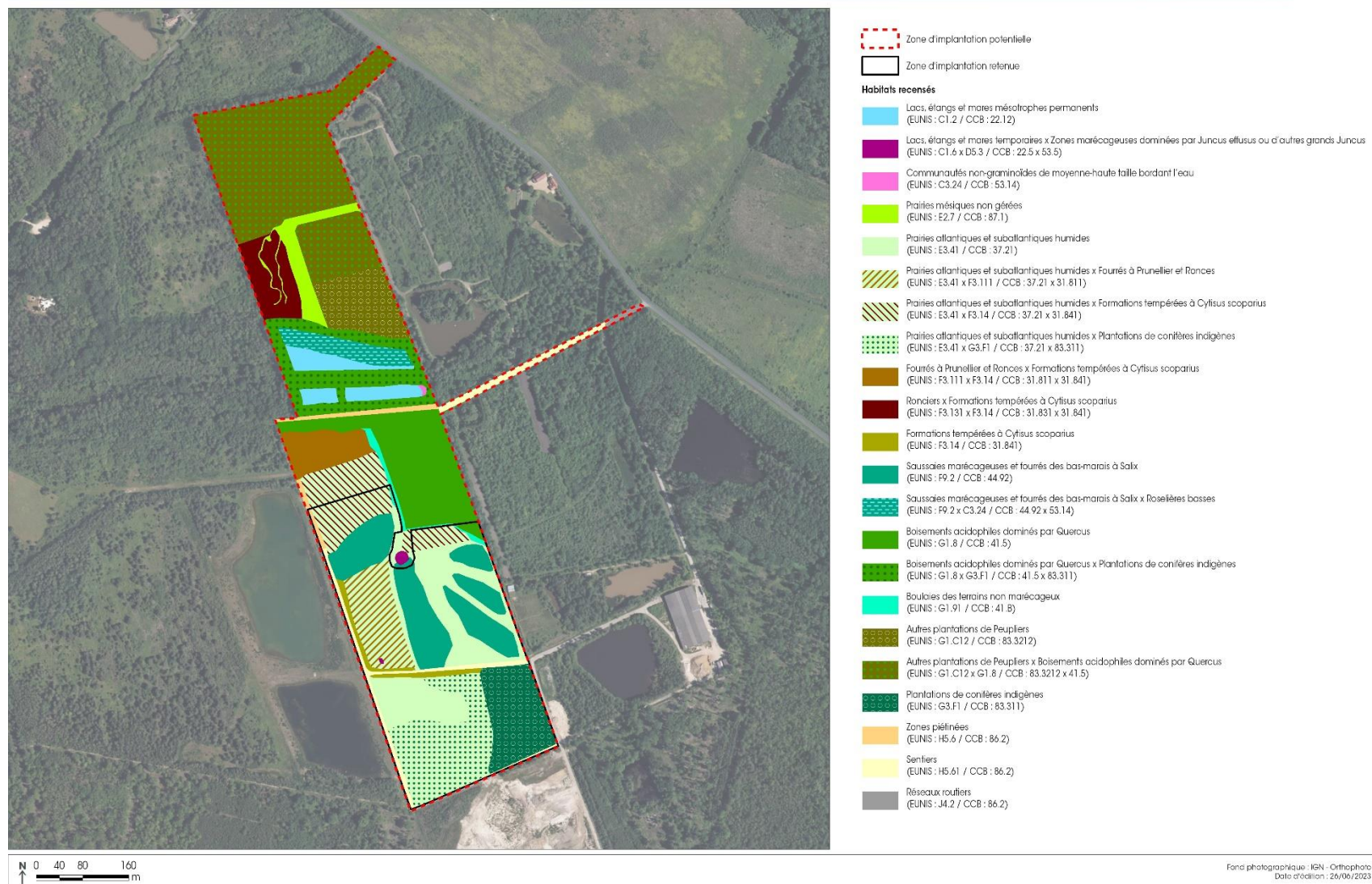




ZONE HUMIDE PÉDOLOGIQUE



OCCUPATION DU SOL



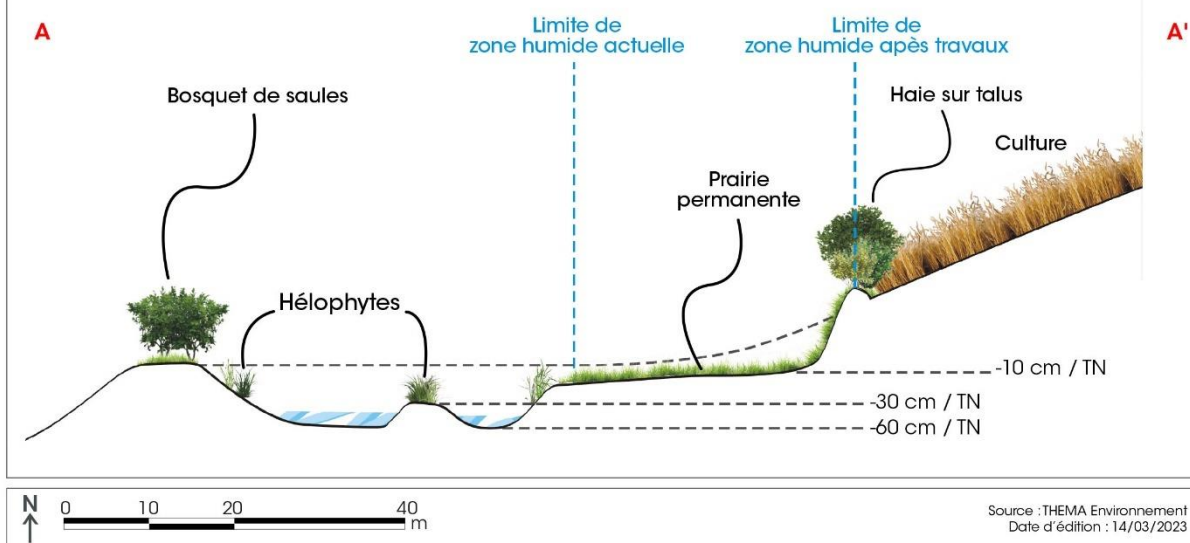
Annexe 12 : Occupation du sol de la ZAC du Vieux Domaine avant-projet, issu de l'étude d'impact (INGEROP C&I - Sun'R, 2014)



Annexe 13 : Relevé botanique partiel – Suivi du parc du Vieux Domaine (THEMA Environnement, 2023)

Nom scientifique	Nom français	ZH	Protection nationale	Protection régionale	Liste rouge France	Liste rouge régionale
Agrostis stolonifera	Agrostis stolonifera	X	-	-	LC	LC
Alopecurus gerardi	Alopecurus gerardi	-	-	-	LC	-
Amaranthus deflexus	Amaranthus deflexus	-	-	-	NA	NA
Bellis perennis	Bellis perennis	-	-	-	LC	LC
Cardamine hirsuta	Cardamine hirsuta	-	-	-	LC	LC
Cardamine pratensis	Cardamine pratensis	X	-	-	-	LC
Cerastium glomeratum	Cerastium glomeratum	-	-	-	LC	LC
Cirsium vulgare	Cirsium vulgare	-	-	-	LC	LC
Cytisus scoparius	Cytisus scoparius	-	-	-	LC	LC
Dactylis glomerata	Dactylis glomerata	-	-	-	LC	LC
Dipsacus fullonum	Dipsacus sativus	-	-	-	NA	-
Ervilia hirsuta	Ervilia hirsuta	-	-	-	LC	LC
Galium album	Galium album	-	-	-	LC	DD
Holcus lanatus	Holcus lanatus	-	-	-	LC	LC
Hypericum perforatum	Hypericum perforatum	-	-	-	LC	LC
Juncus conglomeratus	Juncus conglomeratus	X	-	-	LC	LC
Juncus effusus	Juncus effusus	X	-	-	LC	LC
Medicago arabica	Medicago arabica	-	-	-	LC	LC
Plantago lanceolata	Plantago lanceolata	-	-	-	LC	LC
Poa annua	Poa annua	-	-	-	LC	LC
Poa pratensis	Poa pratensis	-	-	-	LC	LC
Potentilla reptans	Potentilla reptans	-	-	-	LC	LC
Prunus spinosa	Prunus spinosa	-	-	-	LC	LC
Ranunculus kenzii	Ranunculus kenzii	-	-	-	-	-
Ranunculus repens	Ranunculus repens	X	-	-	LC	LC
Ranunculus sceleratus	Ranunculus sceleratus	X	-	-	LC	LC
Rubus fruticosus	Rubus fruticosus	-	-	-	-	DD
Rumex acetosa	Rumex acetosa	-	-	-	LC	LC
Rumex obtusifolius	Rumex obtusifolius	-	-	-	LC	LC
Senecio vulgaris	Senecio vulgaris	-	-	-	LC	LC
Taraxacum officinale	Taraxacum officinale	-	-	-	LC	-
Veronica persica	Veronica persica	-	-	-	NA	NA

MESURES COMPENSATOIRES ZONES HUMIDES 1

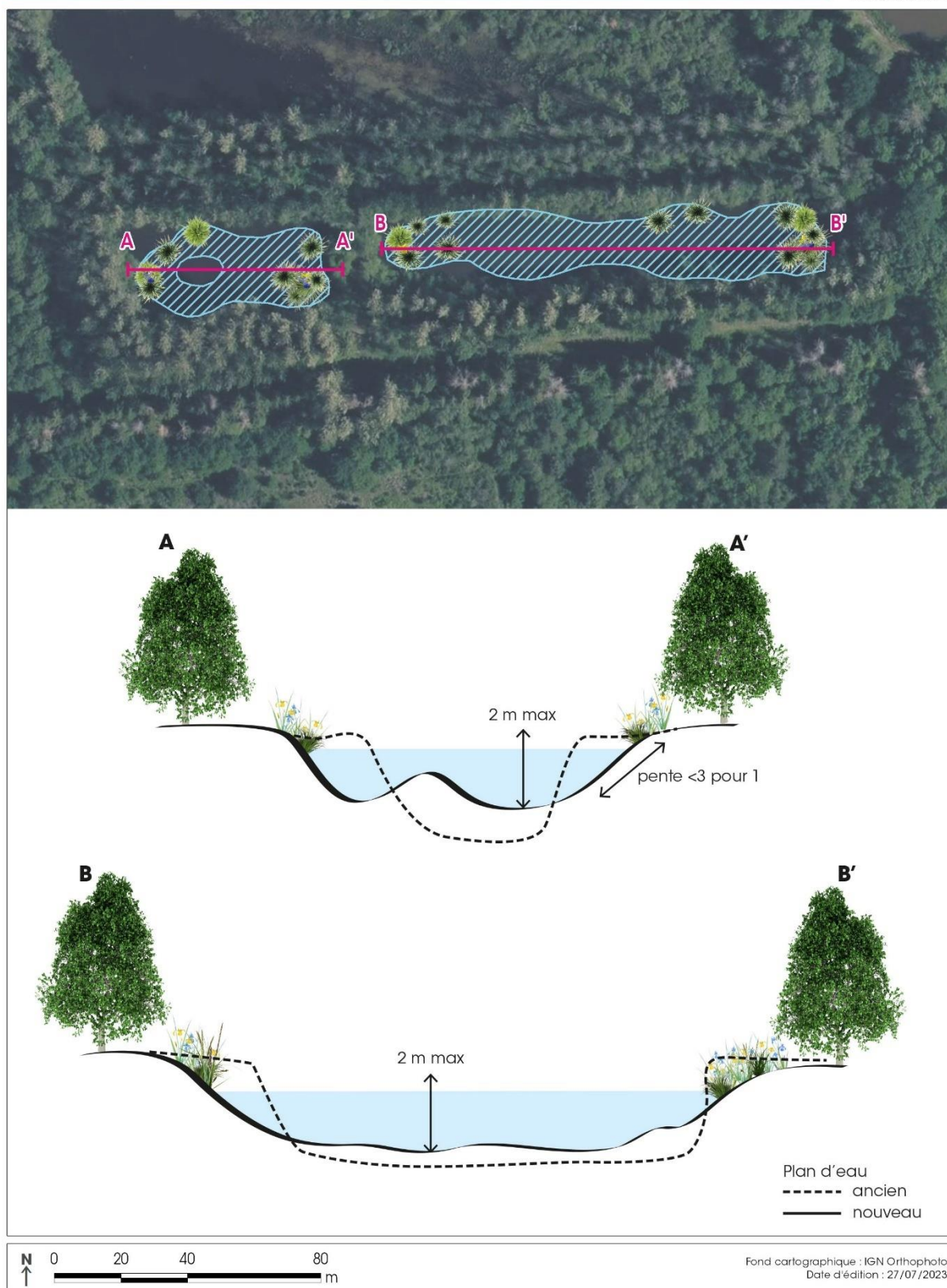


Source : THEMA Environnement
Date d'édition : 14/03/2023



thema
ENVIRONNEMENT

MCZH₃ - RESTAURATION DE PLAN D'EAU





POLYTECH[®]
TOURS

35 ALLÉE FERDINAND DE LESSEPS
37200 TOURS

Anthéa MONTJAUX
2022-2023

Prise en compte des zones humides dans le cadre de projets énergies renouvelables : cas de parcs photovoltaïques

Résumé :

Dans un contexte de promotion des projets d'énergies renouvelables, il est essentiel de travailler à la prise en compte des zones humides. A cet effet, la MNEFZH permet de disposer d'un outil pour évaluer l'équivalence fonctionnelle entre les impacts sur le milieu et les gains apportés par la mise en place de mesures compensatoires. L'objectif de ce rapport est d'apporter un regard critique sur cette méthode et ses limites à travers l'analyse des différents projets étudiés.

Abstract :

In a context of promoting renewable energy projects, it is essential to take wetlands into account. To this end, the MNEFZH provides a tool for assessing the functional equivalence between the impacts on the environment and the gains brought by the implementation of compensatory measures. The aim of this report is to take a critical look at this method and its limitations through an analysis of the various projects studied.

Mots Clés :

Zones humides, projets énergies renouvelables, MNEFZH, photovoltaïque, éolien, pédologie, botanique, MER

Key words :

Wetlands, renewable energy projects, MNEFZH, photovoltaic, wind power, pedology, botany, RAM

THEMA Environnement : 1 mail de la Papoterie
37170 CHAMBRAY-LES-TOURS

Tuteur entreprise : Maxime THOMAS, Chef de projet

Tuteur académique : Francesca DI PIETRO