

**Justine CAPOULADE**

Master 2 - Gestion de l'Environnement parcours Sciences de l'eau  
Université Aix Marseille  
Année Universitaire 2022/23

# RAPPORT DE STAGE DE MASTER

Evaluation de la contribution du projet  
Life Anthropofens aux services liés au  
cycle de l'eau et de l'azote

Stage réalisé au Conservatoire d'Espaces  
Naturels des Hauts-de-France

*Tutorats effectués par Adrien Berquer et Evelyne Franquet*

## REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer ma reconnaissance à mon maître de stage Adrien Berquer, chargé d'études scientifiques Life Anthropofens et docteur en écologie des communautés, qui a su m'accompagner, me former et m'apporter une aide précieuse durant toute la durée du stage. Je le remercie pour la confiance qu'il a pu m'accorder durant ces six mois.

Je remercie également ma tutrice académique, Evelyne Franquet, enseignante chercheuse à l'Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Ecologie marine et continentale, pour avoir accepté d'encadrer mon stage et pour son écoute et ses conseils à plusieurs étapes clés du déroulement du stage.

Je tiens également à remercier les différents interlocuteurs avec qui j'ai pu échanger pendant mon stage, pour l'aide qu'ils ont pu m'apporter. Je remercie l'ensemble de l'équipe du Conservatoire d'espaces naturels des Hauts-de-France pour m'avoir accueillie au sein de la structure et transmis les valeurs de l'association auxquelles je suis particulièrement attachée.

Enfin, j'aimerais remercier mes proches, ma famille et mes amis pour le soutien et l'aide qu'ils m'ont apportés pendant ces six mois.

## Table des matières

1. Introduction.....	1
2. Contextualisation et état de l'art.....	2
2.1. Contexte du stage.....	2
2.1.1. Présentation du projet Life Anthropofens.....	2
2.1.2. La mission du stage.....	5
2.2. Etat de l'art : la notion de Services écosystémiques en lien avec les cycles de l'eau et de l'azote	6
2.2.1. Explication des cycles de l'eau et de l'azote dans les tourbières, des fonctions écosystémiques liées à ces cycles.....	6
2.2.2. Pourquoi parle-t-on de services écosystémiques ?.....	10
2.2.3. Economie environnementale et écologique.....	11
2.3. Etat de l'art de la méthodologie d'évaluation des services écosystémiques.....	11
2.3.1. Méthodes cohérentes pour le projet Européen LIFE.....	11
2.3.2. Méthode des matrices s'intégrant à la MAES.....	12
2.3.3. Méthode de classification CICES pour la définition et le choix des services.....	13
2.4. Hypothèses des résultats attendus.....	13
3. Matériel : Création de la matrice des capacités selon la méthodologie MAES pour répondre à la question posée.....	14
3.1. Identification des questions et des thèmes relatifs à l'étude.....	14
3.2. Identifier les types d'écosystèmes Les types d'écosystèmes et sites du Life évalués	15
3.2.1. Le site Natura 2000 des marais de Sacy-le-Grand (FR2200378).....	15
3.2.2. Le site Natura 2000 de la Moyenne vallée de la Somme (FR2200357).....	16
3.3. Cartographie des types d'écosystèmes.....	17
3.4. Définition de l'état de l'écosystème.....	18
3.5. Identification des SE fournis.....	18
3.6. Sélection d'indicateurs de l'écosystème.....	19
3.7. Sélection d'indicateurs des services écosystémiques.....	19
3.8. Quantification de la fourniture de services écosystémiques.....	20
3.9. Quantification et cartographie de l'état des écosystèmes.....	21
3.10. Dossier final servant à appliquer la méthode.....	21
4. Application de la méthode des matrices pour répondre à la question posée.....	22
4.1. Quantification et cartographie des services écosystémiques.....	22
4.1.1. Experts à contacter d'après la méthode.....	22
4.1.2. Animation de réunions.....	23

4.2. Compilation des éléments dans évaluation intégrée des écosystèmes et diffusion et communication des résultats.....	23
5. Résultats.....	24
5.1. Résultats et mise en forme des données .....	24
5.2. Matrices moyennes .....	24
5.2.1. Matrices récapitulatives des évaluations sur le site de la Moyenne Vallée de la Somme	24
5.2.2. Pour Sacy avant et après avec indices de confiance moyens .....	26
5.3. Résultats statistiques .....	27
5.3.1. L'exploration des données : les matrices de corrélations, les composantes principales et clusters .....	27
5.4. L'analyse statistique des résultats sur la Moyenne Vallée de la Somme et sur les marais de Sacy	36
5.4.1. Tests statistiques sur le site de la MVS.....	36
5.4.2. Tests statistiques sur le site des marais de Sacy .....	37
6. Discussion .....	39
6.1. Analyse des résultats.....	39
6.1.1. Résultat sur le matériel .....	39
6.1.2. Les résultats du traitement statistique sur les deux sites.....	40
6.1.3. Analyse statistique.....	42
6.2. Analyse de la méthode, perspectives d'amélioration et d'applications.....	48
6.3. La notion de services écosystémiques.....	50
7. Conclusion .....	51

## RÉSUMÉ

Le Life Anthropofens est un projet restauration des tourbières basses alcalines des Hauts-de-France et de Wallonie. Neuf structures sont partenaires du projet dont le Conservatoire d'espaces naturels des Hauts-de-France. Ce dernier a fait appel à une stagiaire sur une période de six mois afin d'évaluer la contribution du projet aux services écosystémiques liés au cycle de l'eau et de l'azote.

Dans un premier temps, le stage a consisté à réfléchir à la manière d'appliquer une méthode d'évaluation de la fourniture des services écosystémiques sur les complexes tourbeux des treize sites Natura 2000 concernés par les travaux de restauration. Cette réflexion a nécessité une recherche bibliographique autour de la compréhension de la notion de service écosystémique, du fonctionnement des milieux tourbeux et des méthodes permettant la quantification. L'application de la méthode d'évaluation a nécessité en amont une réflexion sur son adaptation afin qu'elle puisse à la fois être fiable et répliquable sur l'ensemble des territoires évalués et qu'elle réponde aux objectifs de l'évaluation.

Dans un second temps, après avoir sélectionné une liste de 25 services écosystémiques potentiellement fournis par les milieux, une méthode d'évaluation à dire d'experts a été appliquée sur deux sites Natura 2000 : la Moyenne Vallée de la Somme et les Marais de Sacy. L'essai de la méthode sur ces deux territoires a pu mettre en lumière des limites liées à ce type d'évaluation et a introduit une réflexion pour y faire face. Les résultats ont montré que le changement de la mosaïque d'habitats induits par les travaux de restauration avaient un impact significatif sur la fourniture de services écosystémiques de régulation du cycle hydrologique sur les deux sites évalués. Par ailleurs, sur le site de la Moyenne Vallée de la Somme, les services de régulation de la qualité des eaux et du contrôle des déchets, des substances et des produits toxiques sont fournis davantage après les actions de restauration. Le service de contrôle des inondations l'est également.

La méthode sera appliquée dans un an, en 2024, sur le reste des sites Natura 2000 en prenant en compte les premiers résultats produits lors de ce stage.

## ABSTRACT

Life Anthropofens is a project to restore low-alkaline peatlands in Hauts-de-France and Wallonia. Nine organisations are partners in the project, including the Conservatoire d'espaces naturels des Hauts-de-France. The association hired a trainee for a six-month period to assess the project's contribution to ecosystem services linked to water and nitrogen cycles.

Initially, the student involved considering how to apply a method for assessing the provision of ecosystem services on the peat complexes of the thirteen Natura 2000 sites affected by the restoration work. This involved a literature search to understand the concept of ecosystem services, the functioning of peat environments and methods for quantifying them. The application of the assessment method required beforehand consideration of its adaptation so that it could be both reliable and replicable across all the areas assessed, and so that it met the objectives of the assessment.

Secondly, after selecting a list of 25 ecosystem services potentially provided by the natural habitats, an expert assessment method was applied to two Natura 2000 sites : the Moyenne Vallée de la Somme and the Marais de Sacy. The application highlighted the limitations of this type of assessment and how to overcome them. The results showed that the change in the habitat juxtaposition caused by the restoration work had a significant impact on the provision of ecosystem services for regulating the hydrological cycle at the two sites evaluated. At the Moyenne Vallée de la Somme site, the services of regulating water quality and controlling waste, toxic products and substances are more provided after the restoration work. The flood control service is also more effective.

The method will be applied one year later, in 2024, to the rest of the Natura 2000 sites, taking into account the initial results provided during this internship.

# 1. Introduction

Les tourbières alcalines constituent des milieux humides à très forts enjeux mondiaux de régulation climatique et hydrologique. Sur moins de 3 % des terres émergées de la planète, les tourbières concentrent plus de CO<sub>2</sub> que l'ensemble des forêts du globe. Elles apparaissent cependant menacées sur l'ensemble du globe par les perturbations climatiques. À l'échelle mondiale, les tourbières apparaissent majoritairement acides. Il est estimé que les tourbières alcalines ou neutres concernent 26 % des zones humides et 46 % des tourbières. Les marais tourbeux neutro-alcalins sont plutôt rares en Europe de l'Ouest. Par exemple, ils constituent à peine 1 % des tourbières de Grande-Bretagne. Ils sont en revanche majoritaires à l'est de l'Europe notamment en Pologne.

Les vallées de la Somme et de ses affluents constituent le plus vaste réseau tourbeux neutro-alcalin de France. Ce système en vallée constitue un corridor écologique tourbeux de plus de 200 km de long dans le nord de la France. Les premières estimations des surfaces de ces milieux humides tourbeux donnent un ordre de grandeur d'au moins 15 000 ha, les surfaces de tourbières en France, qu'elles soient acides ou alcalines, avoisinant les 275 à 300 000 ha. Celles basses alcalines du bassin de la Somme occupent donc une place importante à l'échelle du réseau écologique des tourbières françaises. (1)

Dans le cadre du master en gestion de l'Environnement parcours Sciences de l'eau dispensé à l'université Aix-Marseille, un stage de six mois s'écoulant de février à juillet 2023 a été fait au Conservatoire d'Espaces Naturels des Hauts-de-France. Ce stage a pour objectifs d'étudier l'impact du projet Life Anthropofens sur le rendement des services écosystémiques liés au cycle de l'eau et de l'azote.

Le projet Life Anthropofens vise la restauration des écosystèmes tourbeux alcalins qui ont été modifiés et exploités par l'Homme au cours des derniers siècles. Il pour objectifs de conserver et restaurer les habitats de tourbières alcalines en optimisant leur fonctionnement éco-hydrologique et de fédérer et sensibiliser les acteurs du territoire autour des enjeux de restauration de ces milieux. La mission s'intègre à ces deux grands objectifs. Le stage est impliqué dans le suivi de l'impact des actions de restauration du projet. Il vise en effet l'évaluation de la contribution du projet de restauration à la fourniture de services écosystémiques et particulièrement ceux liés au cycle de l'eau et de l'azote. Ce sont des services écosystémiques qui sont liés à l'épuration de l'eau, à la régulation du cycle hydrologique et des inondations. Cette évaluation apportera des connaissances scientifiques par l'identification et l'évaluation des services écosystémiques fournis par les complexes tourbeux et permettra de communiquer sur l'impact des actions de restauration sur le bien être humain.

## 2. Contextualisation et état de l'art

### 2.1. Contexte du stage

#### 2.1.1. Présentation du projet Life Anthropofens

##### 2.1.1.1. Les objectifs du programme européen Life et le projet Life Anthropofens

Le Life Anthropofens est un projet de restauration des tourbières alcalines des Hauts-de-France et de Wallonie. Il a été créé à l'initiative du Conservatoire d'Espaces Naturels des Hauts-de-France. Il a pour code LIFE18 NAT/FR/000906. Neuf structures sont partenaires du projet : des associations (CEN Hauts-de-France, la fédération des CEN, CBN de Bailleul, Conservatoire de l'espace Littoral et des Rivages Lacustres, Natagora), des syndicats (Syndicat Mixte Baie de Somme et Grand Littoral Picard, le Syndicat Mixte Oise-Aronde), le Parc naturel régional Scarpe-Escaut, le département de l'Oise. Il est financé par les fonds européen LIFE, les Agences de l'eau Artois-Picardie et Seine-Normandie, l'Office français de la Biodiversité, le Département de l'Oise et la Fondation Coca-Cola. (3)

Le programme Life est un instrument financier de l'Union européenne, créé en 1992 et dédié au soutien de projets innovants dans les domaines de l'environnement et du climat. Plus de 46 000 projets en ont bénéficié en Europe. Les objectifs principaux du programme Européen Life sont l'aide à la réalisation de la transition vers une économie durable et circulaire, basée sur des énergies renouvelables ; la protection, restauration et amélioration de notre environnement ; le ralentissement et l'inversion de la perte de biodiversité, l'arrêt de la dégradation des écosystèmes ; l'encouragement, le soutien des idées vertes pour les organisations publiques ou privées.

Parmi les quatre types de programmes Life, les Life « Nature et Biodiversité », dont fait partie le Life Anthropofens, contribuent spécifiquement à la mise en œuvre des directives européennes Oiseaux de 1979 et Habitats-Faune-Flore de 1992, en soutien au réseau Natura 2000. (4)

Le Life Anthropofens a débuté en novembre 2019 et devrait se terminer en 2025. Le nom du projet « Anthropofens » est la contraction des mots « Anthropocène » désignant l'époque actuelle de l'histoire de la Terre durant laquelle les activités humaines ont une influence significative sur l'ensemble de la biosphère et « Fens », mot anglais définissant des marais tourbeux principalement alimentés par des eaux souterraines. Ce nom est adéquat avec le projet visant à restaurer des écosystèmes tourbeux alcalins qui ont été modifiés et exploités par l'Homme au cours des derniers siècles. (4)

Parmi les trois objectifs spécifiques du projet, le premier est d'assurer la conservation des habitats de tourbières alcalines en optimisant le fonctionnement éco-hydrologique des tourbières alcalines. La gestion de l'eau, et notamment des niveaux d'eau, est primordiale pour préserver à la fois la tourbe et la végétation qui y est inféodée. Ces actions permettront aux écosystèmes d'être résilients face aux perturbations et de pouvoir se développer. Le second objectif vise une restauration et une amélioration de l'état de conservation des habitats typiques des complexes tourbeux. Cette restauration passe par le développement des modes de gestion et par des travaux sur site. Cette gestion vise des milieux pionniers, ouverts, comme les tourbières de transitions, des milieux à végétations herbacées et des boisements évolués (Annexe 1). Le troisième objectif est la mise en réseau des principaux acteurs du territoire ayant un lien avec les tourbières alcalines des Hauts-de-France et de Belgique. Le Life Anthropofens vise à ressembler et sensibiliser les gestionnaires, usagers, élus et riverains autour des enjeux de préservation et restauration de ces milieux lors de colloques notamment. Il permettra de créer de la connaissance scientifique à travers le test de protocoles et l'écriture de publications scientifiques. Les résultats des opérations du projet permettront de promouvoir des pratiques de gestion adaptées aux

différents objectifs locaux de préservation des habitats tourbeux. Le Life Anthropofens s'inscrit pleinement dans les politiques et stratégies européennes, nationales et locales en faveur de la biodiversité.

### 2.1.1.2. Présentation du milieu étudié : la tourbière et des habitats ciblés par la restauration

#### 2.1.1.2.1. Les complexes tourbeux

Une tourbière est un écosystème humide à aquatique caractérisé par la présence d'un sol composé soit de tourbe soit de matière organique très peu décomposée. La saturation du milieu en eau sur la majeure partie de l'année et la croissance de la végétation propre à cet engorgement quasi permanent sont des conditions écologiques déterminant la formation d'un sol tourbeux dit « histosol ». Un histosol, ou organosol, est majoritairement formé par de la tourbe et peut se trouver à différents niveaux de décomposition de débris végétaux morts.

Dans ces conditions de saturation en eau sur de longues périodes, (plus de six mois dans l'année) le milieu est anoxique c'est-à-dire sans oxygène (5). La décomposition de la végétation morte est limitée par ce manque d'oxygène. Si les bactéries peuvent tolérer la submersion, ce n'est pas le cas des champignons et des micro-faune dans le sol qui régressent en zone submergée. La matière morte ne se décompose que très lentement et très partiellement. L'accumulation de matière organique peu ou non décomposée forme la tourbe. Le sol des tourbières est un matériau riche en carbone. Il renferme 30 à 90 % de matière organique alors que d'ordinaire cette dernière n'excède pas 20%. L'estimation moyenne de croissance des sols tourbeux est de 0,2 à 1,6 mm par an, pour un apport d'un centimètre de matières organiques fraîches.

Une végétation est inféodée aux différents types de tourbières. Elle conditionne leur fonctionnement. La végétation dépend du fonctionnement de la tourbière, et la tourbière dépend de la végétation avec laquelle elle se forme. Elle est adaptée aux conditions écologiques régnant dans ce type de zone humide. En effet, l'engorgement en eau du sol, la qualité et composition de l'eau alimentant la tourbière, l'étage bioclimatique induisent une végétation caractéristique du milieu. Elle peut être composée de mousses, de cypéracées et de joncs. En fonction de la juxtaposition d'habitats, des herbiers aquatiques ainsi que des fourrés arbustifs et boisements y sont également présents. Les feuilles, tiges et particulièrement les racines de ces plantes entrent dans la composition de la tourbe et peuvent y être identifiés sous forme de macro-restes lorsque la tourbe est peu décomposée.

En réalité, le terme « tourbière » est générique et peut faire référence à une diversité de contextes écologiques, de formes et de configurations qui génèrent autant de milieux et de paysages propres à chaque territoire. Les actions du Life Anthropofens portent sur un type précis de tourbière avec un fonctionnement hydrologique spécifique. Ce sont des tourbières dites « tourbières basses », « bas-marais » ou encore « fens » en anglais qui sont alimentées par des eaux souterraines. Elles se distinguent des tourbières alimentées par les eaux de pluie, plus acides et ne se trouvant généralement pas au même niveau topographique (6).

Différents types de tourbières existent. Certaines classifications les distinguent par les influences climatiques et biogéographiques (tourbières boréales, atlantiques, continentales, méditerranéennes, tropicales ou encore équatoriales), les valeurs de pH : de pH 3 à pH 8 avec une frontière biologique se situant autour de pH 5,5 (tourbières acides s'opposant aux tourbières neutro alcalines), le niveau trophique (tourbières oligotrophes, mésotrophe et eutrophes fortement minéralisées), la morphologie des tourbières (tourbières plates, bombées, etc.), leur situation

géomorphologique (tourbières de fond de vallon, de pente, etc.) ou encore leur végétation dominante (tourbières à sphaignes, à grandes ou à petites laïches, à roseaux, etc.) (5).

Une classification très utilisée développée par Julve, tient compte du mode d'alimentation hydrique, distinguée avec le suffixe 'trophe' et de l'origine, distinguée avec le suffixe 'gène'(7). Quel que soit leur mode de genèse, les tourbières peuvent être classées selon l'alimentation hydrique. Deux types se distinguent. Les minérotrophe : des bas-marais, tourbières basses ou tourbières plates ("fens" en anglais). Leurs eaux proviennent d'écoulements latéraux et ont été en contact avec le substratum géologique. Elles sont enrichies en substances minérales dissoutes et la surface de la tourbière formée est proche de celle de la nappe d'alimentation. Les ombrotrophe sont des hauts-marais, tourbières hautes ou tourbières bombées ("bogs" en anglais). Elles sont alimentées que par les eaux météoriques, acides et oligotrophes. Différents types de tourbières sont classées selon leur origine 'gène'. Celles topogènes résultent de l'accumulation des eaux, provenant de ruissellements ou d'une nappe affleurante, dans une dépression topographique. Les tourbières fluviogènes proviennent de l'inondation périodique d'une vallée par un cours d'eau ou une nappe alluviale. Ce sont des bas-marais situés en vallée à proximité de rivières. Les eaux sont riches en limons et substances nutritives ce qui induit des milieux avec une forte productivité végétale. Ils ont une tendance à l'eutrophisation et au comblement (6).

Celle étudiées durant ce stage sont de type fluviogène ou topogène et de type minérotrophe. Les prérequis pour la formation et le maintien des bas-marais alcalins sont une exfiltration des eaux souterraines, provenant de la nappe de craie dans les Hauts-de-France. Les eaux riches en calcaire donnent un pH alcalin supérieur à 6,5 aux milieux humides. Dans les milieux alcalins le pH permet la vie de décomposeurs. La production primaire supérieure à la décomposition bactérienne et aboutissant à l'anoxie permet la formation de la tourbe. La faible disponibilité en nutriments avec un P total < 3mmol/litre est aussi un critère. Un niveau d'eau stable et juste au-dessus de la surface à plus ou moins 20 cm de la surface permet de maintenir le milieu en bon état de fonctionnement. S'il est trop haut, il n'y a pas de formation, pas de végétation et s'il est trop bas des processus de décomposition, acidification et eutrophisation ont lieu (8).

#### 2.1.1.2.2. Les sites et habitats ciblés par les actions du Life Anthropofens

Les actions du projet Life Anthropofens se placent au sein de 13 sites Natura 2000. Le choix de cibler ce réseau Natura 2000 met la restauration de ces espaces naturels directement à la contribution des politiques publiques européennes telles que la directive « Habitats-Faune-Flore » ou encore la stratégie européenne pour la biodiversité à l'horizon 2020 dont le deuxième objectif est de « préserver et rétablir les écosystèmes et leurs services ». Le Life Anthropofens est complémentaire aux documents d'objectifs des 13 sites Natura 2000 et renforce l'atteinte des objectifs de la directive « Habitats Faune-Flore ».

Le réseau européen Natura 2000 est un outil fondamental de la politique européenne de préservation de la biodiversité. Il vise une meilleure prise en compte des enjeux de biodiversité dans les activités humaines. Il comprend des Zones Spéciales de Conservation désignées par les pays de l'UE au titre de cette directive et des Zones Spéciales de Protection classées au titre de la directive « Oiseaux » (directive 2009/147/CE). Sa démarche est de privilégier la recherche collective d'une gestion équilibrée et durable des espaces. Elle doit tenir compte des préoccupations économiques et sociales. La gestion des sites Natura 2000 relève d'une démarche participative des acteurs du territoire avec un comité de pilotage qui définit pour chaque site des objectifs de conservation et des mesures de gestion (document d'Objectifs DOCOB) (9).

Les zones humides du nord du bassin sédimentaire parisien ont connu depuis l'Holocène une extension marquée des tourbières alcalines compte tenu de l'assise géologique calcaire et des nappes d'eau souterraines associées qui alimentent les tourbières. Les opérations prévues dans le cadre du Life Anthropofens ont pour objectifs d'améliorer l'état ou de restaurer des habitats naturels identifiés au titre de la directive européenne « Habitats-Faune-Flore ». Les travaux mis en œuvre dans le cadre du Life Anthropofens devraient avoir des impacts directs sur le développement de six habitats naturels constituant 480 ha de tourbières divisés en : 56 ha de prairies humides calcaires à Molinie bleue (6410), 21 ha de tourbières de transition (7140), 96 ha de marais calcaires à Marisque (7210\*), 276 ha de tourbières basses alcalines (7230), 3 ha de tourbières boisées (91D0\*), et 31 ha de forêts alluviales à Aulne glutineux et Frêne élevé (91E0\*) (cf. description des habitats cibles, Annexe 1).

### 2.1.1.3. Actions de restauration dans le cadre du projet Life Anthropofens et lien avec la législation européenne

Le Life Anthropofens est articulé autour de plusieurs actions contribuant au maintien et à la restauration des complexes tourbeux qui permettra d'avoir une meilleure gestion de l'eau et des crues. La restauration impactera la prévention des inondations. Ces deux thèmes majeurs dans leur aspect social et économique sont encadrés par la Directive européenne Cadre sur l'Eau et la Directive européenne Inondation. La DCE vise le « bon état » des masses d'eau de surface et souterraines en Europe. Cet objectif passe par la restauration des écosystèmes aquatiques, le contrôle de l'utilisation de la ressource en eau et gestion des sources de pollution (10). La directive inondation définit le cadre général dans lequel les Etats-membres de l'Union Européenne organisent leur politique de gestion du risque inondation. Elle permet d'agir pour réduire les conséquences négatives de ces phénomènes sur la santé humaine, l'activité économique, l'environnement et le patrimoine culturel. Elle se retrouve dans le Code de l'Eau en Wallonie et impose la rédaction de Plans de Gestion des Risques d'Inondation (PGRI) par bassins versants hydrographiques depuis le 22 décembre 2015. En France, elle est dans la loi portant engagement national pour l'environnement de 13 juillet 2010 et dans le décret N°2011-227 du 2 mars 2011, relatif à l'évaluation et à la gestion des risques d'inondation. La compétence GEMAPI (Gestion des milieux aquatiques et la prévention des inondations) en vigueur depuis 2018, donnée aux EPCI sera impactée par la restauration de ces milieux aquatiques, constituant des zones d'expansion des crues pour certains sites. L'entretien des complexes tourbeux répond aux actions entreprises dans le cadre de la GEMAPI telles que l'aménagement des bassins versants, la défense contre les inondations et la protection et la restauration des zones humides (11).

## 2.1.2. La mission du stage

### 2.1.2.1. Définition de la mission d'analyse des services écosystémiques liés aux cycles de l'eau et de l'azote

La mission du stage prend place dans la partie de suivi des impacts des actions du projet Life. Elle fait partie des missions permettant l'évaluation de la contribution du projet aux services écosystémiques. Elle est articulée selon un ordre chronologique en deux périodes. Premièrement, des tests méthodologiques ont été appliqués durant ce présent stage. Ensuite, des études coordonnées basées sur une méthodologie harmonisée seront lancées sur chaque site l'année prochaine en s'appuyant sur les résultats du premier travail.

### 2.1.2.2. Objectifs de cette étude

L'étude vise une évaluation de la contribution du projet aux services liés au cycle de l'eau et de l'azote. Il est spécifié qu'il s'agit d'évaluer de façon globale les impacts du projet sur la qualité de l'eau des bassins versants (dénitrification) et de l'épuration de l'eau, les services de régulation sur les crues,

les inondations et la sécheresse. L'action a pour objectif de renforcer la prise de conscience de la contribution positive des actions de conservation sur les 3 grandes catégories de services écosystémiques que sont les services d'approvisionnement, de régulation et culturels. Cette évaluation est faite sur l'ensemble des sites Natura 2000 faisant partie du projet (12).

L'évaluation des services écosystémiques apporte des connaissances scientifiques par l'identification et l'évaluation des services écosystémiques fournis par les complexes tourbeux. Elles sont mises au service de la protection des milieux par la sensibilisation des acteurs locaux (collectivités territoriales, propriétaires, agriculteurs, forestiers, naturalistes etc.) ayant un impact sur la gestion des sites. Cette connaissance permet d'accompagner les décisions des politiques publiques mises en œuvre par l'État, les établissements publics, notamment les Agences de l'Eau Artois Picardie et Seine Normandie, la Région et l'ensemble des collectivités territoriales.

Cette étude sera valorisée auprès du grand public, permettant ainsi de communiquer sur le projet mis en place, sur les avantages que les actions de restauration apportent à des riverains et touristes usant des milieux. Elle crée et montre les liens que le grand public peut avoir avec ces complexes tourbeux. Le Conservatoire d'espaces naturels pourra inclure ces connaissances dans des publications, des animations (sorties de découverte, événements régionaux) afin de valoriser le patrimoine naturel et les actions menées afin de le préserver.

### 2.1.2.3. Question posée dans le cadre de ce stage

Connaissant le contexte de la mission et du projet de restauration, dans le cadre de ce stage la question qui est posée est la suivante : Comment les actions introduites dans le Life Anthropofens ont-ils un impact sur les services écosystémiques liés à l'eau et à l'azote ?

Les travaux du projet de restauration vont avoir un impact sur l'état de conservation des habitats composant les complexes tourbeux et la mosaïque d'habitat naturels sera modifiée. L'impact des travaux du Life Anthropofens sur l'évolution de la capacité des milieux tourbeux à fournir des services écosystémiques pourra être évaluée en mesurant l'effet :

- Du changement de l'état de conservation des habitats sur leur capacité à fournir des services écosystémiques. La fourniture de services écosystémiques (SE) sera analysée sur un habitat présent avant et après les travaux de restauration.
- De l'évolution de la mosaïque d'habitats sur la capacité du milieu à fournir des services écosystémiques.

L'analyse se concentrera sur la dynamique de fourniture de l'ensemble des SE évalués et portera un intérêt particulier sur la dynamique de la fourniture des services liés à l'épuration de l'eau, la régulation du cycle hydrologique et la ressource quantitative en eau.

## 2.2. Etat de l'art : la notion de Services écosystémiques en lien avec les cycles de l'eau et de l'azote

### 2.2.1. Explication des cycles de l'eau et de l'azote dans les tourbières, des fonctions écosystémiques liées à ces cycles

Des tourbières de types topogènes ou fluviogènes minérotrophes sont présentes en Hauts-de-France et Wallonie. La compréhension du cycle de l'eau et de l'azote et des fonctions écosystémiques qui y sont liées permet la sélection et l'évaluation de services écosystémiques liés à ces milieux. L'hydrologie, la physicochimie et le biotope du milieu sont structurent l'écosystème. Les services

écosystémiques ont un lien avec les fonctions de l'écosystème. Elles constituent la base de la fourniture d'un service écosystémique (7).

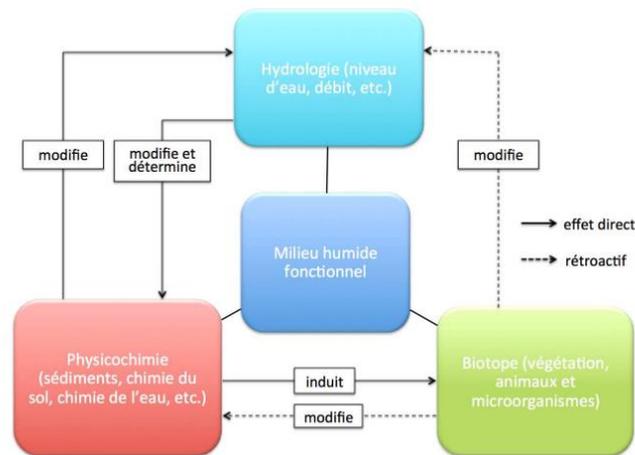


Figure 1: Schéma de fonctionnement d'un milieu humide (13)

#### 2.2.1.1. Cycle de l'eau dans les complexes tourbeux : le cycle / les fonctions écosystémiques en découlant

Les tourbières se forment et se développent dans des conditions d'engorgement en eau des sols. Pour qu'une telle dynamique soit en place, le bilan hydrique doit être positif. Les sources d'alimentation en eau d'une zone humide sont les précipitations, les submersions par le cours d'eau en zone alluviale, les écoulements en surface, les résurgences de sources, les flux souterrains. Ils doivent être égaux ou supérieurs aux pertes par écoulements de surface, flux souterrains et l'évapotranspiration. Les tourbières alcalines s'inscrivent dans un contexte hydrogéologique particulier. La nappe de la craie du nord de la France est drainée par les cours d'eau, notamment par la Somme. Les nappes alluviales sont généralement en équilibre dynamique permanent avec trois autres systèmes distincts : le substratum, les coteaux et le cours d'eau.

La partie supérieure de la craie constitue l'aquifère. L'alimentation de la nappe se fait par l'infiltration des eaux de pluie dans les plateaux crayeux jusqu'à une couche imperméable. L'eau circule dans la nappe libre jusqu'à des exutoires qui sont dans les points bas de la topographie : sources, rivières telles que la Somme. Le fond des vallées est tapissé par des alluvions dont la partie superficielle, constitue le substratum des marais (14). Les communications entre marais et nappe se font par l'intermédiaire des sources. Les tourbières basses alcalines peuvent être définies comme des zones de transition entre la nappe et son exutoire. (14)

On peut distinguer trois fonctions liées à l'hydrologie des zones humides : le ralentissement des ruissellements, la recharge des nappes et la rétention des sédiments. (15)

La tourbière est influencée par le régime hydrologique du cours d'eau avec lequel elle est connectée. Lorsque le niveau à pleins bords est dépassé, elle reçoit les eaux de surface par inondation et ralentit les écoulements par la rugosité du couvert végétal. Les zones humides en fond de vallée constituent des annexes hydrauliques ayant une capacité à réduire la vitesse de transit des écoulements de surface et à intercepter les particules lors des crues. Cette capacité est liée à une série de facteurs physiques et biologiques : le mode d'occupation du sol, la rugosité du couvert végétal influence la vitesse des écoulements superficiels. Les arbres sont particulièrement efficaces. Ce processus a un effet

en aval sur les pics d'inondation. Les ruissellements provenant des terres du bassin versant vont être interceptés par des fossés dans le cadre de la restauration des tourbières alcalines pour limiter l'apport de nutriments par les eaux de ruissellement. Le ruissellement qui apporte des eaux riches en fertilisants et en polluants d'origine agricole et domestiques est une menace actuelle pour les écosystèmes tourbeux (14).

La recharge des nappes est une fonction écosystémique liée au cycle hydrologique rendue par les zones humides. Les flux souterrains peuvent être respectivement à l'origine d'entrées, par « décharge » des eaux souterraines, ou de sorties d'eau donc « recharge » des eaux souterraines dans les zones humides (16). Il existe deux propriétés distinctes : la capacité de stockage et celle de restitution lente de l'eau emmagasinée. Elles sont influencées par la présence d'horizons histiques et l'état de dégradation du matériau organique qui constituent les tourbières. La conductivité hydraulique varie entre des tourbes fortement décomposées, qui ont une conductivité plus faible, et des tourbes à un stade de dégradation moins avancé ayant une conductivité plus forte. Les systèmes de drainage impactent également les échanges avec la nappe souterraine. Les aménagements tels que fossés, drains souterrains évacuent les eaux vers l'aval, assèchent la zone humide et abaissent le niveau de la nappe souterraine. Ils limitent la recharge de la nappe. Selon la porosité, les écoulements seront plus ou moins rapides entre les particules. A piézométrie constante, le débit dépend de la perméabilité et de la granulométrie et arrangement des matériaux traversés par les écoulements.

Le soutien d'étiage des cours d'eau par les zones humides est défini par leur capacité à restituer les eaux souterraines retenues dans le sous-sol vers le lit mineur du cours d'eau en période de basses eaux. Ce soutien à l'étiage des zones humides peut être corrélé à la recharge des nappes (13). La fonction « éponge » que la tourbe pourrait avoir est controversée. En effet, malgré une porosité totale très élevée, qui lui permet de contenir un important stock d'eau, sa capacité à transmettre cette eau est grandement limitée par une conductivité hydraulique très faible. D'après Cécile Wastiaux (17), sa capacité à transmettre l'eau est grandement limitée par cette conductivité hydraulique faible. Cependant, elle décrit un cas de tourbière présentant un fonctionnement optimal, le stockage et la restitution de l'eau y est limitée. Les sites étudiés dans le Life Anthropofens ne sont pas et ne seront certainement pas dans cet état après les actions du projet. Les parties tourbeuses sont caractérisés, délimités par les habitats cibles. Une grande partie est considéré comme milieu humide juxtaposé à la tourbière basse alcaline en état favorable à dégradé.

La rétention des sédiments fait également partie de la dynamique hydrologique des complexes tourbeux. Les dépressions naturelles dans lesquelles se forment les zones humides sont en cours de comblement par l'apport et la rétention de sédiments provenant des cours d'eau et ruissellements. La capacité de la zone humide à retenir les sédiments passe par sa capacité à capter les sédiments au travers des écoulements de surface et sa capacité à retenir les sédiments déjà présents. Une série de facteurs physiques intrinsèques influence la rétention : la complexité topographique, le mode d'occupation du sol (la nature et la densité du couvert végétal). Cette fonction de réduction de la vitesse de déplacement des matériaux solides permet de garder une dynamique sédimentaire fonctionnelle dans le réseau hydrographique et prévient un déséquilibre sédimentaire. La formation d'atterrissements est indirectement la conséquence d'une érosion des sols des parcelles riveraines, un manque d'entretien régulier, un manque de végétation sur les berges ou de zone végétalisée. Par conséquent, si cette érosion n'est pas interceptée il faudra limiter la création d'atterrissements par travaux rivière pour rétablir le bon état écologique du cours d'eau. La dynamique sédimentaire dans le fonctionnement de la zone humide va impacter celle des nutriments et des matériaux organiques.

Un bon fonctionnement hydrologique entraîne la mise en place de facteurs abiotiques tel que l'anaérobie des sols qui sont déterminants pour le développement de la biodiversité structurant le milieu

et le rendant fonctionnel. Les facteurs biotiques, incluant la biodiversité, augmentent la productivité du milieu à travers différents mécanismes. Ils influencent les caractères physico-chimiques des milieux et sa dynamique hydrologique. Lorsque le milieu n'est pas perturbé pendant plusieurs années, une intégrité structurelle et fonctionnelle est installée et la turfigenèse est possible. La tourbière alors est dite active. Si la formation de tourbe ne reprend que très peu, un milieu fonctionnel permet néanmoins de maintenir la tourbe formée et de ralentir voire empêcher sa dégradation.

#### 2.2.1.2. Cycle de l'azote

Le fonctionnement hydrologique du milieu influence les cycles biogéochimiques dont celui de l'azote. L'entrée d'éléments chimiques dans les milieux humides peuvent se produire par les voies géologiques (roche mère), biologiques (physiologie végétale et animale) et hydrologiques (cycle de l'eau).

Le cycle de l'azote est un cycle fermé. L'azote compose à 78% l'atmosphère sous forme de diazote  $N_2$ . Il passe sous forme dissoute en grande partie en étant absorbé par des bactéries telles que le rhizobium en symbiose avec des plantes de la famille des Fabacées, induisant la formation des nodosités. Elles possèdent des enzymes qui transforment l'azote atmosphérique en azote minéral. Les plantes puisent également avec leurs racines ions nitrates  $NO_3^-$  ou ammonium  $NH_4^+$  dans la solution du sol provenant d'apports allochtones (agriculture notamment). L'azote est sous forme organique dans les tissus végétaux. Ils peuvent être consommés par des animaux. Il est ensuite restitué sous forme organique. Ces déchets azotés subissent une décomposition exercée par des microorganismes : c'est l'ammonification. L'azote organique est transformé en ions ammonium  $NH_4^+$ . A des pH supérieurs à 7 et des températures élevées, des ions  $NH_4^+$  se volatilisent en ammoniac  $NH_3$ . En zone aérobie, la nitrification transforme les ions ammonium  $NH_4^+$  en ions nitrites  $NO_2^-$  et la nitratisation transforme ces derniers en ions nitrates  $NO_3^-$ . Des bactéries du genre *Nitrobacter* oxydent les nitrites pour former des nitrates. L'azote est réutilisé par les plantes sous cette forme. En zone anaérobie, la réduction dissimulatrice transforme les ions ammonium  $NH_4^+$  en ions nitrates  $NO_3^-$ . La dénitrification permet ensuite de relarguer l'azote sous forme gazeuse. Des bactéries dénitrifiantes en anaérobie consomment les ions nitrates et les transforment en diazote  $N_2$  ou en dioxyde d'azote  $NO_2$ . La transformation du nitrate sous condition anoxique n'a quasiment pas lieu.

Les différentes conditions hydrologiques des milieux humides influencent fortement les transformations chimiques et le mouvement spatiaux des éléments azotés. Les ions nitrates pouvant se retrouver dans l'eau sont chargés négativement et sont très peu adsorbés par des particules du sol chargées elles aussi négativement. L'eau emporte les nitrates en percolant dans les nappes phréatiques ou en ruisselant vers le réseau hydrographique. Plus l'écoulement est rapide, moins la végétation sera en mesure d'assimiler l'azote dissous. Le drainage, l'hydromorphie influencent donc la dynamique de l'azote. L'élimination de l'azote par exportation de la végétation est également possible.

Le cycle de l'azote dépend donc des modes de gestion et du type d'habitat (boisements, mégaphorbiaies). Ces deux paramètres impactent la rétention d'azote dans le milieu en fonction de la végétation (profondeur de d'enracinement, temps de résidence de l'azote dans la plante) et de son exportation (fauchage, pâturage, déboisement). Dans les milieux humides, les paramètres influençant la dénitrification des nitrates sont : le couvert végétal, la texture du sol, l'hydromorphie, la matière organique dans le sol, les caractéristiques des systèmes de drainage et le ravinement. Dans les zones humides alluviales, le couvert végétal, en particulier celui se trouvant sur les berges, et sa rugosité sont pris en compte du fait de leur capacité à ralentir les écoulements et à favoriser indirectement la dénitrification des nitrates.

## 2.2.2. Pourquoi parle-t-on de services écosystémiques ?

L'expression "services écosystémiques" a été inventée en 1981. Dans les années 1990 la valeur économique des services écosystémiques (SE) a attiré l'attention. Dans les années 1960 et 1970, la notion d'utilité de la nature pour la société a fait surface avec des termes tels que "fonctions de la nature" et "valeur spirituelle" de la nature. Dans les années 1970 et 1980, les préoccupations écologiques ont été liées à l'économie afin de souligner la dépendance de la société à l'égard des écosystèmes et de susciter l'intérêt pour la conservation de la biodiversité. Le concept de "capital naturel" est né puis celui de services écosystémiques, services écologiques, environnementaux, ou encore naturels. En 1997, le lien peut être fait entre le calcul de la valeur totale du capital naturel mondial et les services écosystémiques. En 2005 est proposée l'évaluation des écosystèmes pour le millénaire en prenant en compte les SE et plus récemment les « Objectifs d'Aichi » incluent la notion. L'étude TEEB en 2010 y a ajouté une notation économique. Ce concept de SE est lié à la conception d'instruments fondés sur le marché pour créer des incitations économiques à la conservation.

Les efforts déployés pour atteindre les objectifs 1 et 2 de la CDB-Aichi, coordonnés en Europe par le programme de cartographie et d'évaluation des écosystèmes et de leurs services (MAES), contribuent largement à une meilleure prise de conscience des nombreux avantages de la nature et à leur donner plus de poids dans la prise de décision quotidienne. (18) Le Millennium Ecosystem Assessment (MEA) définit les SE comme les « bénéfices que les humains obtiennent des écosystèmes ». Les services écosystémiques sont les contributions des écosystèmes aux bénéfices obtenus dans les activités économiques, sociales, culturelles. Ils sont multiples, allant de la réduction de l'érosion ou du contrôle des inondations à la fourniture de bois ou de nourriture.

Les services écosystémiques peuvent être liés à des fonctions écosystémiques. Les fonctions écosystémiques sont définies comme des systèmes d'interactions complexes entre éléments biotiques et abiotiques, difficilement tangibles. Les services rendus indirectement par la nature sont également pris en compte (notamment d'ordre culturel, comme la provision d'espaces naturels à usage récréatif). Ils correspondent à des services rendus à l'aide de l'intervention humaine sur la nature. L'adaptation de l'écosystèmes à la satisfaction des besoins humains donne lieu à des services écosystémiques comme les récoltes par l'exploitation du sol. Il est retenu une vision large des SE, envisagés en tant que services rendus directement ou indirectement par la nature.

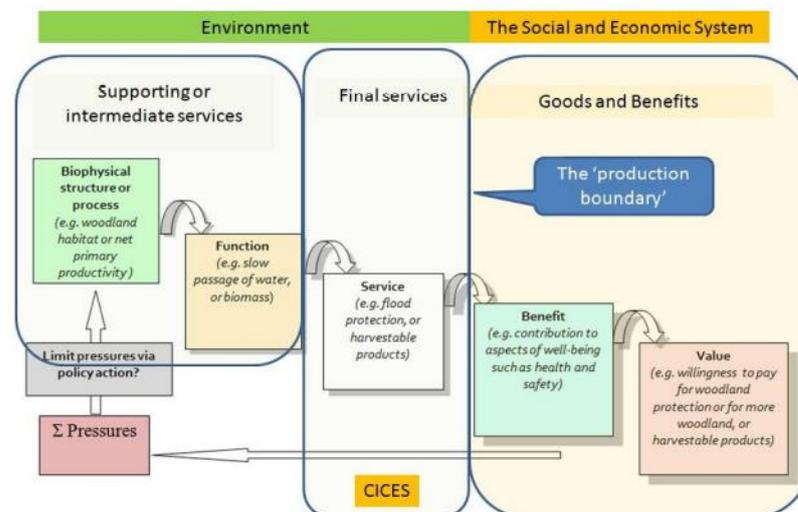


Figure 2: Schéma de la cascade de service écosystémiques (19)

On peut situer la notion de services écosystémiques notamment par le schéma de la cascade des services écosystémiques qui a pu être repris et modifié en fonction des auteurs. Les structures biophysiques de l'écosystème amènent aux fonctions écosystémiques. Les services écosystémiques font le lien entre ces dernières et le contexte socio-économique et culturel. Les pressions anthropiques se répercutent ensuite sur l'écosystème.

### 2.2.3. Economie environnementale et écologique

Au fil du temps, le concept de SE a été défini par un prisme écologique ou économique. Ils peuvent être définis comme des processus par lesquels les écosystèmes naturels et leurs espèces soutiennent la vie humaine ou comme les avantages économiques que les humains tirent, directement ou indirectement, des fonctions de l'écosystème.

La notion de services écosystémiques a des racines profondes dans la pensée économique de l'environnement. D'une part, elle est à la croisée de l'économie de l'environnement et l'économie écologique. L'économie de l'environnement analyse les questions environnementales à partir du dysfonctionnement des marchés, au travers de la notion d'« externalités ». Du point de vue de l'économie environnementale, les services écosystémiques non marchands sont considérés comme des externalités positives qui, si elles sont évaluées en termes monétaires, peuvent être plus explicitement intégrées dans la prise de décision économique. Ainsi, la notion de SE s'inscrit dans des externalités car le marché économique a un impact sur l'écosystème et l'écosystème a à son tour un impact sur le système économique, positif ou négatif. L'économie de l'environnement est favorable à la monétarisation des éléments naturels. Elle internalise les coûts et bénéfices qu'ils représentent dans les calculs économiques. D'autre part, l'économie écologique regroupe à la fois des travaux de sciences sociales et de sciences naturelles. Elle critique l'économie de l'environnement, notamment en raison de son appréhension des relations entre l'économie et l'environnement. En lien avec les travaux en écologie fonctionnelle et énergétique, l'économie écologique développe une vision d'un système regroupant les interactions entre l'humain et son environnement, où le bon fonctionnement de l'environnement va influencer le système anthropique. L'évaluation monétaire, les coûts par rapport aux bénéfices, des biens et services commercialisés ont été prioritaires dans les approches néoclassiques, tandis que les économistes écologistes ont tendance à montrer plus d'intérêt pour l'inclusion d'approches non monétaires et de biens et services non marchands. (20)

## 2.3. Etat de l'art de la méthodologie d'évaluation des services écosystémiques

### 2.3.1. Méthodes cohérentes pour le projet Européen LIFE

#### 2.3.1.1. Guide life

Un guide créé par le programme européen Life donne des directives dans l'évaluation des écosystèmes et leurs services dans les projets Life à destination des bénéficiaires des aides (21). Il est conseillé en tant que porteur de projet de suivre ce guide et d'utiliser une méthode d'évaluation développée dans le cadre de l'initiative européenne « MAES : Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services ». Cette approche est applicable à tous les projets Life indépendamment de la méthode utilisée pour quantifier les services écosystémiques. Elle est cohérente et comparable sur l'ensemble des projets Life en Europe. Elle est basée sur la Classification Internationale Commune des Services

Ecosystémiques (CICES). (21) Il est demandé aux porteurs de projets d'introduire des données sur les services écosystémiques sur la base de la structure CICES version 4.3.

### 2.3.1.2. Méthode MAES cadre conceptuel

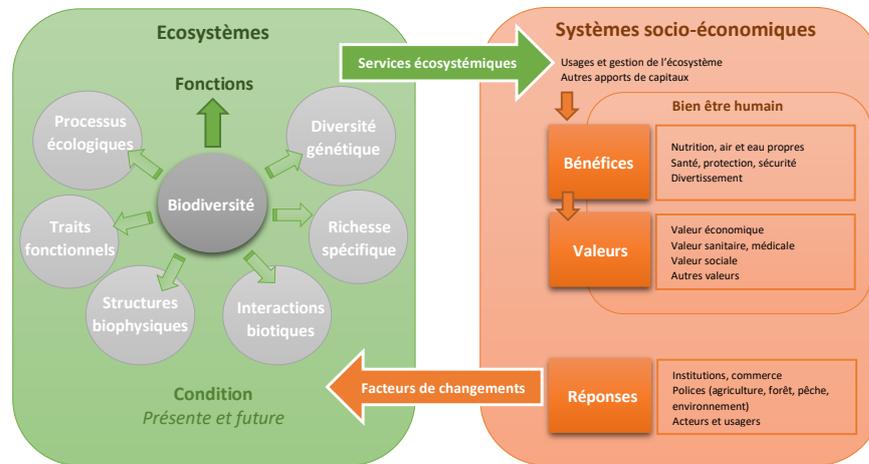


Figure 3: Cadre conceptuel de la MAES (source : personnelle)

La méthode MAES s'est inscrite dans la Stratégie européenne en faveur de la biodiversité à l'horizon 2020. Elle vise, dans le cadre de son objectif 2, à maintenir et à renforcer la fourniture de services écosystémiques en Europe. L'action 5 du deuxième objectif de la stratégie demande à tous les États membres de l'Union Européenne de cartographier et d'évaluer l'état des écosystèmes et de leurs services sur leur territoire national. Le cadre opérationnel de cette action est la MAES, une méthode de cartographie et d'évaluation des écosystèmes et de leurs services. (22) Elle a en effet pour objectifs de produire un compte rendu de l'étendue géographique des écosystèmes et des services écosystémiques qu'ils rendent à l'échelle de l'Europe. La mission du stage s'intègre à cette démarche. (23)

La méthode MAES s'inscrit dans un cadre conceptuel prenant en compte que le flux de services écosystémiques relie les systèmes socio-économiques aux écosystèmes et inversement. Des facteurs de changements provenant des écosystèmes affectent les systèmes socio-économiques. Ces facteurs de changement sont la conséquence de l'utilisation des services écosystémiques ou l'impact indirect des activités humaines en général.

Cette méthode d'évaluation permet de prendre en compte les synergies qui existent entre les services écosystémiques et l'état des écosystèmes. L'évaluation soutient la politique en matière de biodiversité et priorise les efforts de restauration

### 2.3.2. Méthode des matrices s'intégrant à la MAES

La méthode MAES suit plusieurs étapes. Après la cartographie des écosystèmes et de leur état, la quantification de services écosystémiques qu'ils fournissent passe par l'identification des services écosystémiques, leur sélection en cohérence avec le territoire étudié puis leur évaluation. Le choix de la méthode d'évaluation des services écosystémiques doit articuler les objectifs de l'évaluation et de la cartographie mais aussi l'applicabilité et l'appropriation de la méthode et les résultats attendus par les parties prenantes et les gestionnaires des terres. En 2017, Burkhard propose une méthodologie d'application de la matrice des capacités pour la cartographie de la fourniture des services écosystémiques. Elle est basée sur des indicateurs pour chaque service écosystémique et une collecte de données spatiales. L'approche matricielle, avec une notation participative basée sur l'expertise, s'est

avérée fournir des évaluations rapides et facilement appropriables des SE. Elle est appropriée à l'évaluation sur les territoires étudiés, les moyens et le temps donnés à cette étude.

### 2.3.3. Méthode de classification CICES pour la définition et le choix des services

La classification internationale commune des services écosystémiques CICES (Common International Classification of Ecosystem Services) est proposée par l'Agence Européenne de l'Environnement. Elle est prise en compte dans l'évaluation des écosystèmes pour le millénaire en 2005. Le groupe de travail MAES de l'Union Européenne a identifié cette classification pour développer sa méthode d'évaluation et de cartographie des services écosystémiques. Ils sont classés dans une structure hiérarchique à cinq niveaux. C'est la classification de la version 4.3 qui est entrée dans la base de données KPI du Life (classée sur v 4.3 du CICES).

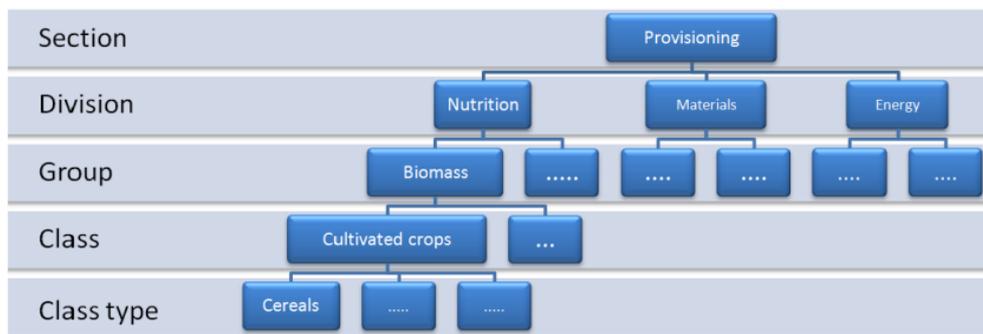


Figure 4 : Structure hiérarchique de la classification CICES (19)

La classification s'adapte aux différentes échelles spatiales et thématiques utilisées dans les différentes applications. C'est une structure qui permet aux utilisateurs de descendre au niveau de détail le plus approprié requis par leur application et ensuite de regrouper et combiner les résultats lors de comparaisons ou rapports plus généraux.

Les services écosystémiques sont définis en identifiant les utilisations que les êtres humains font de l'écosystème. Les caractéristiques et dynamiques des écosystèmes qui soutiennent ces usages et affectant le bien être humain sont prises en compte. La définition des services écosystémiques passe par le prisme écologique et d'usage. Des définitions simples sont utilisées pour une question de vulgarisation, pour qu'elles soient compréhensibles des non experts.

La classification prend en compte les services d'approvisionnement, de régulation et culturels. Les services peuvent dépendre de nombreuses fonctions écosystémiques, elles-mêmes, pouvant soutenir un certain nombre de services différents. Dans la définition des SE dans cette classification, les processus biotiques (vivants) et la contribution au bien être humain sont au centre de la définition des services écosystémiques dans cette classification. Le rôle de la biodiversité est considéré comme fondamental et seuls les résultats des écosystèmes qui dépendent des processus vivants sont pris en compte et inclus dans les services écosystémiques. L'eau est un élément abiotique dont la disponibilité pour l'être humain est contrôlée par des processus biotiques et abiotiques qui ont un effet sur sa qualité et quantité. La classification de l'eau dépend de la définition que l'on donne aux SE.

## 2.4. Hypothèses des résultats attendus

Cette étude permet de comprendre si les actions et en particulier les travaux introduits dans le Life Anthropofens ont un impact sur les services écosystémiques liés à l'eau et à l'azote. Un impact

positif des actions du projet de restauration sur le rendement de services écosystémiques est possible. Il est attendu qu'un meilleur état de conservation des habitats et un milieu fonctionnel modifient le rendement de services écosystémiques notamment ceux en lien avec la régulation du cycle hydrologie et la capacité de stockage de l'eau par les milieux humides. Les milieux tourbeux auront une capacité moindre à fournir certains services écosystémiques. Le changement de l'état de conservation des habitats a possiblement un impact sur leur capacité à fournir des services écosystémiques. L'évolution de la mosaïque d'habitats a également un effet sur la capacité du milieu à fournir des services écosystémiques. Cette étude mettra en lumière l'effet de la restauration sur l'évolution de la fourniture de SE par les complexes tourbeux.

Les fonctions écosystémiques liées au cycle de l'eau et de l'azote se trouvent dans un écosystème fonctionnel. Les services écosystémiques étant liés à ces fonctions, on peut émettre l'hypothèse que les écosystèmes fonctionnels apparaissant après les actions de restauration vont fournir davantage de SE liés au cycle de l'eau et de l'azote. Une autre hypothèse est que certains services sont liés à des habitats qui sont visés à disparaître avec la restauration, par des choix de gestion. Par exemple, certains habitats boisés ne favorisant pas le bon fonctionnement global du complexe tourbeux vont disparaître pour laisser place à des milieux plus ouverts. La fourniture de services écosystémiques va évoluer avec la modification de la mosaïque d'habitats.

### 3. Matériel : Création de la matrice des capacités selon la méthodologie MAES pour répondre à la question posée

La méthode MAES suit plusieurs étapes, incluant dans le cas de cette mission, l'évaluation à dire d'experts par la méthode des matrices.

La première étape est d'identification des questions et des thèmes liés à cette évaluation. La deuxième étape est l'identification du type d'écosystème évalué. La troisième étape vise la cartographie des écosystèmes. Elle passe par l'identification des types d'écosystèmes à évaluer et leur cartographie. La quatrième étape est la définition de l'état des écosystèmes et l'identification des services écosystémiques fournis par les écosystèmes. La cinquième étape est la sélection d'indicateurs pour l'état des écosystèmes et les services écosystémiques. La sixième étape est la quantification des indicateurs de l'état des écosystèmes et des SE. La cartographie de l'état des écosystèmes et des SE constitue la septième étape. La huitième étape est l'intégration des résultats statistiquement. Enfin, la neuvième étape est la diffusion et communication des résultats.

#### 3.1. Identification des questions et des thèmes relatifs à l'étude

La première étape de la méthode est l'identification des questions et des thèmes liés à l'évaluation de la fourniture de services écosystémiques. La mission d'évaluation et de cartographie des services écosystémiques (SE) vise à comprendre l'impact de la restauration des tourbières sur le bien être humain et de communiquer sur ce dernier. L'action permettra de renforcer la prise de conscience de la contribution des actions de conservation à la fourniture de SE. Elle facilitera la communication auprès des parties-prenantes et du grand public.

Une série de tests méthodologiques ont été lancés lors du stage en 2023 sur deux sites. L'évaluation sera faite sur les sites restants en 2024 à partir de la présente méthodologie résultats de 2023 et des essais sur les sites expérimentaux. Ils ont été choisis pour l'évaluation en 2023 en fonction de critères comme leur mosaïque d'habitats, des actions du Life, des gestionnaires (Natagora, CEN,

PNR ou autre), des moyens et du temps mis à disposition et des usages faits sur le site. L'échelle d'évaluation a dû être définie.

### 3.2. Identifier les types d'écosystèmes Les types d'écosystèmes et sites du Life évalués

La deuxième étape de la méthode MAES consiste à définir le type d'écosystème évalué et l'échelle d'évaluation. Dans la méthode MAES les tourbières entrent dans le classement « zone humide ». Dans le cas du projet Life Anthropofens, cette étape consiste à choisir quels sites vont être soumis au test de la méthodologie et à quelle échelle, sur quelles entités va porter l'évaluation.

Pour faciliter l'application de la méthode lors du stage en 2023, les sites devaient être connus par les gestionnaires au sein du siège du CEN Hauts-de-France, c'est-à-dire, des chargés de missions espace naturel, des chargés d'étude scientifiques communicant avec les usagers et connaissant le milieu. Être dans le même lieu de travail que les gestionnaires a permis d'avoir des avis sur la cohérence de l'application de la méthode MAES sur les sites d'évaluation et comment l'adapter à ces derniers. Au début de ce stage, un récapitulatif des sites a été fait pour comprendre leurs caractéristiques. Il a été énuméré le statut de protection, les propriétaires fonciers, les usages qui y sont faits, la description scientifique écologique et biologique du milieu comprenant les espèces à enjeu et la situation géographique des 13 sites Natura 2000. Les actions de restauration et habitats ciblés pour la restauration présents sur chaque site ont été listés. Parmi les treize sites, sept correspondent à aux critères de « gestion par le CEN » dont FR2200357 (Moyenne Vallée de la Somme) et FR2200378 (Marais de Sacy-le-Grand). Ce sont les deux sites choisis. Les six habitats cibles sont évalués et des actions de restauration visant à rétablir un fonctionnement hydrologique ont lieu. Les deux sites n'ont pas le même contexte hydrologique ni les mêmes modes de gestion. Il donc intéressant d'essayer d'appliquer la méthodologie sur les deux.

#### 3.2.1. Le site Natura 2000 des marais de Sacy-le-Grand (FR2200378)

Les marais de Sacy-le-Grand font 1368 hectares et sont de grands intérêts écologiques reconnu à travers des statuts comme site Ramsar (2312), ZICO zone importante pour la conservation des oiseaux (PE06 Marais de Say) et ZNIEFF type 1 (220005063). Les usages qui y sont faits sont la chasse, la pêche et une partie du site est ouvert au public. Le territoire est partagé entre propriété privé (57%), domaine public communal (25%) et domaine public de collectivité territoriale (18%). Ce sont des systèmes tourbeux alcalins qui se sont formés dans une dépression allongée sur 1000ha entre 32 et 62 mètres d'altitude. Les marais sont drainés par la Frette canalisée, un cours d'eau artificiel qui se déverse dans l'Oise. La mosaïque d'habitats est formée par des eaux de composition différentes avec une alimentation en eaux souterraines au nord (eaux carbonatées) et en eaux pluviales au sud du site (eaux riches en sulfates). Ce sont des milieux accueillant les oiseaux migrateurs.

Le site regroupe les plus vastes surfaces de cladaies ou marais calcaires à Marisque (7210\* - habitat prioritaire) des Hauts-de-France qui est un habitat ciblé par le projet Life Anthropofens. Des prairies humides calcaires à Molinie bleue (6410), des tourbières de transition (7140) et tourbières basses alcalines (7230) y sont également présentes. Des actions de restauration sont mises en place sur le site dont une action de restauration hydromorphologique du ruisseau de la Frette. C'est une action pilote. Le pâturage pour la gestion de site est également mis en place. Il est prévu que le site soit aménagé et intégrera le réseau de sites aménagés dans le « circuit des tourbières » et ouvert au public.

Quatre grandes actions de restauration sont appliquées sur le site :

- La restauration morphologique du réseau hydrographique est prévue seulement sur le site des Marais de Sacy et passe par la réalisation d'un plan d'action de la gestion globale de l'eau dans ces marais. Elle passe par l'amélioration de l'état écologique du cours d'eau de la Frette en restaurant la qualité physique et fonctionnelle des berges. Une fois le profil en travers du cours d'eau modifié, le ruisseau pourra déborder par surverse et favoriser l'alimentation de la tourbe. Le profil en long sera modifié par l'aménagement du lit mineur en réduisant sa largeur pour l'adapter au régime hydraulique du ruisseau. Cette action favorisera la relation nappe-rivière équilibrée.
- La restauration éco-hydrologique des tourbières en passant par un désenvasement de source par enlèvement mécanique de la vase (environ 2000 mètres cubes). Les fosses de tourbage créées par l'exploitation ont tendance à s'ensaver et colmater les sources d'eau souterraine, eau indispensable à la formation des habitats tourbeux. Il est prévu une action de désenvasement à Sacy qui estime à 29 400 m<sup>2</sup> de tourbière basse alcaline allant bénéficier de l'eau souterraine grâce à cette action.
- La restauration mécanique des habitats tourbeux herbacés avec la restauration des milieux ouverts envahis par les ligneux, coupe suivie d'un essouchage, broyage de ligneux et exportation (20,32 ha) ; débroussaillage de la végétation avec exportation (14ha) et remise à jour d'horizons tourbeux favorables à la reconstitution de bas-marais pionniers (décapage sur moins d'1 ha).
- La restauration des habitats tourbeux herbacés à l'aide de pâturage avec un débroussaillage préalable et mise en place d'aménagements pour le pâturage

### 3.2.2. Le site Natura 2000 de la Moyenne vallée de la Somme (FR2200357)

Le site de la Moyenne vallée de la Somme fait 1825 hectares. Son intérêt écologique est reconnu à travers des statuts comme site Ramsar (2322), ZICO (PE02.4 – Etang et Marais du bassin de la Somme) et ZNIEFF type 1 (220320014) et de type 2 (220320034). Les usages qui y sont faits sont la chasse, la pêche, l'agriculture, l'élevage ou encore la sylviculture. Le territoire est partagé entre domaine public communal (55%), propriété privé (44%), propriété de l'état (1%). La majeure partie du site est occupée par de vastes plans d'eau créée par l'exploitation de la tourbe et utilisés aujourd'hui pour la chasse à la hutte. Les faibles débits d'eau ont permis la création de méandres sur la Somme s'écoulant sur une faible pente. L'aménagement des chaussées-barrages ont favorisées le développement du complexe tourbeux alcalin en fond de vallée de la Somme. Le climat y est submontagnard avec des affinités continentales.

Le milieu subi plusieurs pressions et menaces. Avec l'arrêt de l'exploitation de la tourbe et la déprise agricole, les milieux se ferment et les bas-marais, prés paratourbeux et moliniaies disparaissent et avec eux certains usages. Les tourbières de la moyenne vallée de la Somme se trouvent affectées par l'envasement et la pollution de l'eau de la Somme. Ce sont les ouvrages hydrauliques et les phénomènes d'érosion amenant les pollutions agricoles dans le fleuve qui affectent les milieux tourbeux. Le marais de Morcourt, sur le site Natura 2000, est le dernier exemple de tourbières alcalines développées en bordure de fleuve Somme sur sa partie amont. et est alimenté par des sources encore actives. Il forme une entité de grande surface moins impactés par les ouvrages hydrauliques.

Le site regroupe les six habitats cibles. Les végétations arbustives et arborées reviennent sur le milieu avec des saulaies, aulnaies, bétulaies sur tourbe. Les étangs formés par l'exploitation laissent place à des tremblants. Des roselières et cariçaies s'installent aussi sur le complexe tourbeux. Les marais fauchés et pâturés ont régressé, avec des habitats de prés paratourbeux, bas-marais et moliniaies ayant tendance à disparaître. Le site étant en amont de d'autres tourbières de la vallée de la Somme présente un intérêt stratégique de restauration. Il présente des exemples de tourbières flottantes uniques à l'échelle du projet Life Anthropofens.

Des actions de restauration sont prévues sur le site. Elles visent une restauration de la fonctionnalité d'une vaste zone tourbeuse sur le marais communal de Morcourt et l'amélioration de l'état de conservation des habitats 7230 et 6410 sur 21 hectares.

Les grandes actions de restauration appliquées au site sont les suivantes :

- La restauration éco-hydrologique des tourbières passant par un comblement des fossés de drainage pour contrer l'instabilité des niveaux d'eau dans les tourbières (déboisement et débroussaillage préalables puis comblement). La pose d'équipements (1 vannage et 4 batardeaux) est prévue pour retenir les eaux sur les zones restaurées et gérer les niveaux d'eau en accord avec les exigences des habitats cibles. Enfin, l'aménagement de systèmes auto-épuration des eaux est également prévu selon une méthode de décantation. La modification de profil de fossés existants et la création de fossés en bordure de tourbières vise à ralentir l'écoulement des eaux et permettre l'épuration par la végétation en place. La matière en suspension des eaux de ruissellement retenues dans les fossés pourra décanter.
- La restauration des tourbières flottantes avec l'aménagement de dispositifs facilitant la formation de tremblants, facilitant la progression des habitats 7140 et 7230. Isoler une frange aquatique des vents dominants et des vagues facilitant ainsi le déploiement des espèces formant des radeaux flottants (tremblants) Des radeaux végétalisés par des héliophytes sont installés à Morcourt.
- La restauration des habitats forestiers tourbeux avec le comblement des fossés de drainage
- La restauration mécanique des habitats tourbeux herbacés avec la restauration des milieux ouverts envahis par les ligneux, coupe suivie d'un essouchage des ligneux et reprofilage de berges en pentes douces
- La restauration des habitats tourbeux herbacés à l'aide de pâturage avec un débroussaillage préalable et mise en place d'aménagements pour le pâturage
- L'élaboration d'un plan de gestion sur la zone d'Eclusier-Vaux

### 3.3. Cartographie des types d'écosystèmes

La troisième étape est l'identification de l'échelle d'évaluation des services écosystémiques sur les écosystèmes. L'échelle choisie doit permettre de répondre aux questions posées, ce qui signifie, dans le cas de ce stage, comprendre comment la restauration des complexes tourbeux et des habitats ciblés par cette restauration impactent la fourniture de services écosystémiques liés au cycle de l'eau et de l'azote. L'évaluation doit donc porter sur ces complexes et les habitats Natura 2000 visés par la restauration, ce qui peut définir l'échelle d'évaluation. Les tourbières du Life peuvent être décrites par un répertoire et une cartographie d'habitats Natura 2000. De nombreuses fonctions écosystémiques découlent de l'agencement de plusieurs habitats en créant une mosaïque et formant le complexe tourbeux. La gestion et la restauration se conçoivent qu'à l'échelle des sites Natura 2000, à l'échelle de la vallée de la Somme ou de la dépression de 1000 hectares formant les marais de Sacy-le-Grand. Certaines actions ont un impact sur l'ensemble du bassin versant où se trouve le site, sur des ensembles d'habitats. L'échelle du site Natura 2000 est donc importante à prendre en compte. Elle doit en conséquence être portée sur une double échelle. Celle plus fine peut suivre la délimitation des habitats ciblés par la restauration et une autre la mosaïque d'habitats ce qui se traduit par le site Natura 2000 dans sa globalité.

Il est nécessaire d'avoir un référentiel d'occupation des sols et des données habitats sur lequel appliquer la méthode. Certaines tourbières du Life Anthropofens sont déjà cartographiées par unités de végétations mais d'autres ne le sont pas. La méthode devra être répliquable sur les territoires des treize sites Natura 2000. Dans le cadre du projet, un suivi sur les zones impactées par les travaux du Life

Anthropofens a été initié dans l'une de actions du projet dont le conservatoire botanique national de Bailleul (CBN de Bailleul) est responsable. Cette action entre dans l'évaluation de l'impact global des actions sur l'état de conservation des habitats. Les séries de végétations sont cartographiées dans les zones de travaux ainsi que leur état de conservation. Le suivi des associations phytosociologiques a été fait en début de projet sur les polygones faisant l'objet de travaux de restauration. La correspondance entre les HIC et les végétations phytosociologiques a été réalisée à l'aide du guide de végétation des zones humides de Picardie (24) et des cahiers d'habitats Natura 2000. Après avoir définie cette cartographie comme celle à utiliser pour appliquer la méthode, les associations phytosociologiques ont été assemblées en classes phytosociologiques pour permettre de passer de 25 associations phytosociologiques pour les marais de Sacy à 8 habitats : H1 : Végétations des tourbières basses acides ou alcalines ; H2 : Fourrés arbustifs sur sols non marécageux ; H3 : Forêts caducifoliées riveraines de l'Europe tempérée ; H4 : Roselières et grandes cariçaies hygrophiles ; H5 : Prairies hygrophiles brièvement à longuement inondables ; H6 : Forêts et fourrés sur sols marécageux ; H7 : Aquatique ; H8 : Marais calcaires à *Cladium mariscus* et espèces du *Caricion davallianae* (7210\*).

Pour les sites des marais de la Moyenne Vallée de la Somme 16 associations phytosociologiques ont été assemblées en 11 classes phytosociologiques : H1 : Végétations des tourbières basses acides ou alcalines ; H2 : Fourrés arbustifs sur sols non marécageux ; H3 : Forêts caducifoliées riveraines de l'Europe tempérée ; H4 : Forêts et fourrés riverains à bois tendres ; H5 : Roselières et grandes cariçaies hygrophiles ; H6 : Prairies hygrophiles brièvement à longuement inondables ; H7 : Forêts et fourrés sur sols marécageux ; H8 : Forêts-galeries à *Salix alba* et *Populus alba* ; H9 : Peupleraie plantée ; H10 : Aquatique ; H11 : Forêts alluviales à *Alnus glutinosa* et *Fraxinus excelsior*.

Une cartographie des polygones de travaux indiquant l'habitat attendus en conséquence des travaux a été créé pour la mise en place du Life Anthropofens. La modification des couches sur QGIS ont pu faire apparaître les habitats attendus sur chaque polygones de travaux du Life Anthropofens sur tous les sites Natura 2000. Ainsi, les cartographies présentes en début et attendues en fin de projet sont disponibles et uniformes pour les treize sites Natura 2000. La cartographie des végétations avant et après est faite sur les même polygones de travaux.

### 3.4. Définition de l'état de l'écosystème

La définition de l'état des écosystèmes est une étape de la méthode MAES. La pression est un processus qui modifie l'état des écosystèmes. La définition de l'état nécessite des informations sur les pressions telles que l'occupation des sols, la fragmentation, la perte de biodiversité, les espèces envahissantes, la pollution et le changement climatique et leurs impacts sur la structure et la fonction de l'écosystème. La méthode distingue des classes principales de pressions et de menaces. Les indicateurs des conditions de l'écosystème peuvent être les attributs de l'écosystème physique et chimique ou des attributs biologiques. Ces derniers peuvent être structurels ou fonctionnels de l'écosystème. Les structurels peuvent être basés sur la diversité des espèces et leur abondance comme c'est le cas pour les suivis dans le cadre du projet Life Anthropofens. Le suivi de l'état des séries de végétations est réalisé par le CBN en association avec la mission de cartographie des unités phytosociologiques. Un réseau de placettes est disposé sur les polygones d'habitats. Ce suivi est fait sur l'ensemble des zones Natura 2000. L'état de conservation des milieux est donc évalué dans cette étude à l'aide de l'analyse du CBN. Ces données sont disponibles sur l'ensemble des sites Natura 2000.

### 3.5. Identification des SE fournis

La quatrième étape de la méthode comprend l'identification des services écosystémiques (SE) fournis par les écosystèmes après en avoir défini leur état. La liste des services essentiels devant faire

partie de l'évaluation peut être tirée de la classification CICES (19). Elle se présente sous la forme d'un tableau Excel, en anglais et est disponible librement sur le site officiel. La sélection a eu lieu par connaissances des milieux tourbeux, appuyée sur les documents de gestion indiquant les usages qui sont faits sur les milieux. La liste devait correspondre à l'ensemble des complexes tourbeux évalués dans le cadre du Life donc avec des contextes socio-économiques et écologiques différents. Le choix a été fait de dresser une liste de services écosystémiques pouvant être fournis par les milieux humides. Il est considéré que les services sont liés au cycle de l'eau ou à celui de l'azote. Une liste de 25 services écosystémiques a été pensée puis validée par des gestionnaires de milieux tourbeux étudiés dans le cadre du Life Anthropofens (cf Annexe 2).

### 3.6. Sélection d'indicateurs de l'écosystème

En cinquième étape de la méthode on retrouve la sélection d'indicateurs de l'état des écosystèmes et des services écosystémiques. Ils sont idéalement quantifiés sur la base de mesures sur le terrain ou par des ensembles de données de surveillance de l'état de l'écosystème. Dans le cas de cette étude, comme dit précédemment, les données de suivi faites par le Conservatoire Botanique de Bailleul permettent d'obtenir des indicateurs fonctionnels de l'état des écosystèmes à l'état initial. A l'état final, après l'impact des actions de restauration du Life Anthropofens, il est considéré que l'état des écosystèmes est fonctionnel et présente les caractéristiques décrites par les cahiers d'habitats Natura 2000.

### 3.7. Sélection d'indicateurs des services écosystémiques

La deuxième partie de la cinquième étape de la méthode est la sélection d'indicateurs pour les services écosystémiques. L'évaluation de la capacité de l'écosystème à fournir des services écosystémiques passe par des indicateurs permettant de quantifier ces derniers. Ces indicateurs doivent communiquer une information sur les usages qui sont faits du milieu, les biens et les services qui sont puisés du milieu. Ils contiennent à la fois des composantes naturelles (par exemple, la superficie forestière, les espaces verts) et anthropiques (par exemple, le développement de l'exploitation forestière annuelle, la proportion de zones bâties).

Les services écosystémiques peuvent être quantifiés par des méthodes biophysiques, économiques et sociales. Leur sélection doit être appropriée à la disponibilité des données ainsi que de l'échelle géographique et de l'objectif de l'étude. Les moyens et le temps mis à disposition sont à prendre en compte. Il faut comprendre chaque service écosystémique, quels indicateurs pourraient permettre de les décrire afin de les évaluer avec plus de précision. Plusieurs indicateurs sont possibles pour chaque service écosystémique, ils sont plus ou moins en accord avec le service écosystémique et peuvent simplement donner des indications et une idée de l'usage qui est fait sur le milieu ou comment un habitat fournit une fonction écosystémique rattachée à un service écosystémique. Les données peuvent être disponibles en interne, obtenues à l'aide de suivis qui sont faits sur les milieux. Certaines informations doivent être demandées à des acteurs externes à l'association, travaillant ou non dans le cadre du Life Anthropofens. Les organismes peuvent envoyer les connaissances qu'elles ont sur le milieu.

Une liste d'indicateur a été dressée à partir d'études déjà menées et de guide décrivant cette méthodologie. Le livre MAES (25), le Guide Life(21), l'évaluation des Services Ecosystémiques sur le parc naturel régional Scarpe-Escout (20) ainsi que d'autres études sur le développement des indicateurs. La liste d'indicateurs dans la description de la méthode MAES analysant les tendances des services écosystémiques et à l'aide d'une série d'indicateurs classés selon la classification CICES a été très utile pour comprendre quels indicateurs pouvaient être utilisés en fonction de l'échelle d'étude (25). Les indicateurs ont été classés dans un document Excel. En réalité pour répondre aux objectifs de cette étude,

les informations sur chaque service écosystémique doit pouvoir se trouver sur les treize sites Natura 2000. Les moyens, le temps de récupérer les données n'ont pas permis d'avoir un indicateur pour chaque service (cf Annexe 3).

### 3.8. Quantification de la fourniture de services écosystémiques

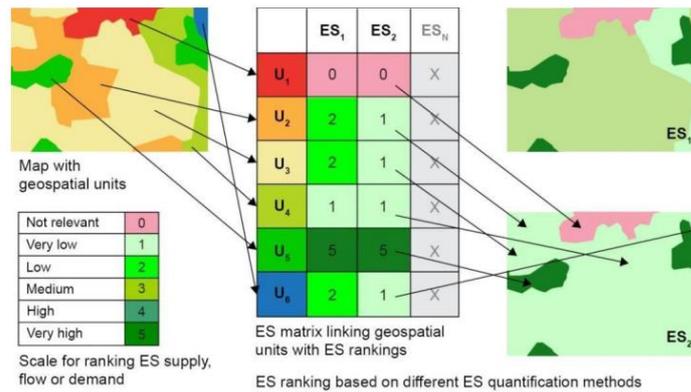
La quantification de la fourniture des services écosystémiques par les écosystèmes est l'étape suivante. Elle vise une évaluation à l'aide d'une unité de mesure la capacité des milieux à rendre les services écosystémiques. La méthode MAES propose d'appréhender le choix de la méthode de quantification par une approche par paliers. Pour choisir la méthode de quantification il est nécessaire de considérer les objectifs de l'évaluation et de la cartographie et si elle est applicable au territoire. La méthode des matrices est un moyen de quantification des services écosystémiques. C'est une méthode d'évaluation participative. Elle amène à l'appropriation de la notion de services écosystémiques par les évaluateurs qui sont aussi acteurs du territoire évalué. Elle répond en ce sens à l'objectif de renforcer la prise de conscience de la contribution positive des actions de conservation sur les trois grandes catégories de services écosystémiques. Au-delà des quantifications réalisées par des experts scientifiques, le concept de services écosystémiques ne peut être mis en œuvre que si les évaluations sont comprises et soutenues par les utilisateurs finaux. (26)

L'approche matricielle rend possible l'intégration d'indicateurs liés aux services écosystémiques dans l'évaluation. La cartographie des SE est le résultat de cette méthode. Les tableaux matriciels sont accompagnés de cartographies des habitats. Il est également possible d'ajouter des informations sur certains services écosystémiques. Les connaissances d'experts constituent la source d'évaluation principale. Les données indicatrices ne sont que complémentaires. En effet, il est possible d'estimer la capacité biophysique, la valeur économique ou sociale des services écosystémiques de différents types d'écosystèmes par des méthodes d'interrogation des connaissances basées sur des entretiens individuels ou collectifs.

Le système de notation utilisé est basé sur des notes allant de 0 à 5, où 0 signifie que l'écosystème n'a pas la capacité de fournir le service et 5 est égal à une capacité très élevée du milieu à rendre le service. Le score 1 est égal à une faible capacité, le 3 à une capacité modérée et le score 5 est égal à une capacité très élevée. Le score estimé est celui d'un ET hypothétique standard pour un état moyen de l'écosystème et une année moyenne, généralement autour de la **saïson** de végétation maximale dans la région donnée. La signification des valeurs de l'échelle doit être discutée en détail avec le groupe d'experts.

Outre la valeur du score pour chaque combinaison de service avec un habitat les experts fournissent une indication de leur confiance pour chaque habitat et chaque service écosystémique. Il indique la confiance des experts dans la fourniture du score de capacité et peut être utilisé pour calculer les erreurs de score. Il a été demandé à chaque expert d'indiquer sa confiance dans ses propres connaissances sur chaque habitat et chaque SE au moyen d'un indice de confiance allant de 1 = "Je n'ai pas confiance en mon score" à 2 = "J'ai assez confiance en mon score" ou 3 = "J'ai confiance en mon score". Les indices individuels des habitats et des services peuvent ensuite être additionnés pour obtenir un score de confiance pour chaque combinaison service et chaque habitat.

Le remplissage de la matrice vide est choisi comme individuel et complet après présentation de la méthode après présentation de la méthode lors de réunions regroupant des experts.



Source : Burkhard & Maes (2017)

Figure 5 : Aperçu de l'approche de la matrice des services écosystémiques et des cartes qui en résultent

La méthode vise à cartographier et évaluer les écosystèmes et leurs services à partir de la matrice en se basant sur la cartographie des habitats à évaluer. La matrice des SE comprend les valeurs de 0 à 5 et ces dernières pourront être reportées sur la carte des superficies d'habitats. La carte de type 1 contient la cartographie des zones étudiées et celle produite après évaluation, la carte de type 2, est créée pour chaque service et répertorie en fonction de l'habitat les surface sur lesquelles il est fourni ou non. Pour chaque habitat sont évalués tous les services écosystémiques. Les surface d'habitat en rouge montreront des services notés entre 0 et 1 pour l'habitat présent sur le polygone. Si au contraire, l'habitat en question fournit le service, noté à 5, alors il sera cartographié en vert foncé. Le code couleur pourrait correspondre à 0= rouge foncé, 1= rouge, 2=orange, 3=jaune, 4= vert clair et 5= vert foncé. L'approche cartographique permet de rendre compte des contrastes spatiaux dans la production des services écosystémiques et permettra d'effectuer une analyse avant et après travaux de restauration et de fournir des outils de communication impactants. Le traitement par SIG va s'appuyer sur le découpage du périmètre d'étude donc du site Natura 2000 et des habitats se trouvant dessus. Il est découpé en « polygones ». La projection cartographique de ces résultats et la garantie d'une échelle commune permettent d'élaborer des analyses comparatives entre les services et entre les catégories de services (de régulation, d'approvisionnement, culturels).

### 3.9. Quantification et cartographie de l'état des écosystèmes

Cette étape appartenant à la méthode MAES est coordonnée avec les indicateurs de l'état des écosystèmes utilisés par le conservatoire botanique national de Bailleul pour assurer le suivi sur les polygones de travaux du Life. Il se retrouve dans la cartographie des classes phytosociologiques. En ce qui concerne la mosaïque d'habitats obtenue après les actions de restauration, elle se réfère à des habitats Natura 2000 à un état de conservation optimal correspondant à la description des habitats faite dans le cahier des habitats Natura 2000.

#### 3.10. Dossier final servant à appliquer la méthode

Le dossier final envoyé aux experts effectuant l'évaluation contient plusieurs documents.

Les matrices sous format Excel sont communiquées aux experts pour qu'ils puissent directement les remplir et qu'elles soient sous format Excel pour les exploiter. Cette matrice lie les habitats évalués à chaque service écosystémique. C'est un fichier avec deux feuilles de calcul, une pour l'évaluation des habitats avant travaux, une pour l'évaluation des habitats après travaux. A la suite de ces cartographies sont répertoriés des indicateurs amenant des informations pour certains SE.

Un document présente la cartographie des surfaces du site Natura 2000 cartographié avec les habitats et de leur état de conservation avant travaux. Il contient à la suite la cartographie des habitats naturels attendus en conséquence des actions de restauration du Life Anthropofens. Ces cartographies ont été faites avec l'outil QGis.

A partir de cette cartographie, les experts peuvent se référer pour chaque habitat à un document décrivant l'ensemble des habitats présents avant les travaux et après les travaux de restauration. Les onze et huit classes phytosociologiques sont donc décrites pour, respectivement, la Moyenne Vallée de la Somme et les Marais de Sacy-le-Grand. Les six habitats Natura 2000 ciblés par la restauration sont également décrits (cf Annexe 1). La description contient sous forme de présentation : le titre de l'habitat avec le code Natura 2000 s'il l'est, la description de la physionomie, la faune et la flore caractéristiques, l'hydrologie, la pédologie, la topographie de l'habitat rassemblées dans un tableau récapitulatif. Des photographies de la physionomie de l'habitat sont présentées. Il était nécessaire de vulgariser l'information et de créer un visuel permettant la communication des informations.

La liste des services écosystémiques est présentée dans un autre document avec pour chacun une définition adaptée au territoire dans la colonne « classe ». La liste des indicateurs pouvant être rattachés à chaque service a été mise à disposition bien que tous ne soient pas répertoriés dans le document

Enfin, le diaporama de présentation la méthode est envoyé aux experts pour qu'ils puissent s'y référer en cas d'oubli de l'application de la méthode.

## 4. Application de la méthode des matrices pour répondre à la question posée

La procédure d'application est de la méthode d'évaluation s'inclue dans la MAES. Elle est organisée en plusieurs étapes liées notamment celles de la conception de l'étude, la définition de l'objectif, la précision des définitions et des listes de SE et de types d'écosystèmes, décrites précédemment. Elle implique aussi la méthode de notation et l'évaluation de la précision et de l'incertitude des experts. La méthodologie en 7 étapes permet de produire des estimations semi quantitatives de la fourniture de SE basée sur des connaissances d'experts. Elle se termine par la production de différents résultats possibles.

### 4.1. Quantification et cartographie des services écosystémiques

#### 4.1.1. Experts à contacter d'après la méthode

Un panel d'expert doit être contacté afin d'évaluer la fourniture des services écosystémiques par les complexes tourbeux. Le terme "expert" fait référence à une personne possédant des connaissances ou des compétences approfondies fondées sur la recherche, l'expérience ou la profession dans un domaine particulier. Les experts doivent avoir des connaissances sur les milieux évalués, connaître les utilisations qui sont faites du milieu et son contexte socio-économique. Chaque évaluateur doit fournir une évaluation raisonnable des services associés aux différents habitats. En conséquence, il doit pouvoir évaluer des habitats naturels, comprendre quelles fonctions écosystémiques y sont rattachées. Pour nuancer ce propos, même si tous les experts n'ont pas les connaissances scientifiques aussi précises, ils pourront noter des indices de confiance plus bas pour les habitats qu'ils comprennent ou connaissent moins.

Il ne faut pas confondre experts scientifique et acteur du territoire qui est une personne affectée par une décision ou une action liée au milieu évalué. La détermination des valeurs locales des SE nécessite des personnes qui possèdent l'expertise nécessaire. Certains peuvent permettre d'identifier ou de contacter des experts à inclure dans le panel.

Le nombre d'experts à inviter est une question complexe, mais il est probable que le risque de biais diminue lorsque la taille du panel augmente. Sur la base d'un rééchantillonnage statistique des membres du panel, la méthode préconise que le panel d'experts compte au moins 10 experts et soit compris entre 15 à 20 pour une taille optimale. La liste d'experts qui ont été contactés pour participer à l'étude est longue. (cf. Annexe 4).

#### 4.1.2. Animation de réunions

La réunion rassemble tous les experts et toutes les parties prenantes de l'étude. L'objectif principal de l'atelier est d'harmoniser la compréhension de la notion de service écosystémique et la cartographie des écosystèmes. Il doit permettre de parvenir à une compréhension commune de l'objectif de l'étude. La présentation doit donc être adaptée à la diversité d'expertise des évaluateurs.

La mission du stage est présentée. La présentation définit la notion de services écosystémiques et comment la classification utilisée les organise. S'en suit la présentation de la méthode d'évaluation MAES avec les procédures d'identification et cartographie des écosystèmes et la définition de l'état des écosystèmes et des SE qu'ils fournissent. Un exemple de cartographie des habitats initiaux et finaux évalués (cf. Annexe 3) est mis en avant ainsi qu'un exemple de la description d'un habitat. Les experts connaissent ainsi les outils qu'ils vont devoir utiliser. Ensuite, les dernières étapes de la méthode MAES sont décrites avec la méthode d'évaluation des services écosystémiques et comment ils pourront être cartographiés. Enfin, une présentation des résultats qui pourront être tirés de l'étude est faite.

Un temps important est pris pour présenter chaque service avec une définition précise. Les exemples d'informations indicatrices pouvant être utilisées permettent d'illustrer chaque service écosystémique. L'atelier est conçu pour permettre aux experts de poser toutes les questions qu'ils souhaitent et pour créer une interaction entre tous les participants.

Les experts sont réunis par groupes ou rencontrés individuellement afin d'obtenir la taille appropriée du panel d'experts et toute l'expertise nécessaire.

### 4.2. Compilation des éléments dans évaluation intégrée des écosystèmes et diffusion et communication des résultats

La méthode des matrices dans le cadre de cette mission, vise à analyser statistiquement les résultats afin de répondre aux questions posées. L'analyse permet de comprendre la relation entre l'état des écosystèmes et la fourniture de SE et l'importance de la restauration des tourbières et l'effet du changement de la mosaïque d'habitats sur la fourniture de SE. C'est une analyse statistique de la variabilité des scores.

D'après la méthode MAES, l'intégration des résultats se fait par l'évaluation de la capacité des écosystèmes à fournir des SE et à contribuer au bien-être humain. L'intégration des résultats combinant les connaissances sur l'état des écosystèmes et les services écosystémiques permet de souligner la relation entre l'état des écosystèmes et la fourniture de SE. L'importance de la restauration des tourbières pourra être mise en lumière afin qu'elles continuent à fournir des SE essentiels.

En ce qui concerne la diffusion et la communication des résultats, la cartographie de l'état des services écosystémiques est visée par cette méthode. La méthode de cartographie intégrée peut suivre une approche basée sur des données provenant d'experts des écosystèmes. Elle doit répondre à des critères d'exactitude scientifique, de reproductibilité et de crédibilité. Ce niveau peut être atteint en intégrant les connaissances des parties prenantes. Dans le cadre de cette mission, la diffusion des résultats est possible en créant ces cartes mais n'est pas prévue.

## 5. Résultats

### 5.1. Résultats et mise en forme des données

Le nombre de matrices qui aurait pu être évaluées si l'ensemble des acteurs avaient envoyé leurs résultats est de 15 matrices pour Sacy et 20 pour le site de la Moyenne Vallée de la Somme. Le nombre visé était 15 personnes. Finalement, certains n'ont pas renvoyé leur matrice complétée par manque de temps, certains n'ont pas eu confiance en leurs résultats et n'ont complété la matrice pour un habitat. Des acteurs provenant d'une même structure ont travaillé ensemble pour compléter la matrice et n'ont envoyé qu'un résultat à la place de deux jeux de données. Les résultats ont mis beaucoup plus de temps que le délai imparti à être retournés. Le travail avec des acteurs du territoire n'ayant que peu de temps à accorder à cette étude n'a pas facilité l'acquisition des données. De plus les évaluateurs ont été plusieurs fois sollicités puisque les matrices n'étaient parfois pas complètes par oubli et manque d'attention. Souvent, les indices de confiance n'étaient pas complétés, les matrices étaient renvoyées puis reçues plusieurs jours plus tard. Finalement, ce sont neuf matrices qui sont analysées sur les marais de Sacy-le-Grand et quatorze matrices analysées sur le site de la Moyenne Vallée de la Somme.

L'ensemble des matrices ont été regroupées en une seule dans le logiciel R studio avec les notations de chaque service pour les 9 et 14 experts ayant remplis les matrices pour respectivement le site des marais de Sacy et le site de la Moyenne Vallée de la Somme. La base de données présente donc différentes variables : le service écosystémique « SE », le « score », l'« Habitat », les deux types d'indices de confiance « ICH » et « ICSE », la période d'évaluation « Time » correspondant à avant ou après restauration, le site Natura 2000 évalué « SiteN2000 », le nom de l'expert évaluateur « Name », la structure dans laquelle il travaille « Organisation », sa fonction « Fonction », la durée qu'il a mis à remplir la matrice « Duree ». Les habitats sont codés dans la base de données. Par exemple, l'aulnaies-frênaies alluviales à hautes herbes (91E0\*) est codée « AulFre ».

### 5.2. Matrices moyennes

En première partie, la visualisation des résultats des matrices peut se faire par un tableau moyen de l'ensemble des matrices complétées pour les deux sites. Ce premier traitement de données permet d'avoir une vision globale de l'ensemble des résultats avec la moyenne des scores pour chaque service en fonction de chaque habitat. Ces matrices présentent également les moyennes des scores moyens donnés pour chaque service (ligne « Moy SE ») et chaque habitat (colonne « Moy Hab »). Les indices de confiance moyens donnés à chaque habitat (colonne « IC ») et SE (ligne « IC ») ont également été inclus.

#### 5.2.1. Matrices récapitulatives des évaluations sur le site de la Moyenne Vallée de la Somme

	SE	SA01_	SA02	SA03	SA04	SA05	SA06	SA07	SA08	SA09	SA10	SR01	SR02	SR03	SR04	SR05	SR06	SR07	SR08	SR09	SR10	SR11	SR12	SC01	SC02	SC03	Moy	
Hab	IC	2,3	2,1	2,0	2,3	1,7	1,9	2,0	1,7	1,8	2,2	1,6	1,7	2,0	2,1	1,9	1,9	1,4	1,1	2,0	2,2	2,5	2,2	2,4	2,3	2,3	Hab	
1		2,1	2,1	2,0	1,2	0,2	2,1	1,3	1,4	2,5	2,0	1,1	2,9	2,5	4,0	3,9	3,1	3,5	2,4	1,8	2,4	3,9	3,8	2,6	2,5	4,2	4,1	2,5
2		2,1	0,5	2,2	1,5	0,0	1,7	2,0	1,1	1,4	1,4	2,4	2,1	2,6	2,4	2,7	2,3	2,2	1,8	1,5	2,0	2,4	2,9	3,0	1,7	2,1	1,9	1,9
3		2,1	0,5	2,7	1,4	0,0	1,9	1,9	1,3	1,6	1,5	3,1	2,2	2,9	2,5	2,4	2,1	2,4	1,9	1,5	1,9	2,7	3,3	3,5	2,1	2,5	2,6	2,1
4		2,1	0,6	2,8	1,3	0,0	1,9	2,0	1,4	1,5	1,4	2,8	2,5	2,9	2,6	2,5	2,0	2,5	2,1	1,4	2,0	2,8	3,0	3,2	1,8	2,5	2,4	2,1
5		2,1	1,4	2,6	1,1	0,6	1,9	2,0	1,4	1,8	1,9	1,3	3,5	2,7	3,9	3,8	2,3	3,1	2,1	1,7	2,1	4,1	3,0	2,4	2,1	3,5	3,5	2,4
6		2,1	3,8	2,8	1,5	0,4	2,1	1,6	2,4	2,2	2,1	1,0	2,6	2,6	3,1	3,4	3,4	3,3	2,4	2,0	2,9	3,4	2,6	2,2	3,0	3,4	3,4	2,5
7		2,0	1,2	2,9	1,0	0,0	2,1	2,1	1,4	1,8	1,9	2,8	2,9	3,0	3,6	3,5	2,5	2,8	2,3	1,4	1,9	3,4	3,1	3,4	2,4	2,8	2,6	2,3
8		2,1	0,6	2,7	1,0	0,1	2,0	2,1	1,4	1,2	1,6	2,9	2,5	2,8	2,6	2,8	2,0	2,6	1,5	1,8	1,6	2,6	2,9	3,1	2,4	2,1	2,4	2,1
9		2,1	0,9	2,3	0,4	0,0	1,4	3,4	1,9	0,5	1,4	3,4	1,7	2,0	1,9	2,1	0,9	1,2	0,5	0,8	2,1	1,6	2,0	2,3	1,5	1,1	0,7	1,5
10		2,1	0,5	2,9	0,8	1,7	2,4	0,8	0,6	1,7	3,1	0,3	1,6	1,7	2,8	1,6	1,1	2,6	1,3	1,0	0,9	2,4	1,7	1,9	2,9	3,2	3,3	1,8
11		2,1	0,6	2,3	1,0	0,3	2,1	2,0	0,7	1,8	2,0	2,9	2,8	3,1	3,4	3,6	2,9	2,9	2,1	1,8	1,9	3,1	3,8	3,9	2,0	3,3	3,4	2,4
Moy SE		1,1	2,6	1,1	0,3	1,9	1,9	1,4	1,6	1,8	2,2	2,5	2,6	3,0	2,9	2,2	2,6	1,9	1,5	2,0	2,9	2,9	2,9	2,9	2,2	2,8	2,7	2,7

Figure 6: Matrice moyenne des résultats d'évaluation pour le site de la MVS avant actions de restauration

	SE	SA01_	SA02	SA03	SA04	SA05	SA06	SA07	SA08	SA09	SA10	SR01	SR02	SR03	SR04	SR05	SR06	SR07	SR08	SR09	SR10	SR11	SR12	SC01	SC02	SC03	Moy	
Hab	IC	2,4	2,2	2,1	2,4	1,9	2,1	2,1	1,8	1,9	2,1	1,8	1,8	2,1	2,1	1,9	2,1	1,4	1,2	1,9	2,2	2,5	2,4	2,4	2,4	2,4	2,2	Hab
1		2,2	0,6	2,9	1,5	0,3	1,9	1,6	0,6	2,1	2,1	2,7	3,1	2,9	3,6	4,1	2,6	3,2	2,1	1,8	2,1	3,4	4,0	4,0	2,4	3,5	3,4	2,5
2		2,2	3,8	2,4	2,1	0,1	2,0	1,7	2,9	2,7	2,0	1,1	2,6	2,2	3,1	3,4	3,9	3,4	2,3	1,8	2,9	3,3	2,6	2,4	3,1	3,9	4,0	2,6
3		2,2	2,3	2,1	1,4	0,3	2,0	1,5	2,0	2,8	2,5	1,4	3,4	2,6	4,1	3,9	3,4	3,4	2,3	1,8	2,6	4,1	3,9	2,9	2,9	4,6	4,5	2,7
Moy SE		2,2	2,5	1,7	0,2	2,0	1,6	1,8	2,5	2,2	1,7	3,0	2,6	3,6	3,8	3,3	3,4	2,2	1,8	2,5	3,6	3,5	3,1	2,8	4,0	4,0		

Figure 7: Matrice moyenne des résultats d'évaluation pour le site de la MVS après actions de restauration

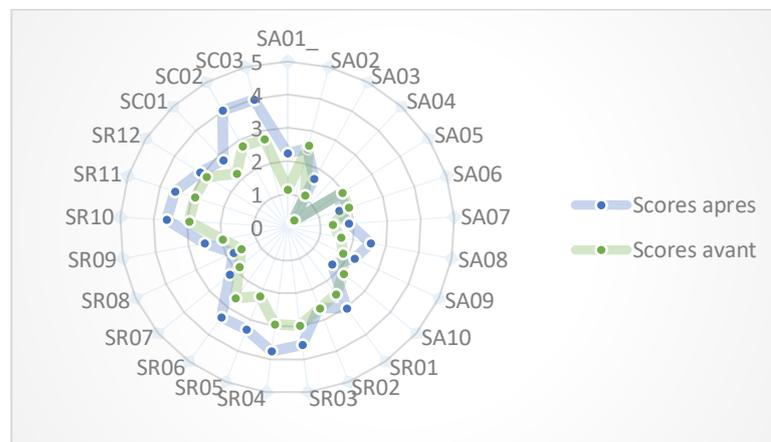


Figure 8: Graphique radar des scores moyens de SE provenant de l'évaluation pour le site de la MVS avant et après actions de restauration

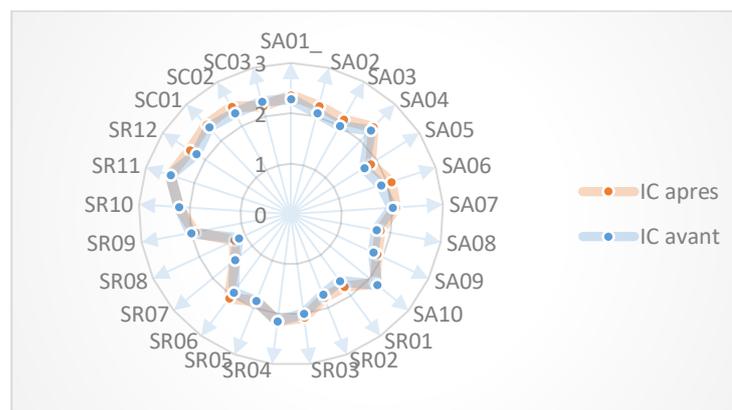


Figure 9: Graphique radar des indices de confiance moyens pour chaque SE donnés par les experts lors de l'évaluation pour le site de la MVS avant et après actions de restauration

Pour le site de la Moyenne Vallée de la Somme (MVS), les répondants ont eu relativement confiance en leurs réponses. Les scores des indices de confiance moyens pour les SE sont compris entre 1,4 et 2,5 pour la matrice d'évaluation avant travaux de restauration. Ils sont compris entre 1,2 et 2,4 pour celle d'évaluation des habitats attendus après la mise en place du projet. En ce qui concerne ceux pour les habitats, ils sont compris entre 2,0 et 2,1 pour la matrice d'évaluation avant l'impact de la

restauration et ont une moyenne de 2,2 l'évaluation des habitats attendus en conséquence les travaux de restauration.

### 5.2.2. Pour Sacy avant et après avec indices de confiance moyens

SE	SA01	SA02	SA03	SA04	SA05	SA06	SA07	SA08	SA09	SA10	SR01	SR02	SR03	SR04	SR05	SR06	SR07	SR08	SR09	SR10	SR11	SR12	SC01	SC02	SC03	Moy	
Hab	IC	2,2	2,2	2,1	2,3	2,2	1,9	2,3	2,2	2,0	2,3	2,1	2,2	2,2	2,1	2,3	2,1	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,0	2,1	2,1	2,3	Hab
1	2,3	1,6	2,3	0,8	0,2	1,7	0,7	2,0	2,8	2,6	0,7	2,0	2,3	3,8	3,7	3,3	3,0	2,4	2,6	2,2	3,6	3,2	2,2	2,6	4,0	4,1	2,4
2	2,2	0,8	3,2	0,7	0,0	1,2	1,4	1,3	1,0	1,3	2,6	2,0	2,5	2,0	2,4	2,3	1,7	2,1	1,7	2,1	2,0	2,9	3,2	1,9	1,6	1,8	1,8
3	2,2	0,7	2,9	1,0	0,0	1,2	2,2	1,2	1,1	1,2	3,0	2,0	2,3	2,3	2,3	2,1	1,9	2,6	1,9	2,7	2,6	3,3	3,8	1,8	1,9	2,3	2,0
4	2,3	2,0	2,7	0,8	0,3	2,0	1,2	1,1	1,5	2,3	1,2	3,1	3,0	3,6	3,8	2,6	2,7	2,1	1,9	1,7	4,2	2,4	2,3	1,8	3,4	3,3	2,3
5	2,3	2,7	3,2	1,1	0,3	1,7	0,4	2,4	1,5	2,3	0,8	2,2	2,1	3,1	3,4	3,7	2,7	2,3	2,1	2,8	3,4	2,0	1,9	1,4	2,9	3,3	2,2
6	2,3	0,3	3,0	1,0	0,0	1,6	1,4	1,1	1,5	1,6	2,3	1,9	2,5	3,1	3,0	2,2	1,9	2,6	2,0	1,6	3,0	3,0	3,4	1,6	1,7	2,7	2,0
7	2,3	0,3	3,2	0,8	1,4	2,4	0,2	0,0	0,6	3,4	0,0	1,8	1,9	2,4	1,8	1,6	2,4	1,0	1,4	0,1	1,8	1,3	2,0	2,7	2,9	2,7	1,6
8	2,2	0,8	2,7	0,4	0,0	1,9	0,9	0,8	1,3	2,0	0,8	2,8	2,9	3,6	3,6	2,7	3,0	2,4	2,1	1,6	3,7	2,3	2,3	2,2	3,3	3,3	2,1
Moy SE		1,1	2,9	0,8	0,3	1,7	1,1	1,3	1,4	2,1	1,4	2,2	2,4	3,0	3,0	2,6	2,4	2,2	2,0	1,8	3,0	2,6	2,7	2,0	2,7	2,9	

Figure 10 : Matrice moyenne des résultats d'évaluation pour le site de la Sacy-le-Grand avant actions de restauration

SE	SA01	SA02	SA03	SA04	SA05	SA06	SA07	SA08	SA09	SA10	SR01	SR02	SR03	SR04	SR05	SR06	SR07	SR08	SR09	SR10	SR11	SR12	SC01	SC02	SC03	Moy	
Hab	IC	2,4	2,3	1,9	2,2	2,2	2,0	1,5	2,2	2,4	2,3	2,0	1,9	1,7	2,3	2,4	2,0	2,1	2,1	2,0	2,1	1,4	2,2	1,8	2,2	2,2	Hab
1	2,2	0,9	2,4	0,2	0,2	1,2	0,8	1,1	1,5	2,0	0,7	2,7	3,1	3,6	3,3	2,6	2,9	2,1	2,1	1,6	3,6	2,9	2,7	2,6	3,4	3,5	2,1
2	2,3	0,7	2,0	0,8	0,6	1,8	0,4	0,8	2,9	2,1	0,4	2,1	3,0	4,0	3,7	3,1	3,4	2,3	2,4	2,3	3,7	4,0	3,0	2,6	3,8	4,1	2,4
3	2,3	2,0	2,3	0,9	0,2	1,8	0,6	2,1	2,8	2,6	0,8	1,8	2,8	3,8	3,4	3,4	3,6	2,3	2,4	2,2	3,7	3,8	2,8	3,1	4,1	4,3	2,5
Moy SE		1,2	2,3	0,6	0,3	1,6	0,6	1,3	2,4	2,2	0,6	2,2	3,0	3,8	3,5	3,0	3,3	2,2	2,3	2,0	3,6	3,6	2,8	2,8	3,8	4,0	

Figure 11 : Matrice moyenne des résultats d'évaluation pour le site de la Sacy-le-Grand après actions de restauration

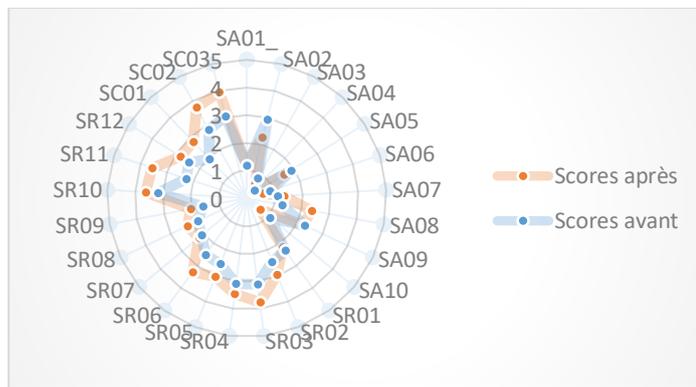


Figure 12 : Graphique radar des scores moyens de SE provenant des résultats d'évaluation pour le site de la Sacy-le-Grand avant et après actions de restauration

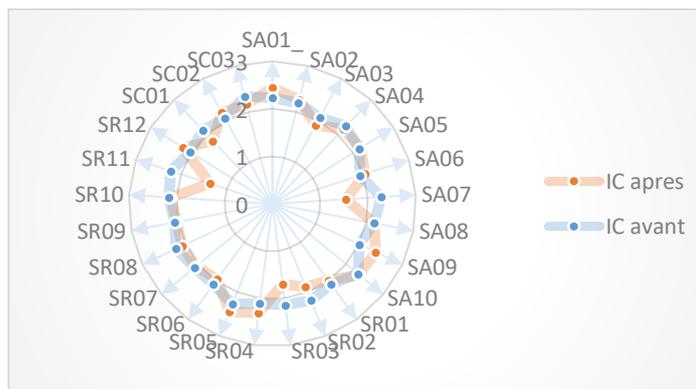


Figure 13 : Graphique radar des indices de confiance moyens pour chaque SE donnés par les experts lors de l'évaluation pour le site de Sacy-le-Grand avant et après actions de restauration

Pour le site de Sacy, la confiance des évaluateurs pour les services écosystémiques est comprise entre 1,9 et 2,3 avant travaux et 1,9 et 2,4 après travaux. Les SE sont compris entre 1,5 et 2,4 pour la matrice d'évaluation après travaux de restauration. En ce qui concerne ceux pour les habitats, ils sont compris entre 2,2 et 2,3 pour la matrice d'évaluation avant et après les actions de la restauration.

## 5.3.Résultats statistiques

Le nombre de matrices traitées pour chaque site correspond au nombre d'experts ayant complété les matrices de capacité pour le site. Chacun a complété une matrice amenant à l'évaluation de la capacité du site à fournir les 25 services écosystémiques avant les actions du Life et après le projet. Les notes données pour les services écosystémiques avant et après les actions de restauration du projet peuvent être analysées après avoir été mises en forme dans le logiciel R studio sous forme d'un tableau nommé Datafinal et DatafinalSacy.

### 5.3.1. L'exploration des données : les matrices de corrélations, les composantes principales et clusters

L'exploration de données passe par l'analyse de la capacité du site de la Moyenne Vallée de Somme et des marais de Sacy à rendre les 25 services écosystémiques. Plusieurs graphiques permettent de comprendre comment les fournitures des différents services écosystémiques sont corrélés. Pour classer les services écosystémiques et répondre aux questions posées, une Analyse en Composantes Principales (ACP) a été faite ainsi qu'une Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) communément appelée analyse par clusters. Les résultats permettent de regrouper les services écosystémiques corrélés. Dans cette étude sont utilisées les matrices des corrélations, l'analyse des composantes principales et l'analyse par clusters.

Les corrélations sont faites à partir des notes de l'ensemble des matrices complétées par les experts pour l'évaluation de la fourniture de services écosystémiques par les milieux avant travaux. La matrice des corrélations est un premier résultat pouvant montrer quelles notes de services peuvent être corrélés sur le milieu. Si une corrélation entre deux services existe, ces derniers pourront être regroupés. Il est possible qu'ils soient liés à une thématique commune, une catégorie plus large de services écosystémiques. L'analyse peut alors porter sur plusieurs groupes définis par l'exploration de données.

Sur les matrices de corrélation, les duos de services ayant de fortes corrélations, proches de 1, se dénotent par une couleur proche du rouge. Ceux proches de -1 apparaissent de couleur violet et sont corrélés négativement.

Les matrices de capacités ont été traitées par une approche de classification consistant à réaliser une Analyse en Composantes Principales (ACP) puis une Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) grâce aux résultats de l'ACP.

L'analyse des principales composantes (ACP) est une analyse quantitative des correspondances. Elle permet l'étude de plusieurs matrices, des notes de tous les experts pour chaque service écosystémique en fonction des habitats présents sur le site. Les liaisons entre les variables donc entre les services écosystémiques vont être étudiées par une ACP. Des services écosystémiques peuvent être corrélés entre eux et regroupés en de nouvelles variables synthétiques. Les résultats des ACP avant et après travaux suivent les résultats des matrices de corrélation mais en regroupant davantage de services et ne met plus seulement en lumière les deux étant les plus corrélés. Ils permettent donc de comprendre quels services sont associés aux duos corrélés et former des groupes de services représentés par le duo le plus corrélé.

La classification hiérarchique ascendante ou analyse par clusters vise à créer des groupes d'observations semblables selon une série de variables. Dans le cas du traitement des matrices, les observations sont les services écosystémiques en fonction de leurs scores. C'est une classification qui classe les observations individuelles en groupe de plus en plus grand jusqu'à que progressivement un

seul groupe soit obtenu. L'arbre ou dendrogramme est la structure qui en résulte. Les relations de proximité entre les services pourront être mises en avant.

La fonction `hclust` permet d'effectuer une classification hiérarchique ascendante des 25 de services écosystémiques. La distance entre les groupes est visible et nommée « Height » sur l'axe des ordonnées. Le calcul de cette dernière peut être fait de différentes manières. Celle du critère de Ward (`method = "ward.D2"`) consiste à effectuer le regroupement minimisant l'augmentation de la variance totale intra-groupe. La matrice de distance est calculée puis le regroupement avec la méthode « `ward.D2` » est effectué. La fonction `cutree` permet de « couper » le dendrogramme à une certaine hauteur en spécifiant l'argument `h` ou pour obtenir un certain nombre de groupes en spécifiant l'argument `k`. Cette fonction permet d'indiquer l'indice du groupe correspondant à chaque observation, dans le même ordre que la matrice de données.

Les relations créées par l'ACP pourront être nuancées et les services écosystémiques ne sont pas classés seulement visuellement. Les groupes obtenus par classification hiérarchique peuvent être représentés sur le graphique des deux premiers axes de l'ACP. Un tableau est créé et lie les deux premières composantes principales au vecteur des indices de groupes.

#### 5.3.1.1. L'exploration des données d'évaluation sur le site de la Moyenne Vallée de la Somme

Pour la Moyenne Vallée de la Somme, les quatorze experts ont complété les matrices. Comme décrit dans la partie « 2.3 Cartographie des types d'écosystèmes », pour l'évaluation avant l'action du Life, 11 habitats sont évalués. Pour l'évaluation après action du Life, 3 habitats sont évalués.

La matrice de corrélations des notations de services écosystémiques fournis par les habitats de la Moyenne Vallée de la Somme avant les actions de restauration du Life Anthropofens, de manière générale, montre des services de régulation corrélés entre eux. Des duos de services semblent fortement corrélés. D'abord, les services liés à l'approvisionnement en ressource en eau à destination ou non de la consommation humaine sont corrélés (SA05 et SA09). C'est le cas également des services liés à la régulation des flux liquides, donc la régulation des inondations et des flux d'eau (SR03 et SR04). Enfin, ceux culturels liés à des interactions cognitives avec le milieu sont corrélés (SC02 et SC03).

Ceux corrélés négativement dans les matrices de corrélations, dont la fourniture d'un semble contraire à la fourniture de l'autre sont SR04 et SA04, un service de régulation pour la protection contre les inondations et un service d'approvisionnement d'animaux issus de l'aquaculture.

Sur la matrice de corrélations des services écosystémiques après travaux sur le site de la Moyenne Vallée de la Somme, certains services semblent corrélés. Le premier duo est lié à la production agricole en animaux élevés, leurs produits et les matériaux provenant de plantes et d'animaux à usage agricole (SA01 et SA07). Ensuite, SA05 et SA09, services d'approvisionnement en eau souterraine et de surface (EDCH et non EDCH) sont corrélés. Les services liés à la régulation des flux d'eau (régulation du cycle hydrologique, inondations) sont fournis de la même manière par la mosaïque d'habitat après l'impact des travaux de restauration (SR03 et SR04). Les services de régulation de la qualité physique de l'air et ceux de régulation des inondations semblent corrélés (SR12 et SR04).

En ce qui concerne les services semblant corrélés négativement, d'une part, le service culturel SC02 lié aux interactions intellectuelles (scientifiques, éducation, patrimoine, esthétique) montre une corrélation négative avec le milieu et le service d'approvisionnement en animaux sauvages et leurs produits SA02. Ensuite, les services de régulation des flux de masse sédimentaires SR02 et ceux d'approvisionnement en animaux élevés et leurs produits SA01 sont également corrélés négativement.

Enfin, les services d'approvisionnement en énergie provenant de la biomasse (SA10) et ceux d'approvisionnement en animaux élevés et leurs produits sont corrélés négativement (SA01).

Pour l'analyse des résultats de l'évaluation de la fourniture de SE par les onze habitats présents avant les actions du Life Anthropofens sur le site de la MVS, les résultats montrent des services écosystémiques corrélés et regroupés par :

- La PC1 : groupe a : SR05, SR06, SR10, SR11, SC03, SC02, SR07, SR03 et SR04
- La PC1-PC2 : groupe b : SA07, SA03, SA08, SA05, SR09, SA09
- La PC3 : groupe c : SR06 SR07 SR08 SA05 SA08 SA09 SA07 SC02 SC03 corrélé négativement au groupe d : SR01 SR02 SR12 SR11 SR04

L'ACP obtenue sur les scores de SE avant travaux montre que la variance totale associée à la PC1 et la PC2 est de 45.2%. Sur l'analyse des scores donnés pour les SE avant travaux, l'importance cumulée des deux premières composantes est donc d'environ 45%, donc les deux premières composantes contiennent environ 45% de l'information. Les trois premières composantes contiennent environ 54 % de l'information avec la PC1 à 33,5%, la PC2 à 11,5% et la PC3 à 9%.

Pour l'analyse des résultats de l'évaluation de la fourniture de SE par les trois habitats attendus après les actions du Life Anthropofens sur le site de la MVS, les résultats montrent des services écosystémiques corrélés et regroupés par :

- La PC1 : SA01, SA07 et SC01
- La PC1 et la PC2 : groupe a : SR12, SR03, SR02, SA10, SR11, SR01, SR04
- La PC2 groupe b : SR10, SA06, SA09, SR06, SA03, SR09, SR08, SA08, SA05, SR07
- La PC1-PC3 : groupe c : SR03 SR05 SR06 SR10 SR07 corrélé négativement au groupe d : SA10 SA03 SA06 SA08 SR09
- La PC3 : groupe e : SR04 SR08 SR12 SR01 SR02 SA05 SA09

L'ACP obtenue sur les scores de SE après travaux montre que la variance totale associée à la PC1 et la PC2 est de 49.2 %. Sur l'analyse des scores donnés pour les SE après travaux, l'importance cumulée des deux premières composantes est donc de quasiment 50%, donc les deux premières composantes contiennent environ 50% de l'information. Les trois premières composantes contiennent 59% de l'information avec la PC1 à 35%, la PC2 à 14% et la PC3 à 10%.

La classification hiérarchique ascendante ou analyse par clusters pour les services écosystémiques fournis sur la Moyenne Vallée de la Somme permet de créer des groupes d'observations, les SE semblables en fonction des scores qui leur sont donnés. Il en résulte le dendrogramme suivant.

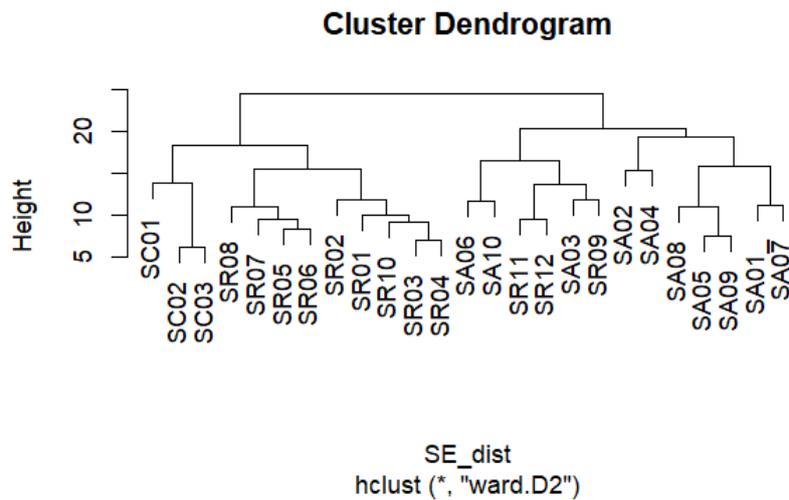


Figure 14 : Dendrogramme classant les scores attribués aux services écosystémiques sur les habitats avant travaux de restauration sur la MVS

Le classement en trois groupes est fait pour les SE rendus sur le site avant l’impact des actions du Life Anthropofens (Résultats récapitulés sous forme de tableau dans Annexe 5).

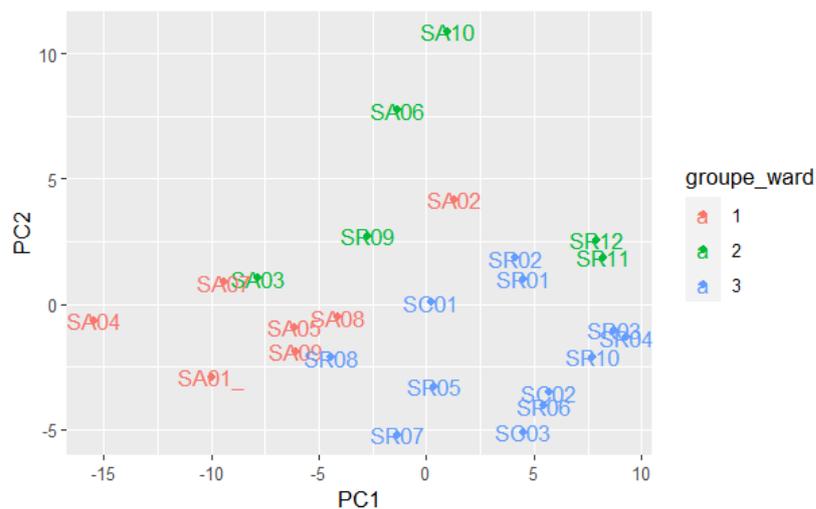


Figure 15 : Graphique représentant les deux premiers axes de l’ACP liée à la classification hiérarchique par la méthode ward.D2 pour les SE fournis par les habitats avant travaux de restauration sur la MVS

Pour les services fournis par les mosaïques d’habitats avant travaux, les résultats du classement hiérarchique en trois groupes (clusters) montrent que l’ensemble des services de régulation et culturels sont corrélés. Seuls les services de régulation de la composition du sol ayant des conditions biogéochimiques permettant son utilisation humaine (SR09), les services de régulation du climat mondial par la régulation des gaz à effet de serre et de la qualité de l’air par le milieu (SR11 et SR12) sont corrélés avec les services d’approvisionnement. Les milieux permettent l’approvisionnement en ressources notamment à l’aide d’un sol fertile. Ils fournissent donc une régulation de conditions biogéochimiques des sols favorables à l’utilisation humaine.

L’analyse des clusters démarque plusieurs groupes de services écosystémiques pour les scores attribués aux habitats avant travaux de restauration. Le premier (SA01, SA02, SA04, SA05, SA07, SA08 et SA09) regroupe des services d’approvisionnement dont ceux liés à l’eau, SA05 et SA09, qui

représentent ce groupe. Le deuxième groupe comprend les services d’approvisionnement en énergie, plantes sauvages et fibres et autres matières pouvant être récoltés comme matériaux (SA03, SA06 et SA10). Ils sont liés aux services de régulation de la qualité du sol, SR09, et ceux de régulation du climat mondial et de la qualité de l’air (SR11 et SR12). Ces derniers représentent le deuxième groupe dans l’analyse statistiques. D’après les matrices de corrélations, ils sont corrélés négativement aux services de régulation liés au contrôle des masses d’eau et culturels liés aux interactions cognitives (SR03, SR04 et SC02, SC03) donc au troisième groupe de services analysé. Ce troisième groupe représenté par services de régulation liés au contrôle des flux d’eau (SR03 et SR04) est composé de nombreux services régulation (SR01, SR02, SR03, SR04, SR05, SR06, SR07, SR08, SR10, SC01, SC02, SC03) et des services culturels d’interactions cognitives. Ce groupe peut représenter la régulation des masses solides et liquide, le contrôle des substances chimiques dans le sol et l’eau, des parasites et maladies nuisibles, le maintien du cycle de vie, de la biodiversité. Ces services sont liés et sont liés au fonctionnement écologique du milieu en lien avec une utilisation culturelle de ce dernier.

D’après les résultats de l’importance cumulée des composantes, l’analyse sera faite sur les groupes liés à la principale composante 1, c’est-à-dire, le premier et le second groupe présentés dans le paragraphe d’avant et représentés par SR03, SR04 et SA05, SA09.

La classification hiérarchique ascendante ou analyse par clusters pour les services écosystémiques fournis sur la Moyenne Vallée de la Somme après les actions de restauration permet de créer des groupes d’observations, les SE semblables en fonction des scores qui leur sont donnés. Il en résulte un dendrogramme sur l’évaluation de la fourniture de services écosystémiques par les habitats attendus après restauration des milieux humides.

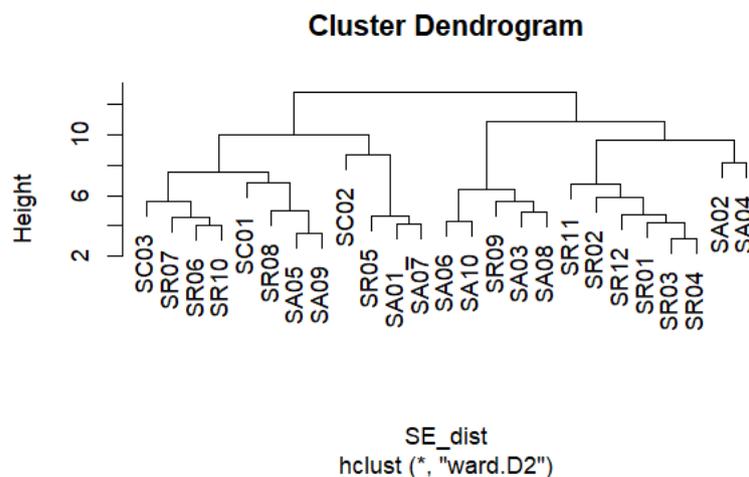


Figure 16: Dendrogramme classant les scores attribués aux services écosystémiques sur les habitats après travaux de restauration sur la MVS

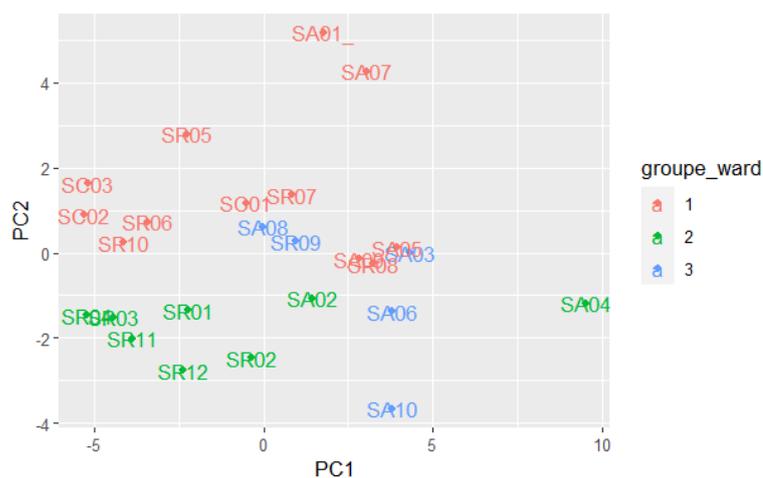


Figure 17: Graphique représentant les deux premiers axes de l'ACP liée à la classification hiérarchique par la méthode ward.D2 pour les SE fournis par les habitats après travaux de restauration sur la MVS

Pour les services fournis par les mosaïques d'habitats après travaux, l'exploration de données souligne plusieurs groupes de services écosystémiques (récapitulatif des résultats en sous forme de tableau en Annexe 5). D'abord, les services de régulation liés au contrôle des flux de masses et de liquides (SR02, SR03, SR04), la régulation du climat mondial et de la qualité de l'air (SR11 SR12), le contrôle des substances chimiques, des pollutions (SR01) et les services d'approvisionnement en animaux sauvages et animaux issus de l'aquaculture (SA02, SA04) sont liés. Les services liés à la régulation des flux d'eau (régulation du cycle hydrologique, inondations), SR03 et SR04, apparaissant dans la matrice de corrélation et peuvent être caractéristiques de ce groupe. Le deuxième groupe de corrélation contient les services d'approvisionnement en matériaux provenant de plantes et d'animaux à usage agricole, en animaux élevés et leurs produits (SA01, SA07), les services de maintien de la pollinisation et de la dispersion des graines (SR05) et le service culturel d'interaction intellectuelle avec le milieu (SC02). Les services représentant ce groupe peuvent être SA01 et SA07, services très corrélés dans les matrices de corrélation. Le troisième groupe contient les services d'approvisionnement en eau souterraine et de surface destinée ou non à la consommation humaine (SA05 et SA09). Le quatrième groupe regroupe plusieurs services d'approvisionnement en plantes sauvages (SA03), matériel génétique (SA08), matériaux provenant de plantes et d'animaux à usage agricole (SA06) et d'approvisionnement en énergie SA10. Le service de régulation de la qualité du sol y est inclus (SR09). Ils peuvent être représentés par SA10 corrélé négativement aux services d'approvisionnement en animaux élevés et leurs produits (groupe 2 représenté par SA01 et SA07).

D'après les résultats de l'importance cumulée des composantes, l'analyse sera faite sur les groupes liés aux principales composantes 1 et 2, c'est-à-dire, le premier, le troisième et le quatrième groupes présentés dans le paragraphe ci-dessus et représentés respectivement par SR03, SR04 et SA05, SA09, et SA10 (corrélé négativement au groupe 2 représenté par SA01).

### 5.3.1.1. L'exploration des données d'évaluation sur le site des marais de Sacy

Pour les marais de Sacy (FR3300378), neuf experts ont complété les matrices. Comme exposé dans la partie « 2.3 Cartographie des types d'écosystèmes », pour l'évaluation avant l'impact des actions du Life Anthropofens, 8 habitats sont évalués. Pour l'évaluation après la réalisation du projet, 3 habitats sont évalués.

D'abord, on peut explorer les notations obtenues sur la fourniture de services avant les actions du projet de restauration du Life Anthropofens. La matrice de corrélations de ces scores souligne, de manière générale, que les services culturels semblent corrélés entre eux.

Avant les actions sur le site des marais de Sacy, la fourniture de certains services semble particulièrement corrélée à d'autres. Des duos de services montrent une forte corrélation. Des duos de services montrent une forte corrélation. Le service de régulation du contrôle de la qualité des eaux amenant au maintien du bon état écologique et chimique impactant la santé humaine, et le service de régulation dans le contrôle des déchets et des pollutions (contrôle biochimique et mécanique par les micro-organismes, plantes, animaux, sol, eau), sont corrélés (SR10 et SR01). Ensuite, les services culturels liés à des interactions cognitives avec le milieu sont corrélés (SC02 et SC03). Les services SC02 et SC03 d'interactions scientifiques, d'éducation par le milieu, d'apport esthétique par le milieu mais aussi les services d'interactions intellectuelles et symbolique avec le milieu qui sont liés.

Trois duos sont corrélés négativement dont la fourniture d'un semble contraire à la fourniture de l'autre. Le service culturel liés aux interactions physiques avec le milieu (SC01) et du service de régulation de la composition du sol (SR09) sont corrélés négativement. Ensuite le service de contrôle des flux de masses, notamment par la capacité de la couverture végétale à atténuer l'étendue et la force de l'érosion et des atterrissements (SR02) est corrélé négativement au service SA06 d'approvisionnement en matériaux provenant de plantes, d'algues et leurs produits utilisés à des fins de production de denrées alimentaires. Ensuite, le service de régulation SR06 lié au maintien de la biodiversité, des populations et habitats est corrélé négativement au service SA06 d'approvisionnement en matériaux provenant de plantes, d'algues et leurs produits utilisés comme matières premières.

Sur la matrice de corrélations des services écosystémiques après les actions du Life Anthropofens, sur le site des marais de Sacy, certains services semblent corrélés. D'abord, services culturels liés aux interactions intellectuelles (SC02) et spirituelles (SC03). Ensuite, le service d'approvisionnement en plantes sauvages, algues et leurs produits utilisés à des fins de production de denrées alimentaires (SA03) et celui d'approvisionnement en animaux issus de l'aquaculture in-situ pouvant être utilisés pour la production de denrées alimentaires (SA04) semblent corrélés.

Des ensembles de services semblent interdépendants dans leur fourniture par les habitats présents après les actions du Life Anthropofens. Les trois services culturels sont fournis de la même manière sur le site. Ceux de régulations semblent l'être également et en particulier, le service de régulation SR12 lié à la régulation de la qualité de l'air paraît corrélé à la fourniture des services de régulation liés au contrôle des flux d'eau (SR03 et SR04), au service de régulation lié au maintien des populations et des habitats, des pépinières, maintien du milieu, des conditions écologiques (SR06), au service de régulation du climat mondial notamment par la réduction des concentrations de gaz à effet de serre ou séquestration des GES et la production d'O<sub>2</sub> (SR11).

D'autres sembles sont d'apparence corrélés négativement. C'est le cas du service culturel lié aux interactions physiques et expériences sur le milieu (SC01) et du service d'approvisionnement en matériel génétique provenant de tous les biotes (SA08). Le duo de service culturel lié à l'interaction physique avec le milieu et du service de régulation des flux de masse, tampon et atténuation des flux de masse (SC01 et SR02) est corrélé négativement. Ensuite, la fourniture du service de régulation de la composition du sol, des conditions biogéochimiques des sols assurant le développement de sol utile pour les êtres humains (SR09) semble contraire à la fourniture de service d'approvisionnement en énergie provenant de la biomasse, des plantes (SA10). Enfin le service de régulation et contrôle des maladies (SR08) et service d'approvisionnement en énergie provenant de la biomasse, des plantes (SA10) sont corrélés négativement (récapitulatif tableau annexe 6).

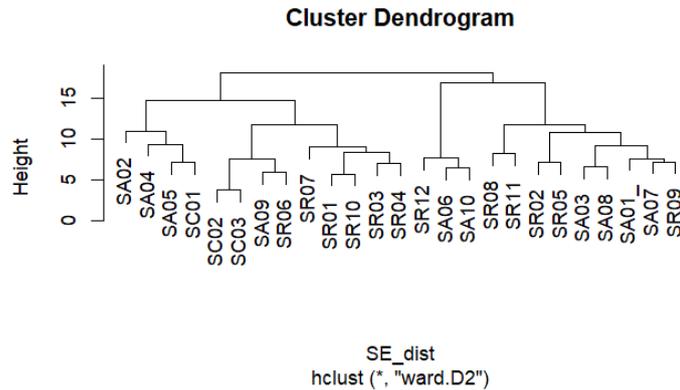


Figure 18: Dendrogramme classant les scores attribués aux services écosystémiques sur les habitats après travaux de restauration sur les marais de Sacy

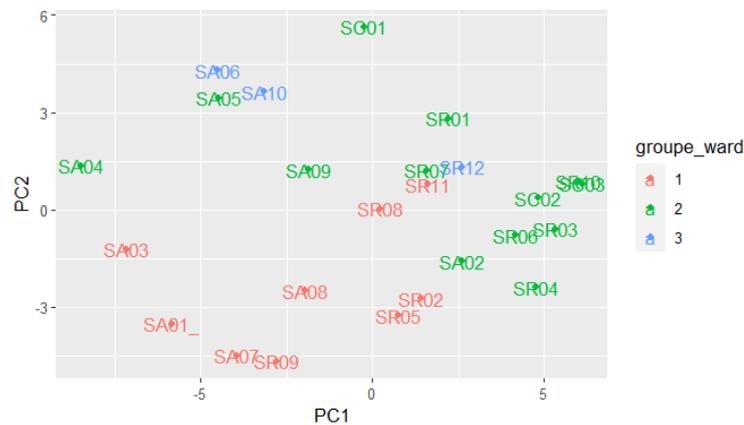


Figure 19: Graphique représentant les deux premiers axes de l'ACP liée à la classification hiérarchique par la méthode ward.D2 pour les SE fournis par les habitats avant travaux de restauration sur le site des marais de Sacy

La classification hiérarchique ascendante pour les SE fournis sur les marais de Sacy crée des groupes d'observations en fonction des scores qui leur sont donnés. Il en résulte le dendrogramme suivant sur l'évaluation de la fourniture de services écosystémiques par les habitats attendus après restauration de ces milieux humides.

L'analyse des clusters démarque plusieurs groupes de services écosystémiques pour les scores attribués aux habitats avant travaux de restauration. Le premier (SA01, SA03, SA07, SA08, SR02, SR05, SR08, SR09, SR11) regroupe des services d'approvisionnement en biomasse animale et végétale liées aux activités agricoles ou plantes sauvages, d'approvisionnement en matériel génétique et des services de régulation des flux de masse, du pool génétique (pollinisation, dispersion des graines), du contrôle des maladies, maintien des conditions biochimiques et d'un sol fertile ainsi que le service de régulation du climat mondial en lien avec les gaz à effet de serre. Le deuxième groupe est composé de services d'approvisionnement en eau et animaux sauvages et issus de l'aquaculture (SA02, SA04, SA05, SA09), de régulation dont celle des flux liquides, de la biodiversité, du parasitisme et du climat mondial (SR03, SR04, SR06, SR07, SR10) et des trois services culturels. Enfin, les services liés à l'approvisionnement en matière végétale ou animale utilisée comme matière première, en énergie issue de la biomasse et le service de régulation de la qualité de l'air sont corrélés.

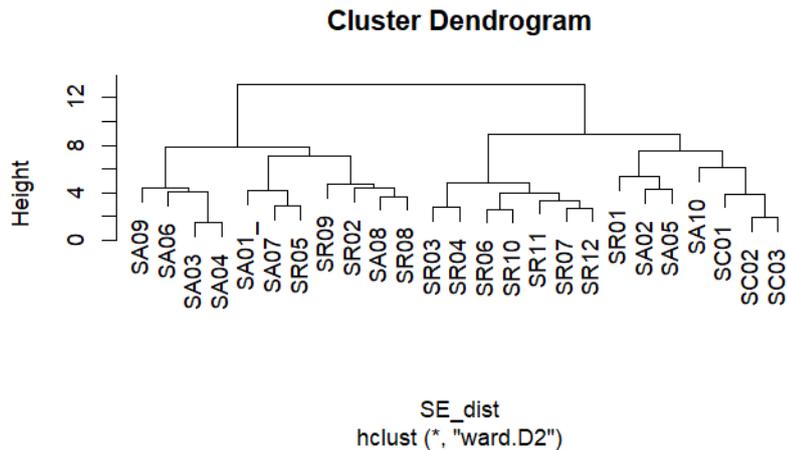


Figure 20: Dendrogramme classant les scores attribués aux services écosystémiques sur les habitats après travaux de restauration sur les marais de Sacy

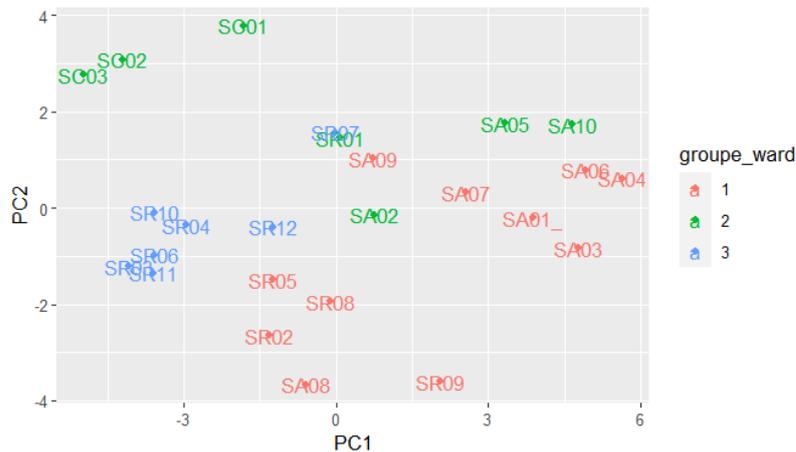


Figure 21: Graphique représentant les deux premiers axes de l'ACP liée à la classification hiérarchique par la méthode ward.D2 pour les SE fournis par les habitats après travaux de restauration sur le site des marais de Sacy

Pour les services fournis par les mosaïques d'habitats après travaux, l'exploration de données souligne plusieurs groupes de services écosystémiques (récapitulatif sous forme de tableau en annexe). D'abord, les services d'approvisionnement SA01, SA03, SA04, SA06, SA07, SA08, SA09 et d'autres de régulation SR02, SR05, SR08, SR09 se retrouvent dans les mêmes groupes. Ils sont liés à l'approvisionnement produits agricoles, en végétation sauvage, animaux issus de l'aquaculture, matériel génétique, eau n'étant pas à destination de la consommation humaine. Ceux de régulation de référence à la régulation des flux de masse, de la pollinisation et dispersion des graines, contrôle des maladies et maintien d'un sol fertile. Il peut être représenté par le SA09 ou SR02. Le deuxième groupe contient des services d'approvisionnement en animaux sauvages, eau à destination de la consommation humaine, en énergie issue de la biomasse. Il contient également des services de régulation des déchets, substances toxiques et pollutions ainsi que les trois services culturels. Il peut être représenté par le SA05 et SR01. Enfin, un troisième groupe regroupe les services de régulation des flux liquides, du maintien des populations et des habitats et de la lutte contre le parasitisme. Il contient aussi les services de régulation de la qualité de l'eau, du climat mondial et de la qualité de l'air.

## 5.4.L'analyse statistique des résultats sur la Moyenne Vallée de la Somme et sur les marais de Sacy

La fourniture de services peut être étudiée à l'aide d'un traitement statistique sur le logiciel R Studio. Avant le test de Student on applique le test de Shapiro wilk sur R. C'est un test statistique qui permet de vérifier si une distribution suit une loi normale ou non. Si l'échantillon suit une loi normale, le test de Student pourra être appliqué sinon le test de Mann-Whitney (ou Wilcoxon) sera appliqué. C'est un test non paramétrique qui permet de tester des hypothèses de distributions de données. Il permet de vérifier s'il existe une différence significative entre les moyennes de deux variables.

Le calcul de moyennes est fait dans la base de données regroupant les scores de chaque service écosystémique évalué sur les habitats avant et après travaux pour la Moyenne Vallée de la Somme (MVS) et les marais de Sacy-le-Grand. La mission vise à comprendre si les services écosystémiques sont rendus différemment après l'application des actions de restauration des milieux.

### 5.4.1. Tests statistiques sur le site de la MVS

Le calcul de moyennes est fait dans la base de données datafinal, dataavant, dataapres, regroupant les scores avant et après travaux de restauration sur les complexes tourbeux de la Moyenne Vallée de la Somme.

#### 5.4.1.1. Test de l'effet du changement de l'état de conservation d'un habitat sur la production de SE

Les moyennes des scores données pour chaque service écosystémique sont évaluées sur TourbAl qui est le code pour l'habitat pour « Tourbières basses alcalines (code Natura 2000 : 7230) ». La mission vise à comprendre si les services écosystémiques sont rendus différemment avant et après l'application des actions de restauration des milieux et donc en fonction du changement d'état de conservation. Les tourbières basses alcalines étant présentes avant et après les actions sont donc évaluées pour répondre à cette question. C'est le calcul des moyennes de scores pour l'habitat TourbAl avant et après travaux et les deux confondus pour le site de la Moyenne Vallée de la Somme qui permet la première analyse. La moyenne des scores avant travaux pour l'habitat est de 2,5/5 et après travaux de 2,7/5.

Le test de Shapiro Wilk est appliqué sur les échantillons de scores de tous les SE avant travaux et après travaux pour l'habitat de Tourbières basses alcalines, codé « TourbAl ». La p-value est inférieure à  $2.2e-16$ , les échantillons de scores pour l'habitat TourbAl ne suivent pas une loi normale.

La différence entre la moyenne des scores attribués aux SE pour l'habitat TourbAl avant travaux et la moyenne des scores de SE pour cet habitat après travaux est testée à l'aide du test de Wilcoxon. La sortie du test sur la différence des scores pour les habitats de Tourbière basse alcaline avant et après actions du projet Life Anthropofens montre une p-value de 0,09 donc la différence n'est significative.

#### 5.4.1.2. Test de l'effet du changement de la mosaïque d'habitats sur la fourniture de SE

Le calcul des moyennes de scores pour chaque habitat avant et après travaux et les deux confondus pour le site de la Moyenne Vallée de la Somme est fait.

Le test de Shapiro Wilk est appliqué sur le tableau datafinal regroupant toutes les matrices avant et après pour la Moyenne Vallée de la Somme. Il est appliqué sur la variable score. La p-value est égale à  $1,1*10^{-8} < 0,05$  donc l'échantillon ne suit pas une loi normale.

Le test de de Mann-Witney permet de tester si les mosaïques d'habitats fournissent significativement différemment des SE écosystémiques avant et après les travaux de restauration. On teste si la moyenne des scores de l'ensemble des SE avant travaux est différente de celle après travaux de restauration. La p-value < 2.2e-16 montre que la différence est significative.

SE	SA01	SA02	SA03	SA04	SA05	SA06	SA07	SA08	SA09
p-value	0.0007698	0.5963	0.06051	0.3683	0.6113	0.124	0.0677	0.001478	0.2351
SE	SA10	SR01	SR02	SR03	SR04	SR05	SR06	SR07	SR08
p-value	0.06956	0.02387	0.9135	0.006089	0.000417	1.192e-05	0.006543	0.1232	0.3361
SE	SR09	SR10	SR11	SR12	SC01	SC02	SC03		
p-value	0.05273	0.0009864	0.002362	0.2097	0.0154	3.198e-07	4.563e-06		

Figure 22: Récapitulatif des résultats après application du test de Wilcoxon sur les SE un à un

L'évolution de la fourniture de chaque service en fonction de la mosaïque d'habitats est testée. Les services écosystémiques étant fournis de façon significativement différente par la mosaïque présente après l'impact des actions du Life Anthropofens sont : SA01, SA08 ; SR01, SR03, SR04, SR05, SR06, SR10, SR11; SC01, SC02, SC03.

D'après la classification hiérarchique ascendante, le service SR09, SA09 et SR01 sont testés pour comprendre l'effet du changement de la mosaïque d'habitats sur les groupes corrélés. Les résultats de tests de Wilcoxon montrent pour SR09 une p-value = 0.04554, SA09 une p-value = 0.183 et pour SR03 une p-value = 0.004213.

La différence est significative pour SR09 et SR03. On peut en conclure que le changement de mosaïque d'habitats a un effet significatif sur la production de services par le milieu pour les groupes corrélés à SR09 et SR03.

Pour comprendre comment le changement de la mosaïque d'habitat influence la production des services ayant un lien avec l'épuration de l'eau, la régulation des flux liquides et les ressources quantitative en eau, il peut être testé l'effet du changement de l'écosystème en fonction du temps (avant/après travaux). Des tests de Wilcoxon sont faits après avoir testé la normalité des échantillons de scores avant travaux et après travaux pour les six services. Aucun ne suit une loi normale.

L'effet du changement de la mosaïque d'habitats sur la fourniture de SE représentatif de l'approvisionnement en eau SA05 et SA09 est testé par le test de Wilcoxon. Les p-value de SA09 avec une p-value = 0.18 et SA05 avec une p-value = 0.83 sont supérieures à 0,05. On ne peut pas conclure à des différences significatives entre les deux pas de temps pour les services d'approvisionnement en eau SA05 et SA09.

L'effet du changement de la mosaïque d'habitats sur la fourniture de SE de régulation de la qualité de l'eau est également testé. Les p-value pour SR01 et SR10 sont inférieures à 0,05 avec pour SR10 une p-value = 0.0027 et SR01 une p-value = 0.012. Le test montre donc une différence significative pour la fourniture de SR10 et SR01 en fonction du changement de la mosaïque d'habitats.

Enfin, l'effet du changement de la mosaïque d'habitats sur la fourniture de SE représentatif de la régulation des flux d'eau en eau SR03 et SR04 est testé. Pour le SE SR03 la p-value = 0.0042 et SR04 la p-value = 0.00043. Les p-value pour SR03 et SR04 sont inférieures à 0,05. D'après les résultats du test, on peut conclure à une différence significative de la fourniture de ces services entre les deux pas de temps

#### 5.4.2. Tests statistiques sur le site des marais de Sacy

Le calcul de moyennes est fait dans la base de données datafinalSacy, dataavantSacy, dataapresSacy, regroupant les scores avant et après travaux de restauration sur les marais de Sacy.

Le test de Shapiro Wilk est appliqué sur le tableau datafinalSacy regroupant toutes les matrices avant et après pour les marais de Sacy. Il est appliqué sur la variable score. La p-value est égale à  $p\text{-value} < 2.2e-16 < 0,05$  donc l'échantillon ne suit pas une loi normale. Sur les tableaux de données dataapresSacy et datavantSacy regroupant respectivement toutes les matrices avant et toutes les matrices après les travaux appliqués sur les marais de Sacy, la p-value est également inférieure à 0,05.

#### 5.4.2.1. Test de l'effet du changement de l'état de conservation d'un habitat sur la production de SE

Les moyennes des scores donnés pour chaque service écosystémique sont évaluées sur TourbAl qui est le code pour l'habitat pour « Tourbières basses alcalines (code Natura 2000 : 7230) » et Cladiaie qui est le code pour les Marais calcaires à Cladium mariscus et espèces du Caricion davallianae (code Natura 2000 : 7210\*). La mission vise à comprendre si les services écosystémiques sont rendus différemment avant et après l'application des actions de restauration des milieux et donc le changement d'état de conservation. Les tourbières basses alcalines et les cladiaies présentes avant et après les actions sont donc évaluées pour répondre à cette question.

Il a été testé les échantillons de scores de tous les SE avant travaux et après travaux pour l'habitat de Tourbières basses alcalines, codé « TourbAl ». Il ne suit pas une loi normale. Il en est de même pour l'habitat de Marais calcaires à Cladium mariscus et espèces du Caricion davallianae, codé « Cladiaie ».

Le calcul des moyennes des scores pour les habitats de Tourbières basses alcalines et Cladiaies avant et après travaux pour le site des marais de Sacy-le-Grand. La moyenne des scores attribués à la cladiaie est de 2.13 avant et après travaux. En ce qui concerne les tourbières basses alcalines la moyenne est de 2,4/5 avant travaux et 2,5 /5 après travaux.

Les différences de moyennes des scores attribués avant et après actions du projet Life Anthropofens pour les deux habitats vont pouvoir être évaluées significatives ou non grâce au test de Mann-Witney. Pour les tourbières basses alcalines, la p-value est de 0,45 donc supérieure à 0,05. Pour les cladiaies, la p-value est de 0,99 donc supérieure au seuil de 0,05.

#### 5.4.2.2. Test de l'effet du changement de la mosaïque d'habitats sur la fourniture de SE sur les marais de Sacy

Le test de Mann-Witney permet de tester si les mosaïques d'habitats fournissent significativement différemment des SE écosystémiques avant et après les travaux de restauration. On teste si la différence entre la moyenne des scores de l'ensemble des SE avant travaux est différente de celle après travaux de restauration sur le site de Sacy. La p-value = 0.0006302 < 0,05 est donc inférieure à au seuil de significativité. La différence est significative.

Le calcul des moyennes des scores pour la mosaïque d'habitats avant et après travaux pour le site des marais de Sacy est fait. D'après les résultats bruts, la fourniture de services écosystémiques SA05 et SR01 diminueraient avec le changement de mosaïque d'habitats. En ce qui concerne les services SA09, SR03, SR04, SR10 le site aurait plus la capacité de les fournir avec les travaux de restauration des habitats.

D'après la classification hiérarchique, les services SR09, SC02 et SR12 vont être testé pour comprendre l'effet du changement de la mosaïque d'habitats sur les groupes corrélés. Les résultats de tests de Wilcoxon appliqué sur l'ensemble des SE donne des p-value de 0.72 pour SR09, 0.0023 pour SC02 et 0.55 pour SR12.

D'après l'analyse des clusters, les services ayant un lien avec l'épuration de l'eau, la régulation des flux liquides et les ressources quantitative en eau sont corrélés avant les actions de restauration et ne le sont plus après. Pour comprendre comment le changement de la mosaïque d'habitat influence la production de ces services, il peut être testé l'effet du changement de l'écosystème en fonction du temps (avant/après travaux). Des tests de Wilcoxon sont faits après avoir testé la normalité des échantillons de scores avant travaux et après travaux pour les six services. Aucun ne suit une loi normale.

Les résultats de tests de Wilcoxon sur l'effet du changement de la mosaïque d'habitats sur la fourniture de SE représentatif de l'approvisionnement en eau SA05 et SA09 donnent des p-value de 0.88 pour SA05 et de 0,74 pour SA09. Les p-value sont très grandes, supérieures à 0,05. On ne peut pas conclure à des différences significatives entre les deux pas de temps.

Les résultats du test de l'effet du changement de la mosaïque d'habitats sur la fourniture de SE représentatif des groupes de la qualité de l'eau SR01 et SR10, qui sont corrélés avant travaux et qui ne le sont plus après travaux, donnent des p-value de 0.97 pour SR01 et de 0,06 pour SR10. Les p-value sont supérieures à 0,05. On ne peut pas conclure à des différences significatives entre les deux pas de temps.

Enfin, les tests de l'effet du changement de la mosaïque d'habitats sur la fourniture de SE représentatif de la régulation des flux d'eau en eau SR03 et SR04, qui sont corrélés avant et après travaux, sont faits. La p-value pour SR03 est de 0,0054 et pour SR04 elle est de 0.2393. La p-value pour SR04 est supérieure à 0,05. On ne peut pas conclure à une différence significative de la fourniture de ce service entre les deux pas de temps. La p-value pour SR03 est inférieure à 0,05. D'après les résultats du test, on peut conclure à une différence significative de la fourniture de ce service entre les deux pas de temps.

## 6. Discussion

### 6.1. Analyse des résultats

#### 6.1.1. Résultat sur le matériel

Le nombre de matrices analysées, qui est moindre par rapport à ce qui était attendu, est à prendre en compte en lisant les résultats. La fiabilité des analyses en dépend.

Les indices de confiance donnés pour les matrices moyennes varient de 1,5 à 2,5 pour les services écosystémiques et sont autour de 2,2 pour les habitats. Les services culturels sur les matrices avant travaux, parce qu'ils sont connus des évaluateurs, obtiennent les indices de confiance les plus hauts autour de 2,5. La confiance en l'évaluation des services écosystémiques d'approvisionnement baisse entre les matrices avant et après travaux de restauration. Certains services d'approvisionnement sont directement en lien avec l'exploitation qui est faite du milieu. Ceux fournis par les écosystèmes après travaux sont difficiles à évaluer car ils ne sont pas encore réellement exercés. Le contexte socio-économique futur n'est pas connu.

Comme l'évaluation est faite sur des habitats en bon état fonctionnel après travaux, les indices de confiance ont une tendance à être plus élevés car l'état de conservation favorable d'un milieu est davantage cerné par les experts. L'état de conservation favorable correspondant exactement à la description des habitats fournie dans le dossier d'évaluation contrairement aux habitats avant travaux de restauration. Ce facteur leur permet d'avoir une confiance en leur évaluation sur les habitats (indice de confiance plus haut sur les habitats après travaux) et sur les services écosystémiques. Les indices de

confiance dans l'évaluation des habitats augmentent légèrement entre avant et après actions du Life Anthropofens, de 0,1 soit 2%.

## 6.1.2. Les résultats du traitement statistique sur les deux sites

### 6.1.2.1. Résultats sur la Moyenne Vallée de la Somme

D'une part, sur la matrice des corrélations des services écosystémiques fournis par les habitats avant les travaux de restauration du Life Anthropofens, de manière générale, les services de régulation semblent corrélés entre eux. Trois duos de services se détachent dans ces matrices. D'abord, l'hydrologie du milieu et sa végétation permettent d'atténuer l'énergie des crues (SR04) et de répondre à la fonction de régulation des flux d'eau (SR03). Ensuite, les services d'interactions scientifiques, d'éducation par le milieu, d'apport esthétique par le milieu mais aussi les services d'interactions intellectuelles et symbolique avec le milieu sont corrélés (SC02 et SC03). Le milieu par son intérêt culturel, scientifique, historique et esthétique pourrait générer un symbole à protéger pour les générations futures.

Ceux corrélés négativement dans les matrices de corrélations sont les services de régulation pour la protection contre les inondations et les services d'approvisionnement d'animaux issus de l'aquaculture (SR04 et SA04). Les activités d'aquaculture pourraient empêcher le milieu de fournir des services de protection contre les inondations. Cette activité économique peut modifier et artificialiser le milieu. En créant des plans d'eau et coupant la végétation permettant d'absorber l'énergie des crues, l'activité peut aller à l'encontre de ce service de régulation.

D'autre part, après les travaux de restauration, quatre duos de services sont visibles dans la matrice de corrélation. Les actions de gestion par pâturage, fauche et exportation sont mises en place ce qui amènent à la fourniture de deux services d'approvisionnement corrélés, SA01 et SA07. Ensuite, les services d'approvisionnement en eau, que cette dernière soit à destination de la consommation humaine ou non, sont exprimés de la même manière sur ces milieux (SA05 et SA09). Les services liés à la régulation des flux d'eau (régulation du cycle hydrologique, inondations) sont fournis de la même manière par la mosaïque d'habitat après l'impact des travaux de restauration (SR03 et SR04). Enfin, les services de régulation de la qualité physique de l'air et ceux de régulation des inondations, tous les deux liés à l'implantation d'une strate arborée contrôlant les inondations et la qualité de l'air, semblent corrélés.

En ce qui concerne l'analyse des services semblant corrélés négativement, la fourniture de SC02 augmente et celle de SA02 baisse. La perte d'activités cynégétiques pourrait amener à la possibilité d'avoir des interactions intellectuelles avec le milieu. D'autre part, le service d'approvisionnement en animaux élevés et leurs produits SA01 diminue et celui de régulation des flux de masse sédimentaires SR02 augmente. La couverture végétale permet de réguler les flux de masse. L'énergie et la force de ces derniers sont atténuées par la couverture végétale. Le développement de milieux humides, de tourbières basses alcalines, permet l'interception des flux de masses issus des crues ou de l'érosion par ces milieux mais entraîne la perte d'une activité d'élevage et explique la moindre fourniture du SA01. C'est également le cas pour les aulnaies-frênaies alluviales à hautes herbes qui amènent une interception des flux de masses mais pas d'activité de pastoralisme. Enfin, lorsque les services d'approvisionnement en énergie provenant de la biomasse (SA10) diminuent avec l'ouverture des milieux, les activités agricoles augmentent (SA01) sur certains habitats. C'est pourquoi, sur les prairies à molinie le SA01 est fourni mais le SA10 ne l'est pas et inversement pour les aulnaies-frênaies alluviales à hautes herbes. Ces dernières ont la capacité à fournir de l'énergie par leur biomasse. La biomasse des prairies étant utilisée en agriculture, elle ne peut pas servir à la production d'énergie. Ces deux approvisionnements sont liés à la production végétale et ne sont pas complémentaires.

Le résultat des matrices de corrélation et de l'ACP sur les scores des services écosystémiques fournis par les habitats avant les travaux de restauration du Life Anthropofens mettent en avant différents groupes corrélés à des composantes principales qui sont retrouvés dans les groupes résultants de la classification hiérarchique. Les 25 services écosystémiques sont regroupés et certains pourront représenter les groupes de services dans l'analyse statistique. Les résultats du classement hiérarchique des scores des SE fournis avant et après travaux de restauration seront utilisés pour l'analyse statistique.

#### 6.1.2.2. Exploration de données sur le site de Sacy

Dans un premier temps, sur la matrice des corrélations des services écosystémiques fournis par les habitats des marais de Sacy avant les travaux de restauration du Life Anthropofens. Trois duos de services se détachent dans ces matrices. D'abord, les deux services SR10 et SR01 sont liés au contrôle de la qualité, du bon état chimique du milieu et de l'eau. Le milieu par son intérêt culturel, scientifique, historique et esthétique pourrait générer un symbole à protéger pour les générations futures (SC02 et SC03). Ces derniers sont tous les deux corrélés avec le service de régulation SR06 lié au maintien de la biodiversité, ce qui pourrait signifier que lorsque les populations et habitats sont maintenus, les services culturels sont présents sur les marais de Sacy.

Des couples de services semblent corrélés négativement et leur fourniture d'un semble contraire à la fourniture de l'autre. Premièrement, l'existence de conditions biogéochimiques des sols assurant le développement de sol utile pour les êtres humains SR09 et des activités physiques sur le milieu ne semblent pas compatibles (SC01). Ensuite le service de régulation SR02 est plus présent sur le milieu avant les actions de restauration que celui d'approvisionnement en matériaux provenant de plantes, d'algues et leurs produits utilisés à des fins de production de denrées alimentaires (SA06). Enfin, il est possible que ce soit la même biomasse, couverture végétale qui permette à la fois l'atténuation de l'étendue et la force de l'érosion et des atterrissements (SR02), le maintien des populations, d'une diversité spécifique (SR06) et la production de matériaux utiles pour les êtres humains (SA06). Les deux services de régulations sont donc présents lorsque celui d'approvisionnement n'est pas rendu par le milieu.

Dans un second temps, sur la matrice de corrélations des services écosystémiques après les actions du Life Anthropofens, sur le site des marais de Sacy, certains services semblent corrélés. D'abord, les services SC02 et SC03, tous les deux liés à des interactions cognitives semblent corrélés. Ensuite, les deux services SA03 et SA04 sont liés à la production de denrées alimentaires et peuvent être liée à l'apport et la ressource en eau dans le milieu, ce qui explique leur corrélation.

D'autres sembles sont d'apparence corrélés négativement. Le milieu étant exploité pour fournir du matériel génétique (SA08) peut être un milieu avec moins d'attrait pour les expériences physiques avec le milieu, les loisirs, le tourisme (SC01). Un milieu fournissant un service de régulation des flux de masse (SR02) et ayant une bonne capacité à faire tampon est peut-être un milieu avec moins d'interactions physiques faites dans le cadre d'un loisir, d'un sport (SC01). En l'occurrence, ce service culturel est moins fourni par les tremblants, d'après la matrice moyenne des services écosystémiques rendus par la mosaïque d'habitats après travaux de restauration. Les sols ayant une bonne composition biochimique, étant fertiles et permettant la lutte contre des maladie par interactions biologiques des espèces (SR08) étant sur le milieu ne sont pas ceux pour lesquels la biomasse est prélevée pour l'approvisionnement en énergie (SA10).

Le résultat des matrices de corrélation et de l'ACP sur les scores des services écosystémiques fournis par les habitats des marais de Sacy avant les travaux de restauration du Life Anthropofens mettent en avant différents groupes corrélés à des composantes principales qui sont retrouvés dans les

groupes résultants de la classification hiérarchique. Les 25 services écosystémiques sont regroupés et certains pourront représenter les groupes de services dans l'analyse statistique.

Pour les services fournis par les mosaïques d'habitats avant travaux, les résultats du classement hiérarchique en trois groupes (clusters) montrent que l'ensemble des services culturels sont corrélés. Les résultats du classement hiérarchique des scores des SE fournis avant et après travaux de restauration seront utilisés pour l'analyse statistique.

### 6.1.3. Analyse statistique

#### 6.1.3.1. Analyse des moyennes de scores pour chaque habitat avant et après travaux et les deux confondus sur les deux sites

En appliquant les moyennes des scores pour chaque habitat sur la base de données des évaluations des SE regroupant les scores pour les habitats avant et après travaux, on s'aperçoit que certains habitats rendraient plus de services que d'autres. C'est le cas pour les roselières et cariçaies, les tremblants, les tourbières basses alcalines. Ils obtiennent les moyennes les plus hautes autour de 2,2/5. Ils auraient donc la capacité de fournir davantage de services écosystémiques. L'habitat ayant la note la plus élevée est la tourbière basse alcaline. Il faut bien prendre en compte que l'habitat est noté en fonction des usages socio-économiques qui en sont faits et de ce que les êtres humains peuvent en retirer sur le site des marais de Sacy. L'ensemble des habitats présents après les travaux de restauration sont à des moyennes de score supérieures à 2. Ces trois habitats sont les cladiaies, les tourbières basses alcalines et les tremblants.

En appliquant les moyennes des scores pour chaque habitat sur la base de données des évaluations des SE regroupant les scores pour les habitats avant et après travaux, on s'aperçoit que certains habitats rendraient plus de services que d'autres. C'est le cas pour six habitats : les aulnaies frênaies (forêts alluviales à *Alnus glutinosa* et *Fraxinus excelsior*), forêts et fourrés sur sol marécageux, prairies hygrophiles inondables, les prairies à molinies (prairie à *Molinia* sur sols calcaires tourbeux ou argilo-limoneux), roselières (roselières et grandes cariçaies hygrophiles) et tourbières basses alcalines. Ils obtiennent les moyennes les plus hautes autour de 2,2/5. Ce sont ceux qui fournissent le plus de SE parmi les 12 évalués. Il est à noter que les prairies à molinies est un habitat restauré qui n'est pas présent avant les travaux et c'est aussi celui qui à la moyenne des scores attribués la plus élevée. L'ensemble des habitats présents après les travaux de restauration sont à des moyennes de score supérieures à 2,5. Ces trois habitats sont les aulnaies frênaies, les tourbières basses alcalines et les prairies à molinies.

#### 6.1.3.2. Test de l'effet du changement de l'état de conservation d'un habitat sur la production de SE

Les modifications de rendement de services écosystémiques par les tourbières basses alcalines sur la Moyenne Vallée de la Somme peuvent signifier que le changement d'état de conservation impacte la fourniture de services écosystémiques.

L'habitat de tourbière alcaline se trouve avant et après travaux de restauration sur le site de la MVS. Il est évalué en état initial comme « altéré » et en état final « favorable ». En ce qui concerne les moyennes pour chaque service pour l'habitat de Tourbière alcaline, les services écosystémiques SA01, SA02, SA03, SA04, SA06, SA07, SA08, SA09, SA10, SC01, SC02, SC03, SR01, SR02, SR03, SR05, SR09, SR10, SR11, SR12 semblent évoluer positivement et les services SA05, SR04, SR06, SR07, SR08 semblent évoluer négativement avec un changement d'état de conservation.

Pour les tourbières basses alcalines sur la MVS, on ne peut pas conclure à une différence significative entre les scores attribués aux services écosystémiques fournis par les tourbières basses alcalines avant et après travaux. En effet, la p-value est de 0,09 donc supérieure à 0,05.

Sur le site de la Moyenne Vallée de la Somme, l'analyse des différences de rendement des services écosystémiques liés à l'approvisionnement des ressources en eau (SA05 et SA09) peut être faite. La fourniture du service SA09 augmente pour l'habitat de tourbières basses alcalines après travaux alors que le SA05 diminue. En ce qui concerne les services de régulation des flux liquides (SR03 et SR04), celui de régulation des inondations semble diminuer alors que le service de régulation du cycle hydrologique augmente. Enfin, en ce qui concerne les services de régulation de la qualité de l'eau, le service SR10 ainsi que le SR01 (sur le contrôle des substances et pollutions) est plus fournis par l'habitat après les travaux de restauration. Ce milieu semble fournir une fonction écosystémique de régulation du cycle hydrologique et de la qualité des eaux plus fortement lorsque sa végétation caractéristique est présente et en meilleur état.

En ce qui concerne les marais de Sacy, les habitats de tourbières basses alcalines et marais calcaires à *Cladium mariscus* sont présents avant et après travaux. Ces habitats n'ont pas un état de conservation évoluant de manière brutale. Ils sont évalués à l'état initial d'« altéré » à « favorable » et leur état final est « favorable ». Les modifications de rendement de services écosystémiques par les tourbières basses alcalines et les cladiaies sur les marais de Sacy peuvent signifier que le changement d'état de conservation impacte la fourniture de services écosystémiques. Les deux habitats se trouvent avant et après travaux de restauration sur le site.

Aux vues des p-value, pour les tourbières basses alcalines des marais de Sacy, on ne peut pas conclure à une différence significative entre les deux pas de temps. On ne peut pas conclure à une différence significative entre les deux pas de temps. Il est possible certains services soient davantage rendus et d'autres moins fournis dû au changement d'état de conservation.

Pour les tourbières basses alcalines, les services écosystémiques SA01, SA03, SA05, SA07, SA10, SC01, SC02, SC03, SR02, SR05, SR06, SR10, SR11, SR12 semblent évoluer positivement et les services SA06, SR01, SR04, SR07, SR08 semblent évoluer négativement avec un changement d'état de conservation.

L'habitat de cladiaies fournit davantage les services écosystémiques SA01, SA04, SA07, SA08, SC01, SC02, SR02, SR11, SR12 après les travaux de restauration contrairement aux services SA02, SA03, SA05, SA06, SA10, SR01, SR04, SR05, SR06, SR07, SR10 qui semblent évoluer négativement.

Sur les marais de Sacy, l'analyse des différences de rendement des services écosystémiques liés à l'approvisionnement des ressources en eau (SA05 et SA09) peut être faite. Le service SA09 a la même évaluation avant et après les travaux de restauration pour les deux habitats. La fourniture du service SA05 augmente pour l'habitat de tourbières basses alcalines et diminue pour celui des cladiaies. En ce qui concerne les services de régulation des flux liquides (SR03 et SR04), celui de régulation des inondations semble diminuer pour les deux habitats. Enfin, en ce qui concerne les services de régulation de la qualité de l'eau, le service SR10 augmente pour l'habitat de tourbières basses alcalines et diminue pour les cladiaies. Ce milieu semble avoir une fonction de régulation de la qualité des eaux lorsque sa végétation caractéristique est présente et que le milieu est en bon état de fonctionnement. Son développement semble maintenir le bon état écologique et chimique des masses d'eau et permettre une utilisation humaine de l'eau. Ce résultat peut signifier que dans un état favorable ce type d'habitat sert de zone tampon, éliminant les nutriments présents dans les eaux de ruissellement par des actions

biochimiques telles que la dénitrification. Ces analyses sont à prendre en compte avec précaution puisqu'il n'est pas prouvé si les différences sont significatives ou non.

Pour les deux sites, les modifications de rendement de services écosystémiques peuvent signifier que le changement d'état de conservation impacte la fourniture de services écosystémiques. Néanmoins, ils peuvent également être dues à d'autres facteurs comme l'expansion du territoire des habitats. Ce changement de surface modifie les usages qui en sont faits. Bien que la notation ne doive pas être donnée en fonction de la surface, il est possible que les territoires dans lesquels ces habitats s'étendent et se développent par la restauration soient plus enclins à accueillir du public donc les services culturels vont par exemple davantage être fournis. Les mêmes facteurs peuvent influencer les services d'approvisionnement. En ce qui concerne les services de régulation, ils peuvent être liés une mosaïque d'habitat ou une situation géographique permettant de diminuer ou d'augmenter la fourniture de services liés à des fonctions écosystémiques.

Il est difficile de conclure sur l'effet du changement d'état sur la fourniture de services écosystémiques. Il est possible que d'autres facteurs influencent ce changement de fourniture de SE tels que l'effet du changement d'espace géographique et du changement de mosaïque d'habitats sur le rendement de SE par ces habitats.

#### 6.1.3.3. Analyse de l'effet du changement de la mosaïque d'habitats sur la fourniture de services écosystémiques

Pour le site de la Moyenne Vallée de la Somme, la différence de fourniture de services écosystémiques avant et après les actions du Life Anthropofens est significative. L'évaluation est basée sur la capacité des habitats à rendre des services écosystémiques. Dans le cadre de ce test, c'est la capacité de la mosaïque d'habitats initiaux et celles constituée par les habitats cibles (finaux) à fournir les 25 services écosystémiques qui est testée. Le changement de la mosaïque d'habitats pourrait avoir un impact significatif sur la fourniture de services écosystémiques. C'est ce qui ressort de l'évaluation de la fourniture de services écosystémiques.

Sur la Moyenne Vallée de la Somme, le changement de mosaïque d'habitats influence les services écosystémiques d'approvisionnement SA01 et SA08 qui correspondent à l'approvisionnement en animaux élevés et leurs produits pouvant être utilisés comme matière première pour la production de denrées alimentaires et à l'approvisionnement en matériel génétique provenant de tous les biotes pouvant être utilisés pour l'élevage ou les cultures végétales. Aussi, la mosaïque d'habitats influence la fourniture de services culturels. Elle influence la fourniture de ceux liés à des interactions physiques avec le milieu, étant des activités de nature sportive, touristique ou des activités de loisir (SC01). Le changement de cette juxtaposition de milieux pourrait avoir un effet sur les interactions intellectuelles avec les écosystèmes tourbeux qui peuvent être les activités scientifiques, d'éducation avec un enseignement in-situ ou encore des qualités esthétiques rattachées au milieu (SC02). Le changement d'habitats sur le complexe tourbeux amène un changement dans les interactions spirituelles avec le milieu, par le fait que ses qualités non utilitaires, sa propre existence soit changée (SC03).

Enfin, ce changement influence également la fourniture des services de régulation SR01, SR03, SR04, SA05, SR06, SR10, SR11 sur la MVS. Ils correspondent à la régulation des flux liquides, du cycle hydrologique et des inondations (SR03 et SR04) et au maintien des populations et habitats, du pool génétique du fonctionnement écologique du milieu (SR05 et SR06). Les actions du Life Anthropofens influencent également le service de régulation de la qualité des eaux et influencent le bon état écologique et chimique permettant une utilisation humaine (SR10) et le contrôle des déchets, produits toxiques et autres nuisances ; contrôle des pollutions par le milieu par actions biochimiques ou

mécaniques (SR01). Enfin, la mise en place d'une nouvelle mosaïque d'habitat influence la régulation du climat mondial notamment par la réduction des concentrations de gaz à effet de serre ou séquestration des GES et la production d'O<sub>2</sub>. Ce sont des changements certainement amenés par les travaux de restauration exercés sur les milieux.

La différence est significative pour SR09 et SR03. On peut en conclure que le changement de mosaïque d'habitats a un effet significatif sur la production de services par le milieu pour les groupes corrélés à SR09 et SR03.

Pour comprendre comment le changement de la mosaïque d'habitat influence la production des services ayant un lien avec l'épuration de l'eau, la régulation des flux liquides et les ressources quantitative en eau, il peut être testé l'effet du changement de l'écosystème en fonction du temps (avant/après travaux).

D'abord, on ne peut pas conclure à des différences significatives entre les deux pas de temps pour les services d'approvisionnement en eau à destination de la consommation humaine. Comme il est précisé dans les indicateurs de services écosystémiques, l'utilisation des neuf captages se trouvant en périphérie des sites pour des usages industriels et agricole, d'irrigation, ne doit pas changer en fonction du changement d'habitats. Le prélèvement d'eau influence les arrivées d'eau dans le milieu et non l'inverse.

Ensuite, le test montre une différence significative pour la fourniture de SR10 et SR01 en fonction du changement de la mosaïque d'habitats. Ils sont corrélés avant travaux et qui ne le sont plus après travaux. Le service SR10 correspond à la régulation de la qualité des eaux. Il est lié au maintien du bon état écologique et chimique permettant une utilisation humaine (santé). Le changement d'habitats dans le complexe tourbeux de la Moyenne Vallée de la Somme montre une amélioration de la capacité du milieu à agir comme une zone tampon éliminant les nutriments présents dans les eaux de ruissellement par action biochimique telles que la dénitrification, l'assimilation des nutriments ou mécanique telles que la séquestration métaux et le piégeage des sédiments. Le service de régulation SR01 fait référence au contrôle des déchets, produits toxiques et autres nuisances ainsi qu'au contrôle des pollutions. Cette régulation se fait par des processus biochimiques de bioremédiation, la décomposition, détoxification et minéralisation sur les déchets et matières toxiques, nutriments par les micro-organismes, algues, plantes et animaux dans les sols, eau douce. Ce contrôle est également fait par des processus mécaniques tels que la fixation, la filtration, la séquestration, la stockage et l'accumulation sur les déchets, métaux lourds, composés organiques par les micro-organismes, les algues, les plantes et les animaux. Cette action mécanique est aussi exercée par la structure de l'écosystème, le sol, les sédiments. Les travaux et la mise en place du pâturage jouent sur la fourniture de ces services. L'élimination de l'azote est aussi faite par exportation de la végétation. Dans ces complexes tourbeux, ce paramètre a pu influencer la meilleure qualité des eaux. Dans les zones humides alluviales, le couvert végétal, en particulier celui se trouvant sur les berges, va permettre de ralentir les écoulements par sa rugosité et favoriser indirectement la dénitrification des nitrates dû au ralentissement des eaux. Le comblement des fossés de drainage permet de contrer l'instabilité des niveaux d'eau dans les tourbières. Plus la densité du système de drainage en surface est réduite sur le site, plus les conditions sont favorables aux fonctions biogéochimiques associées au cycle de l'azote (15). Plus l'écoulement est rapide, moins la végétation sera en mesure d'assimiler l'azote dissous, moins il sera stocké dans les sédiments des plans d'eau ou percolé.

On peut conclure à une différence significative la fourniture de SR03 et SR04 entre les deux pas de temps. Ils sont corrélés avant et après travaux. Il est donc possible que le changement de la mosaïque d'habitats influe sur le service de régulation du cycle hydrologique (SR03) et le contrôle des inondations

(SR04). Les caractéristiques chimiques et physiques de l'écosystème permettent d'atténuer les dommages potentiels provenant de crues après restauration du milieu. La restauration du fonctionnement hydrologique des tourbières permet de maintenir leur rôle dans le retardement des crues à l'échelle du bassin versant et de soutenir le débit d'étiage (15). C'est la nouvelle mosaïque d'habitats avec une couverture appropriée du sol et un changement topographique qui contribue à l'atténuation de l'énergie des crues et à la prévention des inondations. Il est possible qu'elle ait également une meilleure capacité de stockage à certaines périodes. Des drains présents avant travaux sont effacés après travaux, ce qui peut influencer le service.

La fourniture de tous ces services est liée. En effet, plus l'écoulement est rapide, moins la végétation sera en mesure d'assimiler l'azote dissous. Si l'écosystème permet la fourniture du SR03, il sera aussi plus enclin à fournir le SR10.

Sur les marais de Sacy-le-Grand, il est testé si les mosaïques d'habitats fournissent significativement différemment des SE écosystémiques avant et après les travaux de restauration.

D'après la classification hiérarchique, les services SR09, SC02 et SR12 sont testés pour comprendre l'effet du changement de la mosaïque d'habitats sur les groupes corrélés. La différence est significative pour SC02 qui semble fortement corrélé à SC03. On peut en conclure que le changement de mosaïque d'habitats a un effet significatif sur la production de services culturels par le milieu. Les actions de restauration ont un effet positif sur les services culturels, notamment ceux d'interactions intellectuelles et spirituelles avec la zone humide.

La p-value étant inférieure au seuil de significativité, la différence est significative. Le changement de mosaïque d'habitats sur les mêmes surfaces de travaux impactent significativement la fourniture de services écosystémiques.

L'effet du changement de la mosaïque d'habitats est testé pour comprendre l'influence la production des services écosystémiques d'épuration de l'eau, de régulation des flux liquides et d'approvisionnement en eau. On ne peut pas conclure à des différences significatives entre les deux pas de temps sur la fourniture des services d'approvisionnement en eau SA05 et SA09. L'effet du changement de la mosaïque d'habitats par l'action des travaux n'est pas prouvé sur ces services. Comme précisé précédemment pour la Moyenne Vallée de la Somme, les forages l'eau potable prélevée à proximité des marais de Sacy, d'après les indicateurs donnés pour le service, se situent en périphérie du site. La nappe captée est la nappe de la craie. Ces prélèvements pourront influencer les habitats mais les travaux de restauration ne semblent pas influencer les ressources en eau. Le même résultat est souligné pour les services de régulation de la qualité de l'eau SR01 et SR10 et pour celui de régulation des inondations.

En ce qui concerne le service de régulation SR03, d'après les résultats du test, on peut conclure à une différence significative de la fourniture de ce service entre les deux pas de temps. Il est donc possible que le changement de la mosaïque d'habitats influe sur le service de régulation du cycle hydrologique. Une interprétation possible de ce résultat, par extrapolation, est que les fonctions écosystémiques de régulation des flux d'eau dans notre environnement, de régulation des débits d'étiage et les interactions nappe-ruisseau sont améliorées grâce aux caractéristiques chimiques et physiques du milieu. La nouvelle juxtaposition d'habitats et les travaux de restauration permettrait de diminuer le drainage sur le milieu, ce qui permet un meilleur fonctionnement hydrologique, le niveau d'eau étant plus haut.

#### 6.1.3.4. Conclusion générale sur l'analyse du rendement de services écosystémiques sur les deux sites Natura 2000

Certains habitats rendraient plus de services que d'autres. Ce ne sont pas les mêmes sur les deux sites Natura 2000 étudiés. Sur la MVS, ce sont les roselières et cariçaies, les tremblants, les tourbières basses alcalines alors que sur les marais de Sacy ce sont six habitats sur les douze évalués, les aulnaies frênaies, les forêts et fourrés sur sol marécageux, les prairies hygrophiles inondables, les prairies à molinies, les roselières et grandes cariçaies hygrophiles et les tourbières basses alcalines. Sur les deux sites on retrouve les roselières et cariçaies et les tourbières basses alcalines. Ce sont donc des habitats forestiers, des mégaphorbiaies ou encore des habitats à végétation rase.

L'effet du changement de l'état de conservation d'un habitat sur la production de services écosystémiques n'est pas prouvé. Deux habitats ont été testés dont un sur les deux sites. On ne peut conclure que le changement d'état de conservation impacte la fourniture de services écosystémiques. Les scores de services écosystémiques semblent varier et les travaux de restauration impacter cette fourniture de services. Deux services évoluent de la même manière sur les tourbières alcalines de la Moyenne Vallée de la Somme et sur les marais de Sacy entre avant et après l'impact de la restauration sur le milieu. D'une part, le service de régulation des inondations (SR04) semble diminuer dans les deux cas. D'autre part, le service de régulation de la qualité de l'eau (SR10) augmente pour l'habitat de tourbières basses alcalines sur les deux sites Natura 2000. Ce résultat peut signifier que dans un état favorable les tourbières basses alcalines servent de zone tampon, éliminant notamment les nutriments présents dans les eaux de ruissellement par des actions biochimiques telles que la dénitrification. Les écosystèmes doivent être en bon état pour fournir de multiples fonctions et donc services écosystémiques de régulation, qui, à leur tour, procurent des avantages et augmentent le bien-être. Il est possible que le changement d'état de conservation influence la fourniture de ces deux services mais d'autres facteurs en peuvent être la cause.

L'effet du changement de la mosaïque d'habitats sur la fourniture de l'ensemble des services écosystémiques est possible. Les actions de restauration ont un impact significatif sur la fourniture des 25 services écosystémiques évalués. Le changement dans l'organisation des habitats sur les sites influencerait la fourniture des services de régulation. Pour les deux sites, le changement de mosaïque induit une différence significative dans la fourniture du service de régulation SR03, le service de régulation du cycle hydrologique. Par leur connexion avec le réseau hydrologique, les zones humides en fond de vallée constituent des annexes hydrauliques jouant un rôle déterminant dans la régulation hydrologique sur le bassin versant. (17) La régulation hydrologique, notamment des interactions nappe-ruisseau, est améliorée grâce aux caractéristiques chimiques et physiques amenées par la juxtaposition de plusieurs milieux. Les différentes actions de restauration pour le bon fonctionnement des habitats permettent un meilleur fonctionnement hydrologique général. De nombreuses fonctions écosystémiques découlent de l'agencement des écosystèmes, des types d'habitats et de leur juxtaposition (15). La restauration a un effet sur la mosaïque d'habitats, elle-même ayant un effet sur les fonctions fournies par l'écosystème et donc sur les services écosystémiques qu'il rend. Généralement les travaux de restauration ont permis l'effacement de systèmes de drainage qui jouaient sur le fonctionnement hydrologique de la zone humide et sa capacité à remplir ses fonctions écosystémiques. Sur Sacy, la restauration morphologique du réseau hydrographique et la remise à jour d'horizons tourbeux réduisent la largeur du lit mineur pour l'adapter au régime hydraulique du ruisseau. Le ruisseau de la Frette pourra déborder par surverse et favoriser l'alimentation de la tourbe. Cette action favorisera une relation nappe-rivière équilibrée. Sur la Moyenne Vallée de la Somme, la rétention des eaux sur les zones restaurées par le comblement des fossés de drainage et la pose d'équipements ainsi que le reprofilage des berges permettra d'obtenir des niveaux d'eau en accord avec les exigences des habitats cibles, ces derniers constituant des annexes hydrauliques permettant de stocker l'eau et donc de soutenir les débits d'étiage.

Le modèle pression-état-réponse fournit un cadre simple pour formaliser les problèmes environnementaux. Il met en lumière le fait que les activités humaines exercent des contraintes sur l'environnement (pressions), qui affectent la qualité et la quantité des ressources naturelles (état). Lorsque ces pressions sont réduites, les écosystèmes en meilleur état fournissent de multiples services écosystémiques, qui, à leur tour, procurent des avantages et augmentent le bien-être. La relation entre l'état des écosystèmes et les services écosystémiques de régulation est généralement positive, ce qui est confirmé dans ces résultats (20).

## 6.2. Analyse de la méthode, perspectives d'amélioration et d'applications

La notion de service écosystémique est intéressante pour comprendre les enjeux derrière des actions de restauration de milieux naturels. L'application de la méthode d'évaluation et cartographie des services écosystémiques a été adaptée au territoire d'étude. Elle permet de répondre à un objectif d'acquisition des connaissances scientifiques pour la meilleure compréhension du milieu et orienter une gestion des espaces naturels. Elle crée également des outils de communications visuels de cartographie de chaque service écosystémique. Ce sont des cartes essentielles pour répondre aux objectifs de sensibilisation des acteurs du territoire par la notion de services écosystémiques.

L'évaluation sur le reste des sites Natura 2000 permettra d'avoir une vision globale des services rendus sur l'ensemble du territoire du projet de restauration. Les treize sites Natura 2000 présentent tous des caractéristiques hydrologiques, climatiques, topographiques et des cortèges de végétations différents. Les cartographies des services écosystémiques montreront la variabilité de fourniture de services en fonction des caractéristiques écologiques et biologiques de chaque milieu.

L'utilisation de la liste de services écosystémiques comme outil de communication est maladroite. Elle est censée énumérer l'ensemble des services écosystémiques qui pourraient être présents sur le milieu. En réalité, comme il a pu être constaté dans les résultats, ils ne sont pas tous complémentaires et ne sont pas rendus par les mêmes habitats où la présence d'un inhibe celle d'un autre. La cartographie de la tendance de chaque service écosystémique permettra d'inclure cette limite et de produire un moyen plus juste d'exposer les résultats de l'étude.

La temporalité est un paramètre à prendre en compte. L'évaluation est faite sur deux années distinctes, ce qui permet d'obtenir une variabilité qui n'est souvent pas présente et est limitante dans ce type d'étude. L'évaluation est faite cette année puisqu'elle entre dans le calendrier du projet de restauration. Cependant, elle ne permet qu'hypothétiquement de répondre aux objectifs de l'étude. En effet, l'évaluation de la capacité des milieux restaurés à fournir des services écosystémiques ne pourra être faite réellement que lorsque les actions du Life Anthropofens auront été mises en place et implantées et que les nouveaux habitats se seront développés.

Une limite dans la méthode se situe dans la cartographie des services écosystémiques. En effet, l'évaluation de la capacité d'un habitat à rendre les services écosystémiques est reportée sur l'ensemble de la cartographie de l'habitat. La même matrice évalue l'ensemble du site Natura 2000. Un habitat peut se trouver sur deux zones humides bien distinctes et séparées de plusieurs kilomètres. La prise en compte de la spécificité locale des deux zones humides dans une seule évaluation est une difficulté qui a été rencontrée par les évaluateurs.

L'approche par habitat est plus ou moins pertinente selon les services écosystémiques. C'est à une échelle de détail très fine qui permet de rendre un résultat d'évaluation plus juste. En effet, certains services se mesurent à une échelle plus fine, comme la production de matériaux issus de la biomasse (bois d'œuvre etc.) qui se distingue en fonction des habitats. D'autres comme l'approvisionnement en eau de surface et souterraine correspondent à l'échelle du site Natura 2000. C'est pourquoi, ces services

ont aussi été analysés au niveau de la mosaïque d'habitats. Cependant, l'évaluation à une échelle aussi fine peut perdre des évaluateurs par la complexité de distinction entre chaque classe phytosociologique. Il est ressorti des échanges avec ces experts que la description de chaque habitat était très utile pour réduire ce biais. De ce niveau de détail, émane une problématique de gestion du temps. Le temps pris pour remplir une matrice est allongé pour chaque nouvel habitat évalué. Evaluer à une échelle plus grande rendrait l'évaluation moins longue et davantage d'évaluateur pourrait avoir le temps d'y participer. C'est le cas aussi pour le nombre de services écosystémiques à évaluer.

L'état de conservation des habitats n'est pas assez connus des scientifiques évaluant les services fournis par les milieux. Bien que la méthode d'évaluation de l'état de conservation ait été expliquée, la communication sur les caractéristiques de chaque habitat en fonction de son état de conservation permettrait à l'évaluateur de d'avoir une confiance plus élevée dans les scores attribués.

Les indicateurs sélectionnés lors du stage ont permis de comprendre si la fourniture d'information ajoutée à la définition de chaque service écosystémique avait une plus-value. D'après les retours des experts, elle en a une. Leur sélection lors de ce stage a été faite en fonction des informations qui étaient à disposition, qui était apportées par certains acteurs du territoire contactés à ce propos. Les moyens, le temps de récupérer les données n'ont pas permis d'avoir un indicateur pour chaque service. Pour répondre aux objectifs de cette étude, les informations sur chaque service écosystémique doit pouvoir se trouver sur les treize sites Natura 2000. Néanmoins, l'hypothèse peut être émise qu'avec des informations indicatrices pour chaque service, l'indice de confiance en l'évaluation des services écosystémiques fournis par les milieux serait plus élevé.

Concernant la méthode des matrices s'insérant comme outil d'évaluation dans la méthode MAES, elle présente certains avantages et inconvénients. Sur un aspect pratique, la méthode d'évaluation par les matrices de capacité demande une certaine gestion du temps car elle sollicite beaucoup d'acteurs du territoire. La gestion du temps dans cette mission est primordiale. Un calendrier de réunion est à prévoir afin de réunir le plus d'experts possibles et obtenir des résultats statistiques fiables.

L'évaluation par des experts comporte de nombreux biais bien connus tels que la subjectivité que certaines méthodes permettent de réduire. La méthode d'évaluation par les matrices de capacité présente une limite dans la subjectivité liée à chaque évaluation. Elle est liée à sa confiance en ses connaissances, au rapport que l'évaluateur a avec le milieu. Elle dépend aussi de l'expérience, des connaissances, de l'éducation et de l'opinion des participants. La compréhension de la méthode à appliquer, de ce qu'il faut prendre en compte en attribuant une note à chaque service est un facteur de subjectivité dans l'évaluation des SE. Ces limites sont atténuées par la participation de différents profils de participants et par le nombre d'experts. Le profil des évaluateurs sélectionnés est défini en fonction des objectifs de l'étude. Un déficit de prise en compte des indices de confiance est déplorable dans cette méthode. La prise en compte des incertitudes des experts est améliorer.

Concernant les réunions d'évaluation, un essai de remplissage des matrices lors de l'explication de la méthode d'évaluation pourrait amener davantage de compréhension de la méthode en impliquant les experts dans l'évaluation. Cet essai pourrait réduire les biais liés à l'évaluation par exemple en faisant prendre conscience aux experts qu'il ne faut pas prendre en compte la surface de l'habitat dans l'évaluation du service. La méthode participative amène à une communication entre experts. Ces derniers ont un lien avec le milieu. La méthode participative améliore le rapport au territoire des acteurs participants. Ils peuvent être des financeurs ou gestionnaires de milieux. Les rassembler permet d'amener à une forme de concertation autour de l'intérêt de ces milieux. Elle peut permettre une convergence des idées et une communication aisée pour la gestion des espaces naturels.

### 6.3. La notion de services écosystémiques

Le concept de la coévolution des systèmes naturel et sociétal est amené par Aubertin et al. en 1998 : « l'homme n'étant plus considéré comme « facteur de perturbation anthropique » mais bien comme un acteur de son environnement, les sciences de la nature pourraient converser avec les sciences sociales ».

La notion de service écosystémique permet de mobiliser les acteurs du territoire autour de la gestion des espaces naturels. Elle peut faire l'objet d'une communication simple et synthétique, qui permette aux acteurs de visualiser les interactions possibles entre les sociétés et leur environnement naturel immédiat. Pour cela, une liste qui se veut exhaustive des services écosystémiques pouvant être fournis par les écosystèmes doit être évaluée. Les services écosystémiques créent un pont entre les écosystèmes et les systèmes sociaux. Cette notion pousse les décideurs à vouloir tirer « le plus grand bénéfice social » des écosystèmes ce qui pourrait passer par des politiques de restauration ou conservation. La prise en compte de ces écosystèmes dans les bénéfices pour les systèmes sociaux semble nécessaire pour la conservation des espaces naturels. Les utilisateurs finaux, principalement les gestionnaires des territoires et les décideurs, peuvent appliquer la méthode sur d'autres territoires pour mettre en œuvre des politiques d'aménagement du territoire ou de gestion des ressources qui nécessitent une compréhension de l'importance d'une couverture terrestre ou de types d'écosystèmes spécifiques (20).

L'évaluation monétaire des SE permet de communiquer avec les « décideurs » dans un monde dominé par la rationalité économique. Par conséquent, les utilisations de la notion ont connu une progression au cours de l'histoire : alors que les SE n'étaient conçus au départ que comme une métaphore visant à sensibiliser autour des enjeux liés à la protection de la biodiversité, le recours à la notion a aujourd'hui une visée beaucoup plus opérationnelle. Il s'agit dès lors de produire des évaluations au service des décideurs publics ou privés, voire de mettre en place des mécanismes de marchés tels que les paiements pour services environnementaux. Le projet Life Anthropofens, s'appuie sur la force de mobilisation de la notion pour impliquer les acteurs locaux autour des enjeux de préservation mais l'évaluation ne s'inscrit pas dans un argumentaire pour valoriser économiquement les zones humides. L'évaluation non monétaire permet d'inscrire la fourniture de service écosystémique dans le temps, ne dépendant pas de la variation du marché.

Le recours à la notion de SE est stratégique. Il s'inscrit dans un système où les écosystèmes et la biodiversité sont mis en péril du fait de l'action humaine. Elle permet de mettre en évidence les bénéfices que nous tirons de ces derniers. Cet aspect permet la diffusion de la notion de SE de la sphère scientifique vers le monde politique. Les SE apparaissent comme un moyen incontournable pour les acteurs de la conservation afin d'avancer vers le développement durable, qu'ils soient, ou non, évalués monétairement. La liste et la définition de SE reflètent les usages qui sont faits du milieu de manière directe ou indirecte. Les services écosystémiques ne valorisent pas le milieu naturel en tant que tel pour son existence et par exemple, pour sa biodiversité, mais met en évidence les fonctions écosystémiques et biens utiles à l'Homme. Une des limites de l'évaluation des services écosystémiques sur les sites du Life Anthropofens se trouve sur ce point. L'évaluation a été faite sur la contribution des complexes tourbeux à produire des services écosystémiques et non des fonctions écosystémiques. Certains milieux pourraient être valorisés pour une grande production de services. Cette dernière peut être amenée par des choix des gestions visant une exploitation du milieu au service des êtres humains mais elle peut également montrer que les milieux naturels sont porteurs de nombreux services écosystémiques non visibles sans ce type d'évaluation. C'est l'intérêt même de la notion qui réside dans le fait que les SE proviennent à la fois de mécanismes naturels et de processus d'appropriation de ces mécanismes par les

usages et les activités anthropiques. Les services sont ainsi « coproduits » par les composantes écologiques et anthropiques. Ils proviennent d'interactions entre milieux naturels et activités humaines.

## 7. Conclusion

Les actions introduites dans le Life Anthropofens ont un impact sur la capacité des habitats à fournir des services écosystémiques et notamment ceux liés aux cycles de l'eau et de l'azote. La fourniture de certains services est corrélée à d'autres.

Les actions de restauration auront, d'après les analyses de résultats, les prévisions et objectifs du Life Anthropofens, un impact sur l'état de conservation des habitats composant les complexes tourbeux. L'effet du changement de l'état de conservation des habitats sur leur capacité à produire des services écosystémiques n'est pas significatif. L'organisation de la mosaïque d'habitats naturels est également modifiée après les actions de restauration. D'après les résultats de cette étude, le changement dans les types d'habitats et leur juxtaposition a un effet notamment sur les services écosystémiques de régulation hydrologique, des ressources en eau et de la qualité de l'eau. Par conséquent, le changement du fonctionnement éco-hydrologique de l'écosystème va influencer l'évolution de la mosaïque d'habitats et ainsi la fourniture de services écosystémiques.

La sensibilisation autour de la restauration des complexes tourbeux tel que ceux de la Moyenne Vallée de la Somme et des Marais de Sacy-le-Grand est essentielle. La communication des résultats sur l'évolution de la fourniture des services contribuant au bien être humain est un argument pour valoriser la future mise en place de projets de restauration de milieux humides. Les tourbières fonctionnelles restaurées dans le cadre du projet constitueront autant de cas concrets pour aborder les problématiques de gestion du bassin versant. Cette étude permettra d'intégrer les complexes tourbeux aux problématiques de gestion des risques inondation et de la gestion des pollutions agricoles notamment. Le fait qu'il existe vingt-cinq services liés à des fonctions écosystémiques présentes dans les milieux humides en bon état permettant d'apporter un service ou un bien-être aux êtres humains, montre qu'il est nécessaire de les restaurer. Les gestionnaires pourront se servir des résultats pour soutenir des projets de restauration mais aussi pour sensibiliser les acteurs à l'origine de pressions exercées sur les milieux humides.

## TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1: Schéma de fonctionnement d'un milieu humide (13) .....	7
Figure 2: Schéma de la cascade de service écosystémiques (19) .....	10
Figure 3: Cadre conceptuel de la MAES (source : personnelle) .....	12
Figure 4 : Structure hiérarchique de la classification CICES (19) .....	13
Figure 5 : Aperçu de l'approche de la matrice des services écosystémiques et des cartes qui en résultent.....	21
Figure 6: Matrice moyenne des résultats d'évaluation pour le site de la MVS avant actions de restauration .....	25
Figure 7: Matrice moyenne des résultats d'évaluation pour le site de la MVS après actions de restauration .....	25
Figure 8: Graphique radar des scores moyens de SE provenant de l'évaluation pour le site de la MVS avant et après actions de restauration .....	25
Figure 9: Graphique radar des indices de confiance moyens pour chaque SE donnés par les experts lors de l'évaluation pour le site de la MVS avant et après actions de restauration .....	25
Figure 10 : Matrice moyenne des résultats d'évaluation pour le site de la Sacy-le-Grand avant actions de restauration.....	26
Figure 11: Matrice moyenne des résultats d'évaluation pour le site de la Sacy-le-Grand après actions de restauration.....	26
Figure 12 : Graphique radar des scores moyens de SE provenant des résultats d'évaluation pour le site de la Sacy-le-Grand avant et après actions de restauration .....	26
Figure 13: Graphique radar des indices de confiance moyens pour chaque SE donnés par les experts lors de l'évaluation pour le site de Sacy-le-Grand avant et après actions de restauration .....	26
Figure 14 : Dendrogramme classant les scores attribués aux services écosystémiques sur les habitats avant travaux de restauration sur la MVS .....	30
Figure 15 : Graphique représentant les deux premiers axes de l'ACP liée à la classification hiérarchique par la méthode ward.D2 pour les SE fournis par les habitats avant travaux de restauration sur la MVS .....	30
Figure 16: Dendrogramme classant les scores attribués aux services écosystémiques sur les habitats après travaux de restauration sur la MVS.....	31
Figure 17: Graphique représentant les deux premiers axes de l'ACP liée à la classification hiérarchique par la méthode ward.D2 pour les SE fournis par les habitats après travaux de restauration sur la MVS .....	32
Figure 18: Dendrogramme classant les scores attribués aux services écosystémiques sur les habitats après travaux de restauration sur les marais de Sacy .....	34
Figure 19: Graphique représentant les deux premiers axes de l'ACP liée à la classification hiérarchique par la méthode ward.D2 pour les SE fournis par les habitats avant travaux de restauration sur le site des marais de Sacy .....	34
Figure 20: Dendrogramme classant les scores attribués aux services écosystémiques sur les habitats après travaux de restauration sur les marais de Sacy .....	35
Figure 21: Graphique représentant les deux premiers axes de l'ACP liée à la classification hiérarchique par la méthode ward.D2 pour les SE fournis par les habitats après travaux de restauration sur le site des marais de Sacy .....	35
Figure 22: Récapitulatif des résultats après application du test de Wilcoxon sur les SE un à un .....	37
Figure 23: Graphiques radar des scores moyens de SE provenant de l'évaluation pour le site de la MVS avant et après actions de restauration.....	13

Figure 24: Matrice de corrélations des services écosystémiques avant travaux MVS .....	14
Figure 25: Matrice de corrélations des services écosystémiques après travaux MVS.....	14
Figure 26: Tableau récapitulatif des corrélations de SE avant et après travaux, site de la MVS .....	14
Figure 27 : Graphique des résultats d'ACP (PC1 et PC2) sur les scores attribués aux SE fournis par les habitats de la MVS avant les travaux de restauration .....	15
Figure 28: Graphique des résultats d'ACP (PC1 et PC3) sur les scores attribués aux SE fournis par les habitats de la MVS avant les travaux de restauration .....	15
Figure 29: Résultats et graphique de variances associées à chaque composante principale pour l'ACP des scores obtenus sur les habitats de la MVS avant les travaux de restauration .....	16
Figure 30: Graphique des résultats d'ACP (PC1 et PC2) sur les scores attribués aux SE fournis par les habitats de la MVS après les travaux de restauration .....	16
Figure 31: Graphique des résultats d'ACP (PC1 et PC3) sur les scores attribués aux SE fournis par les habitats de la MVS après les travaux de restauration .....	17
Figure 32: Résultats et graphique de variances associées à chaque composante principale pour l'ACP des scores obtenus sur les habitats de la MVS après les travaux de restauration .....	17
Figure 33: Résultat du classement hiérarchique en 3 groupes des services écosystémiques sur les habitats avant travaux de restauration sur la MVS .....	17
Figure 34 : Tableau récapitulatif des corrélations des services écosystémiques en fonction des méthodes d'exploration pour le site de la MVS avant les actions de restauration .....	18
Figure 35: Résultat du classement hiérarchique en 3 groupes des services écosystémiques sur les habitats après travaux de restauration sur la MVS .....	18
Figure 36: Résultat du classement hiérarchique en 3 groupes des services écosystémiques sur les habitats après travaux de restauration sur la MVS .....	18
Figure 37: Tableau récapitulatif des corrélations des services écosystémiques en fonction des méthodes d'exploration pour le site de la MVS après les actions de restauration .....	19
Figure 38 : Graphique radar des scores moyens de SE provenant de l'évaluation pour le site des marais de Sacy avant actions de restauration .....	20
Figure 39 : Graphique radar des scores moyens de SE provenant de l'évaluation pour le site des marais de Sacy après actions de restauration.....	20
Figure 40 : Matrice de corrélations des services écosystémiques avant travaux sur les marais de Sacy.....	21
Figure 41: Matrice de corrélations des services écosystémiques après travaux sur les marais de Sacy.....	21
Figure 42: Tableau récapitulatif des corrélations des services écosystémiques en fonction des méthodes d'exploration pour le site des marais de Sacy avant les actions de restauration.....	22
Figure 43: Graphique des résultats d'ACP (PC1 et PC2) sur les scores attribués aux SE fournis par les habitats des marais de Sacy avant les travaux de restauration.....	23
Figure 44: Graphique des résultats d'ACP (PC1 et PC3) sur les scores attribués aux SE fournis par les habitats des marais de Sacy avant les travaux de restauration.....	23
Figure 45: Résultats et graphique de variances associées à chaque composante principale pour l'ACP des scores obtenus sur les habitats des marais de Sacy avant les travaux de restauration .....	24
Figure 46: Graphique des résultats d'ACP (PC1 et PC2) sur les scores attribués aux SE fournis par les habitats des marais de Sacy après les travaux de restauration.....	24
Figure 47: Graphique des résultats d'ACP (PC1 et PC3) sur les scores attribués aux SE fournis par les habitats des marais de Sacy après les travaux de restauration.....	25
Figure 48: Résultats et graphique de variances associées à chaque composante principale pour l'ACP des scores obtenus sur les habitats des marais de Sacy après les travaux de restauration .....	25

Figure 49: Tableau récapitulatif des corrélations des services écosystémiques en fonction des méthodes d'exploration pour le site des marais de Sacy avant les actions de restauration.....	26
Figure 50: Tableau récapitulatif des corrélations des services écosystémiques en fonction des méthodes d'exploration pour le site des marais de Sacy après les actions de restauration.....	26

## Bibliographie

1. François R. Les 15 000 ha de tourbières alcalines de la vallée de la Somme (Picardie). 1e partie - Milieu physique et Géohistoire. 12 mai 2023;
2. Conservatoire d'espaces naturels des Hauts-de-France [Internet]. Disponible sur: <https://www.cen-hautsdefrance.org/rechercher?keys=adh%C3%A9rents>
3. LIFE Anthropofens [Internet]. Objectifs et enjeux. Disponible sur: <http://www.life-anthropofens.fr/le-programme/objectifs-et-enjeux/>
4. Programme LIFE 2021-2027 | Ministères Écologie Énergie Territoires [Internet]. Disponible sur: <https://www.ecologie.gouv.fr/programme-europeen-financement-life>
5. Pôle-Relais Tourbières [Internet]. Qu'est-ce qu'une tourbière ? Disponible sur: <https://www.pole-tourbieres.org/quest-ce-quune-tourbiere/>
6. Sennès V. Les tourbières de l'Europe de l'ouest. Travaux du Laboratoire de Géographie Physique Appliquée. 2003;22(1):11-25.
7. Bernard G. Panorama des services écosystémiques des tourbières en France. Quels enjeux pour la préservation et la restauration de ces milieux naturels ? 2016;47 p.
8. Lebrun J, Car L, Meunier F, Vanappelghem C, Marescaux Q, Testud G. Version 1 – Septembre 2020.
9. Modalités de gestion | Natura 2000 [Internet]. Disponible sur: <https://www.natura2000.fr/natura-2000/modalites-gestion>
10. Ministères Écologie Énergie Territoires [Internet]. Gestion de l'eau en France. Disponible sur: <https://www.ecologie.gouv.fr/gestion-leau-en-france>
11. Ministères Écologie Énergie Territoires [Internet]. Gestion des milieux aquatiques et prévention des inondations (GEMAPI). Disponible sur: <https://www.ecologie.gouv.fr/gestion-des-milieux-aquatiques-et-prevention-des-inondations-gemapi>
12. Projet LIFE+ Nature ANTHROPOFENS. Restaurer les habitats de marais tourbeux alcalins du Nord de la France et de la Belgique dans l'Anthropocène. Dossier de candidature – version finale (juillet 2019) [Internet]. Disponible sur: <https://www.documentation.eauetbiodiversite.fr/notice/000000000189fdd64964317360fd55f5>
13. Levrel H et al. Théma - Les milieux humides et aquatiques continentaux.pdf [Internet]. Disponible sur: <https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Th%C3%A9ma%20-%20Les%20milieux%20humides%20et%20aquatiques%20continentaux.pdf>
14. Crassous C., Karas F., Muller F. Guide de gestion des tourbières et marais alcalins des vallées alluviales de France septentrionale. 2007.
15. Gayet G, Baptist F, Baraille L, Caessteker P, Clément C, Gaillard J, et al. Méthode nationale d'évaluation des fonctions des zones humides.
16. Bullock A, Acreman M. The role of wetlands in the hydrological cycle. Hydrology and Earth System Sciences. 30 juin 2003;7(3):358-89.
17. Wastiaux C. Les tourbières sont-elles des éponges régularisant l'écoulement ?

18. Jacobs S, Burkhard B. 4.6. Applying expert knowledge for ecosystem services-.
19. Haines-Young R, Potschin M. Common International Classification of Ecosystem Services (CICES): Consultation on Version 4, August-December 2012. :34.
20. Maresca B, Vandebroucke S, Mercurio G, Brice L, Petit O, Calvo-Mendieta I, et al. Les Services Écosystémiques du parc naturel régional Scarpe-Escaut : Évaluation et approche Prospective (SESEEP). 2014.
21. Assessing ecosystems and their services in LIFE projects A guide for beneficiaries [Internet]. Disponible sur: [https://cinea.ec.europa.eu/system/files/2021-03/life\\_ecosystem\\_services\\_guidance.pdf](https://cinea.ec.europa.eu/system/files/2021-03/life_ecosystem_services_guidance.pdf)
22. Plateforme Wal-ES : Prise en compte des services écosystémiques en Europe-Les services écosystémiques en Wallonie . Disponible sur: <https://services-ecosystemiques.wallonie.be/fr/se-en-europe.html?IDC=5889>
23. Burkhard B, Santos-Martin F, Nedkov S, Maes J. An operational framework for integrated Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services (MAES). OE. 14 mars 2018;3:e22831.
24. François R, Hauguel JC, Duhamel F. Guide des végétations des zones humides de Picardie. Bailleul: Centre régional de phytosociologie agréé Conservatoire botanique national de Bailleul; 2012. (Les cahiers du patrimoine naturel de Picardie).
25. Maes J, Fabrega N, Zulian G, Barbosa AL, Vizcaino P, Ivits E, et al. Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services: Trends in ecosystems and ecosystem services in the European Union between 2000 and 2010. 2015.
26. Campagne CS, Roche P. May the matrix be with you! Guidelines for the application of expert-based matrix approach for ecosystem services assessment and mapping. OE. 3 mai 2018;3:e24134.

## Annexes

**Annexe 1 : Exemple de description des habitats évalués : description des six habitats ciblés par la restauration dans le cadre du Life Anthropofens .....p 1**

**Annexe 2 : Tableau récapitulatif de la classification des Services Ecosystémiques, leurs codes et les Indicateurs correspondants.....p 4**

**Annexe 3 : Récapitulatif d'un document donné dans le dossier d'évaluation de cartographies des habitats initiaux et finaux sur la Moyenne Vallée de la Somme (exemple de cartographies, liste non exhaustive).....p 7**

**Annexe 4 : Liste des experts contactés.....p 12**

**Annexe 5 : Traitement de données et résultats statistiques pour le site de la Moyenne Vallée de la Somme.....p 13**

**Annexe 6 : Traitement de données et résultats statistiques pour le site de Sacy-le-Grand .....p.21**

**Annexe 1 : Exemple de description des habitats évalués : description des six habitats ciblés par la restauration dans le cadre du Life Anthropofens**

Diapositive 1

**Marais calcaire à Marisque**

Marais calcaires à *Cladium mariscus* et espèces du Caricion davallianae (7210\*) :



Physionomie	Peut se développer autour des pièces d'eau ou en mosaïque avec les végétations de tourbières basses alcalines. Marais calcaires; Nappes denses oscillant autour d'1,5 m de hauteur.
Faune et flore caractéristique	Forts enjeux pour la faune - Dans l'épaisse litière : insectes et mollusques comme le Vertigo étroit ( <i>Vertigo angustior</i> ) - Par la présence d'une lame d'eau : <i>Dolomedes plantarius</i> - Oiseaux : Locustelle lusciniöide ( <i>Locustella luscinioides</i> ) et le Busard des roseaux ( <i>Circus aeruginosus</i> ).
Hydrologie	- Végétation hygrophile à hydrophile. Submersion possible en période hivernale et abaissement estival de l'ordre de 30 cm max. - Supporte les fortes variations interannuelles de niveau d'eau
Pédologie	Sols organiques ou minéraux (sables), Riches en bases (décharge d'une nappe riche en calcaire), oligotrophe à méso-oligotrophe Saturation permanente des horizons de surface (H ou An ou G).
Topographie	Pentes ou bas-fonds des marais et tourbières plates, bas-marais. Sur radeau flottant en berge

Diapositive 2

**Prairies humides calcaires à Molinie bleue**

Prairie à *Molinia* sur sols calcaires tourbeux ou argilo-limoneux (6410) :

Physionomie et généralités	<b>Habitat agro-pastoral</b> présent en limite de tourbière : un des habitats cibles les moins humides Le maintien de cet habitat est conditionné par son utilisation agropastorale ; pratiques extensives sans drainage ni fertilisation A tendance à se développer dans les <b>tourbières asséchées</b> aux dépens d'habitats plus tourbeux
Faune et flore caractéristiques	- Molinie bleue et peuvent s'ajouter nombre d'espèces en fonction du type de sol et de son humidité; beaucoup de variations de cet habitat : - Espèces prairiales méso-hygrophiles à mésophiles ( <i>Arrhenatheretea</i> , <i>Agrostietea</i> ), - Espèces d'ourlets/pelouses oligotrophes ( <i>Trifolio-Geranetea</i> , <i>Nardetea strictae</i> ) - Espèces relictuelles des bas-marais tourbeux d'origine ( <i>Scheuchzero-Caricetea</i> )
Hydrologie	Hygrophile à méso-hygrophile ( <b>assèchement superficiel estival</b> ) Maintien d'un assèchement de surface la moitié de l'année (mai-octobre) pour conserver l'équilibre entre les végétations.
Pédologie	Sol organique (tourbe), à horizons de surface minéralisés ou sols limono-argileux hydromorphes.
Topographie	<b>Niveau topographique supérieur</b> des tourbières alcalines (bordure) ou dans les parties basses si le drainage est suffisant.



Diapositive 3

**Tourbières de transition et tremblants (7140) :**



Physionomie et généralités	<p>Dynamique truffigène active : Milieu turfigène et transitoire.</p> <p>En condition primaire, il intervient dans les processus de genèse de tourbières d'attérissement issues de plan d'eau. Il se retrouve également dans les anciennes fosses de tourbage où elles constituent une végétation cicatricielle secondaire.</p> <p>Cet habitat se trouve dans les parties les plus <b>fonctionnelles</b> de la tourbière, là où les conditions d'<b>alimentation en eau</b> sont les meilleures et peut former des mosaïques avec les tourbières basses alcalines.</p>
Faune et flore caractéristiques	<p>Plantes constituant à termes un <b>radeau flottant (tremblant)</b> plus ou moins en contact avec le fond du plan d'eau :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Laïche ampoulée (<i>Carex rostrata</i>),</li> <li>- Laïche filiforme (<i>Carex lasiocarpa</i>),</li> <li>- Trèfle d'eau (<i>Menyanthes trifoliata</i>)</li> <li>- Potentille des marais (<i>Comarum palustre</i>)</li> </ul>
Hydrologie	Hydrophile, flottant ou submergé (<10-20 cm); présent sur les sites où les conditions d' <b>alimentation en eau</b> sont les meilleures
Pédologie	Sol superficiel flottant sur l'eau libre ou raccordé au substrat minéral sous-jacent.
Topographie	Niveau topographique supérieurs des tourbières alcalines ( <u>bordure</u> ) ou dans les parties basses si le drainage est suffisant.

Diapositive 4

**Tourbières basses alcalines (7230) :**



Physionomie et généralités	<p>Tourbières alcalines pionnières à mature (sur tourbe primaire à grandes héliophytes)</p> <p>Succession secondaire sur versants déboisés voire primaire (marais de pente sur argile/tuf)</p> <p>Espèces les plus menacées en tourbière ; végétation en sol pauvre, oligotrophe :</p>
Faune et flore caractéristiques	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Jonc</b> subnoduleux (<i>Juncus subnodulosus</i>)</li> <li>- <b>Choin</b> noirâtre (<i>Schoenus nigricans</i>)</li> <li>- beaucoup de petites <b>laïches</b> : Laïche écaillée (<i>Carex lépidocarpa</i>), Laïche blonde (<i>Carex hostiana</i>)</li> <li>- Liparis de Loesel (<i>Liparis loeselii</i>), une orchidée rare et en forte régression en Europe</li> <li>- <b>Mousses</b> rares comme la Scorpédie verdâtre (<i>Scorpidium cossoni</i>)</li> </ul>
Hydrologie	<p>Hygrophile. Nappe affleurante en période estivale (-10/30cm max)</p> <p>Saturation permanente des horizons de surface.</p>
Pédologie	Sols organiques ou minéraux, épais ou superficiels (suintements) Riche en base, oligotrophe à méso-oligotrophe.
Topographie	Tourbe ou matière organique humifiée mais peu/pas minéralisée.
	Pentes ou bas-fonds des marais et tourbières plates, "bas-marais"

## Diapositive 5

### Forêts alluviales à *Alnus glutinosa* et *Fraxinus excelsior* (91E0\*) :

Aulnaies-frênaies alluviales à hautes herbes, (*Alno-Padion*, *Alnion incanae*, *Salicion albae*)



Physionomie	En périphérie des tourbières actives Intérêt écologique indéniable Boisements inondés une bonne partie de l'année
Flore caractéristique	Forêt mûre peu dense : <b>arbres tombés</b> permettent une réouverture du milieu  <b>Clairières</b> nouvellement formées, des espèces de tourbières et de marais ouverts peuvent apparaître - Aulne glutineux ( <i>Alnus glutinosa</i> ) - Frêne élevé ( <i>Fraxinus excelsior</i> ) - Plus rarement, de l'Orme lisse ( <i>Ulmus laevis</i> ) - Cerisier à grappes ( <i>Prunus padus</i> ).
Hydrologie	Maintien des niveaux d'eau même dans son vieillissement. L'importance de l'aulnaie-frênaie réside dans ce maintien : milieux laissés en <b>libre évolution</b> .

5

## Diapositive 6

### Tourbières boisées (91D0\*) :



Physionomie	Sur les sites du Life Anthropofens, l'habitat se présente sous la forme d'une Aulnaie-bétulaie à sphaignes.
Flore caractéristique	L'Aulne glutineux ( <i>Alnus glutinosa</i> ), le Bouleau pubescent ( <i>Betula pubescens</i> ), les mousses du genre <i>Sphagnum</i> et de nombreuses espèces de fougères  - <b>Eau pauvre</b> en calcaire et en nutriments - Bonne alimentation en eau avec un <b>engorgement quasi-permanent</b> - Cet habitat est destiné à rester en libre évolution, son intérêt résidant dans son vieillissement et le maintien des niveaux d'eau.
Hydrologie	

6

**Annexe 2 : Tableau récapitulatif de la classification des Services Ecosystémiques, leurs codes et les Indicateurs correspondants**

Section	Division	Groupe	Code	Classe	Indicateurs
Approvisionnement	Nutrition	Biomasse comme denrée	SA01	Les <b>animaux élevés et leurs produits</b> pouvant être utilisés comme <b>matière première</b> pour la production de denrées <b>alimentaires</b>	<i>Chargement des terres</i> <i>Unité Gros Bétail</i>
			SA02	Les <b>animaux sauvages et leurs produits</b> pouvant être utilisés comme <b>matière première</b> pour la production de denrées <b>alimentaires</b>	<i>Statut de la population halieutique (composition; âge, structure, kg/ha)</i> <i>Tableau de chasse</i>
			SA03	<b>Plantes sauvages</b> , algues et <b>leurs produits</b> pouvant être récoltés et utilisées pour la production de denrées <b>alimentaires</b>	<i>Données espèces cueillies : plantes sauvages comestibles, champignons</i> <i>Données cueillette : quantité et points de prélèvements</i>
			SA04	<b>Animaux</b> issus de l' <b>aquaculture</b> in-situ pouvant être utilisés comme matière première pour la production de denrées alimentaires	<i>Données emprise cartographique des sites d'aquaculture ou pisciculture</i> <i>Statut de la population halieutique (composition; âge, structure, kg/ha)</i>
		Eau	SA05	<b>Eau</b> souterraine et de surface à destination de la <b>consommation humaine</b>	<i>Aire alimentation Eau potable (+ points de captage Eau potable)</i> <i>Volume moyen prélevé en m3 pour EDCH Eau à destination de la consommation Humaine</i>
	Matériaux	Biomasse	SA06	<b>Fibres et autres matières</b> provenant de <b>plantes, d'algues et d'animaux</b> pouvant être <b>récoltées</b> et utilisées comme matières premières (destinées à être utilisées directement ou transformée) Par exemples : Fibres, bois, bois d'œuvre, fleurs, remèdes; broyat	<i>Données prélèvements de matière : volume par type de prélèvement de bois; données prélèvements plantes médicinales etc.</i> <i>Points de prélèvements d'autres organismes (CRRG : filière végétale locale)</i>
			SA07	<b>Matériaux</b> provenant de <b>plantes et d'animaux à usage agricole</b> pouvant être récoltés et utilisés comme <b>matière première</b> à des fins <b>non nutritionnelles</b>	<i>Quantité de fourrage et matériel végétal extraits : RPG Registre Parcellaire Graphique (code 16 fourrages etc)</i>
			SA08	<b>Matériel génétique</b> provenant de <b>tous les biotes</b> pouvant être utilisé <b>pour l'élevage</b> ou les <b>cultures végétales</b>	<i>Quantités et points de prélèvement de plants, matériel génétique provenant de plantes/animaux</i>
		Eau	SA09	<b>Eau</b> de surface et souterraine utilisée à d' <b>autres fins</b> que pour la <b>consommation humaine</b> : usage <b>domestique</b> (lavage, nettoyage et autres usages non potables), <b>l'irrigation</b> , la consommation du <b>bétail</b> , l' <b>usage industriel</b> (consommation et refroidissement), etc.	<i>Aire Alimentation Eau : Volume moyen prélevé en m3 ou % par type de prélèvement pour chaque points de captage (usages : Domestique, Agriculture, Industriels)</i> <i>Moyenne de volumes prélevés sur les 5 dernières années</i>
	Energie	Source d'énergie basée sur de la biomasse	SA10	<b>Sources d'énergie</b> provenant de la <b>biomasse</b> , des plantes; Par exemples : Bois de chauffage, Paille, Algues et fourrages pour la combustion et la production d'énergie	<i>Prélèvement bois de chauffage</i> <i>Prélèvement de biomasse issue de fauche pour la méthanisation</i>
Regulation	Contrôle des déchets, produits toxiques et autres nuisances	Contrôle des déchets, produits toxiques et autres nuisances; contrôle des pollutions	SR01	<b>Bio-remédiation Décomposition Détoxification Minéralisation</b> (des déchets et matières toxiques, nutriments) par les micro-organismes, algues, plantes et animaux dans les sols, eau douce; biochimique  <b>Fixation Filtration Séquestration Stockage Accumulation</b> (des déchets, métaux lourds, composés organiques) par les micro-organismes, les algues, les plantes et les animaux; dans les écosystèmes terrestres/aquatiques y compris les sédiments; mécanique	<i>Potentiel de minéralisation et décomposition du sol</i> <i>Concentration et rétention de nutriments, métaux lourds</i> <i>Indicateur izh</i> <i>Analyse de vase</i>
			SR02	<b>Tampon et atténuation des flux de masse</b> ; notamment par la capacité de la couverture végétale à atténuer l'étendue et la force des flux de masse (érosion; atterrissements)	<i>Données/Cartographie de l'atterrissement sédiments rivière et rétention des sédiments, de l'envasement : données topographiques</i> <i>Données risque érosion du sol en t/ha/an</i>
	Médiation des flux	Flux de liquides	SR03	Régulation du <b>cycle hydrologique</b> ; Régulation des flux d'eau dans notre environnement des <b>débîts d'étiage</b> , interactions nappe-ruisseau grâce aux caractéristiques chimiques et physiques du milieu, ce dernier permet d'atténuer ou prévenir les dommages potentiels à l'utilisation humaine, sur la santé ou la sécurité	<i>Capacité de rétention en eau des sols en fonction des habitats et de la dégradation des sols de ces derniers</i> <i>Données piézo</i> <i>Données sur la rétention en eau des sols et données pédologiques : sol tourbeux/ paratourbeux/ dégradé ou non avec points GPS</i>

Section	Division	Groupe	Code	Classe	Indicateurs
			SR04	<b>Protection contre les inondations;</b> Les caractéristiques chimiques et physiques de l'écosystème permettent d'atténuer les dommages potentiels provenant de crues (couverture appropriée du sol qui contribue à l'atténuation de l'énergie des crues et à la prévention des inondations + faible pente + capacité de stockage à certaines périodes)	<i>Rugosité du couvert végétal atténuant l'énergie des flux d'eau (calcul avec données étendue de types de couvert végétal sur site naturel)</i> <i>Zones inondables (AZI) ou Zones classées en PPRI</i>
	<b>Maintien des conditions</b> physiques, chimiques et biologiques	Maintien du cycle de vie, protection de l'habitat et du pool génétique	SR05	<b>Pollinisation et dispersion des graines</b> , milieu permettant la pollinisation et dissémination des graines/spores de plantes et autres organismes importants pour l'homme en termes d'utilisation et de non-utilisation.	<i>Nombre et abondance des espèces de pollinisateurs et espèces entomogames (nombre/m2) sur site étudié : données SPIPOLL, atlas des bourdons etc.</i>
SR06			<b>Maintien des populations et des habitats</b> , des pépinières : milieu (conditions écologiques) fournissant des habitats pour les plantes et les animaux sauvages pouvant nous être utiles	<i>Cartographie de tous les habitats maintenant des populations faunistiques/floristiques importantes : état des habitats d'intérêt communautaire</i> <i>Cartographie des zones de nurserie sur les sites (zone de frayère)</i>	
		Lutte contre les parasites et les maladies	SR07	<b>Lutte contre les parasites : contre les ravageurs et les espèces envahissantes :</b> La <u>réduction</u> , par des interactions biologiques, de <u>l'incidence d'espèces</u> qui empêchent ou réduisent la production de nourriture, de matériaux ou d'énergie des écosystèmes, ou leur importance culturelle, <u>par la consommation de biomasse ou la compétition.</u>	<i>Analyse des interactions biologiques réduisant l'incidence d'espèces envahissantes ( Habitats ayant ces fonctions;</i> <i>Données sur agents indigènes luttant contre les ravageurs; Données EEE, espèces introduites)</i>
SR08			<b>Contrôle des maladies;</b> La <u>réduction</u> , par des interactions biologiques, de <u>l'incidence des espèces amenant des maladies</u> qui pourraient réduire la production de nourriture, de matériaux ou d'énergie des écosystèmes, ou leur importance culturelle, en entravant ou en <u>endommageant le fonctionnement écologique des espèces utiles.</u>	<i>Analyse des interactions biologiques réduisant l'incidence de maladies ( Habitats ayant ces fonctions);</i> <i>Données sur agents indigènes luttant contre les maladies tels que les antagonistes microbiens pour la lutte contre les maladies post-récolte</i>	
SR09		Formation et composition du sol	Maintien des conditions biogéochimiques des sols avec des processus d' <b>altération, minéralisation, décomposition</b> qui assurent la formation et le <b>développement de sols</b> et en permettent l'utilisation	<i>Données pédologie évolution de la fertilité du sol à analyser</i>	
SR10		Conditions de l'eau	Contrôle de la <b>qualité des eaux</b> ; maintien du bon état écologique et chimique permettant une utilisation humaine (santé) Milieu humide comme zone tampon éliminant les nutriments présents dans les eaux de ruissellement : dénitrification, assimilation des nutriments, séquestration métaux et piégeage des sédiments.	<i>Statut chimique des masses d'eau zone humide</i> <i>Bibliographie rôle tampon des ZH alluviales</i>	
SR11		Composition de l'atmosphère et	<b>Régulation du climat</b> mondial notamment par la <b>réduction des concentrations</b> de gaz à effet de serre ou <b>séquestration des GES</b> et la production d' <b>O2</b> .	<i>Mesure de stock/ dégazement du CO2 in situ</i> <i>Bibliographie rôle séquestration du carbone et autres GES par les tourbières ; rôle dans la production d'O2 (par la végétation)</i>	
SR12			<b>Régulation</b> à micro ou mésoéchelle du <b>climat</b> : régulation de la <b>qualité physique de l'air</b> . L'intervention du milieu sur les conditions atmosphériques ambiantes (par la présence de plantes) améliore les conditions de vie humaine. Milieu ayant un impact sur la modification de la température, de l'humidité, des champs de vent ; maintien des régimes régionaux de	<i>Cartographie du microclimat</i> <i>Evapotranspiration en fonction des couvertures végétales</i>	
<b>Culturel</b>	<b>Interactions physiques et intellectuelles</b> avec les écosystèmes	<b>Interactions physiques et expériences</b> : caractéristiques des écosystèmes exploitées par <b>effort physique et cognitif</b>	SC01	<b>Expériences</b> sur le milieu : utilisation de la <b>nature</b> et les <b>paysages</b> pour des activités physiques de <b>sport et récréation</b> , pour rester en bonne santé;  Qualités écologiques des marais et tourbières attrayantes pour des activités physiques, notamment : promenade, <b>courses, trails et randonnées</b> ; usage de pêche et chasse <b>Utilisation du milieu, de la nature et des paysages pour des activités</b> dans différents contextes environnementaux; interactions physiques avec le milieu pour l' <b>observation</b> des plantes et animaux <b>dans leur habitat</b> , état naturel; utiliser la nature pour déstresser;  Qualités écologiques des marais et tourbières qui font l'objet d'un engagement, d'une utilisation ou d'un plaisir nécessitant un effort physique et cognitif : usage d'appréciation de la biosphère, observations sur le terrain; écotourisme; parcours de découverte du lieu (en autonomie sans transmission de connaissance par interaction humaine)	<i>Répertoire des activités interaction physique avec le milieu (liste la plus exhaustive possible)</i> <i>Recensement de loisirs sportifs : loisir d'eau; course à pieds, trail etc.</i> <i>Recensement pratiques de chasse et pêche : nombre chasseurs/pêcheurs et surface exploitée</i>
			<i>Répertoire des activités permettant interactions physique et cognitive avec le milieu</i> <i>Zones intérêt écologique ouvertes au public et circuits découverte, sortie non encadrées par animateur (sinon&gt; SC02 )</i> <i>Tracé de circuit de découverte nature à voir en autonomie; sites classés à haute fréquentation</i>		

Section	Division	Groupe	Code	Classe	Indicateurs
		Interactions intellectuelles et basée sur des représentations (en particulier valeur historique et scientifique des tourbières)	SC02	<b>Interactions scientifiques avec le milieu</b> : Les qualités écologiques des marais et tourbières font l'objet d'une recherche, d'études scientifiques insitu.	<i>Zones d'intérêt scientifique écologique, Etude des paléoenvironnements (des restes paléoécologiques) à dire d'experts</i>
	<b>Education</b> : Qualités écologiques des marais et tourbières faisant l'objet d'un <b>enseignement insitu ou d'un développement de compétences</b> . Ces milieux sont matière à enseignement sur place et par d'autres médias.			<i>Données sur sorties nature accompagnées : fréquence et nombre de participants</i>	
	<b>Patrimoine, culture, héritage</b> : Qualités écologiques des marais et tourbières contribuant au <b>patrimoine culturel</b> ou aux <b>connaissances historiques</b> .			<i>Zones d'importance culturelle Zone d'importance archéologique, tourbières = archives archéologiques, héritage historique ou culturel Traces écrites historiques, patrimoine culturel conservé dans les masses d'eau et les sols</i>	
	<b>Esthétique</b> : Qualités écologiques des marais et tourbières qui sont appréciées pour leur <b>beauté intrinsèque</b> .			<i>Site classé pour paysages, classement avec critère esthétique tel que UNESCO Zone naturelle N dans les PLU à dire d'experts</i>	
	Interactions spirituelles, symboliques avec les écosystèmes	Interactions spirituelles, symboliques avec les écosystèmes	SC03	<b>Existence</b> : Qualités écologiques des marais et tourbières que l'on cherche à préserver en raison de leurs qualités <b>non utilitaires</b> (biodiversité), par exemple en raison du plaisir procuré par les espèces, les écosystèmes, les paysages terrestres et aquatiques.	<i>Site classé pour intérêt écologique, la préservation de la biodiversité (ZNIEFF par ex.)</i>
				<b>Héritage</b> : Qualités écologiques des marais et tourbières que l'on cherche à préserver pour les léguer aux <b>générations futures</b> (perspective morale ou éthique).	<i>Aire de protection habitats ou espèces en danger à préserver (Arrêtés de protection, liste espèces et habitats d'intérêt communautaire etc.) Données géologiques : terrasses du quaternaire</i>

**Annexe 3** : Récapitulatif d'un document donné dans le dossier d'évaluation de cartographies des habitats initiaux et finaux sur la Moyenne Vallée de la Somme (exemple de cartographies, liste non exhaustive)

- **Cartographie et informations indicatrices des services écosystémiques- Moyenne Vallée de la Somme**

**Informations générales sur les sites évalués**

Morcourt :

Site pêché et chassé

Zones de protection : Site ENS / RAMSAR / ZNIEFF 1 / ZNIEFF 2 / ZPS / ZSC

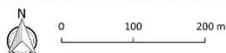
Équipement du site : site accessible, équipement, panneau CEN

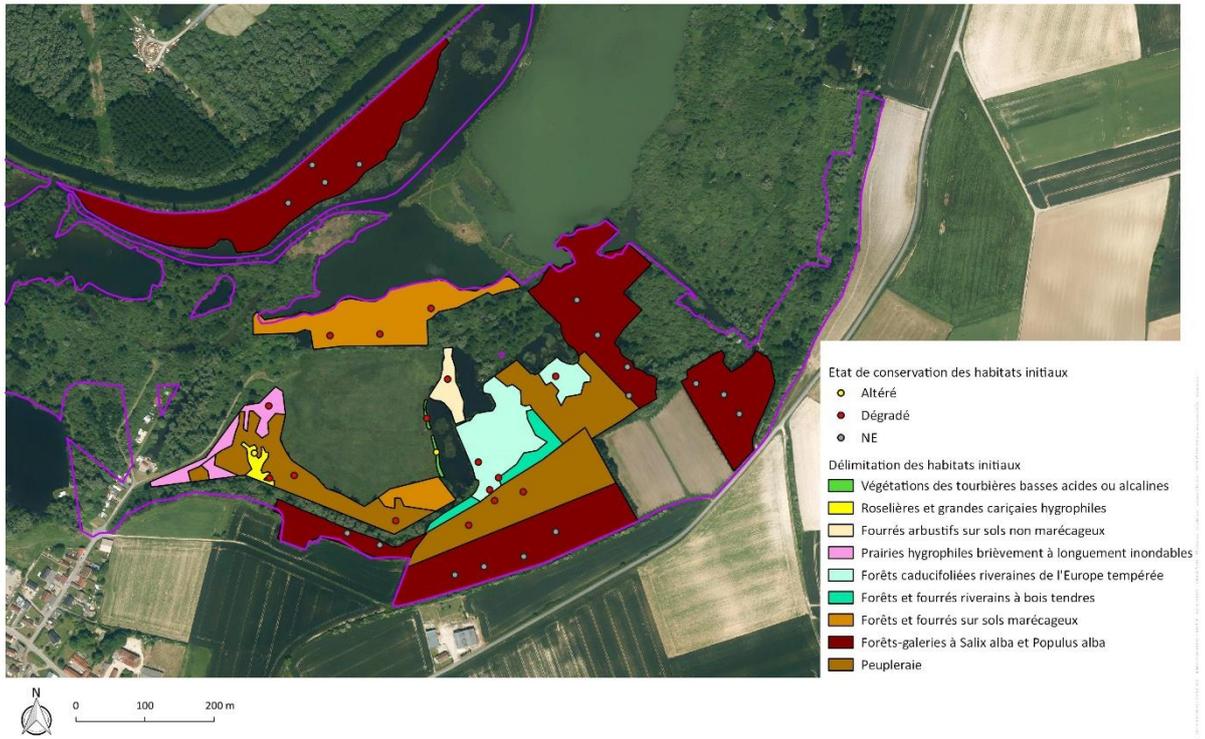
Eclusier-Vaux :

Site pêché et chassé

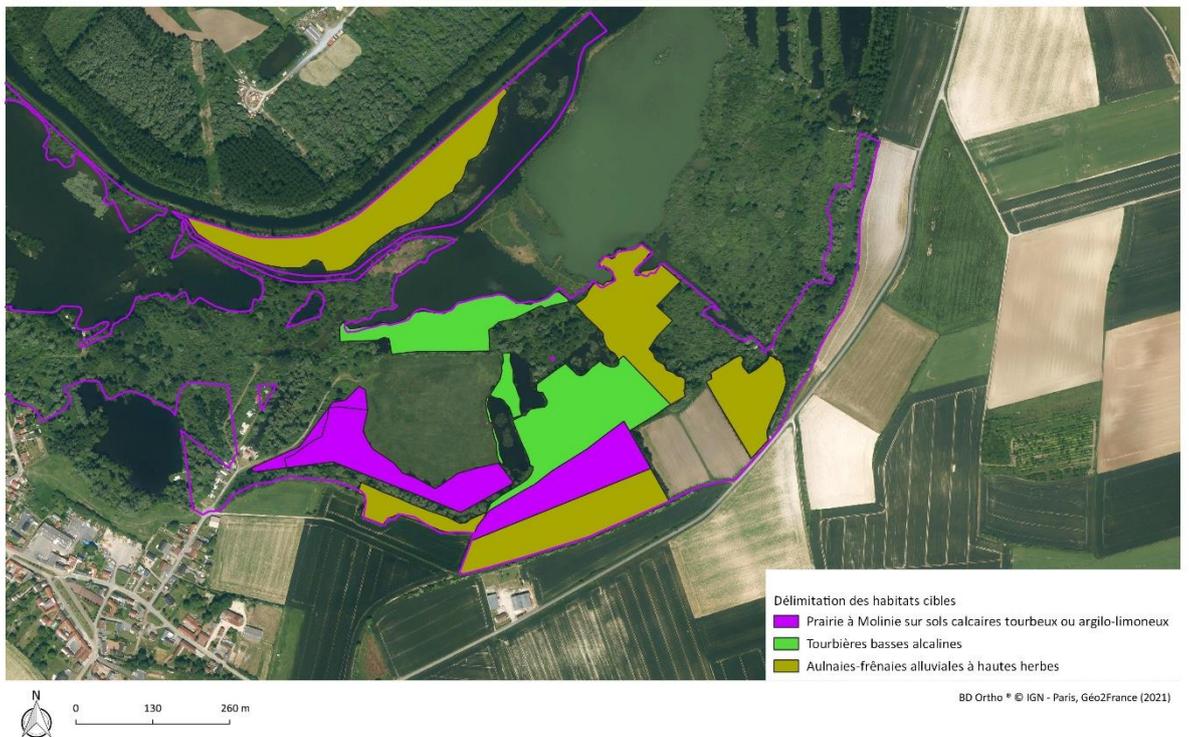
Zones de protection : Site ENS / RAMSAR / ZNIEFF 1 / ZNIEFF 2 / ZPS / ZSC

Équipement du site : accessibilité : non autorisée





Réalisation : Conservatoire d'espaces naturels des Hauts-de-France - Justine CAPOULADE - 05/06/2023



BD Ortho © IGN - Paris, Géo2France (2021)

Réalisation : Conservatoire d'espaces naturels des Hauts-de-France - Justine CAPOULADE - 05/06/2023

Annexe : Liste et exemples d'indicateurs des services écosystémiques présents dans le dossier final d'évaluation

## Informations indicatrices pour l'évaluation des services écosystémiques

- SA01- Pâturage

Morcourt :

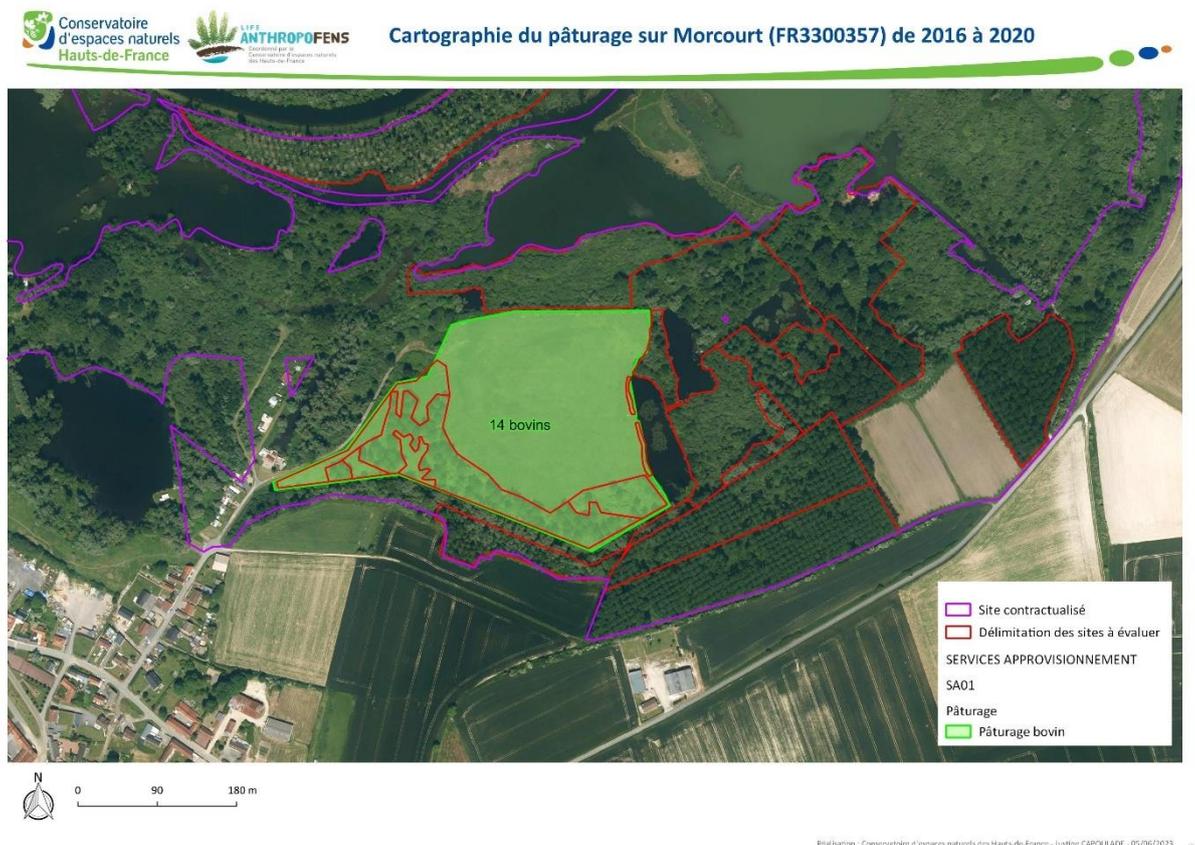
En 2020 : bovinFlamand / 14 Adulte Male

5 animaux côté tang Florimond du 13 mai au 13 octobre

9 animaux (+1 mort en début de saison pour raison inexplicable) du 23 avril au 12 octobre

Eclusier-Vaux :

Pâturage caprin en 2012/ 2013/ 2014/ 2015/ 2016/ 2022 : 3 à 6 chèvres en fonction des années



NB : même type de cartographie sur les autres sites évalués dans la Moyenne Vallée de la Somme

- SA02- Pêche données de dévalaison (retour à la mer) pour l'espèce Anguille au niveau du système de piégeage (anguillère) d'Eclusier-Vaux (Fédération de pêche de la Somme) : tableau des stations, saison, et nombre de captures



Réalisation : Conservatoire d'espaces naturels des Hauts-de-France - Justine CAPOULADE - 06/06/2023

NB : même type de cartographie sur les autres sites évalués dans la Moyenne Vallée de la Somme

- Prélèvements en eau (source : Agence de l'Eau Artois-Picardie): tableau de prélèvement

C	service de surveillance	commune	usage	type de prélèvement	5012	5018	5019	5020	5025	5050	5051
---	----------------------------	---------	-------	------------------------	------	------	------	------	------	------	------

(Données confidentielles)



**Annexe 4 : Liste des experts contactés**

Catégories	Catégories
Gestionnaires : équipe site CEN/Natagora/PNR Scarpe-Escaut (chargés d'étude, de mission gérant le milieu naturel)	Fédération de chasse
Responsable départemental des sites du CEN	Fédération de pêche FDAAPPMA
Mission scientifique du Life Anthropofens	
Fédération des CEN	
Service scientifique interne au CEN	Universitaires (chercheur.euses en hydrologie, paléontologie, pédologie)
Associations avec missions scientifiques CEN (CBN, Picardie Nature)	Conservatoire Bénévole
	Conseil départemental
	DREAL
	DDT
Etablissements publics (Syndicats mixtes/ EPAGE) avec compétence GEMAPI, structures porteuses de SAGE, N2000	ONF
	Centre régional de la propriété forestière (CRPF) - Hauts-de-France
OFB	
Agence de l'eau (AEAP; AESN)	Chambre agriculture

**Annexe 5 : Traitement de données et résultats statistiques pour le site de la Moyenne Vallée de la Somme**

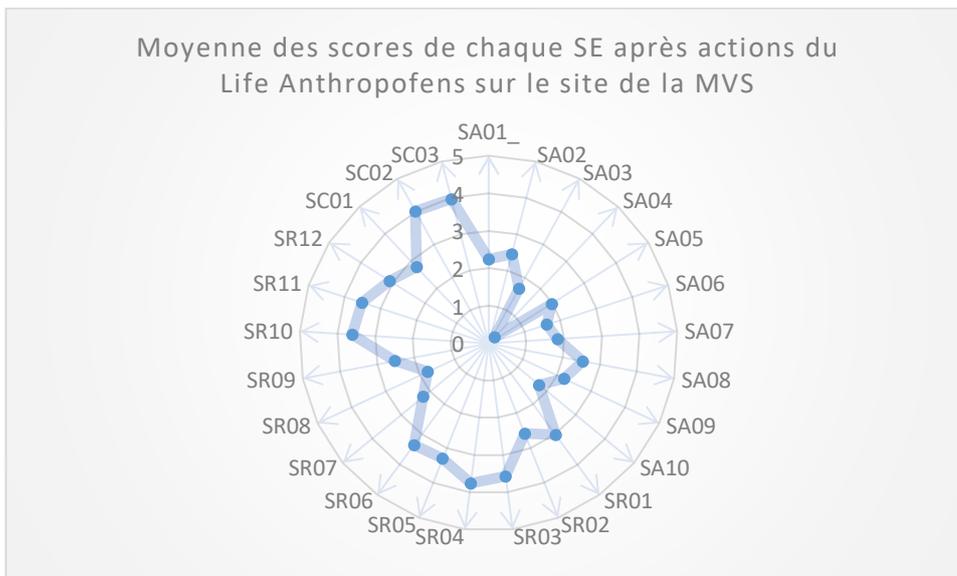
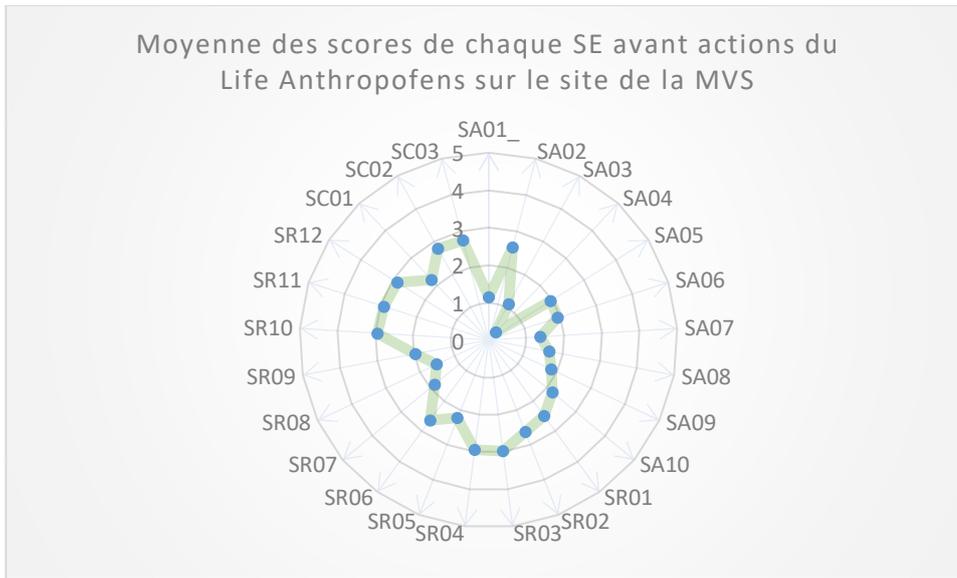


Figure 23: Graphiques radar des scores moyens de SE provenant de l'évaluation pour le site de la MVS avant et après actions de restauration

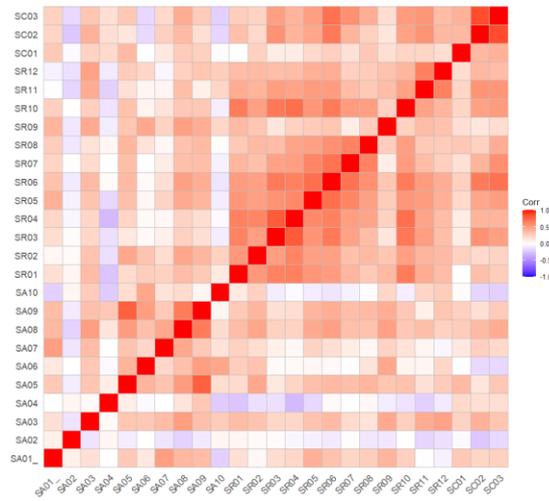


Figure 24: Matrice de corrélations des services écosystémiques avant travaux MVS

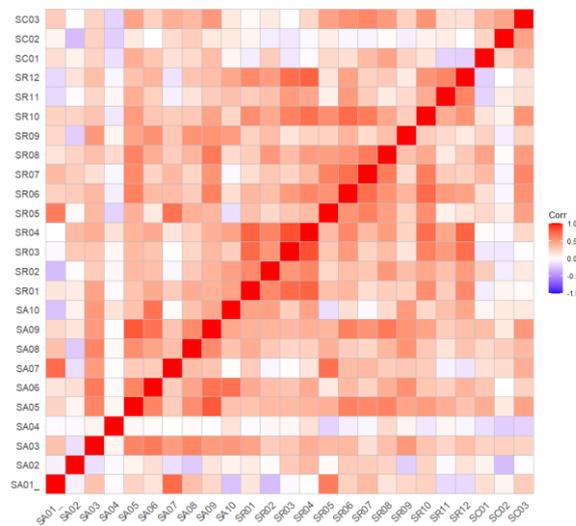


Figure 25: Matrice de corrélations des services écosystémiques après travaux MVS

Matrices de corrélation des SE	Avant travaux	Après travaux
Corrélés positivement	SA05 et SA09, SR03 et SR04 ; SC02 et SC03	SA01 et SA07 ; SR03 et SR04 ; SR12 et SR04 ; SA05 et SA09 ;
Corrélés négativement	SR04 et SA04	SC02 et SA02 ; SR02 et SA01 ; SA10 et SA01

Figure 26: Tableau récapitulatif des corrélations de SE avant et après travaux, site de la MVS

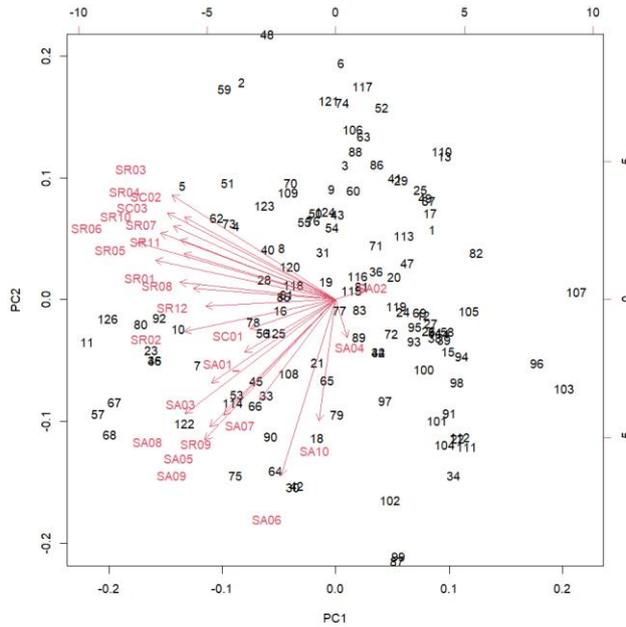


Figure 27 : Graphique des résultats d'ACP (PC1 et PC2) sur les scores attribués aux SE fournis par les habitats de la MVS avant les travaux de restauration

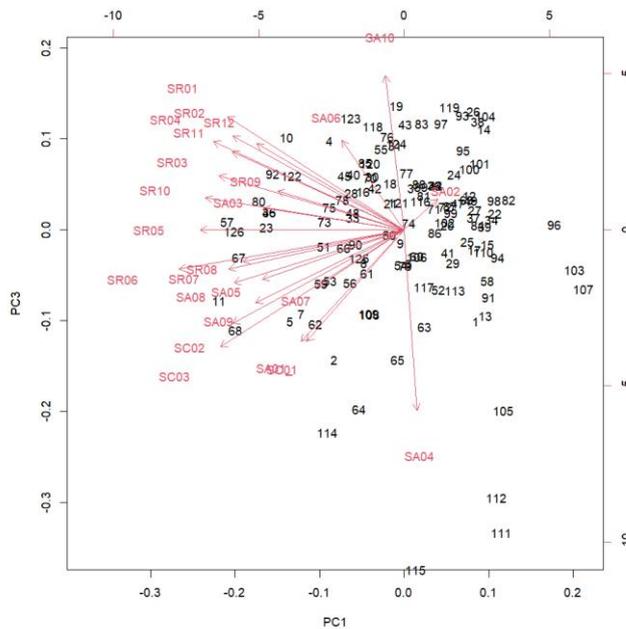


Figure 28: Graphique des résultats d'ACP (PC1 et PC3) sur les scores attribués aux SE fournis par les habitats de la MVS avant les travaux de restauration

```
> 100 * pcaAvant$sdev^2 / sum(pcaAvant$sdev^2) # Proportion de variance de chaque composante
[1] 33.6680438 11.5523846 9.1387865 6.8499092 5.6292128 4.1355972 3.8035578 3.4531701 3.1667673 2.5414602 2.2426672
[12] 1.9664962 1.7279318 1.5281395 1.4265591 1.2591545 1.0718861 1.0194092 0.8729897 0.7891883 0.6124063 0.5268149
[23] 0.4108820 0.3168169 0.2897689
> sum(100 * (pcaAvant$sdev^2)[1:2] / sum(pcaAvant$sdev^2)) # Variance totale de PC1 + PC2
[1] 45.22043
```

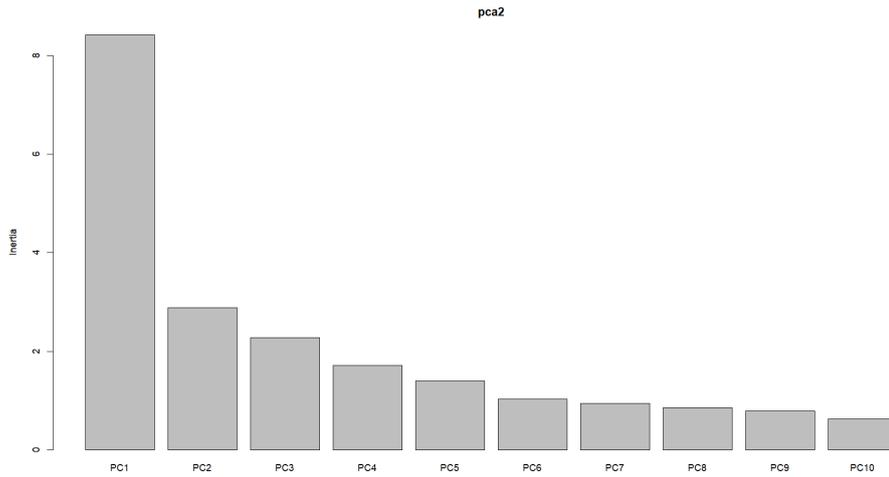


Figure 29: Résultats et graphique de variances associées à chaque composante principale pour l'ACP des scores obtenus sur les habitats de la MVS avant les travaux de restauration

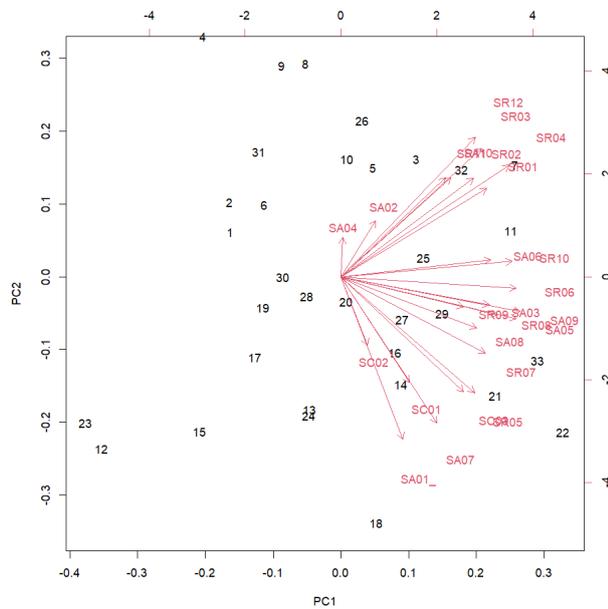


Figure 30: Graphique des résultats d'ACP (PC1 et PC2) sur les scores attribués aux SE fournis par les habitats de la MVS après les travaux de restauration

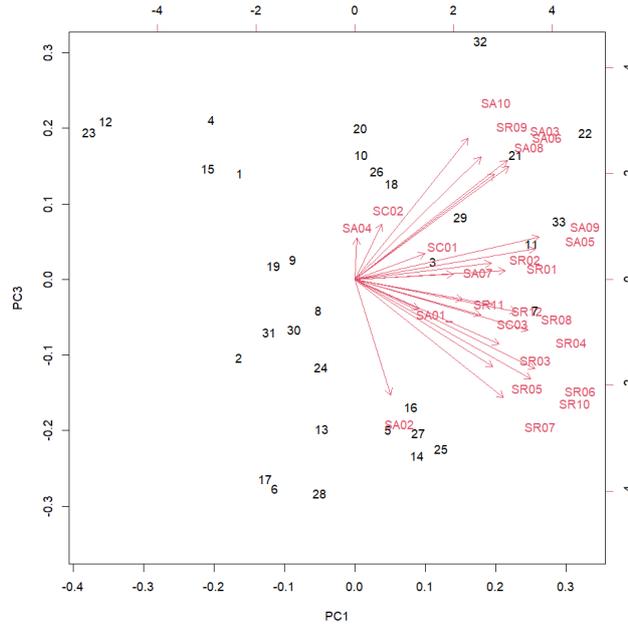


Figure 31: Graphique des résultats d'ACP (PC1 et PC3) sur les scores attribués aux SE fournis par les habitats de la MVS après les travaux de restauration

```
> sum(100 * (pcaapres$sdev^2)[1:2] / sum(pcaapres$sdev^2))
[1] 49.21194

> 100 * pcaapres$sdev^2 / sum(pcaapres$sdev^2)
[1] 35.192345374 14.019595779 9.822394894 7.274173889 6.272460903 4.630033119 4.181499668 3.703991900 2.788965325
[10] 2.279244653 1.704188631 1.443160555 1.341495903 1.169752701 1.105553286 0.728119474 0.627562022 0.441860527
[19] 0.365811021 0.286536162 0.224748607 0.178793924 0.113488118 0.094645033 0.009578534
```

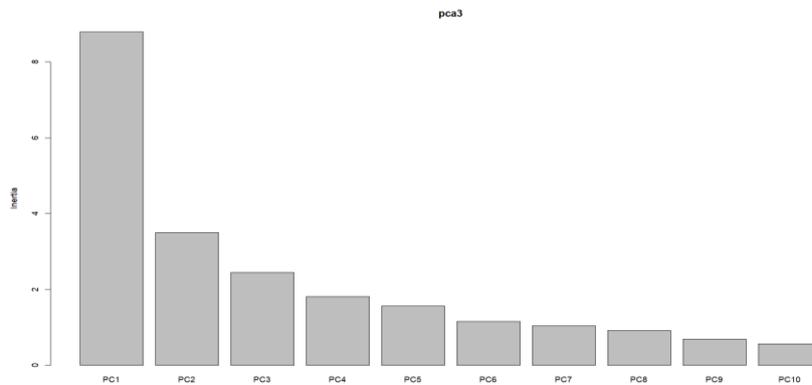


Figure 32: Résultats et graphique de variances associées à chaque composante principale pour l'ACP des scores obtenus sur les habitats de la MVS après les travaux de restauration

Groupes	1	2	3
SE	SA01 SA02 SA04 SA05 SA07 SA08 SA09	SA03 SA06 SA10 SR09 SR11 SR12	SR01 SR02 SR03 SR04 SR05 SR06 SR07 SR08 SR10 SC01 SC02 SC03

Figure 33: Résultat du classement hiérarchique en 3 groupes des services écosystémiques sur les habitats avant travaux de restauration sur la MVS

Groupes de SE corrélés ou non (Mat Corr)	ACP 1 et 2 avant travaux MVS	Mat Corr avant travaux MVS : indicatrice	Cluster avant travaux MVS	Définitions
Groupe 1	SR05, SR06, SR10, SR11, SC03, SC02, SR07, SR03 et SR04	SR03 et SR04	3 : SR01 SR02 SR03 SR04 SR05 SR06 SR07 SR08 SR10 SC01 SC02 SC03	Services de régulation liés au contrôle des masses d'eau
Groupe 2	SA07, SA03, SA08, SA05, SR09, SA09	SA05 et SA09	1 : SA01 SA02 SA04 SA05 SA07 SA08 SA09	Services liés à l'approvisionnement en eau
Groupe 3	SR06 SR07 SR08 SA05 SA08 SA09 SA07 SC02 SC03	SC02 et SC03	3 : SR01 SR02 SR03 SR04 SR05 SR06 SR07 SR08 SR10 SC01 SC02 SC03	Services culturels liés aux interactions cognitives ; intellectuelles et spirituelles
Groupe 4	SR01 SR02 SR12 SR11 SR04 (corrélés négativement au grp 3)	SR04 et SA04 (corrélés négativement)	2 : SA03 SA06 SA10 SR09 SR11 SR12	
				Services de régulation pour la protection contre les inondations et service d'approvisionnement d'animaux issus de l'aquaculture

Figure 34 : Tableau récapitulatif des corrélations des services écosystémiques en fonction des méthodes d'exploration pour le site de la MVS avant les actions de restauration

Groupes	1	2	3
SE	SA01 SA05 SA07 SA09 SR05 SR06 SR07 SR08 SR10 SC01 SC02 SC03	SA02 SA04 SR01 SR02 SR03 SR04 SR11 SR12	SA03 SA06 SA08 SA10 SR09

Figure 35: Résultat du classement hiérarchique en 3 groupes des services écosystémiques sur les habitats après travaux de restauration sur la MVS

Groupes	1	2	3
SE	SA01 SA05 SA07 SA09 SR05 SR06 SR07 SR08 SR10 SC01 SC02 SC03	SA02 SA04 SR01 SR02 SR03 SR04 SR11 SR12	SA03 SA06 SA08 SA10 SR09

Figure 36: Résultat du classement hiérarchique en 3 groupes des services écosystémiques sur les habitats après travaux de restauration sur la MVS

ACP 1 et 2 après travaux MVS	Mat Corr après travaux MVS	Clusters	Définitions mat corr
SR12, SR03, SR02, SA10, SR11, SR01, SR04	SR03 et SR04	SA02 SA04 SR01 SR02 SR03 SR04 SR11 SR12	Services de régulation liés au contrôle des masses d'eau
SR10, SA06, SA09, SR06, SA03, SR09, SR08, SA08, SA05, SR07	SR12 et SR04		Service de régulation des flux liquides, protection contre les inondations et régulation du climat
SR03 SR05 SR06 SR10 SR07	SA01 et SA07	SA01 SA07 SR05 SC02	Services d'approvisionnement en matériaux provenant de plantes et d'animaux à usage agricole, en animaux élevés et leurs produits
SA10 SA03 SA06 SA08 SR09 corrélés négativement au grp 3	SA05 et SA09	SA05 SA09 SR06 SR07 SR08 SR10 SC01 SC03	Services d'approvisionnement en eau souterraine et de surface (EDCH et non EDCH),
SR04 SR08 SR12 SR01 SR02 SA05 SA09	SR02 et SA01		Services de régulation des flux de masse corrélés négativement aux services d'approvisionnement en animaux élevés et leurs produits
	SA10 et SA01 Corrélés négativement	SA03 SA06 SA08 SA10 SR09	Services d'approvisionnement en énergie corrélé négativement aux services d'approvisionnement en animaux élevés et leurs produits
	SC02 et SA02		Services culturels liés à des interactions intellectuelles (scientifiques, éducation, patrimoine, esthétique) et services d'approvisionnement en animaux sauvages et leurs produits utilisés dans la production de denrées alimentaires

Figure 37: Tableau récapitulatif des corrélations des services écosystémiques en fonction des méthodes d'exploration pour le site de la MVS après les actions de restauration

## **Annexe 6 : Traitement de données et résultats statistiques pour le site de Sacy-le-Grand**

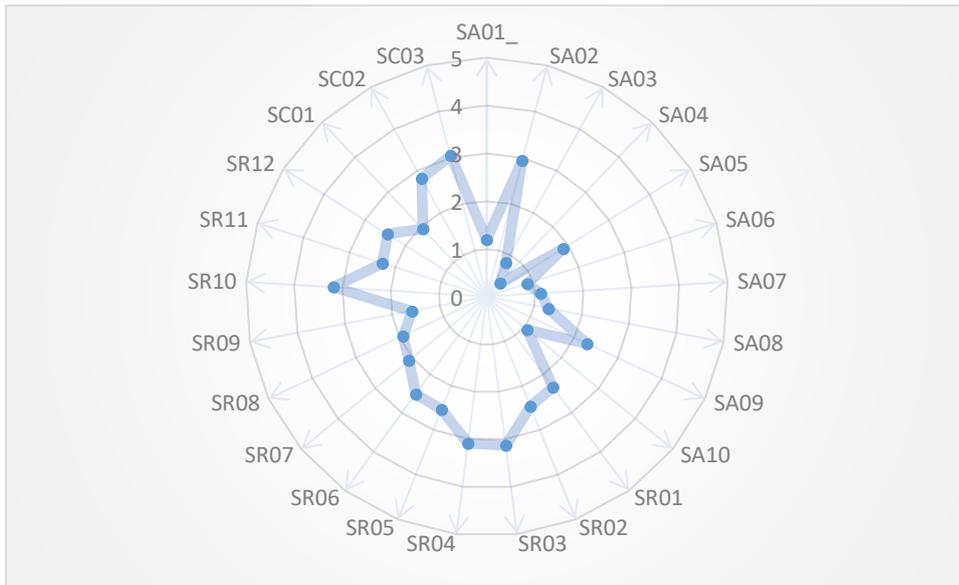


Figure 38 : Graphique radar des scores moyens de SE provenant de l'évaluation pour le site des marais de Sacy avant actions de restauration

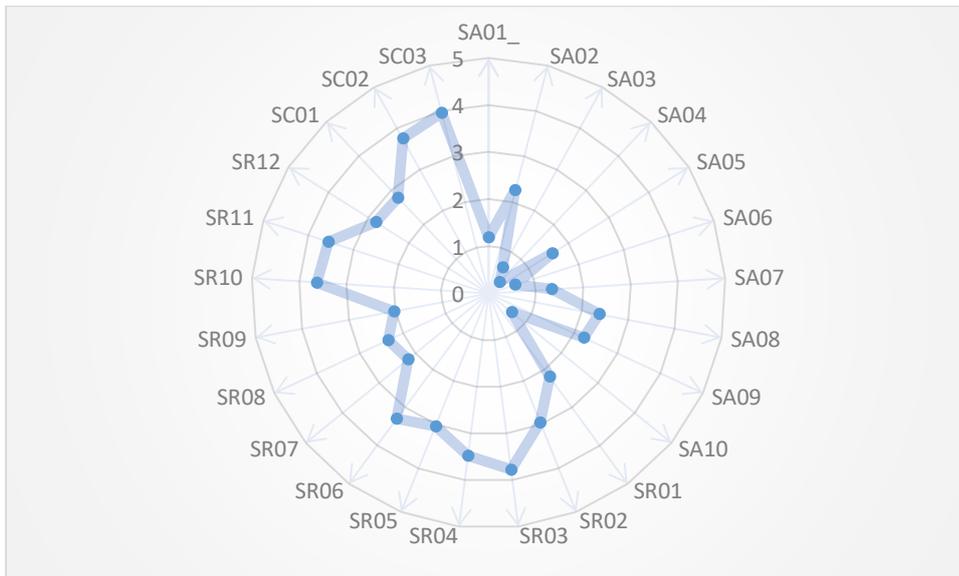


Figure 39 : Graphique radar des scores moyens de SE provenant de l'évaluation pour le site des marais de Sacy après actions de restauration

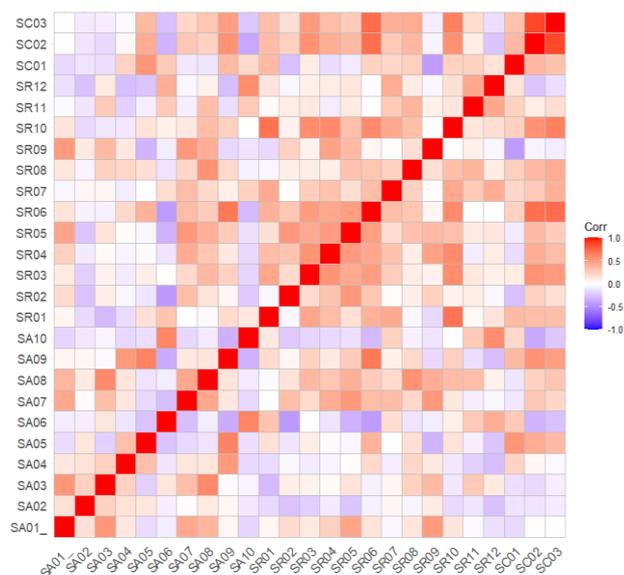


Figure 40 : Matrice de corrélations des services écosystémiques avant travaux sur les marais de Sacy

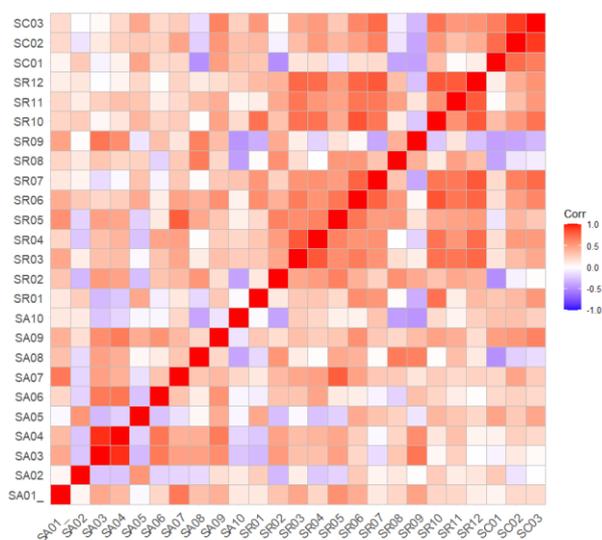


Figure 41: Matrice de corrélations des services écosystémiques après travaux sur les marais de Sacy

Groupes de SE corrélés et non corrélés	Dans la matrice de corrélations avant travaux	Définitions	Dans la matrice de corrélations après travaux	Définitions
Groupe 1 : corrélés	SR10 et SR01	Services de régulation du contrôle de la qualité des eaux et dans le contrôle des déchets et produits toxiques, des pollutions et service	SC02 et SC03	Services culturels liés aux interactions cognitives ; intellectuelles et spirituelles
Groupe 2 : corrélés	SC02 et SC03	Services culturels liés aux interactions cognitives ;	SA03 et SA04	Services d’approvisionnement en plantes sauvages,

		intellectuelles et spirituelles		algues et leurs produits et d'approvisionnement en animaux issus de l'aquaculture
Groupe 3 : corrélés			SR12 avec SR03 et SR04, SR06, SR11	Services de régulation liés au contrôle des flux d'eau, lié au maintien des populations et des habitats et à la régulation du climat mondial
Groupe 4 : <b>corrélés négativement</b>	SR02 et SA06	Service de régulation dans le contrôle des déchets et produits toxiques, des pollutions et service d'approvisionnement en plantes sauvages, algues et leurs produits	SR08 et SA10	Service de régulation et contrôle des maladies< par interactions biologiques notamment et servie d'approvisionnement en énergie provenant de la biomasse, des plantes
Groupe 5 : corrélés négativement	SR06 et SA06	Service de régulation de la composition du sol, assurant le développement de sol utile pour l'Homme et service d'approvisionnement en eau souterraine et de surface à d'autres fins que EDCH	SC01 et SA08 ;	Service culturel lié aux interactions physiques et expériences sur le milieu et service d'approvisionnement en matériel génétique provenant
Groupe 6 : corrélés négativement	SC01 et SR09	Service culturel lié aux interactions physiques avec le milieu et service de régulation de la composition du sol, assurant le développement de sol utile pour l'Homme	SC01 et SR02 ;	Service culturel lié aux interactions physiques avec le milieu et service de régulation des flux de masse, tampon et atténuation des flux de masse
Groupe 7 : corrélés négativement			SR09 et SA10 ;	Service de régulation de la composition du sol, assurant le développement de sol utile pour l'Homme et service d'approvisionnement en énergie provenant de la biomasse

Figure 42: Tableau récapitulatif des corrélations des services écosystémiques en fonction des méthodes d'exploration pour le site des marais de Sacy avant les actions de restauration

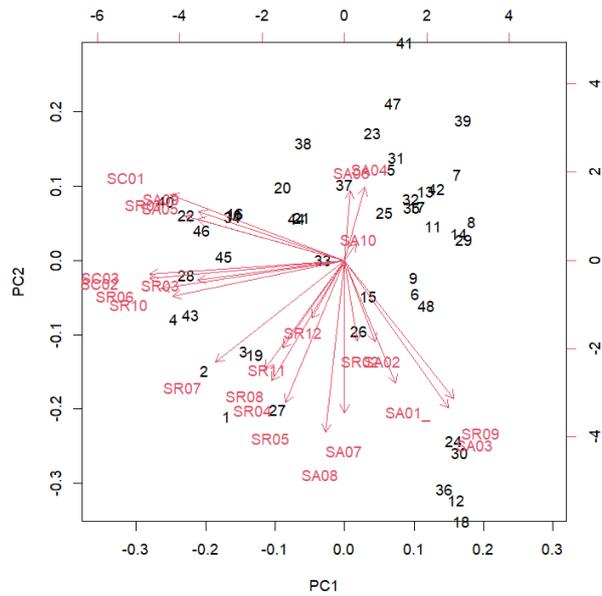


Figure 43: Graphique des résultats d'ACP (PC1 et PC2) sur les scores attribués aux SE fournis par les habitats des marais de Sacy avant les travaux de restauration

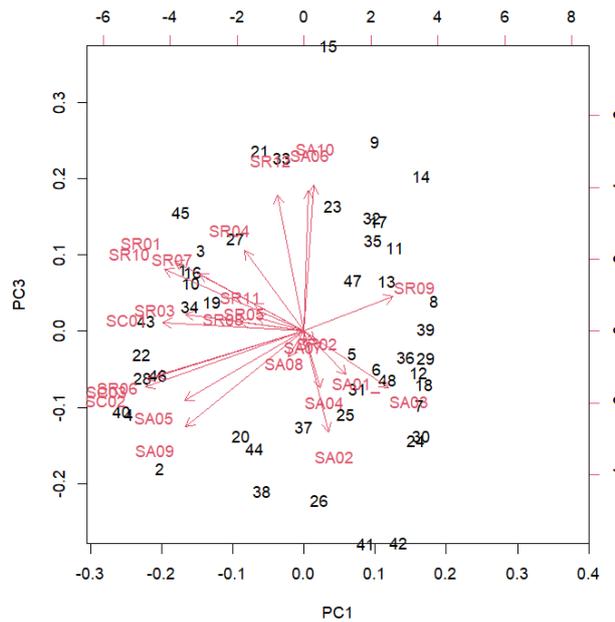


Figure 44: Graphique des résultats d'ACP (PC1 et PC3) sur les scores attribués aux SE fournis par les habitats des marais de Sacy avant les travaux de restauration

```

> 100 * PCAavant1$sdev^2 / sum(PCAavant1$sdev^2) # Proportion de variance de chaque composante
[1] 24.3889756 14.8142581 13.3970726 8.8518736 6.1715557 4.8374541
[7] 4.1082783 3.0760108 2.8626501 2.6913614 2.3979466 2.0558929
[13] 1.7230445 1.5366951 1.4621487 1.1342559 1.0976392 0.9236711
[19] 0.7032175 0.4329331 0.3777739 0.2842216 0.2771126 0.2395128
[25] 0.1544443
> sum(100 * (PCAavant1$sdev^2)[1:2] / sum(PCAavant1$sdev^2)) # Variance totale de PC1 + PC2
[1] 39.20323

```

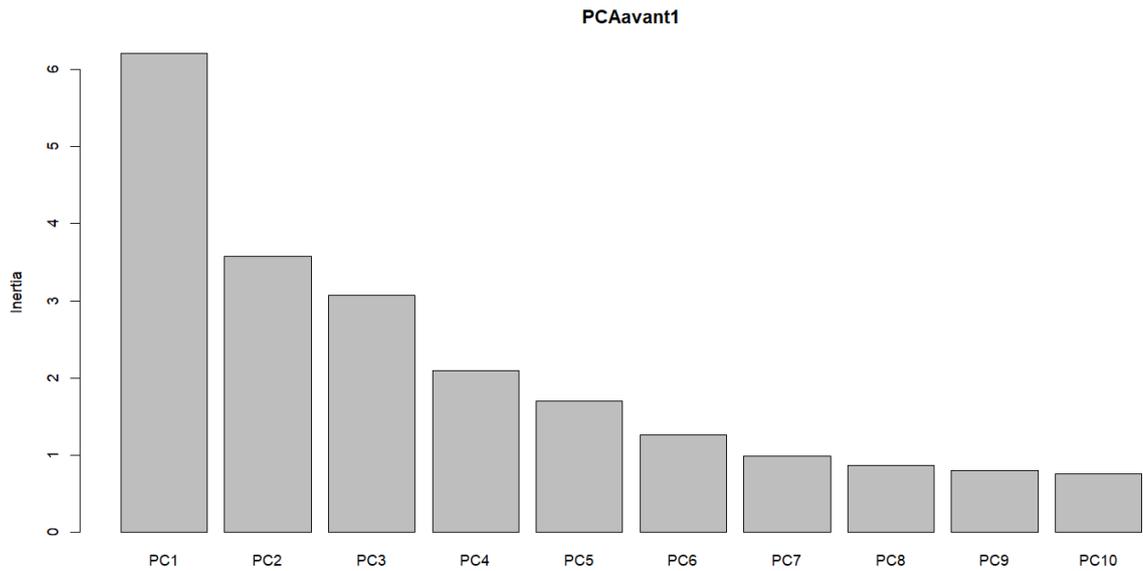


Figure 45: Résultats et graphique de variances associées à chaque composante principale pour l'ACP des scores obtenus sur les habitats des marais de Sacy avant les travaux de restauration

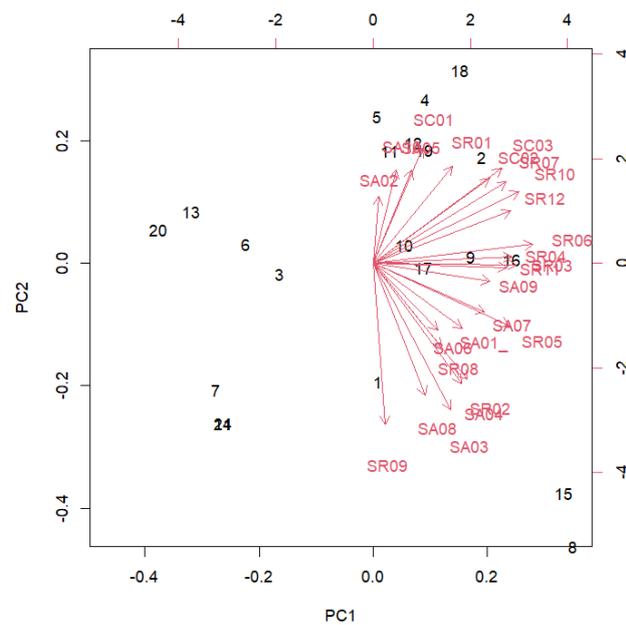


Figure 46: Graphique des résultats d'ACP (PC1 et PC2) sur les scores attribués aux SE fournis par les habitats des marais de Sacy après les travaux de restauration

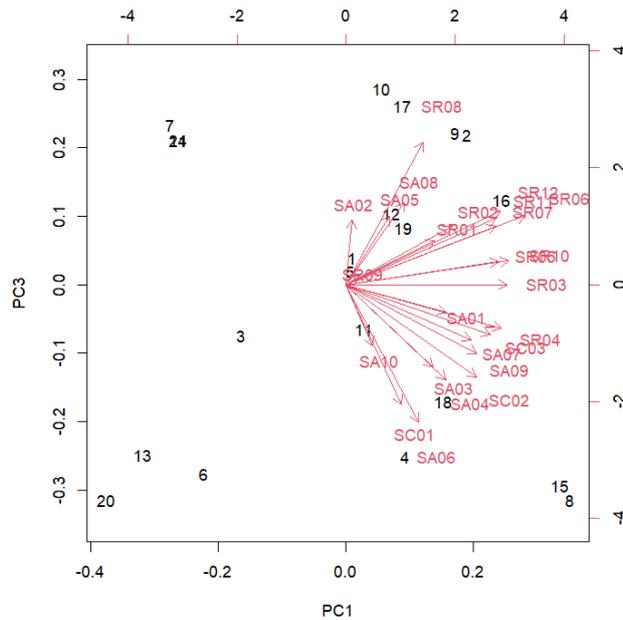


Figure 47: Graphique des résultats d'ACP (PC1 et PC3) sur les scores attribués aux SE fournis par les habitats des marais de Sacy après les travaux de restauration

```
> sum(100 * (PCAapres$sdev^2)[1:2] / sum(PCAapres$sdev^2)) # Variance totale de PC1 + PC2
[1] 54.66436
```

Figure 18 : Résultats de variances associées aux 25 composantes principales pour l'ACP des scores obtenus sur les habitats des marais de Sacy après les travaux de restauration

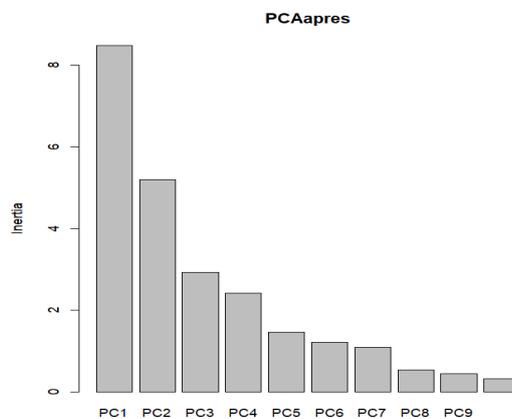


Figure 48: Résultats et graphique de variances associées à chaque composante principale pour l'ACP des scores obtenus sur les habitats des marais de Sacy après les travaux de restauration

Groupes	1	2	3
SE	SA01 SA03 SA07 SA08 SR02 SR05 SR08 SR09 SR11	SA02 SA04 SA05 SA09 SR01 SR03 SR04 SR06 SR07 SR10 SC01 SC02 SC03	SA06 SA10 SR12

Figure 49: Tableau récapitulatif des corrélations des services écosystémiques en fonction des méthodes d'exploration pour le site des marais de Sacy avant les actions de restauration

```

> SE_ward <- hclust(SE_dist, method = "ward.D2")
> plot(SE_ward)
> groupesward <- cutree(SE_ward, k = 3)
> head(groupeward)
SA01_ SA02 SA03 SA04 SA05 SA06
 1  2  1  1  2  1
> groupeward
SA01_ SA02 SA03 SA04 SA05 SA06 SA07 SA08 SA09 SA10 SR01 SR02 SR03 SR04 SR05 SR06 SR07 SR08 SR09 SR10
 1  2  1  1  2  1  1  1  1  2  2  1  3  3  1  3  3  1  1  3
SR11 SR12 SC01 SC02 SC03
 3  3  2  2  2

```

Figure : Résultat du classement hiérarchique des services écosystémiques en 3 groupes sur les habitats après travaux de restauration sur les marais de Sacy

Groupes	1	2	3
SE	SA01 SA03 SA04 SA06 SA07 SA08 SA09 SR02 SR05 SR08 SR09	SA02 SA05 SA10 SR01 SC01 SC02 SC03	SR03 SR04 SR06 SR07 SR10 SR11 S R12

Figure 50: Tableau récapitulatif des corrélations des services écosystémiques en fonction des méthodes d'exploration pour le site des marais de Sacy après les actions de restauration