

Les tourbières alcalines : Fonctionnement, gestion de l'eau, et restauration



Préface

Parmi les écosystèmes naturels humides, les tourbières sont les plus sensibles aux conditions d'alimentation en eau qui constituent un volet essentiel dans leur gestion. Ces milieux exceptionnels sont le résultat d'une formation liée à des conditions particulières s'étalant parfois sur des millénaires.

Dans le nord de la France, les tourbières sont principalement des tourbières alcalines. Ces tourbières alcalines ont pendant longtemps été dégradées par l'Homme. Elles ont été tour à tour exploitées, drainées, asséchées et parfois même transformées en étang, et ce, alors qu'elles constituent des réservoirs de biodiversité abritant de nombreuses espèces rares voire endémiques. Les tourbières alcalines jouent également un rôle crucial dans le cycle de l'eau grâce à leur capacité de stockage et d'épuration. Le passage d'un paradigme « d'exploitation » à celui de la préservation est enclenché mais il nécessite maintenant de prendre en compte de façon plus prégnante la gestion de l'eau.

Le contenu de ce guide s'appuie sur les études et recherches menées dans le cadre du programme LIFE Anthropofens. Ces études ont permis de mieux comprendre les liens qui existent entre certaines tourbières alcalines et l'eau qui les alimente et d'en déduire des mesures de gestion appropriées. Les retours d'expérience présentés ici seront un outil précieux pour tous les acteurs engagés dans la protection et la gestion des tourbières. J'espère qu'il permettra d'adapter la gestion de ces écosystèmes afin de mieux préserver la biodiversité qu'ils abritent et les services qu'ils rendent. Je souhaite également qu'il permette de promouvoir une gestion de l'eau durable, prenant pleinement en compte les besoins des milieux naturels.

Nous avons une responsabilité collective dans le maintien des tourbières.

Souhaitons que ce guide permette de mieux appréhender les enjeux de gestion de ces espaces rares et menacés.

Pascale Mercier

Directrice territoriale des vallées d'Oise
Agence de l'Eau Seine Normandie



Les tourbières alcalines, véritables joyaux de notre patrimoine naturel, jouent un rôle indispensable pour la biodiversité et la régulation des cycles du carbone ; leur présence importante dans le nord de la France et la Wallonie constitue un enjeu majeur de préservation. Voilà pourquoi le Conservatoire d'espaces naturels des Hauts-de-France s'investit depuis des décennies dans leur protection. C'est donc logiquement que notre association s'est lancée le défi de monter, avec de nombreux partenaires que je remercie, un vaste projet européen : le LIFE Anthropofens. Celui-ci aura permis un travail partagé sur ces milieux exceptionnels.

Cinq guides, fruits d'un travail collaboratif et d'une expertise pointue, - dont vous avez l'un des numéros entre les mains - vous invitent à découvrir ces écosystèmes fragiles, leur gestion et les actions de restauration menées dans le cadre du LIFE Anthropofens.

Ensemble, grâce à l'engagement collectif, nous pouvons préserver ces milieux essentiels pour les générations futures.

Christophe Lépine

Président du Conservatoire d'espaces naturels des Hauts-de-France
Président de la Fédération des Conservatoires d'espaces naturels



Publication :
Conservatoire d'espaces naturels des Hauts-de-France

Directeur de publication : Christophe Lépine

Réalisation :
Conservatoire d'espaces naturels des Hauts-de-France,
Conservatoire Botanique National de Bailleul, Syndicat Mixte Baie de Somme – Grand Littoral Picard, Agence de l'eau Seine-Normandie,
Natagora, Fédération des Conservatoires d'espaces naturels, Parc Naturel Régional Scarpe-Escaut

Conception graphique et mise en page :
H. Galipot, M. Héraude.

Contributions :
Blondel B., Coulombel R., Duranel A., Lefort T., Rey G., (Conseil Départemental de l'Oise, Conservatoire Botanique National de Bailleul, Conservatoire d'espaces naturels des Hauts-de-France, Ecotelm, Syndicat Mixte Baie de Somme – Grand Littoral Picard)

Illustration de couverture : Marais de la Souche (02) ©J. Hummel
Illustration quatrième de couverture : Les tourbières de la Haute Somme à Frise ©T. Rigaux

Financement du LIFE Anthropofens :
LIFE18NAT/FR/000906



Imprimé par : DB Print

Date de publication : Décembre 2024

Citation recommandée :
Berquer A., Levraut S., Castelli M., Alderweireld F., André A., Antoine P., Brasseur B., Capoulade J., Czerniak L., Décultot C., François R., Garcia C., Hummel J., Janczak A., Meire G., Opdekamp W., Trongneux P., Vandendriessche M., Chombart C., Daubresse R., James M., Duran P., 2024. Fonctionnement des tourbières alcalines, gestion de l'eau et restauration. LIFE Anthropofens, *Conservatoire d'espaces naturels des Hauts-de-France*, Boves. 52p

Pour citer un article, merci de citer le titre de l'article concerné et ses auteurs et autrices.

Exemple :

Brasseur B., Garcia C., Antoine P. & Berquer A., 2024. Historique de la mise en place d'une tourbière de la vallée de la Somme à travers l'étude des paléo-environnements. In Fonctionnement des tourbières alcalines, gestion de l'eau et restauration. Life Anthropofens, *Conservatoire d'espaces naturels des Hauts-de-France*, Boves, Chapitre 1.1: 8-11

Sommaire

Présentation générale du contexte des tourbières alcalines	4
Présentation du LIFE Anthropofens	5
Carte	6
1. Fonctionnement naturel d'une tourbière alcaline	8
1.1 Historique de la mise en place d'une tourbière de la vallée de la Somme à travers l'étude des paléo-environnements	8
1.2 Des tourbières en bon état écologique ?	12
2. Usages passés et actuels des tourbières alcalines et leurs conséquences	14
2.1 Evaluation et utilisation des services écosystémiques liés à l'eau et aux habitats	14
2.2 Exploitations et usages historiques des tourbières alcalines	18
3. Suivi de l'état de conservation et du fonctionnement des sites	21
3.1 Présentation du matériel et équipements de suivi	21
3.2 Acquisition et exploitation des données	26
3.3 Enseignements concrets des études éco-hydrologiques	28
4. Enseignements sur les travaux de restauration hydrologique	30
4.1 Les difficultés et les moyens d'y faire face	30
4.2 Restauration hydrologique : l'exemple de Morcourt en Vallée de Somme	31
4.3 Cas d'étude de la mise en oeuvre des travaux de restauration de milieux tourbeux : les marais de la Maye	34
5. Apports pour les gestionnaires et les décisionnaires - Passer à la prise de décision et à la pratique	36
5.1 Les Projets de Territoire pour la Gestion de l'Eau et la démarche de volumes maximum prélevables	36
5.2 Problèmes liés à la réglementation - Instruction des dossiers Loi sur l'Eau	38
5.3 Atelier "Eau, rivière, tourbière"	40
5.4 Les voyages d'étude : du partage et des retours d'expérience indispensables	42
6. Et ailleurs ? Des perspectives	46
Bibliographie	50



Présentation générale du contexte des tourbières alcalines

Auteur : Matthieu JAMES (Conservatoire d'espaces naturels des Hauts-de-France)

Ci-dessus : Marais d'Eclusier-Vaux
©F. HELIN

Parmi les différents types de milieux humides qui existent, les tourbières se différencient des autres et se caractérisent soit comme milieu humide, soit comme milieu humide où de la tourbe est présente en surface sur 10 cm d'épaisseur ou plus (approche pédologique) (IUSS Working Group WRB, 2015). Dans tous les cas, pour préserver la tourbe, il est nécessaire d'y avoir un engorgement quasi-permanent du sol, par une eau pauvre en oxygène et en nutriments. Ce sont des écosystèmes fragiles, en particulier dans un contexte de changement climatique et dépendant du partage de la ressource en eau avec les autres usages.

Les tourbières peuvent être notamment définies selon leur pH, soit acide (pH entre 3 et 5,5), soit alcalin (pH entre 5,5 et 8). Cette caractéristique est fortement influencée par la composition chimique de l'eau qui alimente la tourbière et son origine. Pour les tourbières des Hauts-de-France et de Wallonie, la plupart d'entre elles sont principalement alimentées par des eaux issues des nappes d'eau souterraines, eaux souvent issues du socle crayeux du Bassin parisien, qui les enrichit en calcium et donne ce caractère alcalin aux tourbières.

Lorsqu'ils ne sont pas perturbés, ces milieux naturels assurent plusieurs fonctions essentielles : accueil d'une biodiversité inféodée à ces écosystèmes, régulation des cycles de l'eau (tamponnage des crues et des sécheresses), stockage de carbone, patrimoine archéologique, etc. (Décultot et al., 2024).

Les Hauts-de-France et la Wallonie abritent de vastes zones tourbeuses comme les Marais de Sacy (FR-60), la vallée de la Somme et ses affluents (FR-80), le Marais Audomarois (FR-59/62), les Marais de la Souche (FR-02), la Plaine de la Scarpe et de l'Escaut (FR-59), ou encore la Vallée de la Semois (BE). Parmi ces dernières, certaines sont même reconnues internationalement, en particulier comme zones humides d'importance internationale par la Convention de Ramsar ou comme site Natura 2000. Plusieurs dizaines de milliers d'hectares de milieux tourbeux sont présents dans ces deux régions.

Malheureusement, ces tourbières sont majoritairement perturbées. En effet, elles ont été occupées et aménagées pour les activités humaines depuis l'Antiquité : changement d'utilisation (culture agricole et popiculture, urbanisation), exploitation de la tourbe (par le tourbage), déprise agricole, canalisation des cours d'eau, création de systèmes de drainage, etc.

Ces actions ont pour effet de bouleverser complètement le fonc-

tionnement du site ou de le détruire directement. La principale conséquence est la minéralisation des tourbes, dégradation irréversible, qui entraîne notamment une modification de la composition chimique des sols, des phénomènes de subsidence, du relargage massif de gaz à effet de serre et une perte de biodiversité.

En France, 87% des zones humides présentes au XVIII^e siècle avaient été perdues en 2000, dont 50% rien qu'au XX^e siècle. La disparition des milieux humides est 3 fois plus rapide que la déforestation (Global assessment on biodiversity and ecosystem services, IPBES, 2019).

Des initiatives existent pour restaurer et préserver ces milieux naturels, dont à titre d'exemple : le Plan Régional d'Action en faveur des Tourbières, la labellisation Ramsar, les politiques foncières en faveur des milieux naturels ou encore le LIFE Anthropofens.



Présentation du LIFE Anthropofens

Le LIFE Anthropofens a pour objectif principal de restaurer les conditions qui permettront l'amélioration de l'état de conservation de **480 ha de milieux tourbeux alcalins sur 13 sites Natura 2000 des Hauts-de-France et de Wallonie**.

Il est décliné en 3 sous-objectifs :

- assurer la conservation des habitats tourbeux alcalins ;
- préserver les différents stades d'évolution des milieux tourbeux et développer des modes de gestion visant l'amélioration de l'état de conservation de l'ensemble des habitats des tourbières alcalines ;
- mettre en réseau les gestionnaires de tourbières des Hauts-de-France et de Wallonie.

Plus précisément, il vise à restaurer **6 habitats d'intérêt communautaire** au titre de la Directive européenne Habitats-Faune-Flore : les **Prairies humides calcaires à Molinie bleue (6410)**, les **Tourbières de transition (7140)**, les **Marais calcaires à Marisque (7210* - HIC prioritaire)**, les **Tourbières basses alcalines (7230)**, les **Tourbières boisées (91D0* - HIC prioritaire)** et les **Aulnaies-frênaies alluviales à hautes herbes (91E0* - HIC prioritaire)**.

Depuis 2019 jusqu'en 2026, **9 structures des Hauts-de-France et de Wallonie** mettent en œuvre un programme d'actions pour atteindre cet objectif, mettant à profit leurs expertises et leur complémentarité.

Il s'agit du Conservatoire botanique national de Bailleul, du Conservatoire du littoral, du Conservatoire d'espaces naturels des Hauts-de-France, du Département de l'Oise, de la Fédération des conservatoires d'espaces naturels, de Natagora, du Parc Naturel Régional Scarpe-Escaut, du Syndicat Mixte Baie de Somme Grand Littoral Picard et du Syndicat mixte Oise-Aronde.

Le programme est soutenu par **6 partenaires financiers** : l'Union européenne (programme LIFE), l'Agence de l'Eau Artois-Picardie, l'Agence de l'eau Seine Normandie, l'Office Français de la Biodiversité, le Département de l'Oise et la Fondation Coca-Cola. Il bénéficie également de l'accompagnement de **5 partenaires institutionnels et techniques** : l'EPTB Somme-AMEVA, la DREAL Hauts-de-France, la Région Hauts-de-France, le Département de la Somme et le Département de l'Aisne.

Le LIFE Anthropofens bénéficie d'un budget total de 18,7 millions d'euros afin de mettre en œuvre des actions réparties dans trois grands domaines :

- l'étude scientifique et le suivi de différents paramètres pour améliorer la connaissance des milieux, de leur fonctionnement et évaluer l'impact des travaux (état de conservation des habitats naturels, fonctionnement écohydrologique, état des tourbes, etc.)
- la réalisation d'importants travaux pour restaurer le bon état écologique des milieux tourbeux et leur fonctionnement et préparer une gestion à long terme de ces espaces (étrépage/ décapage sur 24 ha, pose de 8 équipements de gestion des niveaux d'eau, neutralisation de 4,8 km de fossés de drainage, fascinage de 600 m de berges avec implantations d'espèces ingénierues pour reconstituer des tremblants, déboisement de 141 ha avec rognage de souches ou essouchage, fauche avec exportation de 89 ha, pose de clôture et d'équipement pour le pâturage pour 86 ha pâturable, aménagement de 2 sites pour l'ouverture au public, etc.)
- la communication et valorisation des connaissances afin de les partager avec les acteurs des tourbières, de diffuser auprès d'un large public les résultats des actions et de sensibiliser un maximum de personnes aux enjeux de préservation des tourbières.

Le LIFE Anthropofens contribue directement aux atteintes des objectifs des différents Documents d'Objectifs Natura 2000, des Schémas Directeurs d'Aménagement et de Gestion des Eaux et de leur déclinaison en SAGEs, ainsi qu'aux autres politiques publiques en faveur de la Biodiversité et du Climat.

La collection de guides du LIFE Anthropofens vise à valoriser le travail et l'expérience acquise tout au long du projet. Elle se compose des ouvrages traitant la gestion, le pâturage, l'hydrologie, les habitats...

Ces guides sont consultables et téléchargeables en suivant ce QR code, via l'onglet «documents de communication»

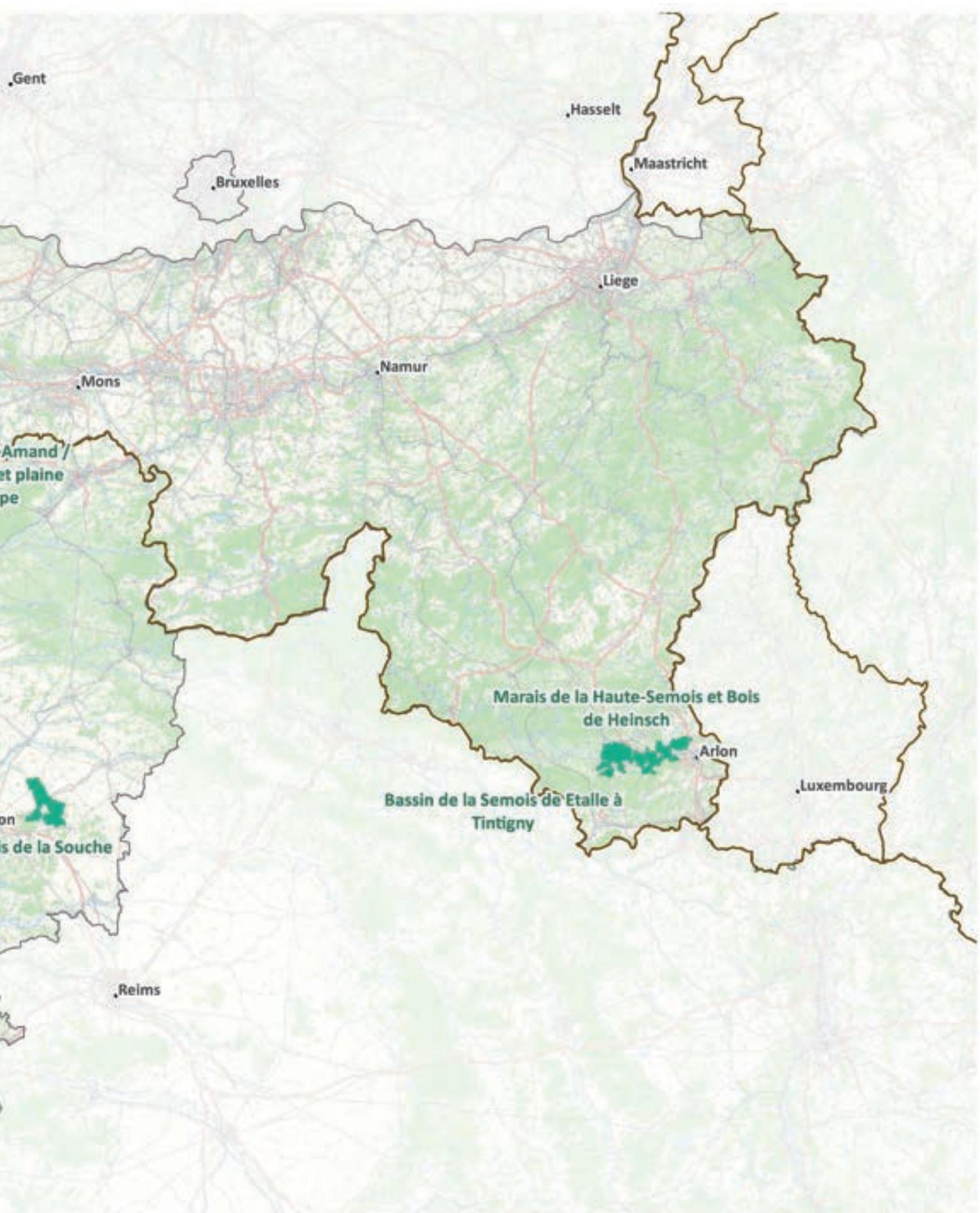


ou via le site du Pôle-Relais Tourbières en suivant l'adresse : <https://www.poletourbières.org/action/guides-techniques-LIFE-Anthropofens/>



Les sites Natura 2000 concernés par le LIFE Anthropofens





Fonctionnement naturel d'une tourbière alcaline

1 Historique de la mise en place d'une tourbière de la vallée de la Somme à travers l'étude des paléo-environnements

Auteurs : Boris BRASSEUR¹, Chloé GARCIA¹, Pierre ANTOINE², Adrien BERQUER³

¹ Écologie et Dynamique des Systèmes Anthropisés, Université de Picardie Jules Verne, UMR7058, Amiens

² Laboratoire de Géographie Physique, CNRS- UMR 8591, Meudon

³ Conservatoire d'espaces naturels des Hauts-de-France, Boves

Les tourbières forment un ensemble d'écosystèmes particuliers aux zones humides. La végétation de ces écosystèmes produit une biomasse qui s'accumule dans la partie superficielle du sol en raison d'une biodégradation limitée des débris noyés. Lorsque ces débris constituent plus de 50% de la masse du sol, nous parlerons de tourbe (ou Histosol pour les référentiels pédologiques Français et International).

Longtemps après la disparition des tourbières, la tourbe accumulée témoigne des associations végétales mais aussi animales et microbiennes passées. Ceci est particulièrement vrai dans le cas des tourbes alcalines qui, contrairement aux tourbes acides, préservent les vestiges carbonatés (ex: coquilles), phosphatés (ex: os, dents) ainsi que de l'ADN fossile.

La tourbe constitue donc une archive exceptionnelle des environnements passés allant jusqu'à fossiliser au travers les pollens transportés par le vent des associations végétales distantes de la zone humide. Par conséquent, les séquences tourbeuses peuvent être utilisées pour reconstruire les évolutions environnementales passées (climat, hydrologie, couvert végétal, eutrophisation et anthropisation du paysage). C'est l'ambition des projets de recherche ARCHEOFEN et FenSOM réalisés depuis 2020 sur la vallée de la Somme par l'UPJV et le CNRS (<https://www.u-picardie.fr/edysan/archeofen/>).

Retracer les trajectoires environnementales passées n'intéresse pas que la paléoécologie ou l'Histoire. En effet, disposer d'informations sur les successions d'environnements passés permet d'éclairer les objectifs de restauration d'un secteur paysager qui nous apparaît comme actuellement dégradé.

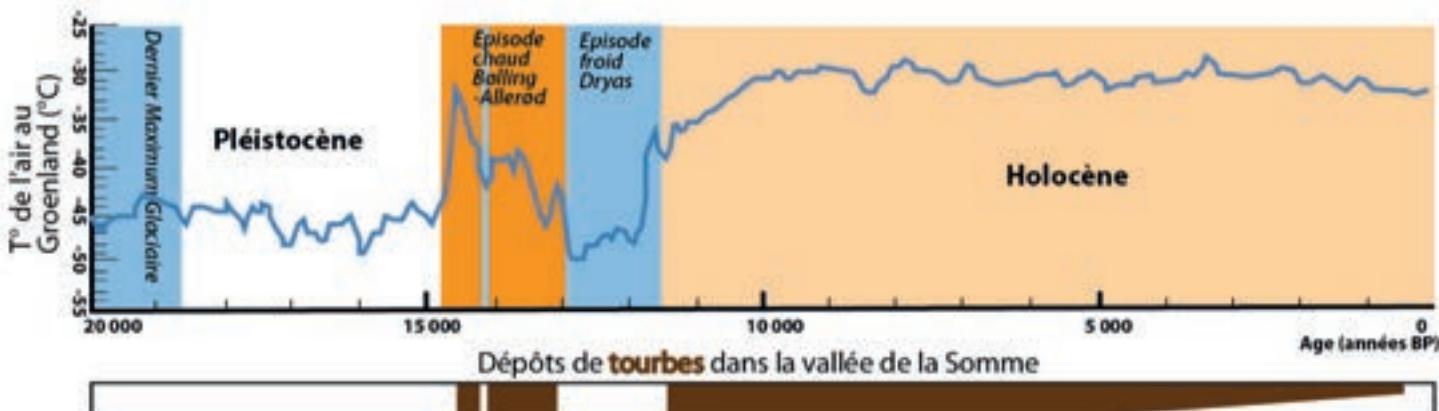
Dans ce domaine une question qui peut se poser est celle des conditions environnementales initiales qui ont prévalu à l'installation (ou réinstallation) de tourbières par le passé. Nous allons, dans cet article, préciser ce point sur la base des résultats obtenus récemment sur les séquences tourbeuses de la vallée de la Somme.

Les périodes climatiques passées où la tourbe s'est formée et l'histoire du fond de vallée

Depuis le maximum de froid de la dernière période glaciaire, il y a 20 milliers d'années BP ("Before Present", soit avant 1950 pour le calendrier Grégorien), le climat s'est réchauffé en plusieurs étapes (Figure n°1). Cette remontée des températures a été ponctuée d'événements de réchauffement rapide et de refroidissement à partir de 15 milliers d'années BP et jusqu'à 11.5 milliers d'années BP (période dite du Tardiglaciaire). Suite à un épisode de réchauffement brutal marquant le début de notre interglaciaire, le climat va progressivement se stabiliser sur des températures annuelles semblables à l'actuel. Cette période climatique au climat relativement chaud et stable, tempérée en Europe de l'Ouest, est appelée Holocène. Les périodes de formation de tourbe dans la vallée de la Somme (Figure n°1) correspondent aux épisodes de réchauffement de -14 à -12.5 milliers d'années BP puis au début de l'Holocène jusqu'à quelques siècles BP (Bas Moyen-Âge).

Par conséquent, dans le Nord de la France les périodes relativement chaudes, au climat tempéré-océanique, proposent des conditions favorables à la formation de tourbes dans la vallée de la Somme. Toutefois, d'autres facteurs tels que des modifications anthropiques sur les niveaux d'eau sont susceptibles de changer les paramètres du milieu rendant alors la formation de tourbes impossible sur les portions de la vallée qui seraient impactées. Le drainage (drains, fossés) des sols de fond de vallée, l'accélération/facilitation de l'écoulement de l'eau du fleuve sont ainsi des modifications pouvant faire disparaître l'écosystème "tourbière" et même contribuer à la disparition des tourbes précédemment accumulées. A contrario, un rehaussement modéré des niveaux d'eau suite à la construction d'un seuil ou barrage (ex : pour des moulins à eau) est susceptible de faciliter le développement de la végétation des tourbières puis l'accumulation de tourbes.

Figure n°1: Évolution des températures enregistrées dans les glaces du Groenland (étude des isotopes de l'oxygène sur la carotte de glace GISP2) depuis 20 000 ans et dépôts de tourbes de la vallée de la Somme durant la même période (courbe des paléotempératures, modifiée depuis Platt et al., 2017). Données sur les tourbes d'après Garcia, 2024a.



La pédologie est la science s'intéressant à la formation et au fonctionnement des sols tandis que la phytosociologie permet de reconnaître les communautés de végétations dont celles typiques des tourbières. Les études des communautés floristiques et des sols le long de la vallée permettent d'illustrer la vaste extension des tourbes mais aussi l'état de dégradation des tourbes superficielles et des tourbières. En effet, la végétation des tourbières est devenue rare dans la vallée de la Somme en raison de niveaux d'eau trop bas (très souvent à plus de 15 cm de profondeur en moyenne annuelle) ; à cela s'ajoutent de forts apports de limons issus de l'érosion de sols cultivés ce qui modifie leur biodiversité.

Après la disparition de l'écosystème de la tourbière, c'est la tourbe précédemment accumulée qui commence à se dégrader, dans sa partie exondée. Par conséquent le drainage et l'aménagement des chenaux/canaux de la Somme participent largement à la disparition de la végétation des tourbières mais aussi à la dégradation des tourbes sous-jacentes. Le problème n'est pas nouveau. En effet les plus anciens textes datant du Moyen-Âge (Tedaldi - Da Lage, 1997) font déjà état de travaux d'aménagements de drainage et d'un fossé de navigation dans la moyenne vallée de la Somme. Ceci n'illustre que partiellement l'ancienneté des aménagements anthropiques susceptibles d'avoir fait régresser l'écosystème de tourbières et dégradé les sols tourbeux.

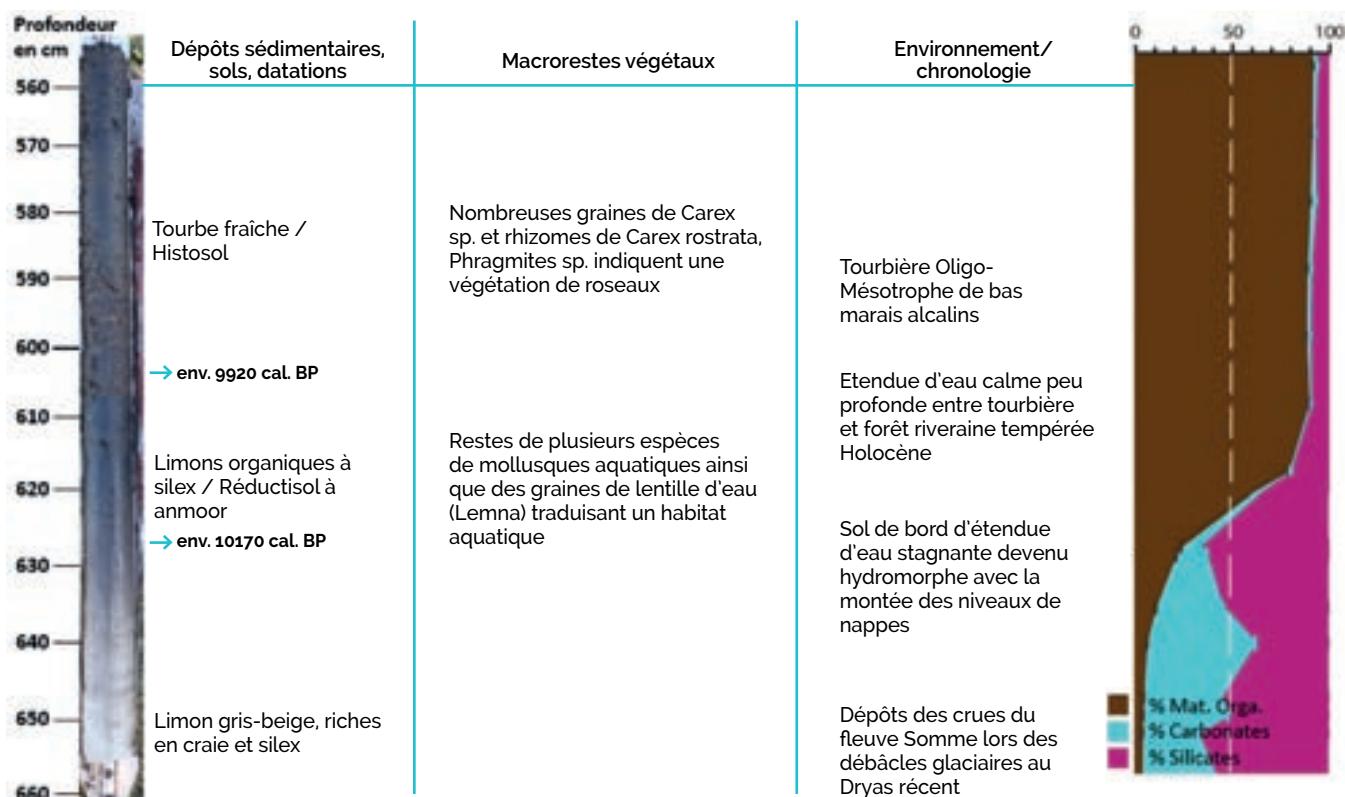
Initiation de la turfigénèse : que disent les archives des tourbes ?

La vallée de la Somme est constituée de tourbes de quelques mètres d'épaisseur, souvent 2 à 6 m parfois jusqu'à 10 m (à Ham, Haute-Somme, source BRGM). Leur étude au laboratoire permet de caractériser leur taux de matière organique, de carbone et de matières minérales (carbonates, silicates). L'étude au microscope permet de reconnaître les fragments végétaux conservés dans les tourbes, appelés macrorestes (Schulz, 2019), qui a contribué à sa formation. Enfin, la datation au carbone 14 de débris végétaux

donne un cadre chronologique précis aux dépôts.

Sur la figure ci-dessous, nous présentons comment s'est initiée la formation de tourbe au milieu de la vallée de la Somme sur la commune de Morcourt, un exemple représentatif de nombreuses autres situations de la vallée. Au point de sondage ST54 de Morcourt (Figure 2), les premières tourbes se sont déposées sur des limons présents entre 620 et 650 cm de profondeur. Ces limons déposés au Dryas récent ont été le support de développement de sols dont l'hydromorphie va se développer au fur et à mesure que monte le niveau de l'eau dans le fond de vallée de la Somme. Cette montée des niveaux et des nappes d'eau suit le colmatage progressif du fond de vallée par des dépôts sédimentaires (tourbes et limons; Antoine, 1997; Garcia et al., 2022, 2024b). Au maximum de montée des eaux, le sol se trouve couvert une grande partie de l'année, par une eau stagnante où se développent des lentilles d'eau et des mollusques aquatiques. Dans cet environnement aquatique peu profond, la végétation de tourbières va s'installer et produire une tourbe qui, à partir de 610 cm de profondeur, devient franche avec plus de 80% de matière organique, pauvre en silicate (SiO_2) et très pauvre en carbonate de calcium (CaCO_3). Avec la présence abondante de *Carex rostrata*, de *Phragmites australis*, c'est une végétation de roselière qui peuplait la tourbière oligo-mésotrophe locale (Garcia et al., 2024c). Durant la première moitié de l'Holocène, avant le début de l'agriculture dans la région, c'est ce type de tourbe (et de tourbière) qui domine les dépôts de fond de vallée. Cette séquence typique illustre l'importance des hauts niveaux d'eau pour initier la genèse de tourbières et de tourbe dans la vallée. A l'endroit du sondage de Morcourt, la tourbe va ensuite s'accumuler à raison de 0.5mm/an, la formation d'épaisses couches prend donc du temps !

Figure n°2: Photographie d'une carotte de prélèvement réalisée sur la commune de Morcourt (sondage MOR21-ST54 profondeur 555 à 655 cm). La séquence récoltée représente la base des tourbes Holocène, autour de 6m de profondeur. Les dépôts sédimentaires, sols, macrorestes végétaux, paléoenvironnements et analyses chimiques sont décrits face à la séquence. Deux dates carbone 14 calibrées (cal.) sont présentées en années BP. D'après Garcia (2024a).



Evolutions des paléoenvironnements, dynamiques de dégradation et possibilités de restauration

S'il faut du temps pour générer 1 mètre de tourbe (environ 2000 ans pour les tourbes franches à Morcourt), la dégradation de celles-ci est près de 15 fois plus rapide (Leifeld et al. 2011). En témoignent des exemples d'affaissement des sols tourbeux en Allemagne ou en Angleterre (Leifeld et al., 2011 ; Rotherham, 2020) au travers de poteaux témoins fixés dans la roche mère. Ainsi en un à deux siècles, deux à trois mètres de tourbes peuvent être perdus en raison du séchage, de la rétractation des tourbes et de la biodégradation des restes végétaux dans la partie exondée du sol. Les sols qui en résultent perdent donc en eau, puis en volume et enfin en matière organique. Après la perte de quantités importantes de matière organique, ces sols ne sont plus des tourbes et se sont enrichis relativement en matières minérales dont des limons qui composent l'essentiel de la partie minérale initiale.

Cependant, le retour de la tourbière et de la genèse de nouvelles tourbes est toujours possible. Les dépôts de tourbe historique de Morcourt illustrent ainsi une forte reprise avec des vitesses d'accumulation supérieures à 1 mm/an ! Ces tourbes riches en limons et carbonates pourraient s'être accumulées grâce au rehaussement des niveaux par des barrages et des seuils situés en aval (Garcia et al., 2024c).

La connaissance des paléo-environnements sont des indices permettant d'identifier quelles végétations ont pu se développer par le passé dans les tourbières, avant même l'intervention de l'espèce humaine. Dans une perspective de restauration, il est donc possible d'imaginer un retour vers les habitats ayant précédemment pris place dans les grandes vallées. À l'inverse, si par le passé, certaines végétations n'ont jamais pu s'installer dans un site, il est illusoire de penser à une implantation durable de ces végétations sur le site, aussi complète la restauration soit-elle envisagée. En effet, des phénomènes de trophie ou de fluctuations d'eau plus importantes, auraient pu, par exemple, ne jamais permettre l'installation de bas-marais à mousses brunes. Ainsi ces données sur les paléo-environnements peuvent permettre de choisir quels habitats seront les plus propices à restaurer, en plus de connaître les conditions actuelles éco-hydrologiques sur les sites étudiés, et les facteurs de pression qui les influencent (Pencoat-Jones & Berquer, 2024; Berquer et al., 2024). Dans tous les cas, la préservation des tourbières et de ses habitats par une restauration hydrologique permettra aussi une conservation de la tourbe et des précieuses archives sur les paléo-environnements qu'elles nous fournissent, voire d'en créer de nouvelles pour le futur.

A gauche : haut - L'utilisation d'un carottier russe, mécanisé, permet à l'équipe de remonter des prélèvements jusqu'à plusieurs mètres de profondeur

bas - Différents horizons sont visibles sur les sondages. Ici, des horizons limoneux, enrichis en matière organique noire reposent sur le limon tardiglaciaire, gris clair.

©P. ANTOINE

A droite : La tourbe est une accumulation de végétaux très faiblement décomposés. Les prélèvements permettent d'identifier les espèces composant ces macro-restes. Ici, des fragments de bois et de roseaux sont visibles. Certains animaux peuvent aussi rester piégé dans les tourbes, comme le témoignent les accumulations parfois importantes de coquilles de mollusques, blanchies par l'alcalinité, témoignant d'épisodes sédimentaires ponctuels.

©B. BRASSEUR



1 Fonctionnement naturel d'une tourbière alcaline

2 Des tourbières en bon état écologique ?

Auteurs : Adrien BERQUER (Conservatoire d'espaces naturels des Hauts-de-France), Rémi FRANÇOIS (Conservatoire botanique national de Bailleul)

Qu'est-ce-qu'une tourbière en bon état écologique ?

Une tourbière en bon état écologique est une tourbière suffisamment alimentée en eau. La quantité et la chimie de l'eau alimentant la tourbière impactent directement les végétations qui s'y développent. Les habitats typiques de tourbières sont qualifiés de turfogènes : sous certaines conditions, ils génèrent la production de tourbe, une accumulation de débris végétaux partiellement décomposés. De nombreuses tourbières des Hauts-de-France et de Wallonie sont alimentées par des nappes calcaires (craie du Cénomanien/Sénonien, sables Thanétiens, Aquifère de Florenville du Sinémurien inférieur, Figure 1). Selon la distance aux sources ou aux cours d'eau, plusieurs habitats se sont développés, dont les habitats cibles de restauration par le LIFE Anthropofens. Avec les perturbations engendrées par les activités humaines, et notamment le drainage, rendant possible des activités d'altération comme le tourbage (création de fosses d'extraction de tourbe) ou l'agriculture (pâturage, fauche, labours), d'autres habitats de tourbières dysfonctionnelles se sont développés. Bien que non typiques des tourbières alcalines, ils n'en sont pour certains pas moins intéressants : certaines mégaphorbiaies et tourbières boisées sont elles aussi d'intérêt patrimonial, alors que d'autres habitats non patrimoniaux peuvent aussi être riches en biodiversité comme les prairies pâturées ou certaines mares de chasse.

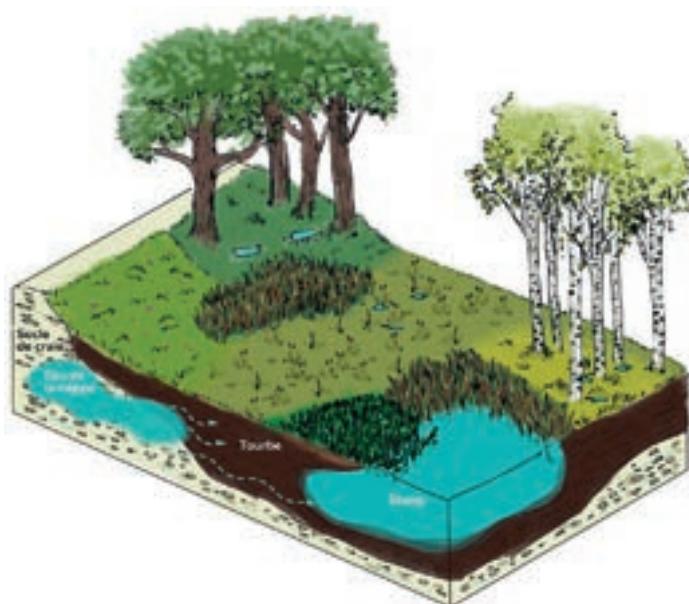


Figure 1: Relation entre nappes d'eau et habitats d'intérêt communautaire (HIC) restaurés par le LIFE Anthropofens. De gauche à droite : prairies à Molinie bleuâtre (6410), Aulnaies-Frênaies alluviales (91D0*), Marais calcaires à Marisque (7210*), Tourbière basse alcaline (7230), Tremblants et tourbières de transition (7140), et boisements tourbeux (91E0). © Crédit : NilObstat, 2020 - LIFE Anthropofens

Liens entre propriétés physico-chimique de l'eau, engorgement et habitats

Les végétations des tourbières, patrimoniales ou non, perturbées ou non, peuvent s'ordonner globalement selon deux axes principaux : la quantité d'eau et la qualité d'eau, notamment en nutriments biodisponibles (principalement les nitrates et les orthophosphates). Une fluctuation d'eau entraîne la dégradation de la tourbe par minéralisation, ce qui peut alors influencer la trophie. Les processus de dégradation de la tourbe se mettent en place rapidement, entre 18 heures et deux jours pour la phénol-oxydase (enzyme), quatre jours pour augmenter significativement la concentration en bactéries, et initier le relargage de CO_2 , et 8 à 16 jours pour activer les phosphatasées et sulfatasées contribuant à la charge trophique. À 59 jours de sécheresse, la vitesse de relargage de CO_2 est maximale (Freeman et al., 2001; Fenner & Freeman, 2011). La dégradation du substrat tourbeux, la charge en particules minérales et les changements trophiques induisent des changements de végétation, en favorisant la succession de végétation vers des stades ligneux, et des conditions eutrophes.

Certaines méthodes de gestion peuvent stopper la dynamique de succession à un stade donné. Par exemple, la fauche ou le pâturage peuvent contribuer à maintenir des habitats ouverts, alors que la trophie et la fluctuation des niveaux d'eau n'auraient pas permis le maintien de tels habitats sans intervention.

Exemples de l'état écologique de deux tourbières

Quelques secteurs de certaines tourbières concernées par le LIFE présentent des fonctionnements hydrologiques locaux qui semblent adéquats avec les enjeux de conservation des habitats les plus patrimoniaux. Une partie des Marais de Sacy (60), sur la propriété du Conseil départemental de l'Oise (photos A et B), subit un engorgement important de l'automne au printemps, lorsque la nappe souterraine (sables thanétiens) soutient les niveaux d'eau.



A et B : La tourbière de Sacy bien alimentée en eau.
©R. FRANÇOIS, CBNBL



B

Quantité n'est pas synonyme de qualité.

L'alimentation en eau, si elle doit être la plus constante possible jusqu'au cœur de l'été, doit également concerter de l'eau de qualité, c'est à dire la plus exempte possible de polluants, en particulier d'éléments eutrophisants comme les nitrates et les phosphates. Ceux-ci ont un effet majeur sur les compositions floristiques des habitats turficoles, qui se développent sur de la tourbe.

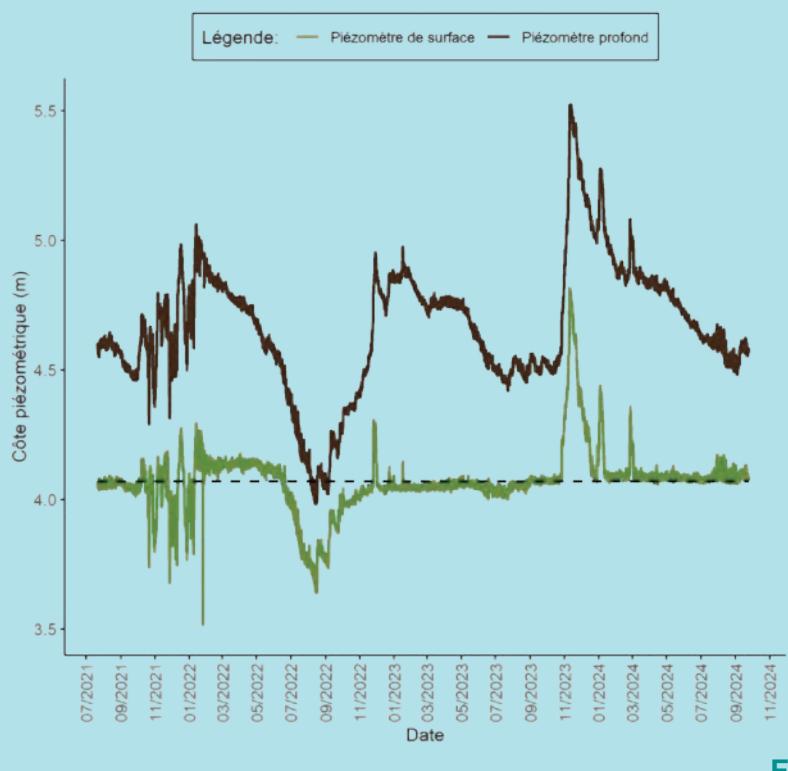
Des critères sont requis pour la formation des tremblants (HIC 7140) : eau libre, alcaline, oligotrophe, peu d'envasement. Les habitats de tourbière basse alcaline (HIC 7230), très sensibles, nécessitent un niveau d'eau constamment autour du niveau du sol (Mälson et al., 2008), le plus oligotrophe possible et carbonaté (Grootjans et al., 2006 ; Kooijman & Paulissen, 2006). Le caractère alcalin peut être conservé à long terme par des sources de la nappe captive calcaire. Les carbonates contenus dans l'eau peuvent précipiter dans les tourbes sous forme de calcaire et fournir une capacité tampon à moyen terme si l'action des sources diminue. La présence de calcaire réduit la biodisponibilité du phosphore en le complexant sous forme d'apatite. Les marais calcaires à Marisques (HIC 7210) peuvent tolérer de plus fortes concentrations en nutriments, mais dépendent toujours de conditions alcalines. Lorsque la fluctuation d'eau s'intensifie, et que l'exondation devient durable, les tourbes se minéralisent rapidement (Freeman et al., 2001; Fenner & Freeman, 2011). L'apport d'oxygène par l'air, au cœur des tourbes,

permet à la communauté bactérienne et fongique saprophage, et à enzymes d'avoir un métabolisme beaucoup plus actif. Ces microorganismes consomment la tourbe et respirent, provoquant une importante émission de carbone atmosphérique : le dioxyde de carbone (CO_2). D'autres molécules présentes dans l'eau souterraine sont également capables de fournir l'oxygène (à des bactéries réductrices) participant à ce processus, tels que les sulfates, les phosphates, ou les nitrates (Fenner & Freeman, 2011). À fluctuations répétées, la couche superficielle du sol n'est plus toujours tourbeuse, et des habitats tolérant davantage ces conditions peuvent se développer : les prairies à Molinie pour les cas les plus oligotrophes, des Magnocariées, Roselières, ou Mégaphorbiaies sur un gradient de trophie respectif, ou encore les habitats boisés, les espèces ligneuses étant favorisées par la concentration en phosphates de l'eau.

Ainsi, la première clé d'entrée pour travailler au maintien ou à l'amélioration de l'état de conservation des tourbières est d'y assurer une qualité et des niveaux d'eau suffisants tout au long de l'année. Cela sous-entend d'en connaître le fonctionnement éco-hydrologique et nécessite parfois de lourds travaux de restauration afin d'assurer la pérennité des tourbes, des habitats naturels et des services écosystémiques qui y sont associés.

tourbières des Hauts-de-France.

On observe un phénomène similaire dans les marais arrière-littoraux de Villers-Cucq (62) jusqu'en plein été dans certains secteurs (photos C et D). Cette tourbière récente est alimentée de façon constante par la nappe de la craie, toute l'année (Figure E)



(C et D) Photographies de la tourbière de Villers-Cucq encore en eau en juillet (C) et en septembre (D). ©R. FRANÇOIS, CBNBL. (E) Les piézomètres montrent une pression plus importante en profondeur qu'en surface, témoignant du flux ascendant de l'aquifère, captif et donc de l'alimentation permanente de la tourbière en eau souterraine (nappe de la craie). ©A. BERQUER, CEN HDF

Usages passés et actuels des tourbières alcalines et leurs conséquences

1 Evaluation et utilisation des services écosystémiques liés à l'eau et aux habitats

Auteurs : Adrien BERQUER¹, Sarah LEVRAULT², Mathilde CASTELLI³, Justine CAPOULADE¹, Camille DÉCULTOT¹, Mathilde VANDENDRIESSCHE³

¹ Conservatoire d'espaces naturels des Hauts-de-France

² Syndicat Mixte Baie de Somme - Grand Littoral Picard

³ Parc naturel régional Scarpe-Escaut

Définition des services écosystémiques

Les services écosystémiques sont définis comme les bénéfices que les humains obtiennent des écosystèmes, notamment leur contribution aux activités sociales, culturelles et surtout économiques (Millenium Ecosystem Assessment, 2005). Les premières notions de services pouvant être rendus par un écosystème datent des années 1970 (Westman, 1977). Le concept émerge des préoccupations écologiques 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.

Plus récemment, le concept est défini par un prisme écologique et économique (Costanza et al., 1997). Les fonctions écosystémiques deviennent 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. Dans 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. C'est donc une monétarisation des éléments naturels, pour traduire en termes économiques des processus écologiques dont les humains tirent bénéfice. Ce prisme de lecture considérant les écosystèmes en tant qu'élément économique est cependant controversé (Froger et al., 2016). Cette approche ne permet pas d'appréhender tous les processus inhérents à la complexité des écosystèmes (Nordgaard, 2009).

Figure 1: Représentation simplifiée de la matrice de capacité utilisée par les experts pour y indiquer la note attribuée quand à la fourniture d'un service écosystémique *ESi* par un habitat *Ui*, et la projection cartographique correspondante, modifiée depuis Burkhard & Maes (2017).

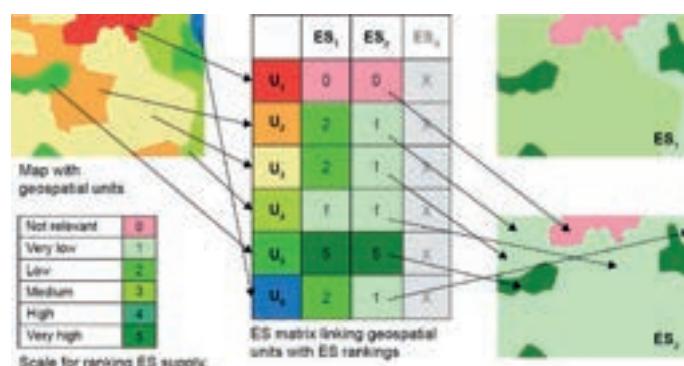
Méthode proposée par le LIFE et application

La méthode MAES (Maes et al., 2016), recommandée par la Commission européenne, permet une comparaison des services écosystémiques fournis par différents écosystèmes et documente l'évolution des services rendus avec les programmes de restauration.

Cette méthode est basée sur la classification CICES, où un panel de services écosystémiques (SE) sont standardisés pour pouvoir être comparés (Haines-Young & Potschin, 2013). Cette méthode répond à plusieurs objectifs : l'évaluation et la cartographie sur une étendue géographique large, l'applicabilité à des échelles différentes, l'identification de facteurs d'influence sur les changements dans les SE. Cette méthode permet également de prendre en compte l'influence de l'état de conservation des écosystèmes sur la qualité des services écosystémiques rendus.

L'application de cette méthode se décline en deux phases. La première requiert la construction d'une grille d'indicateurs fournis par des données de terrain, la cartographie des écosystèmes sur le territoire et par l'évaluation de leur état. La seconde passe par une évaluation participative sous forme de matrices de capacités (Figure 1), basées sur plusieurs expertises. Ces experts attribuent une note qualifiant chaque service à l'échelle du territoire. Cette étape permet de fournir une évaluation rapide et facilement appropriable. Ainsi, en mobilisant un nombre suffisant d'experts, elle permet de produire de la donnée réplicable, statistiquement analysable sur un temps limité, et un résultat exploitable.

Le LIFE Anthropofens visant la restauration d'habitats typiques de tourbières alcalines, nous avons trouvé judicieux de construire deux types de matrices permettant d'évaluer les services rendus par les habitats présents sur un site avant et après la restauration. (Figure 2)



AVANT TRAVAUX	Service écosystémique	L'habitat est : une source de nourriture pour l'homme, d'origine animale élevée		L'habitat est : une source de nourriture pour l'homme, d'origine animale sauvage		L'habitat : régule le cycle hydrologique et les débits et à maintenir l'écoulement d'eau (comprenant les inondations et les crues)	L'habitat : atténue les mouvements de masses en stoppant le flux de sédiments (glissement de terrain, ruissellements...)	L'habitat : possède des systèmes vivants qui motivent les recherches scientifiques ou l'éducation	L'habitat : possède des systèmes vivants qui ont des valeurs de legs
		Code	SA01	SA02	SR01	SR02	SC01	SC02	
Habitat	Code	IC / 3							
Forêts de feuillus caducifoliés sur sol non-marécageux	h1								
Forêts et fourrés sur sols marécageux	h2								
Mégaphorbiaies	h5								
Roselières et grandes caricaies hygrophiles	h7								
Végétations des tourbières basses ou alcalines	h5								

APRES TRAVAUX	Service écosystémique	L'habitat est : une source de nourriture pour l'homme, d'origine animale élevée		L'habitat est : une source de nourriture pour l'homme, d'origine animale sauvage		L'habitat : régule le cycle hydrologique et les débits et à maintenir l'écoulement d'eau (comprenant les inondations et les crues)	L'habitat : atténue les mouvements de masses en stoppant le flux de sédiments (glissement de terrain, ruissellements...)	L'habitat : possède des systèmes vivants qui motivent les recherches scientifiques ou l'éducation	L'habitat : possède des systèmes vivants qui ont des valeurs de legs
		Code	SA01	SA02	SR01	SR02	SC01	SC02	
Habitat	Code	IC / 3							
Marais calcaires à <i>Cladium mariscus</i>	h2								
Prairies à <i>Molinia</i> sur sols calcaires, tourbeux ou argilo-limoneux	h3								
Tourbières de transition et tremblants	h4								
Végétations des tourbières basses ou alcalines	h5								

Figure 2: Les deux types de matrices présentées aux experts dans le cadre de l'évaluation des services écosystémiques d'un site : la Basse vallée de la Somme. L'indice de confiance attribué par l'expert à sa connaissance de l'habitat ou de sa capacité à évaluer le service est complété dans les cases grisées.

Synthèse et exploitation des résultats

Deux des territoires couverts par le LIFE Anthropofens avaient déjà fait l'objet d'une étude des services écosystémiques. Il s'agit du site Ramsar de la Baie de Somme (Campagne, 2018) et des plaines de Scarpe et Escaut (Campagne, 2015; Campagne & Roche, 2019). Ces études ont déjà utilisé la technique des matrices de capacité avec évaluation à dire d'experts. L'étude portée par le LIFE Anthropofens a donc repris la méthode développée sur ces deux territoires mais a adapté la méthodologie dans l'objectif d'évaluer la fourniture de services par les habitats sur les zones de travaux engagés dans ce même projet, avant et après restauration, sur 13 sites Natura 2000.

Il a été possible de rassembler 44 experts parmi les participants au LIFE Anthropofens. Le nombre d'experts est donc suffisant pour avoir des résultats robustes à l'échelle de l'ensemble des sites (soit 44 matrices), estimé à environ 15 experts (Campagne & Roche, 2019). Cependant à l'échelle du site, le nombre de répliques suffisantes n'a été atteint que pour 2 sites, la Basse vallée de la Somme entre Pont-Rémy et Breilly (15 matrices ; Figures 3 et 4), et la Moyenne vallée de la Somme (12 matrices).

Au total, 17 services ont été évalués sur les milieux tourbeux, séparés en trois grands types: les services de fourniture, de régulation et culturels. Ces résultats ont tendance à montrer que les tourbières alcalines fournissent sur les sites évalués peu de services d'approvisionnement (matériaux, nourriture, eau), mais davantage de services de régulation (des flux d'eau, de matière solide et de gaz, maintien de biodiversité) et culturels. Les travaux de restauration amélioreraient fortement les services culturels (valeur de legs, patrimoine, éducation, recherche) et les services de régulation, mais ne contribueraient pas à améliorer les services d'approvisionnement, ces écosystèmes étant généralement peu productifs.

La méthodologie ayant recours à une évaluation à dire d'experts, elle fait largement appel à la subjectivité. Le panel représenté était ici largement dominé par des gestionnaires d'espaces naturels, ce qui peut créer un biais quant à l'évaluation de certains services.

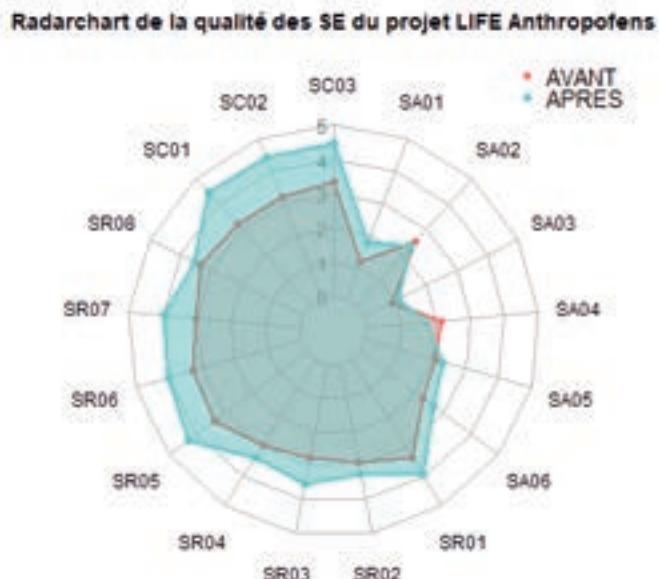
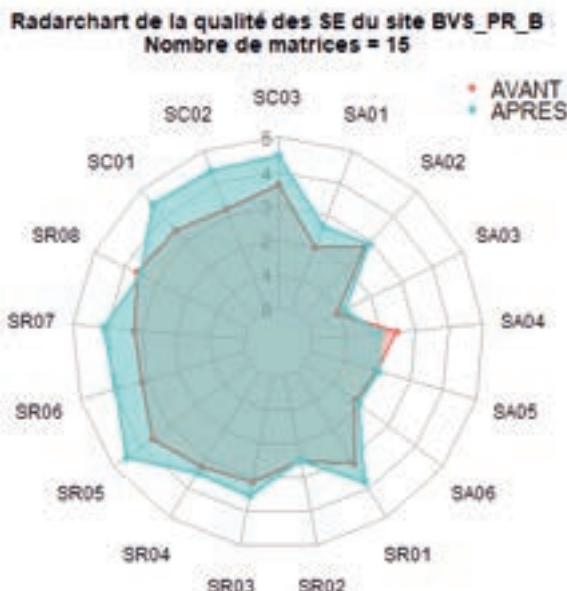
Malgré une pondération des résultats calculée par un indice de confiance, estimé par l'expert envers sa note, certains services jouissent d'une évaluation plus représentative que d'autres. Par exemple, les services de régulation (eau, gaz, biodiversité) sont évalués avec une forte confiance, alors que d'autres (approvisionnement en eau, nourriture) ont tendance à bénéficier d'indices de confiance moins élevés (parmi le panel d'experts en présence).



Réunion de présentation de la méthode de remplissage des matrices auprès d'une partie des experts.
©A. BERQUER, CEN HDF

De plus, certains services sont plus faciles à évaluer à la majorité, puisqu'ils présentent l'avantage d'être quantifiables, comme les services d'approvisionnement (quantité de nourriture produite, quantité d'eau pompée...). A l'inverse, il semble plus complexe d'évaluer la capacité d'un habitat à fournir un service culturel.

Figures 3 et 4 : Représentation graphique des moyennes obtenues pour chaque service écosystémique évalué avant et après restauration sur (A) la Basse-Vallée de la Somme et (B) sur l'ensemble des sites du projet. Les services de régulation (SR) et les services culturels (SC) sont davantage fournis après la restauration, alors que les services d'approvisionnement (SA) ne sont pas significativement améliorés.



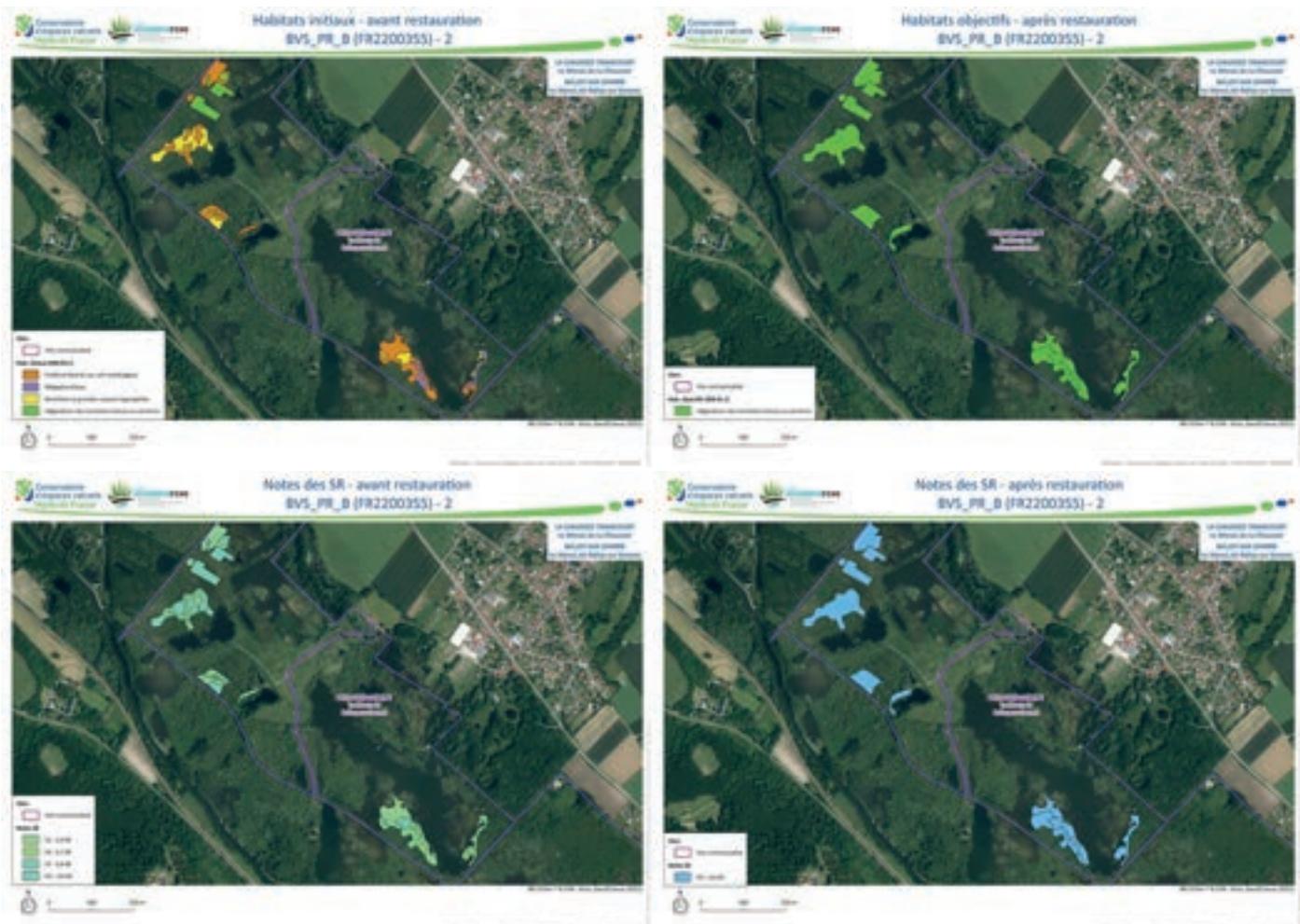


Figure 5 : Représentation cartographique du changement d'habitats pré-vu par les travaux de restauration du Life Anthropofens, avec les habitats présents (A) initialement et (B) après travaux. La moyenne des services de régulation évaluée pour chaque habitat est projetée (C) avant et (D) après la restauration. Ces cartes décrivent une amélioration de la note attribuée pour les services de régulation avec la restauration.

Les résultats ont été présentés sous la forme de trois rapports de stage (Methlouti, 2020; Capoulade, 2023; Décultot, 2024), une présentation en colloque (Décultot et al., 2024) et la production de visuels (Figures 3, 4 et 5) mis à disposition des gestionnaires pour communiquer sur ces sujets. La publication de ces rapports de stage permet de transmettre les méthodologies et résultats aux gestionnaires du projet mais également à la communauté scientifique de façon plus globale.

Réunion de présentation de la méthode de remplissage des matrices auprès d'une partie des experts.
©A. BERQUER, CEN HDF

Conclusion

Il est à ce jour trop tôt pour juger des bénéfices liés à cette étude spécifiquement. Cependant, les études antérieures (Campagne, 2015; Campagne, 2018) menées avec la même méthodologie ont déjà permis d'établir à plusieurs reprises et dans des contextes différents (réunions avec des élus, journées de sensibilisation...) un dialogue avec des participants de tous horizons autour d'une notion commune de bénéfices liés aux écosystèmes. Les services écosystémiques sont en effet inclus dans la mise en oeuvre des actions d'évitement, de réduction ou de compensation. En outre, avoir recours à cette méthodologie participative peut permettre d'inclure l'ensemble des acteurs d'un territoire dans le processus de décision, par consultation, ce qui entraîne la plupart du temps une meilleure acceptation sociale des projets.



Évaluation des services écosystémiques potentiellement rendus par les zones humides : quels apports, quelles perspectives ?

Un besoin de mobiliser largement pour la sauvegarde des plaines de la Scarpe et de l'Escaut.

Les zones humides hébergent des écosystèmes riches, en deuxième position sur le plan de la diversité biologique et de la productivité naturelle, après les forêts tropicales¹. Malgré leur intérêt, elles sont grandement menacées et la moitié de leur surface en Europe et dans le monde a disparu au cours du XXe siècle^{2,3}.

Après plusieurs décennies d'actions en faveur de leur préservation, ce constat reste réel au cœur des plaines de la Scarpe et de l'Escaut et la mobilisation pour leur sauvegarde mérite d'être plus forte, en impliquant l'ensemble des usagers et élus du territoire pour éviter que cela reste une affaire de spécialistes.

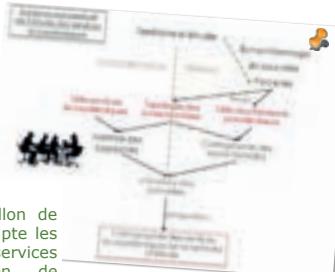
C'est dans ce contexte que le Parc naturel régional (PNR) Scarpe-Escaut, en s'associant à l'Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Ecologie Marine et Continentale (IMBE), a souhaité évaluer les services rendus par les zones humides de son territoire en visant particulièrement les attentes en terme de mobilisation des acteurs locaux afin de :

- rendre plus ambitieux encore le volet milieux humides et aquatiques du Schéma d'aménagement et de gestion des eaux (SAGE) Scarpe aval en cours de révision,
- porter collectivement la candidature au label Ramsar du territoire.

Une approche croisant avis d'experts et phase de terrain.

Une méthode participative innovante : « La matrice des capacités »...

Une phase de concertation a réuni 30 experts et acteurs locaux représentatifs de la diversité des écosystèmes et des usages du territoire afin d'évaluer les services potentiellement rendus par les zones humides en croisant 9 types de zones humides et 17 services écosystémiques.



...confrontée aux réalités de terrain.

Une phase de caractérisation d'un échantillon de zones humides a permis de prendre en compte les particularités locales et de pondérer les services rendus par les milieux en fonction de caractéristiques écologiques ou encore de modes de gestion locaux.



Des résultats encourageants et utiles !

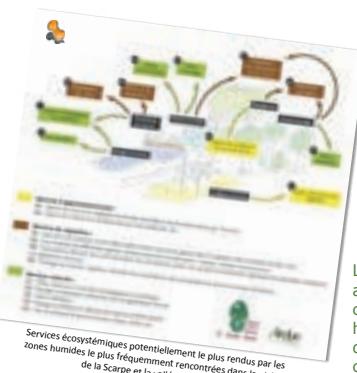
Les résultats de la concertation mettent en avant :

▪ Des consensus :

En particulier, les forêts humides, marais, tourbières et roselières rendent le plus de services écosystémiques, avec des notations homogènes des participants.

▪ Des incertitudes :

Par exemple, le service « Régulation des ravageurs et des espèces nuisibles » a eu des notations variées en fonction des participants.



La cartographie met de son côté en évidence, qu'exception faite des types de zones humides rendant le plus de services, les mosaïques de milieux humides semblent rendre souvent plus de services que les milieux pris isolément.

L'objectif d'offrir un outil d'aide à la décision est partiellement atteint : dans le cadre de la révision du SAGE, les résultats facilitent certains choix et priorisations : l'intérêt de certains types de zones humides est suffisamment consensuel pour définir des mesures fortes de préservation. Cela a aussi permis d'identifier ou de confirmer certains sujets à aborder plus finement, illustrés par des divergences d'expertise.

L'objectif de contribuer à améliorer l'image des zones humides semble, quant à lui, pleinement atteint : la vulgarisation de cette étude a déjà permis de sensibiliser les élus et acteurs du territoire à travers une clé d'entrée anthropocentrique « les services écosystémiques », plutôt qu'une clé d'entrée « fonctionnalité des milieux », à laquelle certains acteurs sont moins réceptifs. Tout ceci contribue à la mobilisation, en vue de la labellisation Ramsar, et ce volet est d'ailleurs une exigence du dossier de candidature.

Ce n'était qu'un début !

Cette étude ne se suffit cependant pas à elle-même :

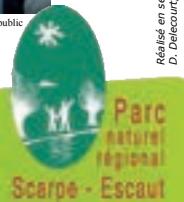
- C'est en la confrontant aux autres données, études et expertises que le SAGE est en train de définir ses priorités de préservation et de restauration de zones humides ;
- C'est en l'associant à d'autres outils, comme le clip vidéo réalisé sur les milieux humides et aquatiques, et à des événements que nous organisons, par exemple, lors de la journée mondiale des zones humides, que l'on peut sensibiliser le plus grand nombre à la chance que nous avons de vivre au cœur des plaines de la Scarpe et de l'Escaut.

Le travail se poursuit avec l'Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture (IRSTEA) dans le cadre du projet européen IMAGINE (programme BiodivErSA). L'année 2017 a permis d'évaluer l'usage (la part de l'offre utilisée par les usagers et consommateurs) et de croiser l'offre et l'usage.

Cette expérience est également en train d'être adaptée à l'échelle des Hauts de France. Des expérimentations sont en cours pour utiliser les résultats d'évaluation des services écosystémiques dans les études d'impacts.



Animation auprès du Grand public



Références

1. Pearce, F. and Crivelli, A. J. (1994) Caractéristiques générales des zones humides méditerranéennes.
2. Millennium Ecosystem Assessment (2005). Ecosystems and Human Well-Being Synthesis. Island Press.
3. Barber, E. B. (1993) Sustainable use of wetlands. Valuing tropical wetlands benefits: economic methodologies and applications. Geogr. J. 159, 22-32.



Pour plus d'informations sur l'étude, un rapport technique est disponible sur demande :
CAMPAGNE, C. Sylvie, 2015, Évaluation des services écosystémiques potentiellement rendus par les zones humides des territoires du SAGE Scarpe aval et du Parc naturel régional Scarpe-Escaut, Rapport d'étude, Parc naturel régional Scarpe-Escaut - Institut méditerranéen de biodiversité et d'écologie marine et continentale, 62 p.

Parc naturel régional Scarpe-Escaut
357 rue Notre Dame d'Amour - BP 80055, 59731 Saint-Amand-les-Eaux Cedex
Tanguy Lefort, t.lefort@pnr-scarpe-escaut.fr

Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture
3275 Route de Cézanne, 13182 Aix-en-Provence - cedex 4
Sylvie Campagne, sylvie.campagne@irstea.fr

2 Usages passés et actuels des tourbières alcalines et leurs conséquences

2 Exploitations et usages historiques des tourbières alcalines

Auteurs : Adrien BERQUER¹, Sarah LEVRAULT², Mathilde VANDENDRIESEN³, Mathilde CASTELLI³

¹ Conservatoire d'espaces naturels des Hauts-de-France

² Syndicat Mixte Baie de Somme - Grand Littoral Picard

³ Parc naturel régional Scarpe-Escaut

Historiquement, les tourbières ont été exploitées par les Humains dès leur sédentarisation dans le Nord-Ouest de l'Europe. Sédentaires, ceux-ci ont dû commencer à exploiter les ressources, et à produire leur nourriture localement. Si le bois était davantage disponible sur les plateaux, de même que les champs cultivés, consécutifs aux grands défrichements, les usages sur les tourbières étaient principalement liés à de l'exploitation des roseaux (chaume) ou à l'élevage. A l'âge du Fer, il y a 3000 ans, des premières modifications hydrologiques sur les tourbières apparaissent pour permettre d'augmenter les surfaces pâturelles et cultivables. Cette perturbation est à l'origine de l'arrêt de l'accumulation de la tourbe dans les grandes vallées crayeuses du Nord de la France (Garcia, 2024).

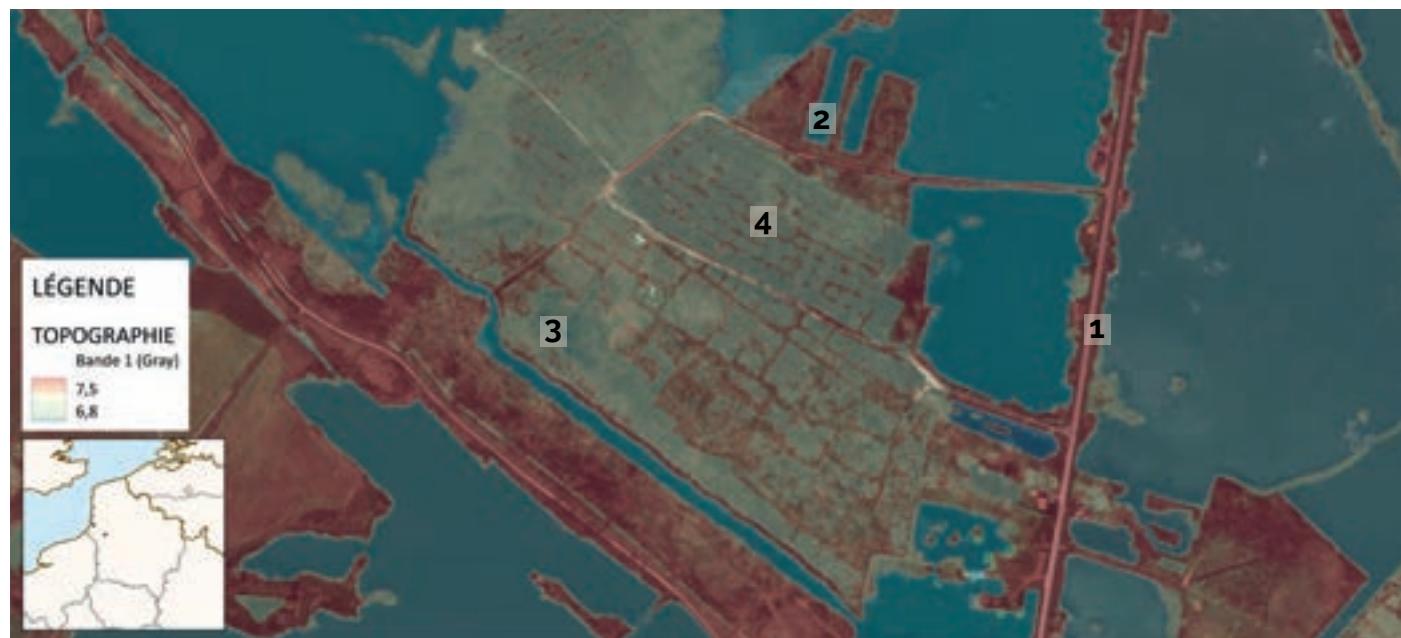
Dans les usages historiques, la chasse et la pêche ont probablement été toujours présentes. En Haute-Somme, la création de chaussées-barrages a permis l'établissement de grands étangs dans lesquels il était possible de pêcher. Ces barrages, de même que la canalisation progressive de cours d'eau pour y établir des moulins, puis permettre la navigation, ont conféré aux tourbières des usages pour différents services : approvisionnement de nourriture, transformation de nourriture par utilisation de l'énergie hydraulique fournie par les moulins, et circulation. Certains fleuves, rivières et affluents ont pu servir à la navigation comme le témoignent l'établissement des Vikings dans certaines localités ayant conservé la toponymie.

Plus récemment, à partir du Moyen-Âge, la tourbe a pu être exploitée, parfois jusqu'au milieu du XX^{ème} siècle. La tourbe est un combustible qui a permis de chauffer les habitations des nombreux habitants occupant les fonds de vallées. Les tourbières ont été depuis le Moyen-Âge des lieux de dualité pour les usages :

des écrits (Mallet, 1906) retracent des conflits devant la justice entre l'utilisation des terres pour laisser paître des animaux (notamment par l'abbaye d'Epagne), et l'exploitation de tourbes (grand propriétaire terrien).

Le creusement d'un réseau de drainage, de fosses de tourbage, et la canalisation des fleuves ont conféré des fortes modifications hydrologiques induisant en retour des fortes modifications de l'écosystème. Ces modifications ont été souhaitées (assèchement des tourbières, plantation de peupliers, pâturage) ou non (minéralisation de la tourbe, enrichissement trophique, fragmentation, perte de biodiversité). Certaines localités doivent leur développement par proximité immédiate aux tourbières. Ainsi, le village de Long est connu pour être, au XIX-XX^e siècles, une localité pionnière dans l'énergie, grâce à l'installation d'une usine hydroélectrique (financée par la tourbe), et de l'exploitation intensive, voire industrielle, de la tourbe.

Les tourbières sont surtout utilisées par l'Homme de nos jours comme espaces de loisirs, pour la chasse, la pêche, ou d'autres activités récréatives comme les sports de nature, puisqu'il s'agit des derniers éléments naturels d'une matrice agricole occupant toute la partie centrale de la région Hauts-de-France, très anthropisée. Les Hortillonnages d'Amiens ou les marais de l'Audomarois sont un autre exemple d'activité en tourbière, consistant en du maraîchage. Les chaussées-barrages de la Haute-Somme, ont probablement servi à faire fonctionner des moulins, et à la pêche par des « anguillères » pour pêcher l'anguille en dévalaison, ou dans les grands étangs. De nos jours, les tourbières ont toujours cet usage, que ce soit pour le loisir, ou pour la pisciculture, comme à Douriez en vallée de l'Authie. Certaines sont toujours cultivées, principalement par de la populiculture (peupliers), bien que de nombreuses surfaces ont pu être restaurées dans le projet LIFE Anthropofens (à Bray-sur-Somme, Chipilly, Douriez, Épagnette, Morcourt, par exemple).



Recherche sur l'histoire des tourbières de la vallée de la Plaine de la Scarpe (Ghils, 2013)

Au Moyen-Age, les zones humides sont d'un réel intérêt économique et sont, par conséquent, reconnues, gérées et protégées. La Vallée de la Scarpe était parsemée de marais où la pêche à la nasse et au filet, le pâturage et la fauche étaient pratiqués. L'exploitation de tourbe était aussi une source économique.

Au XIII^e siècle, cette vallée, en connexion directe avec les riches centres urbains de Flandre et des Provinces-Unies, a subi une forte croissance démographique donc une colonisation de nouvelles terres. La superficie des zones humides va alors se réduire drastiquement car considérées comme peu productives.

A partir du XVIII^e siècle les marais et zones humides ont de plus en plus mauvaise réputation car ils sont considérés comme des zones insalubres sources de maladies et de malheurs. C'est à cette époque que des moyens législatifs sont développés afin de favoriser l'assèchement des zones humides à des fins agricoles. La vision de l'Homme a changé au Moyen-Âge, lorsqu'il s'adapte au milieu pour y puiser des ressources, il transforme alors son environnement pour l'adapter à ses besoins. Longtemps propriété communautaire, les marais sont divisés et vendus ou loués pour les défricher et les mettre en culture.

Si l'histoire de la Vallée de la Scarpe est loin d'être unique, les tourbières alcalines de Vred et de Marchiennes témoignent des principales transformations subies à travers l'histoire par les zones humides de nos régions. Dans la tourbière de Marchiennes, au XIX^e siècle, un fossé traversant la tourbière a été creusé permettant le drainage du plan d'eau aujourd'hui disparu. En 1859, la tourbière est mise à sec par une locomobile et une pompe et les terres sont mises en culture. La digue centrale a été mise en place pour limiter l'infiltration d'eau dans les parcelles voisines. La tourbière est louée durant 9 ans à des fins agricoles, activité rendue possible par le pompage de l'eau durant un jour par semaine pour maintenir les

Les vallées tourbeuses, vertes et fraîches, notamment par opposition au plateau cultivé, monotone et aride en été, sont des endroits privilégiés pour le tourisme. Aussi, de nombreuses activités prennent place dans ces vallées : véloroute de la Somme, campings, habitations fixes saisonnières, descente de la Canche ou de l'Avre en canoë, etc. Plusieurs sites sont valorisés par les collectivités ou les gestionnaires pour accueillir le public avec un vrai intérêt pédagogique sur les tourbières et la protection de la biodiversité : le parc de Samara en vallée de la Somme, la Réserve Naturelle Nationale de l'Etang Saint-Ladre à Boves dans la vallée de l'Avre, de Marchiennes dans le Nord, du Romelaëre dans le Pas-de-Calais, de l'Étang de l'Ilé à Étalle dans la vallée de la Semois en Belgique, les belvédères sur les montagnes de Frise ou de Vaux en Haute-Somme, la réserve des marais d'Isle à Saint Quentin, les marais de Sacy.

L'imagerie Lidar permet de distinguer des structures microtopographiques à la surface du sol des tourbières, témoignant d'activités anthropiques passées. Ici dans le marais de Long sur la vallée de la Somme, la chaussée-barrage est un élément très marquant du paysage (1). Si les fosses de tourbage (2) les plus récentes sont, encore de nos jours, occupées par des pièces d'eau, d'autres plus anciennes (3) sont identifiables bien que recouvertes intégralement de végétation de tremblants. Enfin, des structures régulières (4), en forme de quadrillage non visible à l'œil nu, n'ont aucune origine connue à ce jour.



La tourbière de Marchiennes après les travaux de restauration (déboisement avec exportation réalisés fin 2023) du LIFE Anthropofens, en août 2024. Au premier plan, un fossé de drainage est visible. Celui-ci est connecté au réseau de «lègères» créé au XX^e siècle afin d'assécher le site pour sa mise en culture.

©A. BERQUER, CEN HDF

niveaux d'eau à 60 cm sous le sol, mais rapidement abandonnée, cette activité étant peu viable sur le long terme.

Au XX^e siècle, la tourbière est utilisée à des fins cynégétiques, ce qui induit des creusements d'étangs.

Toutes ces activités impliquent un remaniement important des sols, mettant à jour des horizons tourbeux, favorisant leur minéralisation. Le creusement des fossés a considérablement modifié la structure de la tourbière, permettant à certaines zones d'être plus fréquemment en eau mais rehaussant d'autres unités, en favorisant la déconnexion verticale des horizons tourbeux de surface avec l'eau. De plus, l'abaissement des niveaux d'eau dans le bassin de la Scarpe a fortement impacté les niveaux d'eau au cœur de la tourbière. Enfin, on constate un fort impact de la période d'assecs récents (2016-2022), qui a favorisé le développement d'espèces ligneuses pionnières telles que les saules et aulnes, refermant les milieux ouverts typiques des tourbières. Ces périodes d'assecs sont susceptibles de se répéter et de s'intensifier sous l'effet du changement climatique.

L'exploitation de l'eau aux abords d'une tourbière va, plus ou moins, directement influencer sur son fonctionnement éco-hydrologique de par ses capacités à stocker de l'eau en période fortement humide et à relarguer de l'eau en période de sécheresse. Un captage réalisé à distance de la tourbière, par exemple sur le plateau crayeux, dans la nappe de la craie, peut également avoir un impact, puisque cette nappe alimente les tourbières des vallées crayeuses (Authie, Somme, Avre..). Ces captages peuvent faire baisser la côte piézométrique mesurée au niveau des sources situées dans les zones humides.

Les pompages d'eau (alimentation en eau potable, irrigation des cultures sur les plateaux, etc.), la gestion des canaux pour la navigabilité (canal de la Somme), ou encore le curage de cours d'eau en bordure de tourbière peuvent abaisser les niveaux d'eau des tourbières. Étant parfois fortement remodelées par les usages passés (digue, fossés, creusement, ...), les échanges d'eau entre les casiers hydrauliques d'une tourbière peuvent être modifiés, impactant la composition de l'eau et par conséquent les espèces et habitats qui s'y développent. L'aménagement des territoires, l'urbanisation, la rectification et le surcreusement des cours d'eau en vue de lutter contre les inondations favorisent la déconnexion hydraulique des tourbières du réseau hydrographique. La qualité chimique de l'eau qui alimente les tourbières s'en trouve également impactée par des rejets d'assainissements, les résidus d'intrants agricoles, eaux de ruissellements urbains, qui favorise un risque d'eutrophisation.

Les modifications historiques du cours de la Maye

Des modifications importantes ont été apportées aux lits des cours d'eau dans l'objectif de faire fonctionner des moulins. Les cours d'eau ont alors été déviés de leur lit naturel pour prendre de la hauteur et former une chute d'eau, créant ainsi une énergie hydraulique. Courants dans le nord de la France, ces cours d'eau sont dits « perchés ».

La Maye (80) traverse naturellement une importante zone de tourbières : Bernay, Arry et Rue. Cependant le lit de la Maye a fait l'objet de plusieurs déplacements au cours des siècles, notamment dans ce secteur, pour exploiter l'énergie hydraulique (fonctionnement des moulins de Bernay et Rue).

Ces modifications ont profondément perturbé le fonctionnement hydro-écologique de la rivière mais aussi de la tourbière qu'elle traversait initialement. Malgré plusieurs mètres de tourbe encore présents en dessous, la tendance est à l'assèchement et à la fermeture du milieu. Le cours d'eau résiduel qui traverse la tourbière n'a plus un débit assez important pour ennoyer le secteur, et fait donc l'objet d'une pose de batardeau dans le cadre du LIFE Anthropofens afin d'augmenter le phénomène de rétention de l'eau dans le sol. Le secteur en question ne représente cependant qu'une partie du système tourbeux qui pourrait bénéficier d'une remise dans son lit d'origine de la Maye. Ce projet est cependant très compliqué à mettre en œuvre sur le territoire, impliquant de nombreuses conséquences économiques et sociales.

La Maye a également été déviée à des fins esthétiques sur le secteur d'Arry, pour la création du miroir d'eau reflétant le château du village. A ce jour, cette perspective est classée et il sera compliqué au point de vue réglementaire de la modifier, malgré l'aberration écologique qu'elle représente et les désordres hydrologiques qu'elle entraîne.

Les cours d'eau ont été aménagés et canalisés dans le but d'exploiter l'énergie hydraulique, comme ici, au Moulin Rouge dans la vallée de la Bresle.

©D. ADAM, CEN HDF



3 Suivi de l'état de conservation et du fonctionnement des sites

1 Présentation du matériel et équipements de suivi

Auteurs : Adrien BERQUER, Florence ALDERWEIRELD, Alexandra JANCZAK (Conservatoire d'espaces naturels des Hauts-de-France)

But du suivi et objectifs

Les habitats et les tourbes contenues dans le sol des vallées alluviales des Hauts-de-France et de Wallonie dépendent de la quantité et de la qualité de l'eau reçue par ces milieux. Plusieurs facteurs peuvent expliquer la fluctuation de ces paramètres. Les régions d'étude sont caractérisées par un climat de type océanique à océanique dégradé voire sub-montagnard selon un gradient d'orientation Ouest-Est. Les précipitations sont plutôt continues et modérées sur la façade littorale ouest (888 mm/an), faibles sur le plateau picard et ses vallées (650 mm/an à Amiens-Glis), et plus fortes en Gaume (1161 mm/an à Étalle). Avec ce relativement faible niveau de précipitations, l'eau de ces tourbières provient donc principalement des émergences d'eau souterraine, leur conférant un caractère alcalin. Le maintien de l'intégrité des tourbes, y compris en surface, conditionne les habitats, dont les habitats d'intérêt communautaire des tourbières alcalines, mais est aussi dépendant de la fluctuation du niveau d'eau dans ces tourbes. Un contrôle régulier du niveau d'eau permet de comprendre le fonctionnement hydrologique d'un site, notamment les effets de différents facteurs pouvant l'influencer.

Dans de nombreux sites des vallées anthropisées, nous avons recensé plusieurs de ces facteurs d'influence. Le réseau de drainage évacue l'eau contenue dans les tourbes et les pièces d'eau vers des rivières ou fleuves permettant l'écoulement en aval. Par conséquent, la fluctuation des niveaux d'eau au sein de ce réseau peut influencer directement la décharge ou la recharge des tourbières y étant connectées, notamment en fonction des épisodes de précipitations et des fluctuations saisonnières.

Dans les régions tempérées, marquées par une alternance de cycles de sécheresse et d'humidité, ainsi que par une phénologie de la végétation, les fluctuations suivent les cycles saisonniers. L'hiver, marqué par des précipitations plus fortes que le reste de l'année, permet dans un premier temps d'augmenter les infiltrations dans les nappes souterraines. Le délai d'infiltration, par exemple dans le plateau picard, étant de plusieurs mois, une recharge des nappes souterraines est observée entre juillet et décembre. A l'inverse, en été, peu de précipitations arrivent sur le plateau, les infiltrations diminuent et les nappes souterraines se déchargent. Ces dernières années, ce phénomène s'est accentué dans les années les plus sèches en raison de la mise en place d'irrigation massive sur le plateau recouvert de cultures inadaptées à la sécheresse. La pression appliquée aux sources se situant dans les tourbières et sur lesquelles elles se sont constituées fluctue avec le niveau de la nappe. Cette dynamique est d'autant plus marquée quand la zone d'infiltration est faible, le bassin ne comportant qu'un volume limité d'eau.

La conservation des bas-marais étant favorisée par un apport d'eau en continu, une alimentation continue et donc une vitesse d'écoulement significative est donc souhaitable. Or, les apports d'eau par les sources peuvent varier. En été la végéta-

tion recouvrant les tourbières est verdoyante, et provoque de l'évapotranspiration, qui est d'autant plus importante que la végétation est dense. Ainsi, dans les peupleraies, le niveau d'eau baisse particulièrement fortement, car il existe un phénomène de pompe de l'eau des racines vers les feuilles. L'évapotranspiration importante en été, combinée à la baisse de pression des sources par le pompage massif dans les nappes souterraines provoque une baisse des niveaux d'eau, pouvant atteindre plusieurs dizaines de centimètres.

A partir de quelques jours d'émersion, les processus de dégradation des tourbes se mettent en place, par l'installation d'une communauté bactérienne et de champignons participant à son métabolisme, sa dégradation. Ce processus provoque le relargage du carbone, initialement sous forme solide, sous forme de gaz, dont les emblématiques gaz à effet de serre dioxyde de carbone (CO_2) et méthane (CH_4).

Piézomètres et engorgement des tourbes

Le premier paramètre à prendre en compte est le niveau d'eau de la nappe alluviale, qui permet de visualiser le niveau d'engorgement des tourbes. Des piézomètres crépinés jusqu'à la surface peuvent satisfaire cette mesure. Néanmoins, si le piézomètre est ancré dans les tourbes en surface, et que celles-ci se gonflent et se tassent en fonction de leur engorgement, l'altitude du piézomètre ne sera pas fixe. Ce phénomène est d'autant plus important sur les radeaux, qui flottent plus ou moins à la surface de la colonne d'eau. Le piézomètre ne pourra alors mesurer que le niveau d'eau relativement à la surface du sol.

Pour obtenir une mesure à une altitude fixe, il est alors nécessaire d'ancrer le piézomètre à une partie fixe. Dans les vallées tourbeuses, il s'agit le plus souvent de la roche-mère, située plusieurs mètres sous la surface. Une tige filetée métallique enfoncee dans la roche mère (formations minérales présentes sous la tourbe) permet une fixation à un niveau altimétrique, sur laquelle il sera possible d'attacher le piézomètre. Dans ce cas, le niveau d'eau sera mesuré relativement à une côte altimétrique, et la mesure du sol au bouchon du piézomètre est alors indispensable pour renseigner la profondeur de la nappe par rapport au sol. Ce dernier est susceptible de varier en altitude avec la respiration de la tourbière. Si l'objectif est de mesurer le niveau d'eau relativement à la surface du sol, il n'est pas nécessaire d'ancrer le piézomètre.

Les tourbières alcalines minérotrophes des grandes vallées crayeuses s'étant constituées sur les résurgences de fond de vallées, leur fonctionnement et la conservation des conditions alcalines conditionnant la végétation en surface dépend de l'alcalinité des eaux de résurgences. Les eaux des nappes alluviales peuvent à l'inverse être altérées en alcalinité par dilution avec les eaux de précipitations, ou par stockage de l'alcalinité dans les tourbes ou la végétation lorsque les résurgences sont sous-jacentes aux tourbes. Cette différence d'origine de l'eau peut être mesurée en ajoutant au dispositif de surface un piézomètre adjacent mesurant la pression de l'eau issue de la nappe souterraine. Pour cela, ce deuxième piézomètre, lui aussi dans la roche mère, doit être crépiné seulement dans le bas du tube, à

proximité du contact entre fond de vallée et matières alluviales. C'est ici que les eaux de l'aquifère sortent pour rejoindre dans un premier temps les sols alluviaux et dans un second temps les cours d'eau adjacents. Des précautions sont à prendre à la pose du piézomètre puisque le trou créé par le piézomètre ne doit pas laisser la nappe alluviale interférer avec celle souterraine, ce qui pourrait fausser la mesure. L'utilisation de bentonite formant un bouchon au-dessus de la partie crépinée est une solution tout à fait envisageable.

La différence de niveau d'eau observée entre le piézomètre profond et celui de surface renseignera sur la dynamique verticale de l'eau. En cas de sources actives, l'eau souterraine pousse l'eau de la nappe alluviale formant une remontée, donc un engorgement des tourbes par cette eau souterraine alcaline. Dans ce cas, le niveau d'eau, c'est à dire la pression, dans le piézomètre profond est supérieure à celle du piézomètre de surface. Si les niveaux d'eau sont égaux dans les deux piézomètres, il n'y a pas de dynamique verticale significative, ou il peut éventuellement exister un contact entre les deux nappes, qui ne permet pas de discriminer les pressions. Enfin, si l'eau mesurée en profondeur à une pression plus faible que celle de surface, c'est le signe d'infiltration, avec une nappe alluviale qui descend dans les profondeurs de tourbes. Les tourbes risquent d'être moins sujettes aux conditions alcalines, avec une perte de l'alcalinité si ce phénomène persiste à très long terme.

Limnimètre et niveau d'eau de surface

Les limnimètres sont des dispositifs ressemblant à des piézomètres mais placés dans les pièces d'eau libre. Les limnimètres peuvent être des échelles graduées placées sur des emplacements fixes comme des piles de ponts, ou sur une tige métallique fixée dans le fond d'un étang, d'un fossé ou d'un cours d'eau et atteignant des couches dures profondes. Les fluctuations de niveau d'eau dans les pièces d'eau permettent de comprendre la dynamique de charge et de recharge des tourbières, par exemple en comparant des limnimètres placés en différents endroits, comme en entrée et sortie de casier hydraulique.

La fréquence de mesure dépend des objectifs du suivi. En général une fréquence d'une mesure par jour à une mesure par heure est recommandée, et ne peut être envisagée qu'avec une acquisition de données automatisée. Un suivi manuel des niveaux d'eau peut être une alternative moins coûteuse en matériel, mais, avec une fréquence plus réduite, il ne devrait être réservé que pour les pièces d'eau à forte inertie, et en l'absence d'analyse statistique poussée.

Analyses hydrochimiques et qualité de l'eau

La qualité de l'eau est un paramètre important à prendre en compte car il influence directement la formation des tourbes, en provoquant des changements dans la végétation, et la conservation des tourbes en apportant des éléments facilitant ou limitant l'installation de communautés bactériennes ou fongiques participant au métabolisme de la matière organique des tourbes. La qualité d'eau diffère en fonction de sa provenance, puisque l'eau des sources issues de l'aquifère de la craie est concentrée en carbonates conférant sa caractéristique alcaline.

L'investigation hydrochimique, de manière générale, a plusieurs objectifs :

- évaluer la qualité de l'eau et son impact sur les objectifs de conservation des habitats ;

- évaluer la contribution des différentes masses d'eau, sources d'alimentation au bilan hydrique du site étudié ;
- évaluer les facteurs environnementaux expliquant la variabilité des habitats tourbeux.

Le phosphore, notamment sous sa forme orthophosphate, est souvent l'élément limitant pour la végétation des tourbières, ce qui empêche la végétation de se développer fortement, et favorise les espèces les plus petites dont beaucoup sont patrimoniales. A l'inverse, en excès, il favorise les plantes à fort métabolisme, leur conférant une grande hauteur et une forte densité, entraînant un mécanisme de compétition envers les espèces plus petites et oligotrophes.

L'azote, sous ses formes assimilables (nitrates, nitrites, ammonium), est également un élément favorisant la compétition entre plantes. De plus, en tant que donneur d'oxygène, il peut fournir des ressources aux communautés bactériennes formées dans les tourbes qui vont activer leur métabolisme et participer à la dégradation des tourbes. Ce phénomène est également remarquable en cas de forte concentration d'autres molécules oxydantes telles que les sulfates (SO_4^{2-}) ou les oxydes ferriques (Fe_2O_3) qui contribuent à la respiration anaérobique, qu'on peut retrouver dans les sables ou les formations gréseuses, comme sur le versant sud des marais de Sacy-le-Grand.

Les sulfates ; ceux-ci modulent la disponibilité du phosphore dans les tourbières neutro-alcalines. De trop fortes concentrations en sulfates peuvent conduire à des phénomènes d'eutrophisation par différents processus chimiques.

D'autres paramètres physico-chimiques de l'eau peuvent être mesurés comme l'oxygène dissous, la conductivité électrique, le pH ou la température. Ces paramètres peuvent permettre d'identifier des zones potentielles d'arrivées de sources: celles-ci sont en effet peu oxygénées, à forte conductivité due aux ions de l'aquifère, un fort pH dû à l'alcalinité, et une température plutôt stable contrairement aux autres eaux de surface qui subissent davantage les variations de température que la nappe souterraine.

D'autres concentrations peuvent être mesurées mais dépendent principalement de l'objectif du suivi. Par exemple, des sources de pollutions susceptibles d'interférer sur la qualité de l'eau peuvent être détectées par des dosages des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) ou des dosages d'éléments traces métalliques (ETM). En prestation, une analyse de paramètres physico-chimiques comportant azote Kjeldahl, oxygène dissous, conductivité, pH, carbone organique dissous, nitrites, nitrates et phosphore total revient autour de 100€ TTC.

Etude et analyses des végétations

Quantité et qualité d'eau conditionnent les végétations. En tant que bioindicateur, la végétation permet d'obtenir des indices sur la qualité du milieu (Chapitre 13 «Les tourbières alcalines : une dynamique d'habitats sous l'influence de choix de gestion»). Des relevés phytosociologiques permettent de caractériser les habitats présents. Certaines espèces de plantes, de mousses voire de faune ne peuvent être retrouvées que dans des conditions physico-chimiques particulières. Ainsi, l'étude des espèces présentes permet de renseigner sur le bon fonctionnement hydrologique du site, et de mettre en évidence certaines zones de dégradation de la quantité ou de la qualité de l'eau, ou du substrat quand celui-ci se minéralise et ne permet plus aux espèces turficoles de se développer (Encadré).

Les bryophytes, un cortège indicateur du fonctionnement hydrologique

Florence ALDERWEIRELD (Conservatoire d'espaces naturels des Hauts-de-France)

Dans le cadre de l'étude éco-hydrologique menée par l'université d'Anvers, des relevés piézométriques des marais de Douriez et de Villiers ont été effectués. En parallèle, un état des lieux des espèces de bryophytes typiques des tourbières a été réalisé en 2023 par le CEN et le CBNFI.

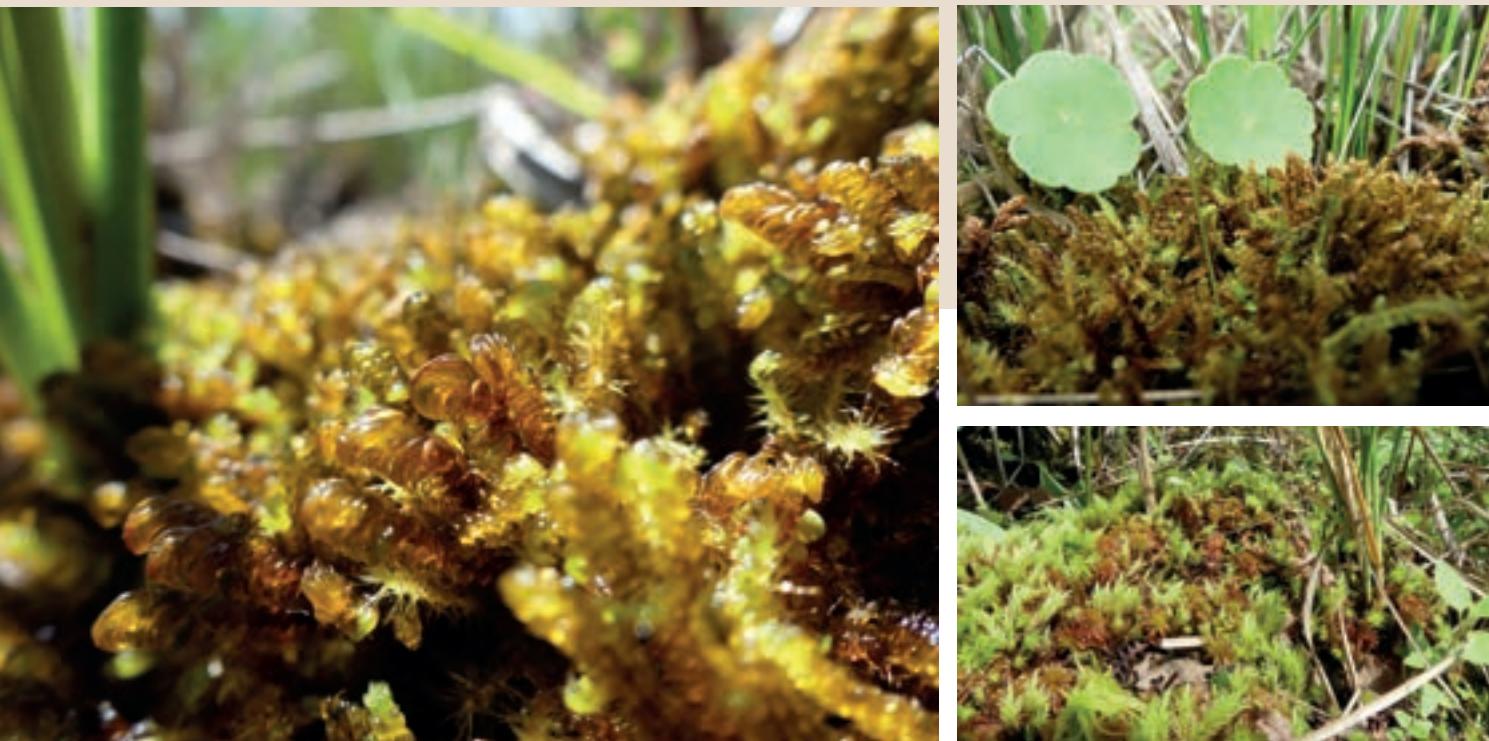
En ce qui concerne le marais de Villiers, la différence de niveau piézométrique entre le piézomètre de surface et le piézomètre profond est particulièrement importante, dépassant 40 cm. Ce résultat illustre donc bien la présence d'une nappe captive sous pression qui permet l'alimentation continue du marais par des sources.

Ces sources situées dans la partie ouest du site et sur le marais de Cucq, là où la couche d'argile imperméable s'interrompt, alimentent, latéralement et en continu, la nappe des bas-champs et le marais en général d'ouest en est, via les ruisselets, mais également par percolation au travers de la tourbe qui est un substrat poreux. Ainsi, le substrat du marais de Villiers est alimenté en continu par une eau très alcaline et de bonne qualité issue de la nappe de la craie, ce qui permet l'expression d'habitats naturels tourbeux alcalins oligotrophes en bon état de conservation. Selon les études menées par l'université d'Anvers dans le cadre du LIFE Anthropofens et en l'état des connaissances dont nous disposons, il semblerait que le marais de Villiers, de part son fonctionnement hydrologique soit l'un des derniers exemples de tourbière alcaline encore fonctionnelle en région Hauts-de-France. L'étude des bryophytes témoigne de cette bonne fonctionnalité avec pas moins de 10 espèces typiques des tourbières recensées à ce jour, dont 6 indicatrices d'une tourbière en bon

état de fonctionnement (*Calliergon giganteum*, *Campyliadelphus elodes*, *Campylium stellatum*, *Philonotis calcarea*, *Scorpidium cossonii*, *Scorpidium scorpioides*).

Pour le marais de Douriez, l'analyse préliminaire des relevés piézométriques montrent des modèles de fluctuations presque identiques des piézomètres de surface et de profondeur et suggèrent qu'il n'y a pratiquement pas de remontée d'eau souterraine ; les valeurs constamment légèrement inférieures du piézomètre profond témoignent d'un mouvement d'infiltration global à la baisse. La grande dynamique des deux piézomètres suggère que le système réagit très fortement aux précipitations et est en fait principalement stagnant. L'inventaire des bryophytes effectué sur la zone Est va dans ce sens avec la présence marquée de sphaignes (*Sphagnum fimbriatum*, *S. palustre*, *S. squarrosum*, *S. subnitens*). Ces sphaignes ne sont certainement pas les plus acidiphiles ; elles font partie des plus tolérantes à une certaine neutralité (neutro-basique) mais leur présence et celle d'autres bryophytes acidiphiles (*Fuscocephaloziopsis connivens*, *Aulacomnium palustre*, *Polytrichum formosum*...) témoignent que ces tremblants mobiles sont déconnectés de la nappe (et des submersions) et surtout alimentés par l'eau de pluie. L'hypothèse d'un processus d'acidification superficielle peut alors être avancée.

Cela peut sembler original et également d'intérêt au vu des statuts de rareté régionale de ces espèces mais ces végétations à sphaignes viennent en remplacement des végétations alcalines à pleurocarpes beaucoup plus rares et vulnérables. Il est probable que ce phénomène d'acidification illustre en réalité une problématique de drainage, voire un enrichissement trophique du milieu par les phosphates (Meire & Hauguel, 2019 et Kooijman, 2012) et notamment en ce qui concerne les espèces les moins acidiphiles comme *Sphagnum subnitens* et *S. fimbriatum*.



Les mousses brunes du genre *Scorpidium*, bien présentes au marais de Villiers, témoignent de conditions d'alimentation permanente par de l'eau alcaline. A l'inverse, le cortège de Bryophytes intégrant certaines Sphaignes et *Aulacomnium palustre* montre une ombrérophosphatation.

©G. GAUDIN, CEN HDF

Matériel et Installation



Matériel d'ancrage, de mesure et d'enregistrement.
©A. BERQUER, CEN HDF

Dispositif d'ancrage	
Fer Te, Fer à Béton (1)	10€/m (Te) 1.50€/m (fer à béton)
Tube (plein ou crépiné) (2)	10€ (4m, PVC gris) 70€ (5 tubes 1m, plein en PEHD) 110€ (5 tubes 1m, crépiné en PEHD)
Bouchons (3)	tête de puits EcoLog (+clé) 200€/unité PEHD pour 10 unités: 70€ bouchon de tête rabattable 75€ bouchon fond à vis
Cable (Kevlar) (4)	50€ pour 100 mètres
Textile	12€/unité
Dispositif de signalisation/protection (5)	piquet coloré, grillage éventuel (facultatif), bombe colorée (10€)
Dispositif de lecture ou d'enregistrement	
Sonde automatique (10 ans pour 1 mesure/heure) (6)	Leveelogger Solinst (500€/unité) InSitu Rugged Troll 100 (500€/unité) Keller Ecolog
Sonde à télétransmission	Ecolog 1000 OTT (2000€/unité) abonnement + sim (6€/mois)
Echelle limnimétrique à lecture manuelle	60-150€
Dérouleur sonore (7)	400-800 €
Baromètre (6)	300-500 €/unité
Socle de lecture (9)	150 à 300€/unité socle USB 600€/unité lecture Bluetooth
Cotation de l'ouvrage	
Location d'un GPS différentiel	60-100€ par jour
Acquisition d'un GPS différentiel (8)	10 000€ par appareil abonnement+sim 3000€/an
Acquisition et montage d'un boîtier centipède	500€

Sondage pédologique	
Carottier russe (10)	2000€
Gouge (11)	150-1000€ de nombreux modèles disponibles (diamètre, longueur, percussion)
Tarière Edelman (12)	150-300€

La pose de piézomètre nécessite de faire un trou dans le sol de manière à atteindre la nappe que l'on souhaite mesurer. C'est alors l'occasion d'effectuer un sondage pédologique supplémentaire. Plusieurs types de matériel sont disponibles. Le carottier russe est l'outil privilégié pour effectuer des prélèvements, mais peut être difficile à enfoncer lorsque des horizons compacts (limniques ou argileux) sont présents. La tarière Edelman permet de traverser plus facilement ces couches, mais a l'inconvénient de perturber la densité des échantillons et de nécessiter davantage de temps (prélèvements de 10 en 10 cm). La gouge peut être une solution intermédiaire, dans la mesure où elle pénètre mieux les horizons denses que le carottier, préserve les échantillons et leur densité. Mais si l'horizon est trop fibrique, il est fréquent que la gouge ne permette pas la remontée de la carotte, celle-ci glissant dans la gouge et retombant.



Matériel pour prélèvement de sol en tourbière. Le trou résultant du prélèvement peut être utilisé pour placer le tube du piézomètre et son dispositif d'ancrage. 10 : carottier russe, 11 : tarière Edelman, 12 : tarière gouge
©A. BERQUER, CEN HDF

Déclaration de l'installation des piézomètres.

En France, l'installation d'un piézomètre est régie réglementairement par la rubrique 1.1.1.0 de l'article R.214-1 du Code de l'environnement (Arrêté ministériel du 11 septembre 2003 modifié) portant sur la création de puits ou de forage non destiné à un usage domestique. Cette installation doit, dans certains départements, faire l'objet d'une déclaration à la Police de l'Eau via la Direction Départementale des Territoires du département concerné mentionnant l'emplacement géographique et administratif, la profondeur atteinte et la nappe captée. Le piézomètre n'étant pas prévu pour effectuer des prélèvements, la déclaration est souvent facultative, car elle ne pourra mentionner les informations sur les quantités d'eau prélevées ni leur usage. Par ailleurs, ce type d'installation est souvent peu impactant et réversible.

En Wallonie, l'installation est réglementée par l'Arrêté du Gouvernement wallon déterminant les conditions sectorielles relatives au forage et à l'équipement de puits destinés à une future prise d'eau souterraine et modifiant l'arrêté du Gouvernement wallon du 4 juillet 2002 relatif à la procédure et à diverses mesures d'exécution du décret du 11 mars 1999 relatif au permis d'environnement publié au Moniteur Belge le 10 octobre 2012 et modifié par l'arrêté du Gouvernement wallon du 13 décembre 2018 relatif à l'agrément des personnes effectuant un forage ou un équipement de puits destiné à une future prise d'eau souterraine, à l'installation de sondes géothermiques, à la reconnaissance géologique, à la prospection, à l'implantation de piézomètres et modifiant divers arrêtés publiés au Moniteur Belge le 27 février 2019. Un porté à connaissance à l'Administration est nécessaire mentionnant les caractéristiques et la fonction du piézomètre, ainsi que le maître d'oeuvre disposant d'un agrément du gouvernement (http://environnement.wallonie.be/cgi/dgrne/forages/liste_foreurs.idc).

Couple de piézomètres installés dans le marais de Génouville, à Moreuil, en vallée de l'Avre. Le piézomètre de gauche mesure la côte piézométrique de surface, alors que celui de droite mesure la côte au niveau de la base des tourbes. Lors de la relève, une récupération des données des sondes, une mesure de niveau d'eau pour vérifier la donnée, ainsi qu'une cotation altimétrique du sol de la tourbière sont effectuées.
©A. BERQUER, CEN HDF



3 Suivi de l'état de conservation et du fonctionnement des sites

2 Acquisition et exploitation des données

Auteurs : Adrien BERQUER, Laura CZERNIAK, Matthieu JAMES
(Conservatoire d'espaces naturels des Hauts-de-France)

Collecte et traitement des données

Les mesures de quantité et qualité d'eau peuvent être réalisées par différents appareillages. Les piézomètres peuvent être relevés manuellement nécessitant la présence régulière, donc le déplacement, d'un opérateur. Des sondes automatiques peuvent être utilisées et paramétrées pour déterminer la fréquence de mesures dans le piézomètre. La fréquence de mesure va influencer la durabilité de la sonde puisque celle-ci peut être limitée en capacité de stockage de données ou de décharge de la batterie. Cette fréquence, en plus d'être choisie en fonction des capacités des sondes et de leur fréquence de décharge de données, est calibrée en fonction de la question posée derrière l'utilisation d'un piézomètre. Dans le cas où un suivi de grandes masses d'eau est l'objectif, une faible fréquence peut être suffisante avec une mesure par jour. Si l'objectif est de comprendre l'hydrologie avec des variations pouvant être influencées par des phénomènes à influence rapide (évaporation ou évapotranspiration, influence des marées, etc.) variant selon des cycles journaliers et en fonction de la météo, des mesures chaque heure peuvent être plus adaptées.

Les sondes mesurant le niveau d'eau sont souvent des sondes mesurant une pression appliquée sur un capteur. Sur ce capteur est exercée la somme de la pression dûe à la hauteur d'eau et de la pression atmosphérique. La sonde peut être équipée d'un capteur de pression barométrique qui permettra d'effectuer cette différence directement dans les données de la sonde. Dans le cas contraire, l'utilisation d'une sonde barométrique est indispensable, elle permettra de soustraire la pression atmosphérique réelle à la pression mesurée par la sonde du piézomètre. Cette formule inclut une correction par la température et de l'altitude entre sonde et baromètre de la pression mesurée par le baromètre.

$$Patm_{baro}$$

$$\text{Equation 1 : } Patm_{réelle} = \frac{(Z_{sonde} - Z_{baro})g_n \cdot M_{air}}{e^{\frac{(Z_{sonde} - Z_{baro})g_n \cdot M_{air}}{RT}}}$$

où $Patm_{baro}$ est la pression mesurée par le baromètre en hecto-Pascal (hPa), g_n la constante de pesanteur sur Terre (en $m.s^{-2}$), M_{air} la masse molaire de l'atmosphère terrestre actuelle, Z_{sonde} et Z_{baro} les altitudes en mètres (m) respectives de la sonde du piézomètre et de la sonde barométrique, R la constante des gaz en $J.K^{-1}.mol^{-1}$, et T la température en Kelvin (K).

Cette pression peut être soustraite à la pression mesurée par la sonde immergée. Pour une mesure relative à l'altitude au-dessus du niveau de la mer, l'équation 2 s'applique.

$$\text{Equation 2 : } WL = Z_{sol} + f(T) \cdot Psonde - Patm_{réelle}$$

où WL est l'altitude du niveau d'eau du piézomètre en mètres (m) au-dessus du niveau de la mer, Z_{sol} l'altitude du sol au niveau du piézomètre, $Psonde$ la pression mesurée par la sonde (en hPa), et $Patm_{réelle}$ la variable décrite par l'équation 1 et $f(T)$ la fonction quadratique modélisant l'effet de la température sur la pression

selon l'équation 3 :

$$f(T) = 3.959 \cdot 10^{-6} \times T^2 + 5.50 \cdot 10^{-5} \times T + 1.019$$

Une fois la chronique extraite du piézomètre, elle peut être interprétée. Les maxima et minima observés sur un pas de temps défini (souvent l'année) permettent d'identifier les fluctuations que subissent les habitats et le sol des tourbières. Ces chroniques permettent d'identifier les périodes et l'intensité des sécheresses, les périodes, durées et vitesses de décharge puis de recharge de la tourbière, mais aussi les phénomènes d'inondations. Les dynamiques sont visualisables plus facilement en représentant les données sous forme cumulée. Ces chroniques sont l'élément premier qui permettra d'orienter le choix des objectifs de la tourbière pour un gestionnaire d'espaces naturels et proposer des stratégies de restauration hydrologique, puis de gestion. Un des enjeux principaux, le maintien du stock de carbone, va nécessiter une constante immersion des tourbes. Lorsque les enjeux habitats sont visés, il sera alors intéressant de jouer sur la hauteur d'eau par rapport au sol (cf Guide «Les tourbières alcalines : une dynamique d'habitats sous l'influence de choix de gestion»). Enfin, si les usages sont primordiaux (agriculture, pâturage, urbanisation) et incompatibles avec une restauration des niveaux d'eau, il ne sera envisageable que de limiter les assecs et ne pas trop monter les niveaux d'eau pour maintenir ces usages.

Autres outils nécessaires à l'interprétation (en regard des objectifs)

D'autres piézomètres peuvent être mobilisés pour l'interprétation hydrologique d'un site ou d'un aquifère, via la base de données publique du portail ADES du Bureau de Recherche Géologique et Minière (BRGM). Pour les tourbières alcalines, directement alimentées par les aquifères, ces chroniques sont d'une première importance. Il est ainsi possible d'identifier l'état des masses d'eau souterraines et la périodicité des niveaux d'eau. Ces niveaux sont surtout sujets à l'infiltration et aux prélèvements (par exemple pour l'eau potable, pour l'industrie, ou l'irrigation), et permettent d'identifier des perspectives sur l'alimentation en eau des tourbières. Le nombre de captages et leur volume de prélèvement permettent aussi de renseigner les pressions sur la ressource en eau, notamment si le site géré est sujet à un cône de rabattement induit par ces prélèvements. Ces connaissances permettent d'acquérir des arguments pour un meilleur partage de la ressource auprès des autorités. Ils permettent également à un gestionnaire de savoir où agir : est-ce que les émergences de nappes sont suffisantes, ou est-ce qu'il est préférable d'agir sur la décharge des marais car insuffisamment alimentés par les eaux de nappes souterraines ?

Le LIDAR et la bathymétrie permettent d'identifier sur un site les circulations probables de l'eau, et les différentes réserves d'eau à l'intérieur d'un site. L'imagerie LIDAR permet d'effectuer des modèles numériques de terrain (MNT) pour représenter l'altitude sur un site, donc les sens naturels d'écoulements, d'identifier certains fossés non visibles à l'œil nu, des exutoires. Les MNT permettent également d'identifier des casiers hydrauliques dé-

limités par des digues (par exemple les bourrelets de tufs de la vallée de la Somme), et permettent d'orienter le choix d'emplacement de piézomètres. Ils sont disponibles en France sur la base de données publique RGE-Alti de l'Institut national de l'information géographique et forestière (IGN).

Ces mesures peuvent également servir à comprendre les dynamiques de population d'espèces patrimoniales, d'habitats, et d'envisager de caler des ouvrages de restauration hydrologique sur des côtes clairement identifiées (Berquer et al., 2023).

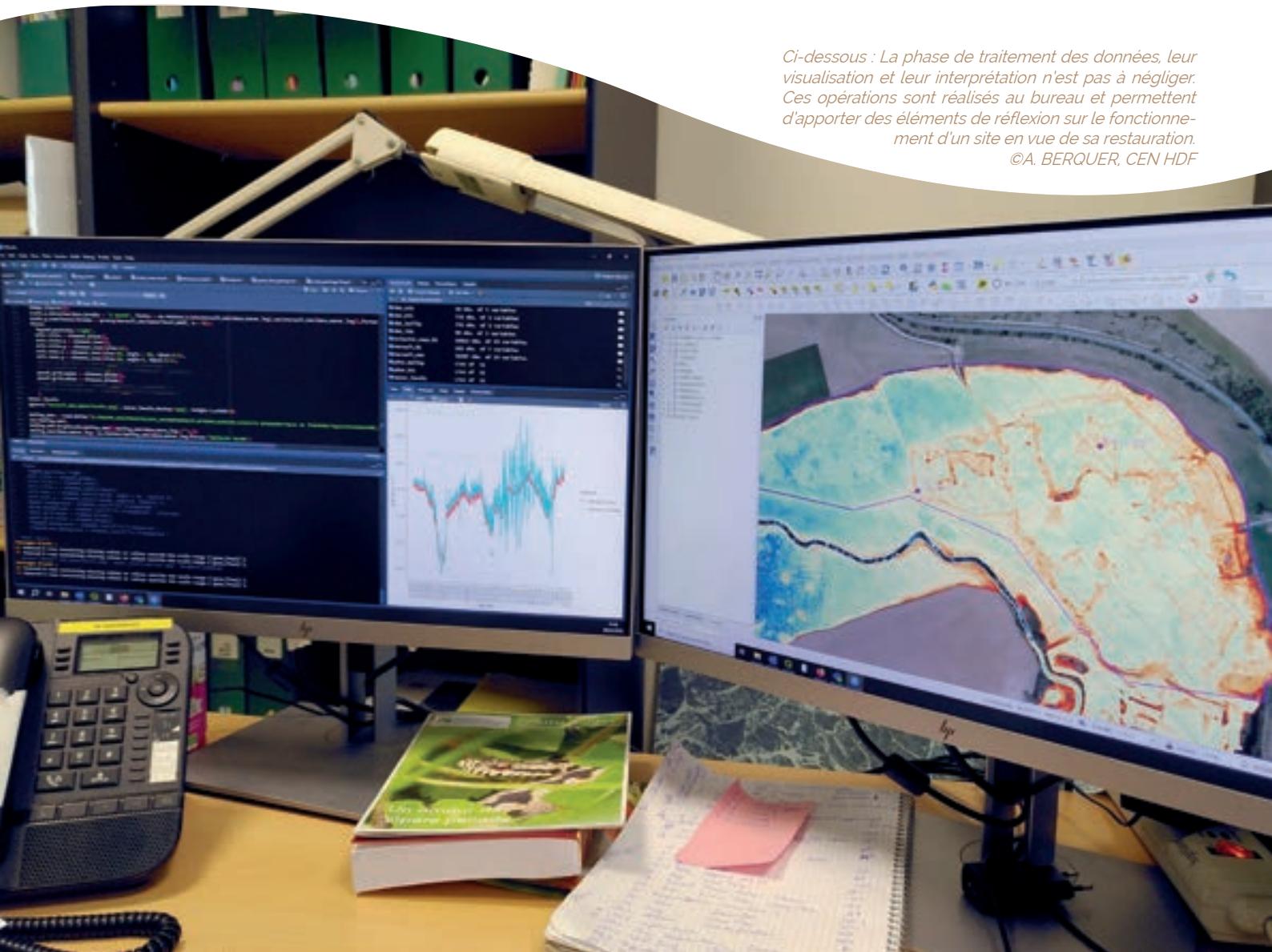
Interprétation et diffusion

Certaines espèces et certains habitats étant dépendants des niveaux, il est possible de les utiliser pour identifier indirectement le fonctionnement hydrologique des tourbières. Un des indicateurs proposés dans la boîte à outils RhôMéo, à travers sa déclinaison BIMHBAP dans les régions du LIFE Anthropofens, sont les indices d'engorgement et de trophie de la végétation. Une communauté de plantes est composée d'espèces avec des optima trophiques et d'engorgement différents (indices d'Ellenberg ou de Landolt). Plus la proportion de plantes dont l'engorgement leur est favorable et plus elle est importante, plus la communauté sera signe d'un milieu avec une fluctuation faible ou d'un niveau d'eau proche du sol. Le protocole BIMHBAP et l'application de ces indices sont développés dans le guide «Les tourbières alcalines : une dynamique d'habitats sous l'influence de choix de gestion».

La qualité d'eau est également particulièrement importante car elle détermine les successions de végétations. Celle-ci est particulièrement expliquée dans le guide «Les tourbières alcalines : une dynamique d'habitats sous l'influence de choix de gestion», mais il est également indispensable de compléter l'analyse des niveaux d'eau par l'analyse des qualités d'eau. En effet, la provenance de l'eau, qu'elle soit météorique, souterraine, ou venant du ruissellement ou de débordement de cours d'eau en amont, conditionne la composition chimique de l'eau. Les végétations sont souvent dépendantes d'une eau faiblement chargée en nutriments, mais fortement alcaline. Une baisse d'apport par les sources et davantage de précipitations conduisent soit à une eau plus acide, mais oligotrophe dans le cas de précipitations, soit à une eau plus nutritive en cas de débordements, ou d'alimentation par une nappe d'eau souterraine dans laquelle des fertilisants agricoles se sont infiltrés. De même, la gestion peut interférer dans ces cycles de l'eau ou des nutriments. La végétation observée sur un site est un témoin de la provenance de l'eau et de sa composition. Certaines espèces, comme certaines Sphaignes, sont des indicateurs d'une baisse d'alimentation par des émergences de nappe de la craie, et d'une alimentation prédominante par les précipitations (cf. Chapitre 5.2).

Pour remplir l'objectif "habitat", la gestion doit ensuite être adaptée par exemple en gardant ou non des surfaces arborées (favorisant l'évapotranspiration et interagissant avec le cycle de l'eau ou du phosphore), en utilisant des fauches exportatrices de nutriments plutôt que des fauches non exportatrices ou du pâturage capable d'accélérer le cycle de nutriments, ou en empêchant une restauration des niveaux d'eau.

Ci-dessous : La phase de traitement des données, leur visualisation et leur interprétation n'est pas à négliger. Ces opérations sont réalisées au bureau et permettent d'apporter des éléments de réflexion sur le fonctionnement d'un site en vue de sa restauration.
©A. BERQUER, CEN HDF



3 Suivi de l'état de conservation et du fonctionnement des sites

3 Enseignements concrets des études éco-hydrologiques

Auteurs : Adrien BERQUER¹, Mathilde CASTELLI², Mathilde VANDENDRIESSCHE², Wout OPDEKAMP³

¹ Conservatoire d'espaces naturels des Hauts-de-France
² Parc naturel régional Scarpe-Escaut
³ Natagora

Objectif des études

Des études éco-hydrologiques ont été mises en place avant les travaux de restauration écologiques de certains sites du LIFE Anthropofens. Leur objectif est principalement d'étudier la faisabilité de restauration, c'est-à-dire, la possibilité d'atteindre l'objectif habitat souhaité, et d'avoir des éléments sur certains paramètres à prendre en compte pour calibrer correctement les travaux.

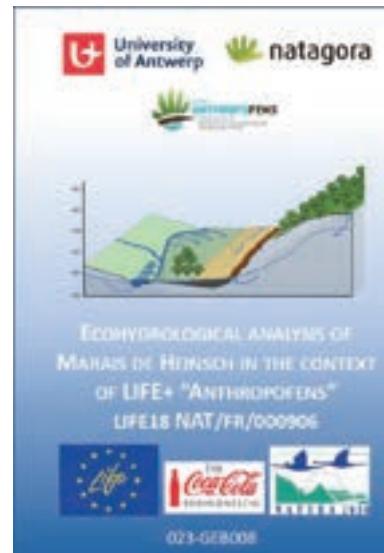
Mise en œuvre et choix des prestataires, que mesurer ?

Les études ont été réalisées par des bureaux d'études indépendants en prestation et le livrable se décline en plusieurs points.

Une première partie relative au fonctionnement hydrologique permet d'étudier l'alimentation de la tourbière par les nappes souterraines, et les connexions existantes entre celles-ci. La composition de l'eau des aquifères permet d'estimer la compatibilité de celle-ci avec les habitats visés. En effet, si l'alimentation se fait par des nappes de faible volume réagissant fortement aux précipitations, il est probable que ces nappes ne puissent contenir une alimentation continue et durable nécessaire à certains habitats tourbeux comme les bas-marais. De même, si la composition de la nappe souterraine qui alimente la tourbière n'est pas assez calcaire, ou si elle est enrichie de molécules oxydantes endogènes (apport de sulfates par les pyrites de fer) ou exogènes (apport de nitrates par infiltration en provenance de zones d'agriculture intensive), un effet sur la conservation de la tourbière peut être suspecté.

Une deuxième partie s'intéresse à l'hydrologie passée. Pour cela, la composition des tourbes, et notamment des macro-restes est étudiée. Les macro-restes sont les vestiges des végétations occupant le site dans le passé. Ainsi, il est possible d'identifier si, dans le passé, les conditions étaient réunies pour la formation de tourbe à mousses brunes, ce qui implique que la zone était alimentée pendant plusieurs siècles d'eaux oligotrophes de façon continue, ou à l'inverse, de la tourbe à Roseaux, fréquemment rencontrée sur les sites du projet, ce qui implique certaines fluctuations du niveau d'eau et une eau plutôt chargée en nutriments.

Une troisième partie s'intéresse à l'hydrologie actuelle, c'est à dire comment le site est aujourd'hui alimenté et comment les facteurs de pression agissent sur la tourbière. Ici, il s'agit surtout d'identifier les fonctionnalité ou l'impact des ouvrages hydrauliques sur le fonctionnement hydraulique des tourbières. En effet, la plupart des fossés en tourbières agissent comme des drains, provoquant un abaissement généralisé du niveau d'eau sur le site. Il s'agit aussi de répertorier les mares creusées artificiellement, qui sont capables de drainer une partie de la tourbière. L'effet des mares est encore plus renforcé lorsque celles-ci sont alimentées par des puits artésiens tapés dans les aquifères, provoquant la création de sources artificielles au détriment de sources naturelles engorgeant les tourbes. Cet effet de "court-circuit" de l'eau et de drainage est d'autant plus important si les mares sont connectées entre elles, ou au réseau



Les anciennes fosses de tourbage interfèrent dans le fonctionnement hydrologique des sites, comme l'étang du Métro dans les marais de Sacy
©N. ABOT



de drainage. Certaines mares ou fossés sont utilisés pour les loisirs, tels que la pêche et la chasse. Ces deux activités peuvent être source de perturbations si elles n'usent pas de pratiques adaptées à la conservation des tourbes et des végétations de tourbières. En effet, la présence de cage de canards "appelants" à proximité des huttes, le recours à l'agrainage sur des zones sensibles, ou encore l'utilisation d'amorces pour la pêche conduisent à des enrichissements trophiques particulièrement importants. Les systèmes d'assainissement, parfois non conformes ou inexistant, peuvent également être une source de phosphore contribuant à la dégradation des tourbières.

Enfin, sur la base de toutes ces observations, ces études informent sur les possibilités d'obtention de certains habitats souhaités, et comment y arriver. Ici sont discutés les potentiels travaux à réaliser et différents cas sont proposés en fonction des conditions de faisabilité technique, d'acceptation locale du projet, et surtout scientifique. Pour chaque habitat possible, une stratégie de gestion propice à l'atteinte de l'objectif est formulée et transmise au gestionnaire.

Apports et conclusion sur les travaux de restauration et sur la gestion de site

Ces études ont permis de conforter les différents acteurs du LIFE Anthropofens sur les possibilités de restauration de certains habitats, mais aussi de vérifier si les travaux prévus sont suffisamment ambitieux pour que l'objectif soit atteignable. Certains facteurs de pression ont pu être identifiés avec les études et des actions recommandées pour les réduire ou les éviter.

Cependant, dans certains cas, l'étude éco-hydrologique a démontré que certains travaux n'étaient pas souhaitables, car l'objectif ne serait, de toute façon, pas atteignable. Par exemple, des analyses de phosphore dans le sol, croissant avec la profondeur,



Les prélèvements de sédiments et l'étude de leur composition permettent d'identifier les facteurs d'influence des masses d'eau de surface
©G. RIVIÈRE, CEN HDF

La pédologie permet de déterminer l'état de la tourbe sous la surface, et étudier la pertinence d'un étrépage de la couche supérieure minéralisée. Les macro-restes sont des témoins des conditions environnementales du passé.
©A. BERQUER, CEN HDF

ont rendu caduque la pertinence d'effectuer un étrépage dans le but de restaurer une végétation de bas-marais alcalin.

Les études éco-hydrologiques sont donc particulièrement importantes pour mener à bien ou confirmer les travaux qui sont envisagés. Rédigées par des spécialistes elles sont également un appui pour argumenter, sur des bases scientifiques et indépendantes, auprès des usagers des sites, que certaines restaurations sont particulièrement souhaitables pour la conservation durable des tourbières.

Les méthodes mobilisées par les études éco-hydrologiques ainsi que le suivi de l'hydrologie par le gestionnaire sont davantage détaillées dans le guide «Etat de conservation des tourbières alcalines : méthodologies d'évaluation».



4 Enseignements sur les travaux de restauration hydrologique

1 Les difficultés et les moyens d'y faire face

Auteurs : Sarah LEVRAULT (Syndicat Mixte Baie de Somme - Grand Littoral Picard), Adrien BERQUER (Conservatoire d'espaces naturels des Hauts-de-France)

Les travaux de restauration hydrologiques en milieux tourbeux nous amènent souvent à intervenir sur les zones les plus compliquées des marais, du point de vue technique : les points bas des bassins versants. Ces zones sont particulièrement humides et peu portantes, donc difficiles d'accès. Ces interventions nécessitent donc un matériel spécialisé et un savoir-faire spécifique.

La tenue d'un chantier en zone tourbeuse est particulièrement dépendante d'un facteur aléatoire : la météo. L'intervention est privilégiée en période d'étiage, et hors période de reproduction des espèces animales sur site, ce qui correspond le plus souvent à la fin de l'été et l'automne. Une année sèche permettra alors une intervention optimale, cependant une année pluvieuse ou un changement de météo soudain induisant une remontée des niveaux d'eau, entraîne une interruption nette des opérations de restauration du fait de l'instabilité d'un sol engorgé, ou de la mauvaise qualité d'un travail de terrassement en zone inondée, par exemple.

Engin de travaux en difficulté sur une zone peu portante
©MG Nature



En outre, avant même d'atteindre la zone de travaux, des difficultés se présentent. Ces secteurs sont rarement aménagés pour recevoir des engins de travaux. En effet, les marais sont des espaces utilisés majoritairement pour des usages comme la chasse ou la pêche, ne nécessitant pas l'aménagement d'accès stabilisés. Les usages historiques des marais tourbeux comme l'exploitation de la tourbe, de la végétation des tourbières (chaume) ou du pâturage, n'utilisant pas d'engins lourds, les aménagements de l'époque ont soit disparu, soit n'étaient pas calibrés en conséquence : chemins étroits, passages à gué, tonnage limité...

Parfois, le morcellement cadastral hérité du partage des marais pour les usages implique d'emprunter des propriétés privées et requiert l'accord des propriétaires. Par ailleurs, des travaux sur certains fossés, mitoyens, impliquent un accord des propriétaires riverains au fossé.

Les moyens mis en œuvre pour accéder aux zones de chantier et pouvoir y réaliser les opérations souhaitées nécessitent donc de faire appel à des entreprises spécialisées et équipées en conséquence, venant parfois de loin. Ainsi, de nombreuses contraintes sont à prendre en compte.

Dans une dimension budgétaire, les coûts des travaux sont en général supérieurs aux chantiers où l'accès est plus facile et la technicité moins importante. Des investissements particuliers et conséquents, pas forcément budgétés dès l'attribution des marchés, sont parfois nécessaires. Ainsi, dans le LIFE Anthropofens, certains prestataires ont dû investir dans des plaques de répartition de charge pour couvrir des distances parfois longues de plusieurs centaines de mètres. Les engins doivent eux-mêmes être adaptés, le cas le plus typique étant le recours à des pelles amphibiennes, c'est-à-dire montées sur des caissons flottants.

Dans une dimension temporelle, le niveau de technicité et le savoir-faire de ce type de travaux restreint le nombre de prestataires capables d'effectuer les travaux demandés dans de bonnes conditions. Ainsi, la disponibilité des prestataires est souvent conditionnée à la fin d'autres travaux, parfois sur d'autres sites d'un même gestionnaire. Les calendriers sont d'autant plus contraints que la période d'intervention est souvent restreinte à la fin d'été et à l'automne. Des interruptions de travaux peuvent donc avoir lieu fréquemment et il est important de les prévoir lorsque certains financements ne sont plus éligibles au-delà d'une certaine date.

Enfin, la dimension réglementaire peut également se révéler contraignante en interférant dans les calendriers. Certaines actions impliquent des procédures réglementaires qui peuvent se révéler lourdes et chronophages, dans un système peu adapté au contexte de marais tourbeux (cf. Chapitre 5.2). Les tourbières étant souvent des milieux hôtes d'espèces protégées, il est judicieux d'anticiper les mesures d'évitement, de réduction et éventuellement de compensation. Les travaux ayant en général pour objectif de conserver certaines stations d'espèces de milieux ouverts, un paradoxe peut alors se dégager : ne pas intervenir pourrait nuire à des stations d'espèces protégées, alors qu'une intervention pourrait conduire à la destruction d'une partie d'entre elles. Il devient alors judicieux de procéder à un piquetage précis des stations, dans le but de créer un enclos où les engins ne pénètrent pas, et éventuellement à récolter puis réimplanter certaines stations, une fois que les travaux auront créé des conditions propices à leur développement. Ces mesures, dépendant de la phénologie des espèces concernées, peuvent donc, bien entendu, interférer avec le calendrier de travaux, d'où la nécessité de les anticiper techniquement, notamment avec des spécialistes, comme les Conservatoires botaniques.

Des exemples concrets de situations sont abordés plus précisément dans ces chapitres.

4 Enseignements sur les travaux de restauration hydrologique

2 Restauration hydrologique : l'exemple de Morcourt en Vallée de Somme

Auteurs: Adrien BERQUER, Alexis ANDRE, Patrick TRONGNEUX, Jérémie HUMMEL, Guillaume MEIRE (Conservatoire d'espaces naturels des Hauts-de-France)



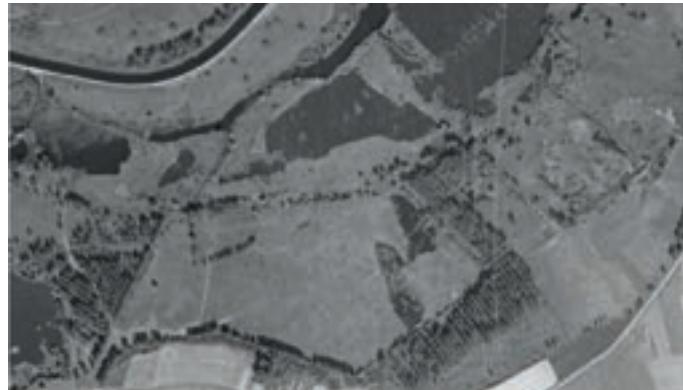
En préalable à la restauration du marais de Morcourt, une étude éco-hydrologique a été menée. La restauration porte sur la partie communale des marais de Morcourt avec un usage historique de pâturage sur le site. Les anciens imaginent le marais de leur enfance très peu boisé, et un retour à ce paysage ouvert est plébiscité localement. Les photos aériennes montrent en effet un embroussaillage qui s'accélère très fortement à partir de 1970, mais aussi un surcreusement des pièces d'eau ayant participé au drainage interne du marais.

La problématique de restauration du marais de Morcourt est complexe : le site est morcelé en plusieurs parties, déjà ou pas encore restaurées, des peupleraies plus ou moins accessibles et exploitables, des espaces réservés à la chasse à la hutte. Pour son exploitation, le site a fait l'objet d'un drainage important. Si, en surface, la tourbe est fortement dégradée, en profondeur, la tourbe est encore en bon état de conservation, conférant au site un enjeu majeur de stockage du carbone. Gestionnaire du site, le Conservatoire d'espaces naturels des Hauts-de-France a inclus dans le projet LIFE une étude préalable aux travaux de restauration, par un bureau d'études (Paludosa Research), sur les aspects hydrologiques, hydrogéologiques, éco-hydrologiques, ainsi que sur des propositions de gestion pour des objectifs «habitats cibles» (Chapitre 3.3).

Gauche : Les marais de Morcourt en 2023

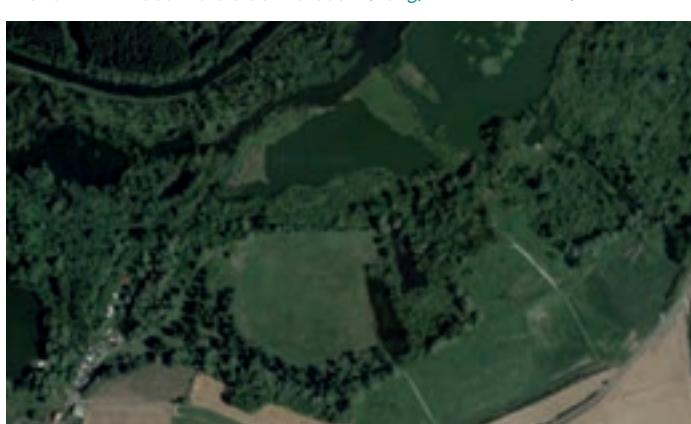
Droite : LIDAR des marais de Morcourt (2023, IGN RGE ALTI®)

Pour cette étude, trois piézomètres ont été installés dans les tourbes adjacentes à différentes pièces d'eau, d'altitude inégale, ainsi qu'un couple de piézomètres mesurant deux nappes : la nappe alluviale et la nappe de la craie. Si les premiers nous



Les marais de Morcourt en 1947 (haut) et en 1980 (bas).
Source : IGN, portail "Remonter le temps"

servent d'indicateurs d'engorgement des tourbes, le couple sert à identifier la provenance de l'eau les engorgeant (Chapitre 3.1). En effet, les tourbières alcalines devraient être davantage alimentées par les eaux d'émergences de la nappe de la craie que par les précipitations. L'étude de la topographie du site par imagerie LIDAR nous permet d'identifier les drains, particulièrement nombreux dans ce que sont, ou ont été, d'anciennes peupleraies, mais aussi les connexions existantes entre les différentes pièces d'eau. Une étude des niveaux d'eau montre un sens d'écoulement de l'eau entre ces différentes pièces d'eau, allant globalement de l'extérieur de la vallée vers son centre (au Nord du site).



La restauration consiste en la réapparition d'habitats du 7230, tourbières basses alcalines, qui nécessitent une eau calcaire méso- à oligotrophe, à un niveau à peu près constant, ou fluctuant entre 20 cm sous la surface et 20 cm dessus, et un substrat constitué de tourbe alcaline. À Morcourt, l'horizon de surface très dégradé (Horizon A) a pour vocation d'être étrépé de manière à retrouver un substrat tourbeux alcalin (Horizon H) et des fluctuations de niveaux d'eau plus proches de la surface du sol.

Peupleraie arrachée et essoufflée à Morcourt
©J. HUMMEL, CEN HDF



Par ailleurs, un maintien voire une réhausse des niveaux d'eau en période de basses eaux dans le marais est envisagée. La possibilité de cette restauration est conditionnée par plusieurs facteurs : la présence de ce type de tourbe à une profondeur peu importante, une teneur et une disponibilité en phosphore compatible avec l'habitat cible, et un engorgement correct du substrat pour pérenniser les travaux. Pour cela des sondages pédologiques ont également été réalisés permettant d'être certain que les préalables soient remplis, et d'estimer la profondeur de décapage optimale. A Morcourt, de la tourbe de qualité acceptable est présente à environ 30 cm de profondeur. Celle-ci est plus pauvre en nutriments que la surface, ce qui laisse présager qu'une restauration permettra de tendre vers l'habitat souhaité.

Les opérations de restauration nécessitent dans un premier temps une réouverture du milieu par déboisement des fourrés de saules cendrés. Le décapage a ensuite lieu sur une surface ici particulièrement importante. Il s'agit de travailler avec la pente naturelle du marais, imperceptible à l'œil nu, des bords vers le centre de la vallée. Les tourbes pourront être en connexion avec l'eau des différents étangs se trouvant à différentes altitudes. En effet, pour éviter l'effet drainant, l'étude préconise de permettre aux étangs d'amont en aval de pouvoir avoir des niveaux d'eau différents, ce qui n'était pas le cas avant travaux. Pour cela, il est possible d'agir en aval de chaque pièce d'eau, par une pose de seuil. L'altitude de la surverse est calée sur l'altitude du sol de part et d'autre du seuil afin de répondre à deux objectifs : de retenir l'eau qui s'écoule par les drains afin d'augmenter son temps de rétention dans le marais, mais aussi d'éviter, par surverse, une inondation trop importante des habitats qui conduirait à des profils de végétations plus aquatiques. Le but de la restauration hydrologique est surtout de retarder dans le temps la baisse des niveaux d'eau en prévision de la sécheresse estivale, mais aussi de réduire l'intensité de cette sécheresse en l'anticipant et en retenant davantage d'eau en fin d'hiver.

Sur le site de Morcourt, nous avons été confrontés à une situation d'écoulement d'eaux grises et phosphatées dans un fossé donnant sur la tourbière. Bien qu'une mise en conformité de l'assainissement soit envisagée dans les prochaines années, nous effectuons tout de même quelques travaux pour augmenter le temps de rétention de l'eau grise dans le fossé le temps que des grandes hélophytes nitrophiles puissent filtrer les nutriments de l'eau. Nous avons donc effectué deux élargissements par un léger surcreusement du fossé, afin de ralentir l'eau et la laisser stagner sur le modèle du lagunage.

Enfin plusieurs précautions ont été prises sur le marais de Morcourt, puisque de nombreuses espèces patrimoniales s'y trouvent. Ainsi une bande refuge pour la Vipère péliaude (*Vipera berus*) a été prévue, ainsi qu'un espace interdit à la circulation

Étrépage à Morcourt. La faible portance des sols de tourbière nécessitent l'utilisation de plaques de répartition de charge pour la circulation des engins de chantier
©J. HUMMEL, CEN HDF





Pose de seuils à Morcourt
©J. HUMMEL, CEN HDF

des engins de chantier sur le Sélin à feuille de carvi (*Selinum carvifolium*). Enfin, nous n'effectuons pas de déboisement entre avril et août, afin de respecter les périodes de nidification d'oiseaux.

Des indicateurs de suivis biotiques ou abiotiques ont été mis en place avant et après les travaux pour voir les conséquences de la restauration. Outre les piézomètres pour lesquels une différence dans les chroniques est visible, des relevés de végétation après travaux montrent une amélioration de la qualité de l'habitat phytosociologique "tourbière basse alcaline". Un protocole a été mis en place pour particulièrement focaliser sur cette comparaison avant/après (Before/After Control Impact, BACI, cf. Guide «Les tourbières alcalines : une dynamique d'habitats sous l'influence de choix de gestion»). Le retour de la fonctionnalité hydrologique du site devrait réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES) par la tourbière. Cependant, la cinétique d'émission post-travaux devrait passer par une phase de transition de plusieurs années par laquelle une émission de méthane devrait être observée, suivie d'un retour du stockage du CO₂ si la tourbière et les habitats redeviennent fonctionnels, avec une possible accumulation de tourbe. Des prélèvements de GES ont donc été effectués avant et après restauration.

Critiques de la mise en œuvre et de la restauration

L'étude éco-hydrologique nécessite, pour comprendre le fonctionnement du marais, plusieurs années d'enregistrement piézométriques. Sur notre site, les piézomètres ont été installés en 2022 pour des travaux initialement prévus en 2023. Les données scientifiques étant un préalable indispensable à la restauration, les sites devraient être équipés avant le démarrage des projets. Des projets permettant de financer uniquement des opérations d'études scientifiques devraient être un préalable à un projet finançant des travaux de restauration. En effet, inclure ces deux types d'opérations dans un même projet risque de retarder la mise en œuvre des travaux tant que le fonctionnement hydrologique n'est pas tout à fait compris, et risque de faire prolonger le projet, ou de commencer les travaux sans certains éléments indispensables.

D'un point de vue technique, le calendrier des travaux a une grande importance. En effet, pour respecter les dynamiques de la faune et de la flore et éviter les périodes de crues où les zones de travaux ne sont pas praticables, et la période de nidification des oiseaux, la fenêtre des travaux se résume principalement d'août à novembre en fonction de la vitesse et de l'intensité de la recharge des marais, mais aussi de l'altitude des zones de travaux et de leurs accès. À Morcourt, si les travaux ont pu commencer en fin d'été, ils ont dû être interrompus en décembre pour reprendre en partie en février, avant d'être interrompus de nouveau et se terminer l'été de l'année suivante.

Le terrain particulier des tourbières nécessite des engins adaptés puisque les terrains sont généralement peu portants. Sur les zones terrestres, les engins peuvent être munis de chenilles larges, mais sur les zones les moins portantes, ou pour le travail proche ou dans les pièces d'eau, des engins amphibiens deviennent nécessaires. La longueur des bras des pelleteuses peut également être allongée (de l'ordre d'une quinzaine de mètres) afin de faciliter le travail sur certaines zones tout en y restant à distance. Enfin, dans certains cas, il est préférable de ne pas faire pénétrer d'engins sur le site, par exemple en évacuant les arbres ou arbustes par treuil ou par voie aérienne (hélicoptère). A Morcourt, l'évacuation des peupliers s'est effectuée par hélicoptère, puisqu'une des peupleraies était située sur une île. Cela aurait nécessité une barge pour la venue d'engins et l'exportation des matières aurait dû être réalisée avec des engins roulant sur le sol, conduisant à une entrave à la circulation fluviale du canal de la Somme sur plusieurs semaines. L'hélitreuillage des peupliers a permis de réaliser cette opération en seulement une semaine, avec un bilan carbone relativement favorable. La contrainte principale de l'hélicoptère est la fenêtre météorologique et l'absence de pluie ou de brouillard durant cette semaine de travaux, prévue en saison humide.

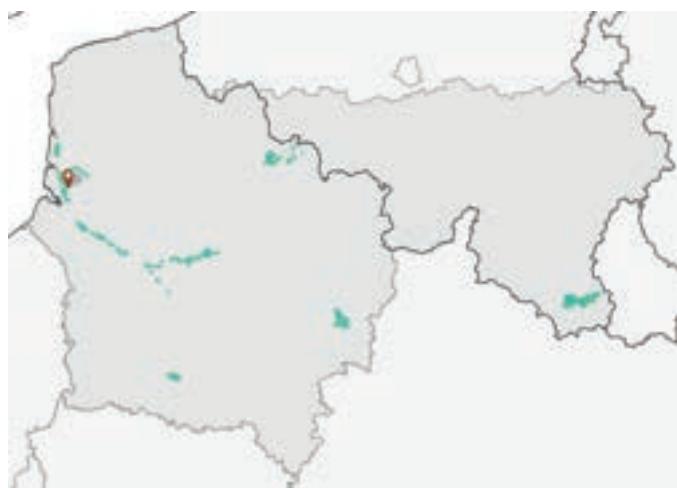
Evacuation des peupliers, plantés sur une île peu accessible par hélicoptère à Morcourt, en 2023
©R. DAUBRESSE, CEN HDF



4 Enseignements sur les travaux de restauration hydrologique

3 Cas d'étude de la mise en oeuvre des travaux de restauration de milieux tourbeux : les marais de la Maye

Autrice : Sarah LEVRAULT (Syndicat Mixte Baie de Somme - Grand Littoral Picard)



La zone de travaux traitée dans le cadre du LIFE Anthropofens « Marais de la Maye » se répartit en trois secteurs sur trois communes : Rue (secteur A), Arry (secteur B) et Bernay-en-Ponthieu (secteur C). Les principales difficultés rencontrées sont sur le secteur C, notamment avec des actions de restauration sur le réseau hydrographique.

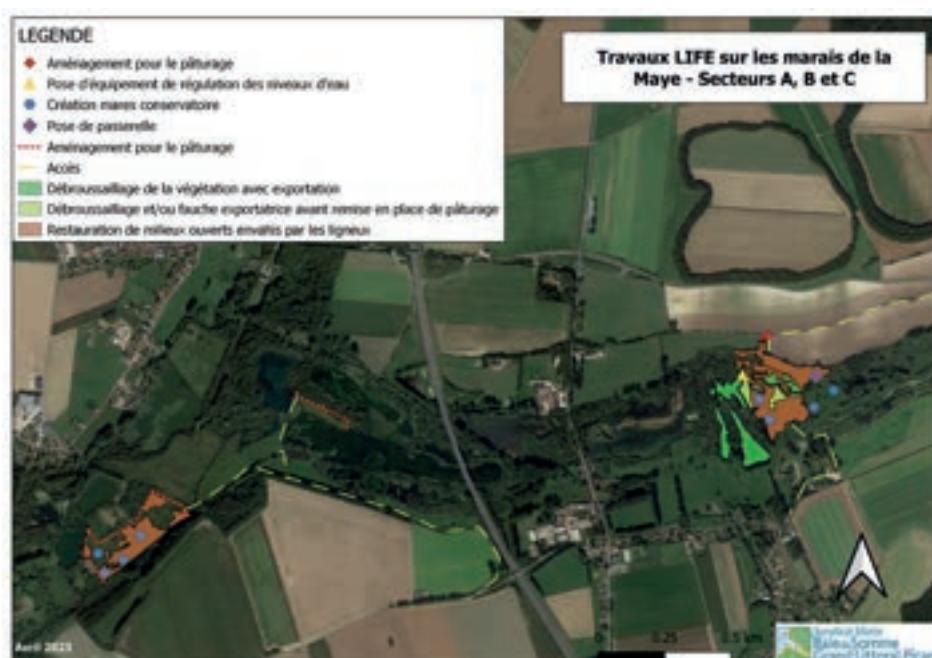
Ces actions de restauration en milieux tourbeux sont inscrites au plan de gestion du site (Blondel & Marescaux, 2011), propriété du Conservatoire du Littoral, porté par le Syndicat Mixte Baie de Somme - Grand littoral Picard et ont pour objectifs principaux de conserver, étendre et diversifier les végétations de bas-marais et les tremblants.

Les marais de la Maye forment un ensemble de marais tourbeux, s'articulant le long du fleuve côtier de la Maye, dans le département de la Somme. Le site est essentiellement composé de quelques grands étangs, de prairies humides, de roselières, de mégaphorbiaies, de boisements naturels (Saules cendrés, Aulnes glutineux, Frênes élevés), ainsi que de plantations de peupliers. Localement, quelques zones de bas-marais de grand intérêt ponctuent le site. A plus grande échelle, le site réside en réalité dans l'ancien estuaire naturel de la Maye, le long de la falaise morte (ancienne falaise naturelle avant retrait de la mer). Le territoire de la plaine maritime picarde situé à l'ouest de cette falaise a été gagné sur la mer au fil des siècles, passant de façade maritime à lagunes, puis après endiguement et assèchement, à des terres cultivées, déconnectant définitivement ces zones de marais du littoral. Plu-

sieurs marais présentent ce contexte particulier, formant ainsi le site Natura 2000 « Marais arrière-littoraux picards » reconnu pour sa richesse en biodiversité.

Localement, le site est traversé par la Maye, petit fleuve côtier de 40 km, qui prend sa source en amont à l'est des marais de la Maye (commune de Fontaine-sur-Maye) et qui se jette plusieurs kilomètres en aval, dans la Manche, au niveau de la réserve naturelle de la Baie de Somme. Ce fleuve a été déconnecté du cœur de marais afin d'exploiter l'énergie hydraulique dans des moulins (Bernay-en-Ponthieu, Rue). Le cours d'eau passe donc désormais jusqu'à presque 2m au-dessus de son lit naturel (la Rigole de la Maye à Bernay-en-Ponthieu). Ces modifications de l'hydrologie naturelle du site ont profondément bouleversé son fonctionnement, créant un phénomène d'assèchement.

La juxtaposition de milieux variés (bas-marais, prairies, roselières, boisements frais à humides et tourbeux, plans d'eau..) permet d'accueillir de nombreux taxons, ce qui confère au site une importante biodiversité. Le site présente ainsi un important intérêt pour la flore des milieux tourbeux, mais également pour la faune associée. De plus, sa situation arrière-littorale lui confère une situation stratégique, notamment pour les oiseaux migrateurs.



Historiquement, les marais ont été exploités de façon extensive : pâturage extensif, coupe de roseaux, coupe des saules. Sans ces interventions, la dynamique naturelle conduit au boisement et ainsi à l'uniformisation du milieu. Ceci aboutit inévitablement à une perte de diversité, via la perte d'une mosaïque de zones de

sol nu, de prairies, de roselières, etc.

De nombreux habitats sont ainsi à fort enjeu et nécessitent d'importants travaux de restauration. Il s'agit essentiellement d'habitats ouverts, qu'ils soient aquatiques, amphibiens ou simplement hygrophiles. Le groupe d'habitats à plus forte valeur patrimoniale actuellement sur site est celui des bas-marais alcalins.

Plusieurs zones ayant subi un boisement naturel sont ainsi à restaurer en habitats de type ouvert.

Sur ce point, les principales actions consistent en un déboisement avec essouchage ou en une fauche exportatrice. Les principales difficultés techniques de ces travaux reposent sur les accès des engins de chantiers et sur la portance des zones de travaux.

Sur le secteur C, le marais de Bernay-en-Ponthieu, les zones de travaux se situent en majorité entre deux cours d'eau : la Maye perchée, au sud, et la Rigole de la Maye en cœur de site. Les berges de la Maye sont constituées de tourbe qui a tendance à se minéraliser. Le cheminement y est donc instable et a tendance à s'effondrer par endroits, ne garantissant pas un passage sécurisé du matériel lourd. Un passage par le nord est possible, cependant le cœur de marais ne permettra pas les allers-retours nécessaires à l'exportation car peu portant. Il a donc été décidé, après négociations, d'accéder aux zones de travaux en passant chez un propriétaire privé, dont la berge a été stabilisée. Cette solution nécessite également une solution de franchissement du fleuve Maye, fournie par l'entreprise.

L'autre levier principal pour la restauration d'habitats à fort enjeu porte sur la gestion adaptée des niveaux d'eau. Une des conditions principales pour le bon fonctionnement du marais est la qualité et la présence d'une lame d'eau suffisante pendant plusieurs mois de l'année, élément nécessaire au maintien du caractère humide et tourbeux.

Des contre-courants, bien qu'assez rares sur le site, occupent l'ancien bras et la rigole de la Maye. Ces systèmes sont indispensables dans le processus de circulation et de gestion de l'eau, même si des améliorations restent à apporter, et ceux-ci semblent avoir un certain intérêt piscicole. Certains d'entre eux subissent cependant un envasement important, préjudiciable à leur fonctionnalité de connexion des systèmes de roselières et bas-marais, et complexifiant la gestion des eaux.

Les actions sur le système hydrographique et les milieux aquatiques prévues initialement dans le cadre de ce projet ont été réduites. En effet, sur ce sujet également, les solutions techniques proposées ont été minces et très coûteuses, sans parler des difficultés d'intervention, pour un résultat potentiellement peu intéressant à long terme. Le projet prévoyait le curage des vases de deux pièces d'eau ainsi que du lit de la Rigole de la Maye sur plusieurs centaines de mètres. Le désenvasement ponctuel, bien que bénéfique sur le moment du fait du retrait des matières organiques accumulées, n'aurait eu qu'un effet sur une durée limitée. Compte tenu de l'apport continu de matières fines sur le site, résultant probablement de l'érosion des sols alentours et de la dégradation de certaines couches tourbeuses, ces zones travaillées se seraient probablement ré-envasés rapidement. Le bénéfice de cette opération n'était donc, au final, pas satisfaisant au regard des coûts engendrés par cette opération.

Le projet prévoyait également la pose d'un seuil sur la Rigole de la Maye, afin de tenter de ré-humidifier une zone en amont en

améliorant la rétention de l'eau sur celle-ci. Cette partie du projet a pu être conservée, bien que l'aspect réglementaire ait présenté quelques difficultés (cf. Chapitre 5.2 du présent guide). Une fois la continuité écologique garantie, notamment pour l'anguille, grâce au réseau complexe d'annexes hydrauliques présentes sur le site, le projet de pose de seuil a pu être autorisé.

Sur ces actions de restauration de milieux aquatiques, des solutions de matériel flottant auraient pu être employées. Cependant, les contraintes de consultations des entreprises dans le cadre de commandes publiques et le temps imparti pour faire les travaux ne nous ont pas permis de trouver d'entreprise qui puisse nous proposer une intervention avec ce type de matériel, malgré nos sollicitations.

A la suite de ces premières opérations de restauration de milieux ouverts, des pistes de réflexion restent à explorer sur le site.

Concernant l'apport en eau du site, une solution plus pérenne au niveau de Bernay-en-Ponthieu consisterait à remettre le cours d'eau de la Maye dans son lit d'origine, à savoir la Rigole de la Maye. Cette solution est à l'étude dans le cadre de la restauration de la continuité écologique au moulin de Bernay-en-Ponthieu (Agence de l'eau, AMEVA).

Il est observé également à ce jour une forte eutrophisation du milieu. Une étude plus fine de l'origine de cette eutrophisation serait souhaitable (cultures alentours, cours d'eau en amont...), accompagnée d'une action auprès des agriculteurs à proximité directe du site afin de connaître leurs modes de fonctionnement, leurs besoins, et trouver ensemble des solutions plus durables pour le marais.

Sur le marais d'Arry, le contexte est plus complexe puisque la remise dans son lit naturel du fleuve de la Maye, risquerait d'entraîner des conséquences difficilement acceptables. En effet, une série de phénomènes de brèches et de surverses sur les berges de la Maye à cet endroit, nous a montré que la topographie naturelle du site avait tendance à favoriser l'écoulement des eaux dans le canal d'Artois, amenant le cours d'eau à traverser plusieurs villages à fort risque d'inondations, et finissant sa course au sud du Crotoy. Or, si la Maye venait à ne plus traverser les bas champs du Marquenterre, comme c'est le cas actuellement, cette zone agricole perdrait une source d'irrigation importante, de même que son estuaire actuel, au nord du Crotoy, qui perdirait également un apport en eau douce important. En effet, cette arrivée d'eau douce permet à cet endroit la création d'écosystèmes à forte valeur écologique. Prés-salés et vasières sont également les supports de nourriture de nombreuses espèces d'oiseaux pour lesquels cette zone d'estuaire actuel de la Maye a été classée Réserve Naturelle Nationale de la Baie de Somme.



Marais de la Maye à Arry et Rue (secteur A avant travaux)
©F. GOUDEAU

Apports pour les gestionnaires et les décisionnaires - Passer à la prise de décision et à la pratique

1 Les Projets de Territoire pour la Gestion de l'Eau et la démarche de volumes maximum prélevables

Autrice : Sarah LEVRAULT (Syndicat Mixte Baie de Somme - Grand Littoral Picard), Mathilde CASTELLI (Parc naturel régional Scarpe-Escaut)

Un Projet de Territoire de Gestion de l'Eau (PTGE) est une démarche concertée et participative, impliquant les usagers de l'eau sur un territoire dans un projet global et partagé en faveur de la préservation et la gestion durable de la ressource en eau.

« Un PTGE est une démarche reposant sur une approche globale et coconstruite de la ressource en eau sur un périmètre cohérent d'un point de vue hydrologique ou hydrogéologique. Il aboutit à un engagement de l'ensemble des usagers d'un territoire (eau potable, agriculture, industries, navigation, énergie, pêche, usages récréatifs, etc.) permettant d'atteindre, dans la durée, un équilibre entre besoins et ressources disponibles en respectant la bonne fonctionnalité des milieux aquatiques, en anticipant le changement climatique et en s'y adaptant. [...] Le PTGE doit intégrer l'enjeu de préservation de la qualité des eaux (réductions des pollutions diffuses et ponctuelles). » (source : Instruction du Gouvernement du 7 mai 2019 relative au projet de territoire pour la gestion de l'eau)

La démarche vise à travailler sur la gestion quantitative de l'eau et à définir puis mettre en œuvre un programme d'actions permettant d'atteindre et de pérenniser un équilibre entre besoins et ressources disponibles. La mise en place d'une politique locale et concertée permettra également de limiter les situations de crise sur les territoires où elles ont tendance à être de plus en plus fréquentes. Elle sécurise ainsi les usages en anticipant les difficultés et en mettant en place des décisions partagées vis-à-vis de la ressource en eau (identification des situations problématiques, définition des volumes disponibles, des volumes à réserver, à prélever...).

Elle prend en compte les intérêts humains, tout en respectant la bonne fonctionnalité des milieux naturels inféodés à la ressource en eau. Elle n'intègre d'ailleurs pas que la notion quantitative, mais aussi qualitative en intégrant l'enjeu de qualité des eaux (réductions des pollutions diffuses et ponctuelles).

Le PTGE est donc un programme d'actions pluriannuel (5 ans), validé par la Commission Locale de l'Eau et par l'Etat, élaboré suite à un diagnostic HMUC (Hydrologie, milieux, usages et climat), dont les perspectives sont :

- Assurer un équilibre entre besoins et ressources en eau,
- Atteindre une certaine sobriété dans les usages de l'eau,
- Préserver la qualité des eaux et la fonctionnalité des écosystèmes aquatiques,
- Anticiper le changement climatique et ses conséquences sur la ressource en eau, et s'y adapter.

L'état des lieux d'un PTGE ne se limite pas à une analyse HMUC qui n'en est qu'un élément (parmi des éléments plus tournés vers le développement territorial et son économie par exemple).

La définition du périmètre géographique du PTGE doit faire l'objet d'une attention particulière de la part de la structure porteuse,

dans une logique de cohérence avec l'ensemble des objectifs à atteindre sur le territoire.

Il est identifié pour cela quatre grandes étapes d'élaboration et de mise en œuvre d'un PTGE, sur un pas de temps estimé de 2 à 3 ans :

- Emergence et engagement de la démarche,
- État des lieux, diagnostic et enjeux,
- Élaboration et co-construction des scénarios et programme d'actions,
- Mise en œuvre du programme d'actions, suivi et évaluation.

Si les objectifs et les différentes étapes d'élaboration d'un PTGE sont définis par les textes (instruction du Gouvernement du 7 mai 2019), l'organisation du projet (calendrier, périmètre de l'étude, organisation des échanges entre les acteurs, modalités de concertation) et les outils utilisés restent au choix du porteur de PTGE et du comité de pilotage. Il doit nécessairement être adapté au contexte dans lequel il est mis en place tout en s'inscrivant dans la réglementation générale et la planification dans le domaine de l'eau (SDAGE et SAGE).

Contrairement au Schéma d'aménagement et de gestion de l'eau (SAGE), qui est un document de planification intégrant le «volet gestion quantitative de la ressource», le PTGE va plus loin et débouche sur un programme d'actions. Intervient ensuite un contrat avec engagement du maître d'ouvrage qui lui permet de bénéficier de financements publics en respectant certaines conditions (réalisation d'économies en eau, localisation du projet dans un secteur en tension, réalisation d'une analyse économique...). À noter que le PTGE ne vaut pas non plus d'autorisation réglementaire en lui-même.

Le PTGE est l'occasion de bâtir un véritable projet pour le territoire car il associe de façon équilibrée toutes les parties prenantes et fait confiance à l'intelligence collective pour co-construire un programme d'actions. Aucune démarche ne peut s'envisager sans mobilisation et contribution de l'ensemble des acteurs, ce qui favorise l'adhésion aux actions proposées.

La communication joue donc un rôle essentiel tout au long de la construction du projet et de son déroulement en permettant d'assurer la continuité de la participation. Elle nécessite une stratégie spécifique: périodes de communication, publics cibles, outils, supports (plaquettes, articles de presse, réseaux sociaux, sites internet des structures impliquées)...

Enfin, il est important de rappeler le rôle du portage politique dans le cadre des PTGE. En particulier, les élus des structures porteuses ont un rôle clé dans l'émergence et le maintien de la dynamique de telles démarches.

Etude HMUC : hydrologie, milieux, usages et climat

Contexte :

Le département du Nord présente un réservoir d'eau potable important. Parmi les quatre aquifères présents, l'aquifère de la craie est très sollicité pour la production d'eau potable. S'étendant sur près de 3 000 km², il constitue même l'une des principales ressources en eau de la région (alimentation de la métropole de Lille, Douai, Valenciennes...). Protégé de la pollution par des terrains argileux imperméables, ce réservoir fournit plus de 25 millions de m³ chaque année sur le territoire du Parc naturel régional Scarpe Escaut et environ 17 millions sur le territoire du SAGE Scarpe Aval (75 communes).

Depuis quelques années, les arrêtés sécheresse se succèdent. L'eau n'est plus considérée comme une ressource abondante, inépuisable. Des inégalités sont de plus en plus marquées entre les territoires.

Le changement climatique, se traduisant par des recharges de nappe moins efficaces et des périodes de sécheresse plus intenses et plus longues, est une menace importante et pourrait aggraver les situations de tensions quantitatives. Une gestion plus durable impliquant tous les usagers est un élément de réponse majeure et celle-ci implique de mieux caractériser notre ressource en eau souterraine.

Démarche :

Les études HMUC (hydrologie, milieux, usages et climat) sont des études de gestion quantitative de l'eau qui ont pour but d'évaluer la ressource en eau disponible et d'organiser sa gestion en vue

d'atteindre un équilibre entre le maintien du bon fonctionnement des milieux naturels, notamment aquatiques, et les usages anthropiques de l'eau (eau potable, industrie, agriculture). Pour cela, les quatre volets hydrologie, milieux, usages et climat sont étudiés et font ensuite l'objet d'une analyse croisée.

Moyens :

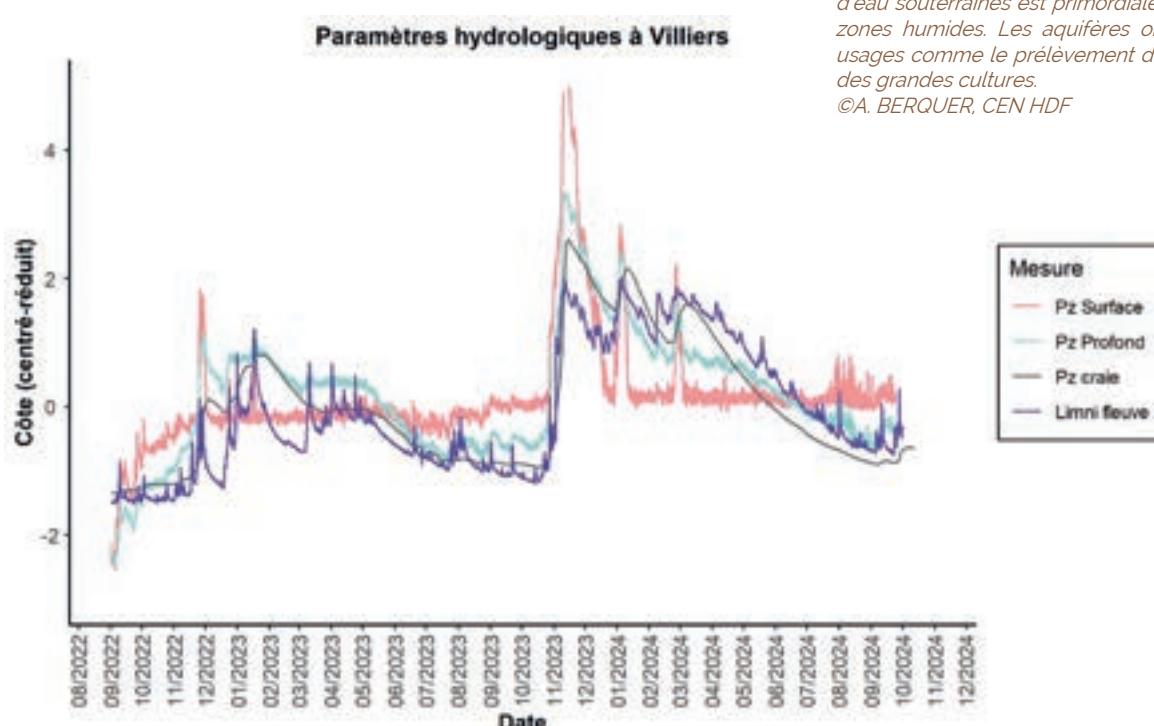
Cette étude doit être élaborée par tous les SAGEs d'Artois Picardie, à plus ou moins long terme, et est financée à 70% par l'Agence de l'Eau Artois-Picardie. Le SAGE Scarpe Aval débutera son étude en novembre 2024 pour 30 mois.

Objectifs :

Cette étude de gestion quantitative a pour objectifs de :

1. Déterminer des débits objectifs d'étiage et des volumes prélevables aux points stratégiques du bassin versant, ainsi qu'une répartition de ces volumes entre les usagers. Les valeurs proposées seront intégrées au dispositif de gestion de crise du SAGE et aux objectifs du SDAGE ;
2. Proposer un programme d'action et d'adaptation pour réduire les tensions quantitatives aux horizons moyens et long termes et l'impact des prélevements sur les milieux et la ressource en eau.

Les résultats devront permettre d'améliorer les connaissances concernant les usages de l'eau et leur impact sur la ressource en eau superficielle et souterraine. C'est également l'occasion d'identifier les lacunes de connaissances concernant le suivi hydrométrique et piézométrique ou encore identifier les prélevements et rejets ayant lieu sur le territoire.



La représentation des différentes masses d'eau et l'étude de leurs corrélations montrent que la surveillance des masses d'eau souterraines est primordiale pour la conservation des zones humides. Les aquifères ont en effet de nombreux usages comme le prélevement d'eau potable ou l'irrigation des grandes cultures.

©A. BERQUER, CEN HDF

5 Apports pour les gestionnaires et les décisionnaires - Passer à la prise de décision et à la pratique

2 Problèmes liés à la réglementation - Instruction des dossiers Loi sur l'Eau

Auteurs : Sarah LEVRAULT (Syndicat Mixte Baie de Somme - Grand Littoral Picard), Raoul DAUBRESSE, Matthieu JAMES (Conservatoire d'espaces naturels des Hauts-de-France)

En France, l'ensemble des travaux en zone humide, y compris les travaux de restauration écologique, dépendent de la réglementation liée à la préservation de l'environnement. Cette réglementation est consignée dans le Code de l'environnement, notamment les articles R. 214-1 et suivants, en application des articles L. 214-1 à L. 214-6 du même Code, aussi appelés "Loi sur l'eau". Cette réglementation impose des seuils sur les actions réalisées tels que des linéaires maximum pour la modification de lit sur les cours d'eau, ou des surfaces maximum pour la création de plans d'eau, ou encore le remblai en zone humide, les faisant alors passer sous régime de déclaration ou d'autorisation par les services de l'Etat, selon le projet.

Si cette réglementation a pour premier objectif de limiter la dégradation des écosystèmes aquatiques et humides, elle s'applique aussi sur les travaux de restauration écologique, quand bien même ils répondent aux objectifs des différentes stratégies de l'Etat et de ses établissements publics (Natura 2000, SDAGE, etc.).

Ces projets de restauration regroupent des actions combinées, réfléchies sur un fonctionnement éco-hydrologique global (neutralisation de fossés de drainage, décapage, pose d'ouvrage de gestion des niveaux d'eau...), liées entre elles, et qui peuvent être soumises chacune à une rubrique différente, qui, selon le mode d'instruction, peuvent aussi être traitées indépendamment. Ce fonctionnement a pour conséquence de complexifier grandement les projets et peut limiter l'action des structures porteuses car ces démarches peuvent donc être lourdes et parfois coûteuses, mais aussi parce que la non réalisation d'une de ces actions (refus des services de l'Etat, seuil d'Autorisation) peut remettre en question la cohérence globale d'un projet.

En 2020, une nouvelle rubrique (3.3.5.0) est apparue dans la Loi sur l'eau, permettant de faciliter le travail des gestionnaires de milieux naturels et les actions en faveur d'une amélioration écologique, en créant une catégorie d'actions qui ne seraient soumises qu'à Déclaration au lieu d'une éventuelle Autorisation au titre des autres rubriques.

Cependant, malgré cette amélioration notable pour de nombreuses actions de restauration, la Loi sur l'eau reste un texte de loi principalement orienté sur la santé des milieux aquatiques à travers la notion de cours d'eau.

Ce cours d'eau n'est pourtant pas un système clos et communiqué largement avec les zones humides, dans notre cas les zones tourbeuses. Cependant, elles ne sont pas de simples annexes hydrauliques, il est donc nécessaire de les considérer comme un écosystème global et non comme deux éléments indépendants l'un de l'autre. De plus, il est aujourd'hui largement reconnu que les zones humides sont un élément essentiel pour la santé des cours d'eau et donc pour les écosystèmes aquatiques.

Il est nécessaire que la réglementation définisse clairement les différents éléments du cours d'eau (cours d'eau, fossé, lit mineur, lit majeur, débit minimum...). Mais comment interpréter ces notions au sein d'une tourbière ou d'un marais ? Un écoulement superficiel qui draine une zone humide doit-il être considéré en tant que cours d'eau ?

De nombreux cas ont montré qu'au sein des tourbières ces écoulements superficiels sont en réalité des aménagements hydrauliques créés afin de drainer les tourbières pour en faciliter leur exploitation, et ce, parfois, dès le Moyen Âge.

Devons-nous privilégier la libre circulation au prix de la santé de la zone humide, dont la dégradation est irréversible pour des tourbes qui ont pu mettre des milliers d'années à se former et qui peuvent être dégradées en quelques années ?

Sans délaisser les milieux aquatiques, il est important que les services instructeurs considèrent l'ensemble des enjeux écologiques et puissent hiérarchiser ces enjeux sans se baser uniquement sur une lecture textuelle s'appuyant principalement sur la sauvegarde de l'élément «cours d'eau», surtout quand les opérations contribuent directement à l'atteinte des objectifs des différentes politiques publiques en matière, d'eau, d'environnement, de carbone, etc.

Cette prise en compte globale des enjeux écologiques intervient principalement au moment de l'instruction des dossiers. On peut alors observer une différence dans l'interprétation des textes et dans la priorisation des enjeux selon les services (départements) ou encore selon les instructeurs qui étudient le projet. La prise en compte de la fonctionnalité des zones humides est un concept plus récent que celle des cours d'eau, et à ce sujet les textes ont lentement évolué vers une meilleure représentation. Cependant, les compétences des services instructeurs restent largement plus développées sur les milieux aquatiques que sur les milieux humides, ce qui peut expliquer une différence de prise en compte au moment de l'étude d'un projet.

Une meilleure formation aux fonctionnement et enjeux des zones tourbeuses pourrait être une solution pour une meilleure prise en compte par les services de l'Etat de l'importance de leurs fonctionnalités et des paramètres à prioriser pour les maintenir.

C'est donc d'un regard pragmatique qu'il est question, au regard des enjeux et politiques publiques auxquelles les structures sont confrontées lors de la mise en œuvre d'actions de restauration. Ces actions ont pour objectif d'améliorer ou rétablir une situation dégradée anciennement par une action humaine, à travers une gestion inadaptée des milieux naturels à l'égard des enjeux de biodiversité.

Illustration des difficultés rencontrées

Cas de la rubrique 3.1.1.0 (1) : Dans certains cas, un "cours d'eau" est naturel en tourbières, comme les tourbières fluviogènes composés d'un vrai lit mineur, cependant la plupart du temps, il s'agit d'un écoulement superficiel canalisé par une action anthropique, puis classé cours d'eau. Or ces aménagements hy-

drauliques ont pour objectif de drainer les milieux tourbeux en siphonnant la tourbière, accentuant le problème d'assèchement. Dans les deux cas, il est donc essentiel d'évaluer en priorité l'effet drainant de l'objet en question.

Une part du problème serait donc le classement de ces objets en cours d'eau qui serait parfois inadapté, par manque de connaissances (archives) ou de compétences techniques ou scientifiques (détermination de la nature de la tourbière, des écoulements), par les services en charge. Une sensibilisation des services compétents (DDTM, OFB) sur ce sujet précis pourrait être une solution avant une nouvelle session de classement, en associant les experts scientifiques.

Donc la rubrique 3.1.1.0 peut empêcher une opération de restauration du bon fonctionnement hydrologique de la tourbière, qui se tiendrait sur un cours d'eau drainant.

Bien entendu, remédier à la fuite de l'eau par ces drains ne doit pas empêcher la circulation des espèces aquatiques patrimoniales qui pourraient trouver un écosystème favorable à leur bon développement au sein de la tourbière. Les ouvrages seraient alors adaptés en conséquence. Dans certains cas, deux enjeux forts peuvent entrer en conflit, quand par exemple deux espèces patrimoniales bénéficient d'un stade de transition de l'écosystème d'un site, mais l'action de protection de la première va à l'encontre de la seconde. Dans cette situation il est donc important d'évaluer les priorités du site en se référant aux documents de gestion (cf. gestionnaires des sites) afin d'arbitrer.

Dans le cas de la rubrique 3.2.2.0, une action type neutralisation de fossé de drainage peut être considérée comme du remblaiement d'un espace naturel aquatique alors qu'elle est proposée comme de la réparation d'un milieu humide. De plus, le but de l'opération est la restauration d'habitats d'intérêt communautaire (HIC) sur une plus grande surface que le fossé drainant (ce dernier ayant un impact plus grand que sa seule surface). Le remblaiement cause, certes, un impact sur le linéaire de fossé (milieu aquatique) mais les bénéfices sont supérieurs à l'impact de la destruction locale (en termes d'habitats, d'espèces et de carbone).

En effet, la formation du fossé va percoler les eaux de la tourbière à proximité immédiate sur l'ensemble de son linéaire, entraînant un gradient latéral d'humidité de la tourbe, sur plusieurs mètres autour de l'emprise du fossé, dont la qualité, et donc la fonctionnalité, va diminuer en s'approchant du fossé. La solution de pose de batardeau est donc une forme minimum, mais pas optimum pour réellement neutraliser l'effet drainant. De plus, on peut se demander si ces ouvrages ne sont pas plus coûteux que la solution de comblement, qui, à court comme à long terme n'aura besoin d'aucun entretien.

Cas de la rubrique 3.3.1.0 : Cette rubrique soulève le problème de la modification de l'écosystème en place par une "mise en eau" de la zone. En tourbière la nappe est affleurante, ce qui induit naturellement la présence d'une lame d'eau en période hivernale. Pour la restauration et le maintien de plusieurs habitats cibles du LIFE Anthropofens (7210, 7140 et 7230), il est nécessaire d'obtenir un engorgement du sol en surface ou subsurface (5 à 10 cm) et non un ennoiement. Les travaux de restauration du fonctionnement hydrologique de la tourbière, dans le contexte géographique dans lequel se tiennent les projets du LIFE Anthropofens, ne visent donc jamais à une mise en eau, ils visent des habitats

terrestres, et non aquatiques. Il est important de rappeler également qu'au sens de la réglementation, on considère comme "mise en eau" d'une zone humide, la submersion par une hauteur d'eau d'au moins 30 cm sur une durée continue de plusieurs mois (circulaire du 24/12/1999).

Le but des travaux d'étrépage est bien d'abaisser le niveau topographique d'une zone afin de retrouver une nappe affleurante tout en retirant le niveau supérieur de tourbe dégradée, riche en nutriments et peu favorable à la restauration d'habitats turfiègnes.

La rubrique 3.3.5.0 a pour objectif de faciliter les démarches réglementaires pour des opérations ayant uniquement pour objet la restauration des fonctionnalités naturelles des milieux aquatiques dont la restauration de zones humides ou de marais, en faisant passer en Déclaration des opérations potentiellement soumises à Autorisation au titre des autres rubriques. Toutefois, il pourrait exister un effet pervers dans la mesure où des opérations soumises ni à Déclaration ni à Autorisation avant, le deviennent au titre de cette nouvelle rubrique.

Conclusion

Il semble que la loi sur l'eau dans son état actuel, prenne peu en considération la fonctionnalité des milieux humides et en particulier des milieux tourbeux. En ce qui concerne les écoulements de surface (cours d'eau, fossés...), les textes se concentrent surtout sur l'existence de l'objet, mais peu sur son effet et sur son origine. Il revient donc à l'instruction de pondérer cet effet. Actuellement, il est constaté une grande inégalité dans la prise en compte de l'enjeu "tourbière" entre les différents services instructeurs, la plupart du temps par manque de connaissance et de compétence sur le sujet, celles-ci s'étant développées assez récemment comparé à l'enjeu "cours d'eau" par exemple. Cependant, aujourd'hui, il est largement admis par le corps scientifique que les services écosystémiques fournis par les zones humides, et notamment les tourbières, sont d'une importance majeure tant localement qu'à une échelle plus globale. Il est temps que cette notion trouve également sa place au sein de nos institutions.

Présentation des dossiers :

- rappel des objectifs et la contribution aux politiques publiques
- analyse du système hydrologique : localisation du réseau (fossés, cours d'eau, écoulements, zone de sources, sens d'écoulement, etc.) avant et après travaux
- analyse de la topographie et correspondance avec les opérations de gestion des niveaux d'eau (création d'ouvrage de gestion des niveaux d'eau, neutralisation de fossé de drainage, décapage/étrépage, reprofilage de berge, etc.). Bien montrer les cotes cibles par rapport à la topographie des lieux avant et après travaux. Cela permet aussi de vérifier les aspects d'inondations
- indiquer les suivis (des niveaux d'eau en particulier) et les modes de gestion (des ouvrages de gestion des niveaux d'eau surtout).



Article R214-1 - Code de l'environnement

5 Apports pour les gestionnaires et les décisionnaires - Passer à la prise de décision et à la pratique

3 Atelier "Eau, rivière, tourbière"

Autrice : Sarah LEVRAULT (Syndicat Mixte Baie de Somme - Grand Littoral Picard)

Le 11 septembre 2024 s'est tenu l'atelier "Eau, Rivière, Tourbière", à Boves, organisé par le Conservatoire d'espaces naturels des Hauts-de-France (CEN), coordinateur du LIFE Anthropofens, en présence du Groupe d'étude des tourbières (GET). Cet événement a été l'occasion d'échanger entre gestionnaires et scientifiques du LIFE Anthropofens sur une thématique spécifique mais commune à l'ensemble des participants, et de bénéficier du regard de plusieurs spécialités et de la grande expérience des membres du GET qui sont venus nourrir les échanges.

Durant une matinée, plusieurs intervenants ont pris la parole afin de présenter des études menées dans les Hauts-de-France, dans le cadre du LIFE Anthropofens, avec des contextes de travaux différents sur leurs territoires et proposant par la suite une série de questions ou problématiques ouvertes au débat.

Pour commencer, Décultot et al. (2024) ont présenté la méthodologie d'évaluation des services écosystémiques employée dans le cadre du projet, permettant de mesurer l'amélioration des conditions écologiques à travers les travaux de restauration portés par le LIFE Anthropofens (cf. Chapitre 2.1). Cette étude propose une grille d'évaluation spécifique aux travaux en tourbières, à partir d'une méthodologie déjà testée sur plusieurs territoires impliqués dans le projet. La méthodologie montre un enrichissement des services écosystémiques avec la restauration d'une mosaïque d'habitats. En questionnant la plus-value apportée par ce type d'évaluation aux gestionnaires d'espaces naturels, elle montre que les services écosystémiques permettent de mettre en lumière une amélioration post-restauration aux regards de publics non avertis et d'orienter les choix de gestion d'un site. L'étude de ces services permet également d'appréhender les bénéfices indirects de la conservation de milieux naturels.

Adrien Berquer et Albane Pencoat-Jones du CEN HDF présentent en salle.
©N. LE BOURSICOT, FCEN.



Les membres du Groupe d'étude des tourbières analysent un sondage de tourbe.
©N. LE BOURSICOT, FCEN.



Par la suite, plusieurs intervenants du CEN, du SMBS-GLP (Syndicat Mixte Baie de Somme - Grand Littoral Picard), du SMOA (Syndicat Mixte Oise-Aronde), et du Conservatoire Botanique National de Bailleul (CBNBL) ont présenté différents sites et contextes de travaux portés dans le cadre du LIFE. Plusieurs réactions positives ont accueilli ces présentations, qui confirment la tendance à une analyse globale des sites tourbeux, c'est-à-dire une étude du fonctionnement hydrologique du site, du sol, des habitats en surface, mais aussi du contexte entourant le site, à l'échelle du bassin versant. Il est important de rappeler que la situation écologique actuelle des sites sur le territoire national ne va que vers une dégradation via les usages anthropiques importants et modifiant le fonctionnement, la quantité et la qualité de l'eau disponible à l'échelle des bassins versants. Ainsi il est rappelé l'importance d'agir à cette échelle, qui dépasse l'emprise des sites, car l'influence du contexte adjacent est considérable sur les enjeux écologiques des sites et doit donc être prise en compte dans la gestion des sites.

Ces cas d'étude confirment également que la charnière se situe essentiellement sur la qualité des eaux de nos sites et surtout des nappes phréatiques qui les alimentent (Berquer et al., 2024). On constate alors l'intérêt des études hydrologiques notamment pour identifier le fonctionnement éco-hydrologique des sites, la relation avec les eaux souterraines et les sources de pollution ou de dégradation trophique (Pencoat-Jones & Berquer, 2024). On observe également une amélioration dans les échanges avec le

monde agricole, notamment une meilleure considération autour de la gestion de la ressource en eau. Dans la Somme, les réunions de crise lors de phénomènes de sécheresse ont permis d'instaurer un nouvel indicateur "tourbières", dont les données piézométriques récoltées, sont utilisées, afin de surveiller et prévenir les épisodes de déchargement de nappes et de sécheresse susceptibles d'être critiques pour les cours d'eau (Dromard et al. 2024).

Dromard et al. (2024) mettent également en lumière la question de l'hétérogénéité des interprétations des habitats d'intérêt communautaire à échelle européenne, ayant une répercussion sur les choix réalisés sur nos sites, vis à vis des objectifs de restauration, notamment en termes d'habitats. Par exemple, en France, nous analysons des habitats via une approche phytosociologique mais nous répondons au titre de Natura 2000 à des directives basées sur des habitats d'intérêt communautaire. A ce sujet, les politiques publiques devraient bientôt évoluer vers de nouvelles exigences dans l'amélioration de l'état de conservation des milieux naturels en finançant également la restauration d'habitats d'espèces d'intérêt communautaire, ce qui pourra permettre de débloquer des subventions plus facilement dans les cas de rattachements ou de caractérisations délicates des habitats en place.

Enfin la question de la réglementation appliquée à la restauration écologique des tourbières a été abordée par le SMBS-GLP avec plusieurs exemples d'opérations de restauration lors de certains chantiers du LIFE Anthropofens. En effet la lecture des textes de loi pose parfois des questions d'interprétation ayant une influence sur l'instruction des dossiers réglementaires (Levrault, 2024). Plusieurs participants ont partagé des exemples ou des

questionnements similaires ailleurs en France. Un constat commun est fait sur la différence d'interprétations des dossiers réglementaires et donc une divergence dans les instructions d'une personne ou d'une institution à une autre, avec une tendance à prioriser les enjeux "milieux aquatiques"/"cours d'eau". Une hypothèse proposée est le manque de connaissance de ces services instructeurs sur les enjeux liés aux tourbières. Le LIFE est donc l'occasion d'ouvrir le dialogue avec les différentes institutions afin d'améliorer la formation des techniciens au sujet des systèmes tourbeux et leurs originalités.



Accédez à la liste des interventions et des enregistrements vidéos



5 Apports pour les gestionnaires et les décisionnaires - Passer à la prise de décision et à la pratique

4 Les voyages d'étude : du partage et des retours d'expérience indispensables

Auteurs : Sarah LEVRAULT¹, Peter DURAN², Adrien BERQUER³

¹ Syndicat Mixte Baie de Somme - Grand Littoral Picard

² Fédération des Conservatoires d'espaces naturels

³ Conservatoire d'espaces naturels des Hauts-de-France

La restauration des tourbières du Jura

Ce voyage dans les tourbières du Jura a été organisé afin de faire largement partager les expériences issues du projet LIFE Tourbières du Jura, coordonné par le Conservatoire d'espaces naturels de Franche-Comté et mené par les partenaires répertoriés ci-dessous. La tournée était organisée par le Pôle-relais tourbières (FCEN) d'une part pour des participants au projet LIFE Anthropofens, consacré à la restauration de tourbières alcalines du nord de la France et de Wallonie, d'autre part pour des participants à la coordination du projet "Tourbières du Massif Central", avec respectivement 15 et 7 participants.

Bénéficiaire coordinateur : CEN Franche-Comté

Bénéficiaires associés : EPAGE Haut-Doubs Haute-Loue, Parc naturel régional du Haut-Jura, les Amis de la Réserve Naturelle du Lac de Remoray, Syndicat Mixte Doubs-Dessoubre (devenu EPAGE en 2022)

Financeurs : L'Union européenne (programmes LIFE, FEDER), l'Agence de l'Eau Rhône - Méditerranée - Corse, la Région Bourgogne Franche-Comté, le Département du Doubs (25) et le Département du Jura (39)

L'objectif du projet LIFE Tourbières du Jura est la réhabilitation du fonctionnement d'un nombre important de tourbières du massif franc-comtois. Au total, 60 sites ont pu en bénéficier, soit 600 ha d'habitats restaurés, pour une amélioration notable de 35% des surfaces tourbeuses du territoire du Doubs et du Jura. Ces deux journées de découverte ont commencé par une présentation du contexte et du programme en salle par le CEN Franche-Comté, et se sont poursuivies par des visites de terrains sur différentes zones de travaux durant les deux journées.

Le CEN Franche-Comté présente la tourbière du Lac des Rouges-Truites
©F. MULLER, FCEN

La première journée de visite a porté sur la partie Jura, principalement avec des travaux de reméandrage de cours d'eau (Lac des Rouges-Truites, tourbière du Bugnon, 2014 - Tourbière des Douillons, 2015 à 2018 - la Lemme dans la tourbière du Châtelet, 2012). Les présentations ont été réalisées par Pierre Durlet, du PNR du Haut-Jura, qui a suivi les travaux. Ce projet LIFE a permis au total la réhabilitation de 12 km de cours d'eau par technique de reméandrage, soit en réactivant l'ancien lit du cours d'eau canalisé, soit en créant un nouveau adapté au régime du cours d'eau. Cette action a permis de restaurer les échanges avec la nappe et les habitats humides à proximité, et de supprimer l'effet de drainage instauré par le cours d'eau anciennement rectiligne.

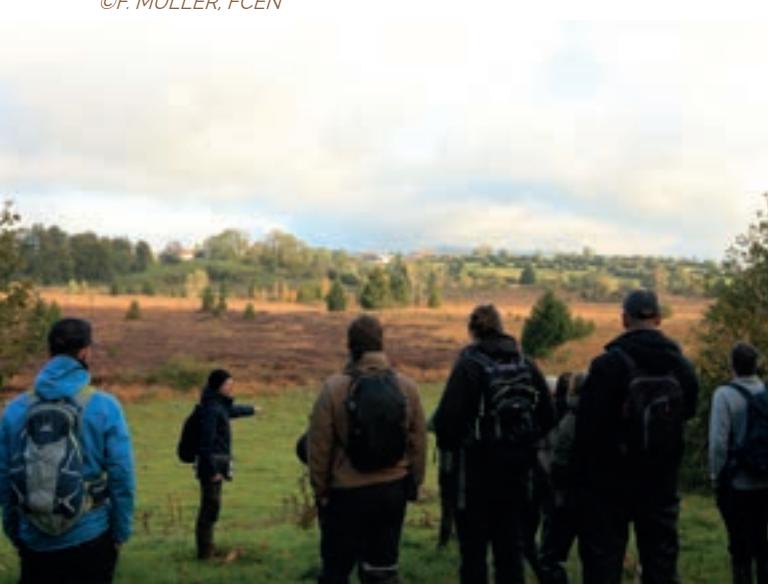
Notre seconde journée nous a mené côté Doubs avec des travaux de reméandrage du Drugeon sur le marais du Varot, à Bouverans, de neutralisation de drains sur la tourbière de Champs Guidevaux à Bannans et la tourbière du Frambourg à la Cluse. Les chantiers, en cours, nous ont été présentés par Jean-Noël Resch, hydrobiologiste et Geneviève Magon, chargée de mission de l'EPAGE Haut-Doubs Haute-Loue ainsi que Damien Vendé, responsable de l'entreprise Jura Natura Service intervenant sur plusieurs chantiers du programme.

La lutte contre le drainage fait partie des actions phare du LIFE Tourbières du Jura, avec 16 km de fossés neutralisés au total sur l'ensemble des sites, allant entre 50cm et 4m de profondeur. Le drainage des zones tourbeuses affecte significativement les habitats et les espèces d'intérêt communautaire. La solution technique proposée, un colmatage par de la tourbe prélevée à proximité, permet l'annulation de son effet drainant et une remontée du niveau de saturation hydrique autour de l'ancien drain. Une attention particulière est apportée aux matériaux qui servent au colmatage. En cas d'incapacité à colmater l'ensemble du fossé, la création de plusieurs barrages le long du fossé, recouverts de tourbe peut être une alternative.

La remontée de la nappe phréatique a permis le retour de communautés végétales turfogènes et une amélioration de l'état de conservation des habitats et espèces d'intérêt communautaire.

Les deux autres principales actions menées sur les sites concernent la réouverture de milieux (51 ha de résineux plantés ont été abattus), permettant de limiter le phénomène d'assèchement, et la restauration de fosses d'extraction. Cette dernière action a pour but de recréer des conditions favorables à l'installation de communautés végétales productrices de tourbe (sphagnes), dans ces espaces ayant subi un assèchement suite à l'exploitation par l'Homme. Un comblement total étant souvent inenvisageable, la solution proposée est de retenir l'eau par des barrages, complétée éventuellement par des décapages avant remise en eau.

Le recueil d'expériences du LIFE Tourbières du Jura est disponible sur leur site internet (<http://www.life-tourbières-jura.fr>)



Activités scientifiques, restauration et usages des tourbières de Poméranie

Un deuxième voyage d'étude a amené les partenaires français et belges du LIFE Anthropofens dans les tourbières alcalines de Poméranie. 26 collaborateurs de 6 structures partenaires du LIFE ont pu participer (CBN Bailleul, CEN HDF, FCEN (Pôle-relais tourbières), Natagora, PNR Scarpe-Escaut, et SMBS-GLP).

Sur cinq jours d'étude, les trois premiers étaient consacrés aux environs de Greifswald, dans le Nord de l'Allemagne où nous avons été accueillis par l'Université de Greifswald et la Fondation Succow (gestionnaire de la plupart des sites visités) et les deux jours suivants en Pologne, accompagnés par le Klub Przyrodniów, une association naturaliste nationale comportant des chercheurs scientifiques.

L'objectif du voyage était de visiter un certain nombre de sites se rapprochant de ceux du LIFE Anthropofens en termes de contextes géographique et écologique, et d'échanger avec les personnes référentes sur les expériences obtenues lors des actions de restauration (avec parfois 20 ans de recul) ou d'études scientifiques.

La première journée a commencé avec une présentation en salle des actions du Greifswald Moor Centrum (GMC, un organisme allemand de plus de 100 experts sur les tourbières positionné à l'interface de la recherche scientifique, la gestion, et la politique publique, à échelle mondiale) et de l'un de ses partenaires principaux, la Fondation Succow, qui finance et administre des projets de restauration à diverses échelles. Le GMC administre, entre autres, le Global Peatland Database, une base mondiale de données sur les tourbières.



*L'agriculteur Aldert van Weeren présente sa culture de Massette (*Typha*)*
©P. DURAN, FCEN

Nous nous sommes ensuite rendus dans une tourbière où la Massette (*Typha*) est exploitée. L'agriculteur nous a expliqué l'intérêt de la paludiculture, la valorisation agricole des sols tourbeux réhumidifiés, avec des cultures adaptées (ici la Massette) à l'engorgement. Il a présenté plusieurs produits dérivés des fibres de *Typha*, ainsi que les initiatives en cours pour rendre les filières de produits provenant de la paludiculture plus économiquement viables. Ce type d'agriculture propose une exploitation durable de la tourbière, qui permettrait de revaloriser cet espace au point de vue économique.



*Produits divers fabriqués à base de Massette (*Typha*) et de Roseau (*Phragmites*)*
©P. DURAN, FCEN

Lors de la deuxième journée, deux sites ont été visités. Le matin, nous avons découvert une tourbière assez originale en contexte littoral, alimentée par les marées, avec une végétation typiquement estuarienne. Le site, situé à Groß-Karrendorf a été renaturé dans les années 90 par le démantèlement d'une digue pour renaturer la dynamique hydrologique. La gestion actuelle consiste à définir les modalités de pâturage favorisant la turfi-génèse, avec des résultats prometteurs. La visite de l'après-midi a porté sur une tourbière fluviale de la vallée du Trebel. Ce site, très dégradé en raison des drainages historiques, a été réhumidifié dans les années 90 et est suivi depuis plusieurs années par les Universités de Greifswald et de Rostock. Les résultats de la remise en eau sont prometteurs après 20 ans, au moins pour l'enjeu carbone : on observe une couche de litière organique de 12 centimètres que les chercheurs appellent de la « proto-tourbe ». En revanche, la végétation dominante est celle de la roselière et grande caricaie et il n'y a pas de gestion courante.

Pour la troisième journée, les participants ont visité la vallée de la Peene, une vallée (comme celle de la Somme) avec un historique d'extraction de tourbe. La tourbière visitée est protégée et sous gestion conservatoire avec une fauche toutes les 2 à 3 années, mais n'a pas subi de travaux de restauration hydraulique, en raison de financement insuffisant, et le niveau de la nappe est, à ce jour, assez profond. L'après-midi, le groupe est revenu en vallée du Trebel et a visité une tourbière de pente qui a fait l'objet d'une restauration hydraulique en 2018 par comblement des fossés avec de la tourbe locale. Cette action a été rendue compliquée par la pente, les agriculteurs locaux, qui s'opposent aux comblements de drain, et les castors, qui ont réussi à décolmater ce bouchon. Le site est suivi surtout par des piézomètres manuels, et certains secteurs sont fauchés deux fois par an.



Un secteur tourbeux de la vallée du Trebel
©P. DURAN, FCEN



L'association naturaliste polonaise Klub Przyrodników présente le site de Mechowisko Radośc
©P. DURAN, FCEN

La quatrième journée a eu lieu à la vallée de Rurzyca, en Pologne, où les participants ont visité trois sites classés en réserve naturelle et suivis par l'association naturaliste Klub Przyrodników. Ces trois sites ont fait l'objet d'un pâturage dans le passé, combiné au drainage de certains secteurs, suivi d'un abandon des pratiques, ce qui a favorisé le développement des ligneux. Les restaurations hydrauliques dans ce secteur n'ont pas été suffisantes pour maintenir des niveaux d'eau permettant la mise en place d'une végétation oligo-mésotrophe. Une gestion courante vise à favoriser l'habitat 7230 (bas marais alcalins) par fauche et suppression de ligneux. Le troisième site est particulièrement intéressant hydrologiquement, comprenant une tourbière « de percolation » qui alimente un tremblant sur les bords d'une rivière ; C'est cette dernière qui détermine le niveau d'eau du tremblant sans pour autant alimenter la tourbe en eau.

La cinquième journée fut la visite aux réserves de Mechowisko Radośc et de Bagno Stawek, dont le premier est un site exceptionnel en si bon état de conservation qu'aucune gestion courante n'est nécessaire. Il s'agit d'une tourbière active, oligotrophe, accueillant des habitats du LIFE Anthropofens dont les Habitats d'Intérêt Communautaire 7140 (tourbière de transition) et 7230 (bas marais alcalin), ce dernier présentant la particularité des faciès d'ombrotrophisation (des bombements de sphagnes et d'autres espèces acidiphiles) et appelé par les gestionnaires « **mixed mire** », ou tourbière mixte : un bas-marais alcalin à la base avec des éléments de haut-marais acide.

Le groupe admire les espèces végétales à Mechowisko Radośc
©P. DURAN, FCEN



Pour récapituler : les participants du LIFE ont pu observer plusieurs sites (assez similaires à ceux des Hauts-de-France ou de la Wallonie) sur un « gradient » de dégradation :

- d'un côté du gradient, les sites assez dégradés en raison du drainage historique, comme dans la vallée du Trebel ;
- au milieu, des sites assez dégradés mais présentant un patrimoine naturel remarquable, comme vu à la vallée de la Peene ;
- quelques sites légèrement dégradés comme ceux de la vallée de Rurzyca ;
- et de l'autre extrême, des sites en très bon état de conservation comme Mechowisko Radośc.

Retour d'expérience : Gaume

Le troisième voyage d'étude (mai 2023) du projet LIFE Anthropofens s'est déroulé en Gaume, dans la vallée de la Haute-Semois (Province de Luxembourg, Belgique), principalement sur les sites gérés par Natagora après une première journée à Zaventem (Bruxelles) dans un contexte très urbanisé de tourbière gérée par Natuurpunt. L'objectif de ce voyage était d'améliorer le partage d'expérience sur la gestion et de la restauration de tourbières selon des approches transfrontalières différentes.

Alors que les partenaires français du LIFE Anthropofens ont recours beaucoup plus systématiquement à des entreprises en prestation pour effectuer les travaux d'entretien des sites, comme de restauration, Natagora effectue une majorité de ses actions en régie. Le système de subventions et de trésorerie des partenaires français rend plus facile d'engager des financements pour des prestations que de financer du temps de travail en interne.

Chez Natagora, principale association de protection des sites naturels de Wallonie, l'assise citoyenne, grâce à un nombre important d'adhérents (30 000 en 2023 ; Natagora, 2023), permet d'engager beaucoup plus de moyens en interne et d'investir plus facilement dans du temps de travail et de l'équipement.

Ainsi les différents projets LIFE auxquels participe Natagora (Anthropofens, Vallées Atlantiques, Herbages, Connexions) ont permis d'acquérir du matériel adapté. Ce matériel est utilisable directement dans la gestion de site et sur le long terme, ce qui permet un gain de temps considérable (absence de la procédure de rédaction de marché, appel et analyse d'offres). Ce temps est alors utilisé concrètement au travail sur site, avec les avantages d'une souplesse dans le calendrier de travaux. Le matériel, adapté à la conservation des végétations sur sites, est constamment à disposition de l'équipe. Les projets LIFE auxquels Natagora a participé ont tous fait l'objet d'actions sur des milieux ouverts, comme des prairies, tourbières ou marais, et du matériel acquis pour atteindre les objectifs d'un projet LIFE peut servir à atteindre les objectifs d'un projet suivant.

Natagora dispose en effet à Fratin (commune d'Etalle) d'une flotte de véhicules dont plusieurs tracteurs adaptés pour la fauche exportatrice en zone humide, mais aussi d'une bergerie avec un cheptel ovin. Stationnés dans la vallée de la Semois, les engins peuvent être utilisés localement pour faucher les espaces naturels du projet LIFE Anthropofens de la Haute-Semois.

Nous avons pu visiter différents sites de tourbières alcalines gérés par Natagora : bas marais et tremblants à Heinsch et Sampong, et des Molinion à Chiny. Tous ces sites, fauchés, permettent une bonne expression de la végétation de ces milieux. En effet, en ayant cette maîtrise de la gestion avec des engins adaptés, le résultat sur la végétation est spectaculairement différent de la gestion par les partenaires français où le pâturage est encore très systématisé et donne des résultats contrastés (Guide «Faire pâturer les tourbières alcalines : entre gestion conservatoire et impacts»). Pourtant, tous ces sites ont en commun les mêmes facteurs de pression qu'en France : enrichissement trophique par des réseaux d'assainissement non conforme, drainage de nombreux espaces tourbeux, pompages limitant les apports de nappe... La disposition d'engins de fauche adaptés permet donc un travail sur site en permettant l'exportation de nutriments (fauche exportatrice systématique) malgré l'engorgement permanent des sites post-restauration hydrologique.



Le groupe décrivant un prélèvement de tourbe.
©R. DAUBRESSE, CEN HDF

Marais de Fouches
©R. DAUBRESSE, CEN HDF



6 Et ailleurs ? Des perspectives

Auteur : Peter DURAN (Fédération des conservatoires d'espaces naturels)

La gestion de l'eau et la restauration hydraulique des milieux tourbeux sont réalisées à des fins diverses. Bien que le moyen de conserver les tourbières soit de stabiliser un niveau approprié de la nappe (dans un contexte où le niveau et/ou la stabilité de la nappe a été modifié surtout par des actions anthropiques), les fonctionnements locaux peuvent varier énormément d'un site à l'autre, et, en conséquence, les enjeux, les objectifs des actions ainsi que les méthodes choisies, les conséquences, et les devenirs de ces actions.

L'enjeu principal du projet LIFE Anthropofens est la conservation des habitats de tourbières alcalines (notamment les HIC 6410, 7140, 7210*, 7230, 91Do*, et 91Eo*), les actions de gestion et de restauration hydraulique ont donc été conçues et réalisées dans cette optique. Dans d'autres contextes, ce genre d'action pourrait viser à des objectifs autre que la conservation des habitats ; on pourrait citer par exemple la sécurisation du stock de carbone des sols tourbeux (c'est le cas pour plusieurs sites allemands et néerlandais, voire dans le Jura français), la stabilisation de la tourbe pour réduire ou arrêter l'affaissement (subsidence) et l'érosion, ou la favorisation des fonctions et des services écosystémiques liés à l'eau, tels que la filtration des polluants agricoles. Un résultat « idéal » d'une action de gestion ou de restauration hydraulique verrait nombreux co-bénéfices en plus de l'atteinte des objectifs de l'action ; ce n'est pourtant pas toujours le cas (d'où l'importance de formuler des objectifs très précis pour chaque action de gestion ou de restauration hydraulique).

Un aperçu synthétique de ces principaux choix possibles pour les milieux tourbeux drainés est présenté dans ce tableau, repris de Hans Joosten (Convention sur les zones humides, 2021).

Tableau 1 : Possibilités d'occupation des sols en milieu tourbeux drainé.
D'après Joosten.

<i>d'occupation des sols en milieu tourbeux drainé. D'après Joosten.</i>	Gestion conservatoire (enjeu biodiversité)	Production économique	Libre évolution
Avec restauration hydraulique	Habitats cibles de milieux engorgés	Paludiculture (agriculture en milieu engorgé)	Friche humide ; succession végétale des milieux engorgées
Sans restauration hydraulique	Habitats cibles de milieux moins humides voire secs	Agriculture conventionnelle	Friches de zones moins humides voire sèches

Notons que dans ce schéma simplifié, l'essentiel des actions du LIFE Anthropofens s'inscrit dans la première case (habitats cibles de milieux engorgés), alors que le site allemand de la vallée de Trebel à Tribsees (Chapitre 5.4, visite du mardi après-midi) s'inscrit plutôt dans la troisième case (friche humide). Pour ce dernier : une vingtaine d'années après la restauration hydraulique, la végétation est toujours dominée par des roselières et des magnocariçaies ; l'action est néanmoins considérée comme une réussite, du fait de l'hydrologie assez stable qui protège le stock de tourbe et même encourage l'accumulation de nouvelle matière organique (« proto-tourbe »).

Il serait alors hors du cadre de ce guide de présenter l'ensemble des techniques utilisées « ailleurs » (hors LIFE Anthropofens)

pour la gestion et la restauration hydraulique des tourbières alcalines ; en revanche, il pourrait être instructif de mettre en avant certains exemples de méthodes et approches non abordées dans le projet, potentiellement complémentaires ou applicables à des actions futures.

Exemple : les ouvrages submersibles (Jura français, Jura suisse)

La conception du barrage (palissade, digue, ou seuil) dit « submersible » a été développée par le bureau d'études LIN'eco afin de prendre en compte quelques soucis constatés avec les ouvrages classiques pour la neutralisation des drains en milieu tourbeux (Pottier et Grosvernier, 2018). Notamment, beaucoup d'ouvrages classiques en bois ou en métal prévoient un talus construit de tourbe locale pour recouvrir la superficie du barrage ; sauf situation exceptionnelle, ce talus de tourbe risque de se minéraliser et de s'éroder, amenant à ce que l'ouvrage se « détache » de la tourbe, et dans certains cas à ce que l'eau passe en dessous, et/ou que le barrage pourrisse (dans le cas des barrages en bois). L'ouvrage submersible traite le problème en remplaçant le talus de tourbe par des couches de bentonite et de laine de bois pour protéger l'ouvrage, en simple ou double palissade suivant le contexte. Ce système favorise la reprise de végétation, rendant ainsi l'ouvrage submersible sans érosion, puis à terme « invisible » dans le paysage. L'ouvrage est durable dans le temps. Des ouvrages de ce type en ont été installés sur plusieurs sites dans le massif jurassien dans le cadre des projets LIFE Tourbières du Jura de 2014-2020 (Calvar coord., et al., 2021) et de 2022-2029.

Exemple : les digues superficielles ou « diguettes » (Royaume-Uni, Jura français)

Libre évolution	
ou	Friche humide ; succession végétale des milieux engorgées
	Friches de zones moins humides voire sèches

gues, souvent d'origine minérale, en surface ou sous la surface de la tourbière. Leur profondeur dépend du niveau de dégradation de la tourbe sous-jacente mais n'atteint pas forcément une couche imperméable ; l'objectif est plutôt que la perméabilité soit comparable à celle de la tourbe autour. Ces diguettes peuvent se créer soit seules, soit avec des ouvrages classiques conçus pour boucher les drains et les fossés (notamment là où les écoulements superficiels sont « perdus » dans le réseau de drainage). Il existe des conceptions pour des milieux très plats ainsi que pour des milieux un peu plus pentus, soit « cell design » ou « contour design » (Putra et al., 2022). Une diguette correctement installée peut amener à une rétention temporaire de l'eau en surface de la tourbière, qui peut être un atout en période de sécheresse notamment là où l'enjeu « quantité d'eau » est im-

portant ; en revanche, cette inondation temporaire impactera le cortège d'espèces végétales présentes (il faut bien articuler les objectifs vis-à-vis des enjeux « biodiversité »).

Cette technique est réalisée, en cours ou prévue sur des nombreux sites au Royaume-Uni (dont la réserve de Wicken Fen, le High Fen Wildland, plusieurs sites du Cumbria BogLIFE, et nombreux sites au sein du programme Peatland ACTION de NaturScot), en Irlande (dans le cadre du programme Source to Tap 2018-2022) et en France (prévue sur au moins un site du LIFE Climat Tourbières du Jura 2022-2029).

Exemple : la prise en compte des sols tourbeux peu profonds (Royaume-Uni)

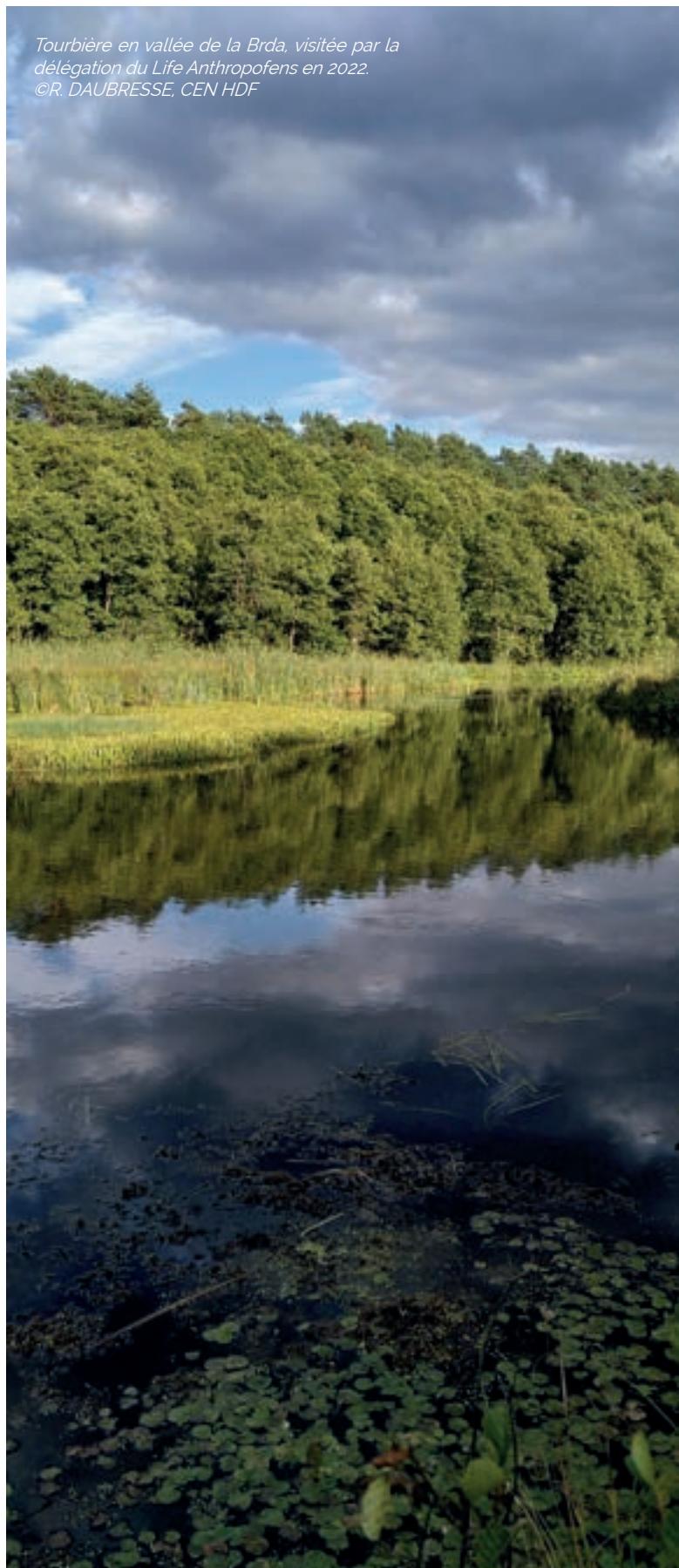
L'eau ne respecte pas nos limites de parcelle ou d'aire protégée ; nos paysages sont connectés hydrologiquement à des échelles beaucoup plus larges et avec tout une mosaïque de milieux humides remplissant leurs rôles divers dans ce système : y compris des zones humides à sol minéral, organo-minéral, et organique / histique peu profond. Historiquement, ces derniers sont dénommés « para-tourbeux » en français, mais dans l'actualité, ces milieux sont de plus en plus considérés comme des tourbières au sens propre (Cubizolle, 2019) et reconnus comme des milieux importants pour leur rôle hydrologique dans les bassins versants (et vis-à-vis des tourbières « classiques » avec lesquelles ils peuvent être connectés hydrologiquement) ainsi que pour leurs stocks de carbone parfois conséquents. Au Royaume-Uni, un appel a été publié pour une prise en compte nationale de ces milieux (IUCN Peatland Programme, 2023). Cette publication recommande un élargissement du focus historique sur les sites à fort enjeu biodiversité vers une orientation à échelle du « paysage interconnecté ». Cet élargissement d'orientation aura des implications importantes sur l'inventaire de sites tourbeux, ainsi que sur la hiérarchisation de sites pour les actions de gestion et de restauration. Les milieux tourbeux peu profonds, au Royaume-Uni comme en France, sont souvent en occupation de sol agricole, avec un sol tourbeux dégradé en surface, et sont abordés dans le règlement européen sur la restauration de la nature adopté en 2024 par le parlement européen. Il reste à voir comment ces milieux (parfois parmi ceux qui sont appelés les « crypto-tourbières », Goubet, 2020) seront pris en compte en Europe aux échelles nationale et locale.

Quelques rappels sur les échelles spatiale et temporelle

Les tourbières minérotropiques de plaine en particulier sont très sensibles aux changements hydrologiques en amont du bassin versant. Des petites altérations de la quantité ou de la qualité d'eau peuvent avoir des conséquences, parfois non-identifiables en mesurant seulement le niveau de la nappe (Van Diggelen et al. 2006). Par exemple, les prélèvements d'eau en amont des tourbières alcalines peuvent amener à des taux accélérés d'acidification, voire de minéralisation. La gestion de l'eau des tourbières ne peut être totalement efficace qu'en prenant en compte l'échelle du système hydrographique entier. C'est-à-dire : une gestion de l'eau à l'échelle du bassin versant et qui considère les particularités du bassin versant (géomorphologie, pluviométrie, usages...).

Il faut garder également en tête que les effets des actions de gestion et de restauration hydrologique varient dans leur temporalité : certains effets sont visibles très rapidement (dans quelques mois), alors que d'autres prennent plus de temps à ap-

paraître (années voire décennies) voire n'apparaissent jamais au niveau souhaité (Convention sur les zones humides, 2021). Cela formule un rappel à rester réaliste dans la formulation de nos objectifs de gestion et de restauration, et de penser « large » en termes des co-bénéfices de nos actions.







Les paysages des grandes vallées crayeuses du Nord de la Picardie contrastent avec le plateau, haut lieu d'agriculture intensive. Les éléments naturels, comme les larris (au premier plan), l'appellation picarde des coteaux calcaires sont, comme les tourbières, des refuges pour la biodiversité rare et menacée. Les éléments semi-naturels, comme les prairies de fauche et pâturées (second et arrière-plan à droite), participent également à la diversité de la matrice paysagère de ces vallées. Ces habitats, plus ou moins en contact avec la roche-mère, et recouvert d'une végétation en permanence, favorisent l'infiltration de l'eau dans l'aquifère de la craie, limitent l'érosion, et améliorent la qualité de l'eau qui s'infiltra ou ruisselle. Plus tard, cette eau émerge dans les sources alimentant les tourbières (arrière-plan). La conservation à long-terme des tourbières nécessite donc de s'assurer du maintien d'éléments naturels et semi-naturels dans les paysages, contribuant directement à la préservation de la ressource en eau.

Bibliographie

- Antoine P., 1997.** Modifications des systèmes fluviatiles à la transition Pléniglaciale - Tardiglaciale et à l'Holocène : l'exemple du bassin de la Somme (Nord de la France). *Géographie Physique et Quaternaire* 51-1, 93-106. doi: 10.7202/004763ar
- Bensettiti F. & Puissauve R., 2015.** Résultats de l'évaluation de l'état de conservation des habitats et des espèces dans le cadre de la directive Habitats-Faune-Flore enFrance. Rapportage « article 17 ». Période 2007-2012. MNHN-SPN, MEDDE, Paris. 204 p.
- Berquer A., Czerniak L. & Rivière G., 2024.** Tourbières alcalines : vers une meilleure qualité d'eau ? L'exemple de la RNN Etang Saint-Ladre. *Colloque du Groupe d'Etudes des Tourbières*, Boves. doi: 10.13140/RG.2.2.26950.28482
- Berquer A., Gazaix A., Czerniak L., Dromard V., Meire G., Rivière G., 2023.** Improving alkaline fen functioning and *Liparis loeselii* (L.) Rich., 1817 preservation: towards a better water level management. HAL Open Science, doi: fffhal-04209886f
- BRGM, 2024.** Dossier du sous-sol. Identifiant national de l'ouvrage BSS000EVVC. *Portail Infoterre*, <http://ficheinfoterre.brgm.fr/InfoterreFiche/ficheBss.action?id=BSS000EVVC>, Consulté le 20/11/2024.
- Burkhard B. & Maes J., 2017.** Mapping Ecosystem Services. *Advanced Books, Pensoft Publishers*, Sofia. doi: 10.3897/ab.e12837
- Calvar E. (coord.), Magnon G., Durlet P., Moncorgé S., Collin L., Resch J-N., Langlade J., Mazuez C., Decoin R., Vergon-Trivaudey M-J., Hagimont A., 2021.** Recueil d'expériences - Restauration fonctionnelle de tourbières dans le massif du Jura. CEN FC ; EPAGE HDHL ; PNR HJ ; SMIX DD ; ARNLR ; DREAL BFC. LIFE13 NAT/ FR/762. 112 p.
- Campagne S., 2015.** Évaluation des services écosystémiques potentiellement rendus par les zones humides des territoires du SAGE Scarpe aval et du Parc naturel régional Scarpe-Escaut. Rapport d'étude - *Parc naturel régional Scarpe-Escaut*, 62p
- Campagne S., 2018.** Évaluation de services écosystémiques produits par les zones humides du site Ramsar de la Baie de Somme. Rapport d'étude. *IRSTEA*. 30p.
- Campagne S. & Roche P., 2019.** Évaluation de la capacité et l'usage en services écosystémiques: Parc naturel régional Scarpe-Escaut. Rapport d'étude. *UR RECOVER, IRSTEA*, Aix-en-Provence. 74p
- Capoulade J., 2023.** Évaluation de la contribution du projet LIFE Anthropofens aux services liés au cycle de l'eau et de l'azote. Rapport de stage de Master, *Université Aix-Marseille*, 62p. Annexes.
- Convention sur les zones humides. (2021).** Réhumidification et restauration des tourbières : lignes directrices mondiales. Rapport technique Ramsar n° 11. Gland, Suisse : Le Secrétariat de la Convention sur les zones humides.
- Costanza R., d'Arge R., de Groot R., Farber S., Grasso M., Hannon B., Limburg K., Naeem S., O'Neill R.V., Paruelo J., Raskin R.J., Sutton K.P. & van den Belt M., 1997.** The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387: 253-260
- Cubizolle H., 2019.** Les tourbières et la tourbe : Géographie, hydro-écologie, usages et gestion conservatoire. Lavoisier, 419p.
- Décultot C., 2024.** Évaluation de la contribution du projet LIFE Anthropofens aux services écosystémiques liés aux cycles de l'eau et de l'azote. Rapport de stage de fin d'études d'Ingénierie, *INP Ensegid Bordeaux*. 88p. + Annexes.
- Décultot C., Capoulade J. & Berquer A., 2024.** Évaluation de la contribution du LIFE aux services écosystémiques liés aux cycles de l'eau et de l'azote. *Atelier "Eau-Rivière-Tourbière"*, *Colloque du Groupe d'Etudes des Tourbières 2024*, Boves. doi: 10.13140/RG.2.2.26635.71204
- Dromard V., Czerniak L., Coulombel R., Berquer A., 2024.** Rivières-Tourbières : Quelle gestion de l'eau face aux risques d'inondation et de sécheresse en vallée de Somme?, *Atelier «Eau-Rivière-Tourbière»*, *Colloque du Groupe d'Etude des Tourbières*, Boves. doi: 10.13140/RG.2.2.15885.24805
- Fenner N. & Freeman C., 2011.** Drought-induced carbon loss in peatlands. *Nature Geoscience* 4, 895-900. doi: 10.1038/ngeo1323
- Freeman C., Ostle N. & Kang H., 2001.** An enzymic 'latch' on a global carbon store. *Nature* 409, 149. doi: 10.1038/35051650
- Froger G., Méral P. & Muradian R., 2016.** Controverses autour des services écosystémiques. *L'économie politique*, 69: 39-47
- Garcia C., Antoine P. & Brasseur B., 2022.** Les séquences tourbeuses des fonds de vallées du bassin de la Somme (France) : historique des recherches, diversité des concepts et perspectives. *Quaternaire*, 33 (1): 22-46.
- Garcia C., 2024a.** Les tourbières de la Vallée de la Somme: trajectoires entre contrôle climatique et influence anthropique depuis le tardiglaciale, Thèse de Doctorat, *Université de Picardie Jules Verne*. 250p.
- Garcia C., Antoine P., Ducrocq T., Bacon J., Beaumont L., Coutard S., Dabkowski J., & Brasseur B., 2024b.** Mise en place des tourbières alcalines et modifications de la dynamique fluviatile dans la moyenne vallée de la Somme (France) à l'Holocène. *Quaternaire*, 35 (2). doi: 10.4000/124eu
- Garcia C., Brasseur B., Bacon G., Saulnier Copard S., Gauthier A., Mathieu L.-A., Michaelis D., Mokadem F., & Antoine P., 2024c.** Lateglacial and Holocene palaeoenvironmental evolution of alkaline peatlands from the Somme valley (France): between climate and anthropogenic forcing. *BOREAS*, doi: 10.1111/bor.12676.
- Ghils T., 2013.** Recherche sur l'histoire des Tourbières de la plaine de la Scarpe : secteur de Vred et Marchiennes. *Parc Naturel Régional Scarpe-Escaut*, Tournai, 52p.
- Goubet P., 2020.** Compte rendu d'étude commandée par le Parc naturel régional des volcans d'Auvergne. Diagnostic fonctionnel des tourbières du plateau de Chastel-sur-Murat (Murat, Neussargue-en-Pinatelle et Dienne, Cantal). Partie du site Natura 2000 FR8301056 - *Tourbières et zones humides du Nord Cantal*
- Grootjans A.P., Adema E.B., Bleutent W., Joosten H., Madaras M. & Janakova M., 2006.** Hydrological landscape settings of base-rich fen mires and fen meadows: an overview. *Applied Vegetation Science*, 9: 175-184.
- Haines-Young R. & Potschin M., 2013.** Common International Classification of Ecosystem Services (CICES): Consultation on Version 4, August-December 2012. *EEA Framework Contract No EEA/IEA/09/003*
- IUCN Peatland Programme, 2023.** Use of Peat Depth Criteria : Accounting for the Lost Peatlands. 16p. <https://www.iucn-uk-peatlandprogramme.org/sites/default/files/2023-06/Use%20of%20Peat%20Depth%20Criteria%20-%20Accounting%20for%20the%20Lost%20Peatlands.1.pdf>
- IPBES, 2019.** Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. E. S. Brondizio, J. Settele, S. Diaz, and H. T. Ngo (editors). *IPBES secretariat*, Bonn, Germany. 1148p. doi: 10.5281/zenodo.3831673
- Kooijman A.M. & Paulissen M.P.C.P., 2006.** Higher acidification rates in fens with phosphorus enrichment. *Applied Vegetation Science*, 9: 205-212
- Leifeld J., Müller M. & Fuhrer J., 2011.** Peatland subsidence and carbon loss from drained temperate fens. *Soil Use and Management*, 27(2): 170-176.
- Levraut S., 2024.** Les marais arrières-littoraux picards – Milieux tourbeux et problématiques rencontrées dans leur gestion. *Atelier «Eau-Rivière-Tourbière»*, *Colloque du Groupe d'Etude des Tourbières*, Boves.
- Maes J., Liquete C., Teller A., Erhard M., Paracchini M.L., Barredo J.I., Grizzetti B., Cardoso A., Somma F., Petersen J.-E., Meiner A., Gelabert E.R., Zal N., Kristensen P., Bastrup-Birk A., Biala K., Piroddi C., Ego B., Degeorges P., Fiorina C., Santos-Martín F., Naruševičius V., Verboven J., Pereira E.M., Bengtsson J., Gocheva K., Marta-Pedroso C., Snäll T., Estreguil C., San-Miguel-Ayanz J., Pérez-Soba M., Grêt-Regamey A., Lillebø A.I., Abdul Malak D., Condé S., Moen J., Czucz B., Drakou E.D., Zulian G. & Lavalle C., 2016.** An indicator framework for assessing ecosystem services in support of the EU Biodiversity Strategy to 2020. *Ecosystem Services*, 17: 14-23. doi: 10.1016/j.ecoser.2015.10.023.
- Mälson K., Backeus I. & Rydin H., 2008.** Long-term effects of drainage and initial effects of hydrological restoration on rich fen vegetation. *Applied Vegetation Science*, 11, 99-106.

Methlouti M., 2020. Définition d'une stratégie pour l'évaluation des biens et services écosystémiques associés au projet de restauration de tourbières alcalines LIFE Anthropofens. *Université Paris Diderot*, 94p. + Annexes

Millennium Ecosystem Assessment, 2005. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. *Island Press*, Washington, DC.

Norgaard R.B., 2009. Ecosystem services: From eye-opening metaphor to complexity blinder. *Ecological Economics*, 69 (6): 1219-1227. doi: 10.1016/j.ecolecon.2009.11.009.

Peatland ACTION, 2022. Technical Compendium : Peatland ACTION sharing good practice for peatland restoration techniques. <https://www.nature.scot/doc/peatland-action-technical-compendium>. Consulté le 02/10/2024.

Pencoat-Jones A. & Berquer A., 2024. Caractérisation du fonctionnement éco-hydrologique et restauration d'habitats dans les marais de Sacy, Atelier "Eau-Rivière-Tourbière", *Colloque du Groupe d'Études des Tourbières*, Boves. doi: 10.13140/RG.2.2.10805.49126

Platt D.E., Haber M., Dagher-Kharrat M.B., Douaihy B., Khazen G., Ashrafiyan Bonab M., Sal-loum A., Mouzaya F., Luiselli D., Tyler-Smith C., Renfrew C., Matisoo-Smith E. & Zalloua P.A., 2017. Mapping Post-Glacial expansions: The Peopling of Southwest Asia. *Scientific Reports*, 7, 40338. doi: 10.1038/srep40338.

Pottier Y. & Grosvernier P., 2018. Mesures de restauration hydrologique en faveur de la tourbière de la Grande Seigne. Cahier des plans et schémas des principes d'exécution. SMMAHD. 33 p.

Putra S.S., Baird A. J. & Holden J., 2022. Modeling the performance of bunds and ditch dams in the hydrological restoration of tropical peatlands. *Hydrological Processes*, 36(1), e14470. doi: 10.1002/hyp.14470

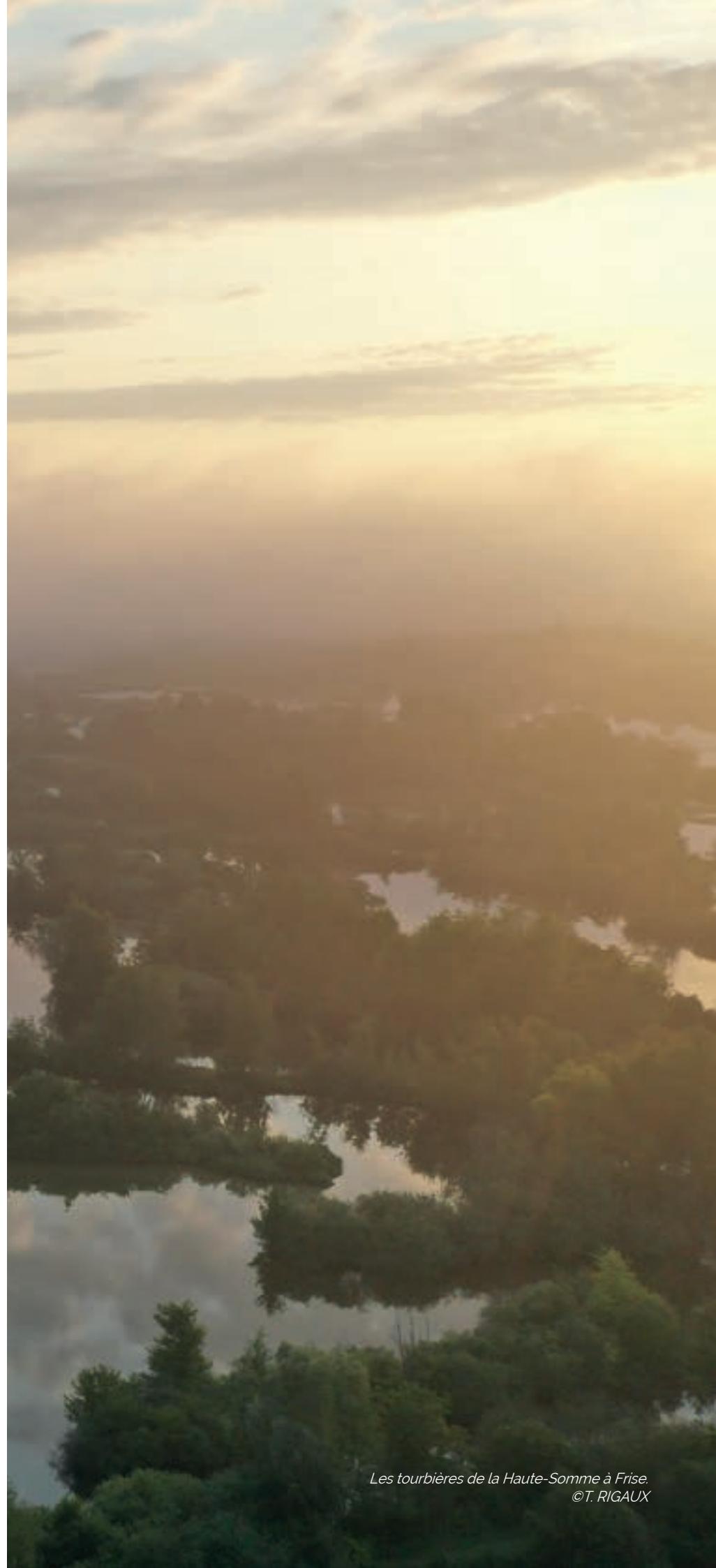
Rotherham I., 2020. Peatlands: Ecology, Conservation and Heritage. *Earthscan Studies for Natural Management*, Abingdon, Oxon, New-York, 230p.

Schulz C., Meier-Uhlherr R., Luthardt V. & Joosten H., 2019. A toolkit for field identification and ecohydrological interpretation of peatland deposits in Germany. *Mires and Peat*, 24(32): 1-20. doi: 10.19189/MaP.2019.OMB.StA.1817

Tedaldi - Da Lage C., 1997. Étude sur la vallée de la Somme entre Amiens et Saint-Valery-sur-Somme du XI^e au début du XIV^e siècle. Thèse de l'Ecole des Chartes, Paris.

van Diggelen R., Middleton B., Bakker J., Grootjans A.P., & Wassen M., 2006. Fens and floodplains of the temperate zone: Present status, threats, conservation and restoration. *Applied Vegetation Science*, 9. doi: 10.1111/j.1654-109X.2006.tb00664.x.

Westman W.E., 1977. How much are nature's services worth? *Science*, 197: 960-964. doi: 10.1126/science.197.4307.960





Les tourbières alcalines du nord de la France et de la Wallonie se sont constituées sur des milieux constamment alimentés par des sources d'eau alcaline provenant de nappes souterraines calcaires. Les nombreux usages qui s'y sont développés, au cours de l'Histoire, ont souvent induit du drainage, contribuant à leur dégradation. Celles-ci ont en retour provoqué des atteintes aux habitats de ces écosystèmes, si bien que, devenues rares, beaucoup d'espèces de plantes et d'animaux, et de végétations y sont désormais rares, protégées, et certains services écosystémiques ne sont plus rendus. La restauration de ces écosystèmes passe donc prioritairement par une restauration de l'hydrologie permettant un retour de l'eau dans les tourbières. Ce guide présente les enjeux des tourbières liés à l'hydrologie, afin de discuter des moyens d'identifier les dysfonctionnements et les actions à envisager pour les limiter. Pour cela, des exemples issus du projet LIFE Anthropofens y sont développés et permettent d'aborder les contraintes techniques, scientifiques et réglementaires inhérentes à ces opérations.

Les partenaires bénéficiaires du LIFE Anthropofens :



Les partenaires financiers du LIFE Anthropofens :



Les soutiens institutionnels du LIFE Anthropofens :

