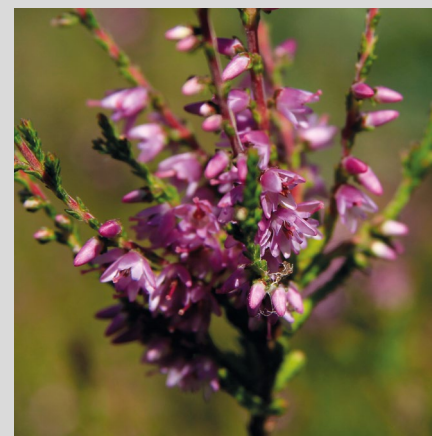
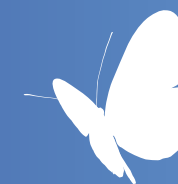


Life Réhabilitation fonctionnelle des tourbières
du massif jurassien franc-comtois
LIFE13 NAT/FR/762 - 2014 / 2021



Recueil d'expériences

Restauration fonctionnelle de tourbières dans le massif du Jura



Coordination

Conservatoire d'espaces naturels de Franche-Comté

Rédaction

Emilie Calvar - *CEN Franche-Comté*

Louis Collin - *EPAGE Haut-Doubs Haute-Loue*

Romain Decoin - *Les Amis de la Réserve Naturelle du Lac de Remoray*

Pierre Durllet - *PNR Haut-Jura*

Aurélien Hagimont - *Syndicat mixte Doubs Dessoubre*

Julien Langlade - *CEN Franche-Comté*

Geneviève Magnon - *EPAGE Haut-Doubs Haute-Loue*

Céline Mazuez - *Les Amis de la Réserve Naturelle du Lac de Remoray*

Sylvain Moncorgé - *CEN Franche-Comté*

Jean-Noël Resch - *EPAGE Haut-Doubs Haute-Loue*

Marie-José Vergon-Trivaudey - *DREAL Bourgogne-Franche-Comté*

Remerciements aux relecteurs

Grégory Bernard - *Pôle-relais tourbières*

Ludivine Coincenot - *Pôle-relais tourbières*

Manuel Lembke - *PNR Haut-Jura*

Nous remercions chaleureusement tous les organismes, collectifs et individus ayant soutenu la mise en oeuvre des actions durant les sept années du programme.

Merci également à tous les propriétaires, publics ou privés, nous ayant autorisé à réaliser les travaux sur leurs terrains.

Illustrations

Pierre Goubet

Albert Grootjans - *University of Groningen*

Hervé Nallet - *Illustrateur*

Gert Michael Steiner et Philippe Grosvernier

Crédits : photographies et cartes

Luc Bettinelli - *CEN Franche-Comté*

Olivier Billant - *CEN Franche-Comté*

Marion Brunel - *PNR Haut-Jura*

Elvina Bunod - *CEN Franche-Comté*

Bureau de Recherches Géologiques et Minières

Emilie Calvar - *CEN Franche-Comté*

CBNFC-ORI

Louis Collin - *EPAGE Haut-Doubs Haute-Loue*

Radovan Coufal

Magali Crouvezier - *CEN Franche-Comté*

Jean-Philippe Culas - *Photocooptere*

Clémence Curlier - *CEN Franche-Comté*

Thimotée Dard

Romain Decoin - *Les Amis de la Réserve Naturelle du Lac de Remoray*

Guillaume Doucet - *CEN Bourgogne*

Christophe Durllet

Pierre Durllet - *PNR Haut-Jura*

EPAGE Haut-Doubs Haute-Loue

GoogleEarth

Julien Guyonneau - *CBNFC-ORI*

Aurélien Hagimont - *Syndicat mixte Doubs Dessoubre*

Institut géographique national

Julien Langlade - *CEN Franche-Comté*

Les Amis de la Réserve Naturelle du Lac de Remoray

Julien Lieb - *Corvus Monitoring*

LIN'eco

Jean-Philippe Macchioni

Geneviève Magnon - *EPAGE Haut-Doubs Haute-Loue*

Céline Mazuez - *Les Amis de la Réserve Naturelle du Lac de Remoray*

Magalie Mazuy - *CEN Franche-Comté*

Sylvain Moncorgé - *CEN Franche-Comté*

Tatiana Morvan - *CEN Franche-Comté*

Guillaume Mougnot - *Jura nature service*

Loic Oswald - *ORCA Production*

Pierre Perrier (Collection)

Picasa

Frédéric Ravenot - *CEN Franche-Comté*

Jean-Noël Resch - *EPAGE Haut-Doubs Haute-Loue*

Alexandre Ruffoni - *CCFD*

Jérôme Salvi - *Les Amis de la Réserve Naturelle du Lac de Remoray*

Frédéric Sassard - *ONF*

Bruno Tissot - *Les Amis de la Réserve Naturelle du Lac de Remoray*

Philippe Trivaudey

Laboratoire Chrono-environnement, Université de Franche-Comté

Citation bibliographique

CALVAR, E. (coord.) ; MAGNON, G. ; DURLET, P. ; MONCORGE, 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.

Ce document est destiné à une large diffusion. Toute reproduction est libre, sauf à des fins commerciales. Seule l'utilisation des photographies et des schémas dans un autre cadre nécessite l'autorisation préalable de leurs auteurs.

Conception

Conservatoire d'espaces naturels de Franche-Comté

Mise en page

Clémence Curlier - *CEN Franche-Comté*

d'après la charte graphique de Florence Lagadec

Document imprimé sur papier recyclé avec chaîne graphique compensée carbone par l'imprimeur Simon à Ornans (25)

Dépot légal : novembre 2021

ISBN : 978-2-9581074-1-3

Photographies de couverture

De gauche à droite :

L'équipe Life sur le terrain (© Clémence Curlier)

Découpe d'une palissade métallique, Frasné (25) (© Magali Crouvezier)

Fossé de drainage, tourbières des Rousses (39) (© Corvus monitoring)

Callune - *Calluna vulgaris* (© Clémence Curlier)

Lac des Mortes, Bellefontaine-Chapelle des Bois (39-25) (© Clémence Curlier)



Sommaire

Préface 6

Partie 1 Introduction 7

L'approche du Life tourbières du Jura 8

Préambule 10

Une montagne à tourbières ? 10

Diversité des tourbières jurassiennes 11

Des monuments naturels mis à mal 12

**Les éléments d'étude de la fonctionnalité
pour orienter les travaux 13**

*Approche globale : la tourbière dans son contexte
géographique et géomorphologique 13*

Diagnostic phytosociologique 15

*Approche topographique de surface
et lien avec l'hydrologie 16*

L'eau, quantité et qualité 18

Éléments paléo-environnementaux 19

*En conclusion : de l'approche fonctionnelle
au projet de restauration 20*

Partie 2 12 travaux du Life 21

Carte générale des projets
présentés dans ce recueil 22

La tourbière des Cerneux-Gourinots (25) 23

Le marais de Villeneuve-d'Amont (25) 27

La tourbière de la Grande Seigne (25) 31

Le ruisseau du Gouterot (25) 37

Le marais tourbeux des Levresses (25) 42

La tourbière du Forbonnet (25) 48

Le complexe tourbeux
du lac de Malpas (25) 54

La tourbière du Crossat (25) 59

La tourbière du Moutat (25) 65

La tourbière de l'Entrecôtes-du-Milieu (39) 69

La tourbière des Douillons (39) 73

Les tourbières des Rousses (39) 78

Partie 3 Zoom sur les techniques 83

Les Techniques de restauration utilisées 84

Introduction 84

Préambule : accessibilité et cheminement d'accès 84

1/ Points de blocage avec panneaux de bois plein 86

2/ Palissades en madriers de bois 89

3/ Palissades métalliques 91

4/ Digue minérale 93

5/ Comblement des fossés 94

L'Ouverture au public 96

Platelage pour une accessibilité grand public 96

Platelage de type « randonneur » 98

Plateforme 99

Le suivi des travaux du programme 100

La méthode Syrph the Net 101

La piézométrie 105

Bibliographie 107

Le programme Life tourbières du Jura, une étape essentielle pour la restauration des tourbières françaises

Le programme Life « Réhabilitation fonctionnelle des tourbières du massif jurassien franc-comtois », débuté en 2014, est la plus remarquable opération de restauration des tourbières jamais menée en France. D'abord par l'ampleur des surfaces restaurées et des budgets engagés, mais surtout, et c'est le point essentiel, en raison de l'incroyable réseau de compétences mobilisées et parce que ce programme aura conduit à une production considérable de connaissances techniques et d'expériences pratiques. Les résultats obtenus sur les différents sites servent déjà de base de travail pour la réalisation des projets en cours et constituent un précieux recueil de données pour la construction des programmes à venir.

Or, l'heure de la restauration des tourbières est venue. Leur rôle dans la régulation à long terme du climat est bien sûr connu de longue date. En fixant sous forme de tourbe le dioxyde de carbone présent dans l'atmosphère (environ 0,2 à 0,5 tonne de carbone par hectare et par an), les tourbières contribuent à refroidir lentement le climat. Mais cette action est en réalité quasiment sans effet à court terme sur le climat, car les tourbières rejettent aussi du méthane, un puissant gaz à effet de serre dont la durée de vie dans l'air est supérieure à une vingtaine d'années. Dans un contexte de réchauffement dramatique de la planète, l'enjeu de la restauration des tourbières est

donc ailleurs : il s'agit de préserver de toute urgence les stocks de tourbe déjà accumulés. En effet, la destruction des tourbières par exploitation ou par simple drainage entraîne le relargage de quantités phénoménales de CO² dans l'atmosphère. En France, les émissions sont comprises entre 10 et 20 tonnes par hectare et par an suivant l'état de dégradation de la tourbière, et jusqu'à plus de 30 tonnes par hectare et par an dans les situations les plus dégradées. Ce que les études menées principalement en Europe et au Canada montrent, c'est que des travaux de restauration réalisés avec soin permettent de limiter drastiquement et surtout très rapidement ces émissions.

L'idée n'est pas, bien sûr, d'oublier les autres enjeux des tourbières : la biodiversité remarquable de ces milieux et leur rôle dans le continuum hydrique doivent rester des priorités. Cependant, le rôle des tourbières pour réguler les changements climatiques et pour atteindre la neutralité carbone en 2050 apporte une nouvelle responsabilité aux gestionnaires des milieux naturels. Il devient maintenant urgent, dans la lignée du rapport remis en 2019 au Premier Ministre par Jérôme Bignon et Frédérique Tuffnell, de mettre en œuvre un programme sans précédent de restauration et de réhabilitation de l'ensemble des tourbières françaises. Un projet qui inclura les milieux les plus dégradés et même les principales

zones tourbeuses cultivées qui sont en réalité les sites les plus émetteurs de carbone.

Au moment où la première page du Life tourbières du Jura se referme, un inventaire des tourbières françaises permettant de disposer autant que possible de leur localisation, des profondeurs de tourbe et de leur niveau de dégradation était devenu plus que nécessaire et sera prochainement mené. Il permettra d'identifier les sites à restaurer en priorité et plus largement d'établir un programme ambitieux de restauration. La somme des expériences réussies menées dans le massif du Jura servira sans aucun doute de modèle pour ces travaux de restauration. Merci à tous ceux qui ont œuvré pour cette réussite.

Daniel Gilbert
*Professeur en écologie à l'Université de Franche-Comté
 Directeur de la Zone Atelier Arc Jurassien*



Partie 1
Introduction



L'approche du Life tourbières du Jura

Fonctionnalité et/ou biodiversité ?

De par leur particularité, tant floristique que faunistique, les tourbières du Jura comptent parmi les milieux les plus étudiés des premiers et seconds plateaux du Jura.

La végétation, la flore et la faune ont en effet été l'objet de nombreuses publications au cours du XX^e siècle, que ce soient des monographies, des études biotypologiques ou des cartographies.

Cette approche du visible a naturellement alimenté les premières mesures de gestion attachées à préserver l'existant (habitats et espèces rares et menacés) sans chercher à s'orienter vers une recherche des causes de sa dégradation par l'approche fonctionnelle du milieu.

Même si cet aspect biodiversité reste un enjeu fort, l'eau est l'élément fondamental de l'existence de la tourbière. Son élimination, qu'elle soit naturelle (évapotranspiration, changement climatique...) ou provoquée (par drainage, pompage...), signe sa dégradation, avec disparition des habitats et espèces qui y vivent.

L'hydrologie, incontournable, est ainsi venue peu à peu compléter les investigations précédentes pour une meilleure compréhension « hydro-écologique » de ces systèmes ; ce qui fournit aux gestionnaires les moyens scientifiques et techniques d'intervenir efficacement, en terme d'atténuation ou encore d'adaptation aux changements climatiques.

Des travaux visant le bon fonctionnement hydrologique de ces tourbières ont ainsi commencé à voir le jour. Sur ce sujet, l'avancée des Suisses, proches voisins, a été déterminante.

Démarche

Ce Life de « réhabilitation fonctionnelle des tourbières du massif du Jura » s'est donc délibérément orienté vers un programme d'actions concrètes visant à retrouver, quand cela était encore possible, des conditions hydrologiques favorables au bon fonctionnement de chacun des sites : unique garantie du maintien des habitats caractéristiques de ces milieux directement liés à la saturation en eau et de leurs espèces inféodées. Les travaux mobilisés doivent leur permettre de retrouver un équilibre fonctionnel garant d'une résilience efficace face aux conséquences du réchauffement climatique et aux retombés azotées.

La conception d'un programme de réhabilitation nécessite en premier lieu d'en apprécier la pertinence à travers une évaluation de la maîtrise des connaissances acquises sur l'état du milieu (espèces, habitats...) et de celles à acquérir pour comprendre son fonctionnement hydrique, les causes du dysfonctionnement, les potentiels de régénération des sites et, à partir de là, les actions possibles à mettre en œuvre (cf. p. 13 : *Les éléments d'étude de la fonctionnalité pour orienter les travaux*).

Une fois les actions mises en œuvre et les travaux réalisés comme prévus, il s'agit alors de s'assurer que les objectifs recherchés ont bien été atteints, ou, plus modestement, de mesurer leur niveau d'atteinte à travers un suivi à moyen et long terme rendant compte de l'évolution de plusieurs facteurs :

- 1/ évolution de la capacité de rétention de l'eau à travers la mesure du niveau de la nappe (suivis piézométriques) ;
- 2/ amélioration de la qualité des cours d'eau « travaillés » à travers le suivi de plusieurs indicateurs (température, qualité de l'eau...)
- 3/ évaluation biologique de l'état de conservation des populations d'espèces ou d'habitats ciblés : suivis floristiques (dont bryologiques), phytosociologiques (transects, cartographies) et faunistiques (suivi invertébrés : Odonates, Rhopalocères...) ;
- 4/ analyse/test de la pertinence de l'utilisation de la méthode « Syrph the Net » (révélatrice d'indicateurs de biodiversité) dans les tourbières du Jura.

Oeillet superbe
Dianthus superbus



Pour une meilleure efficacité, et au vu des moyens disponibles non garantis dans le temps, un choix de sites représentatifs était nécessaire pour assurer un recueil de données suffisant et exploitable pour le suivi de chacun des facteurs évoqués (et non chacun des sites) en fonction des travaux réalisés.

C'est la raison pour laquelle l'ensemble des sites sur lesquels ont été réalisés les travaux ne bénéficie pas d'un suivi dans le cadre du Life. La poursuite ou la mise en œuvre d'inventaires, d'analyses ou de travaux de recherche liés à d'autres programmations (plans de conservation, Natura 2000, sujets de recherche...) devront compléter le dispositif sur le long terme.

Ce recueil se veut avant tout un document utile et efficace en mettant en exergue les difficultés rencontrées, plus ou moins inattendues et, quand cela s'est produit, les écueils à éviter.

Ainsi, après une présentation succincte de la particularité des tourbières jurassiennes, suivie des différentes approches mobilisables et des outils disponibles (approches géologique, géomorphologique, topographique, phytosociologique, historique...), une sélection de 12 sites (cf. p. 21 : 12 travaux du Life) illustre les démarches réalisées, les dysfonctionnements repérés, les actions entreprises et les résultats attendus avec le type de suivi mis en place. Ces fiches, comme celles consacrées aux moyens techniques (cf. p. 83 : Zoom sur les techniques) ont pour but de partager une expérience avec ses attentes et ses doutes et de faciliter ainsi la poursuite de ce type de programme sur d'autres sites.

Travaux de restauration sur la tourbière du Frambourg, qui fait partie du site Natura 2000 « vallées du Drugeon et Haut-Doubs », à la Cluse-et-Mijoux (25)



Préambule

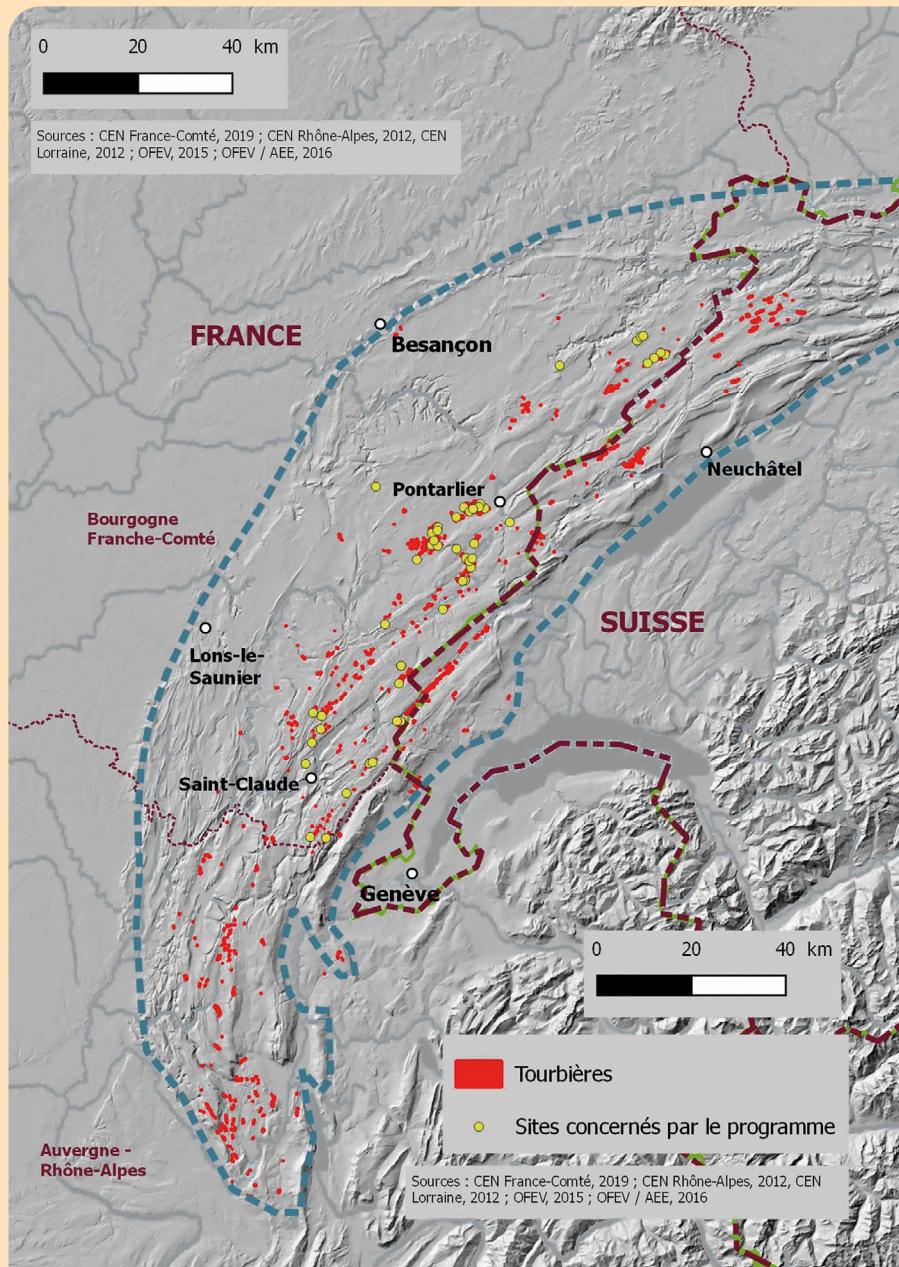
Associer « tourbières » et « Jura » n'a a priori rien d'évident. Et pourtant, cette montagne calcaire, et donc karstique, recèle plusieurs centaines de sites tourbeux, dont une grande partie sont des tourbières acides à sphaignes.

Une montagne à tourbières ?

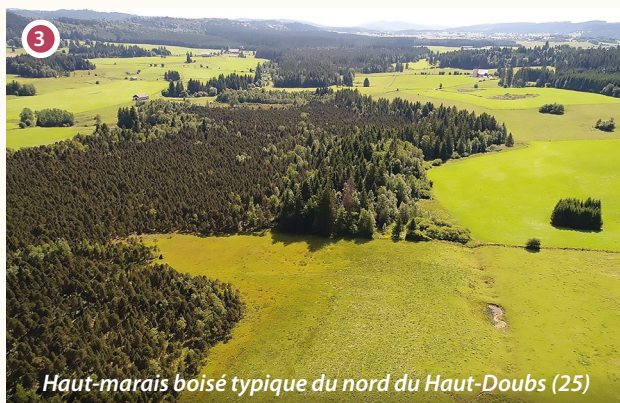
Malgré la prépondérance d'une perméabilité karstique, le massif du Jura abrite un nombre relativement important de tourbières **1**. Ce paradoxe peut être expliqué par la combinaison de plusieurs facteurs favorables :

- un relief contrôlé par de grands plissements créant de vastes zones plates entre les reliefs ;
- un substrat géologique composé partiellement de marnes qui, du fait de leur imperméabilité, constituent des freins à l'infiltration des eaux ;
- un passé glaciaire récent qui, au travers de ses impacts géomorphologiques (moraines, surcreusements, etc.) et hydrogéologiques (aquifères de taille plus modeste présentant une perméabilité d'interstices, à vitesse de percolation lente, en opposition à la perméabilité de fissure du karst), a mis en place par endroits des conditions favorables au ralentissement des écoulements, voire à la stagnation de l'eau ;
- un climat océanique à dégradation montagnarde, caractérisé par de fortes précipitations relativement bien réparties dans l'année ;
- et bien sûr une altitude « moyenne » limitant l'évapotranspiration, mais permettant une productivité végétale suffisante pour induire des accumulations de tourbe parfois conséquentes.

À ce jour, environ 530 tourbières sont répertoriées dans l'arc jurassien (dont 320 en Franche-Comté), réparties principalement au-dessus de 800 mètres d'altitude et représentant une superficie totale de près de 5 500 ha. Leur taille moyenne est donc de 10,5 hectares, les plus grandes pouvant atteindre plus de 100 ha (jusqu'à 220 ha pour la tourbière du Forbonnet à Frasne).



- 1** Localisation des tourbières jurassiennes (en rouge). Les points jaunes localisent les sites concernés par le programme Life

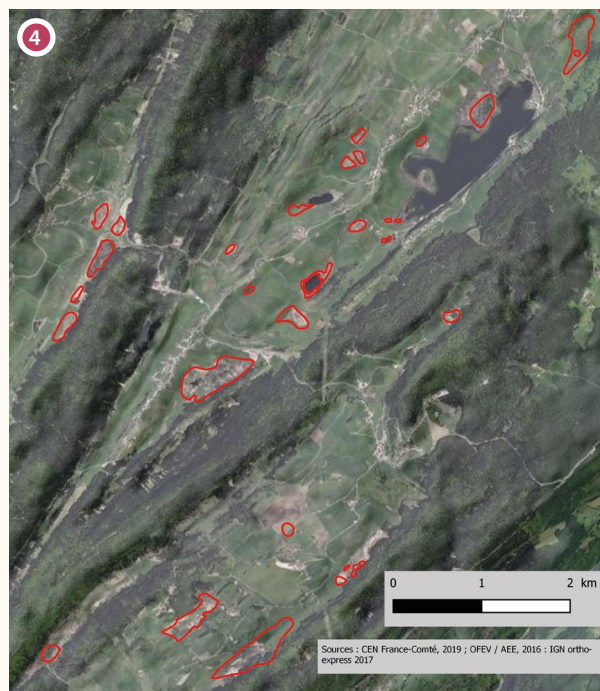


Diversité des tourbières jurassiennes

Deux grands types fonctionnels sont présents dans le massif du Jura, souvent imbriqués entre eux **2** **3** :

► Les bas-marais, alcalins à neutres, oligotrophes à mésotrophes, étroitement liés au contexte calcaire local. Ils sont liés à des situations d'émergence de la nappe et/ou à des concentrations dépressionnaires et se développent dans diverses situations : fonds de vallées, bordure de lacs, pentes légères, etc **4**.

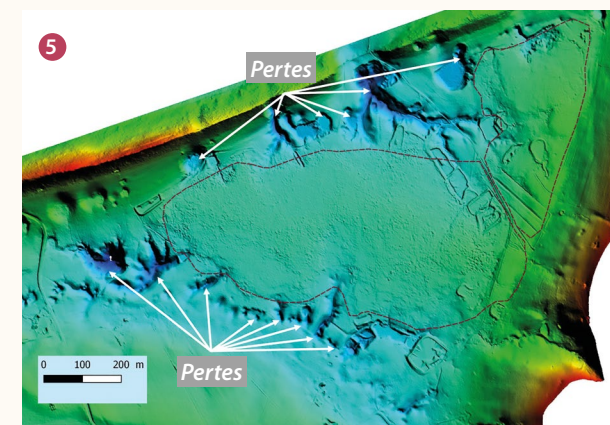
► Les haut-marais, acidiphiles et oligotrophes, obligatoirement issus de l'ombrotrophisation des bas-marais et que l'on peut dès lors trouver dans les situations topographiques similaires.



La forte dépendance des tourbières (en rouge) à l'eau fait que, dans le Jura, elles « fuient » les massifs forestiers, qui occupent habituellement les substrats calcaires les plus filtrants. De ce fait, on les trouve le plus souvent dans des contextes fortement agricoles. Secteur du Grandvaux (39), environ 900 m d'altitude

Les deux types que constituent hauts et bas-marais sont souvent imbriqués en un même site et induisent alors des contrastes de végétation saisissants. À cette diversité s'ajoute également des marais de transition, des milieux aquatiques, des bas-marais acides (pouvant se développer localement autour de certaines tourbières hautes) ainsi que des prairies paratourbeuses en périphérie. Cette juxtaposition de milieux, associée à un drainage karstique, consti-

tue une des originalités des tourbières jurassiennes **5**, qui ne trouvent de réels équivalents que dans certaines montagnes d'Europe centrale (Beskides, Tatras...) ou de Russie.



La Grande Seigne de Passonfontaine (25) : le dépôt tourbeux (pointillé) est littéralement ceinturé par un réseau de près de 30 pertes karstiques développées sur la ligne de contact entre marnes et calcaires

Cette richesse permet l'expression d'une flore et d'une faune diversifiées, dont certaines espèces se trouvent fortement menacées. Ainsi, neuf espèces figurent en annexe II de la Directive Habitats :

- flore : la Saxifrage œil-de-bouc (*Saxifraga hirculus*), le Liparis de Loesel (*Liparis loeselii*) **6** et l'Hypne brillante (*Hamatocaulis vernicosus*) **7** ;



Vertigo édenté
Vertigo genesii



- faune : le Damier de la Succise (*Euphydryas aurinia*), le Cuivré de la Bistorte (*Lycaena helle*), l'Azuré des paluds (*Phengaris nausithous*), la Leucorrhine à gros thorax (*Leucorrhinia pectoralis*), le Vertigo septentrional (*Vertigo geyeri*) et le Vertigo édenté (*Vertigo genesii*) 8. Sont également présents : certaines espèces de la Directive Oiseaux, telles que la Marouette ponctuée (*Porzana porzana*).

Des monuments naturels mis à mal

Les tourbières jurassiennes ont fait l'objet de longue date d'une exploitation par l'Homme, notamment comme zones de pâturage, au gré des fluctuations de l'occupation humaine dans le massif.

L'utilisation la plus impactante a été sans conteste l'extraction artisanale de tourbe 9 à des fins énergétiques, à laquelle il semblerait que de très rares haut-marais du massif aient échappé.

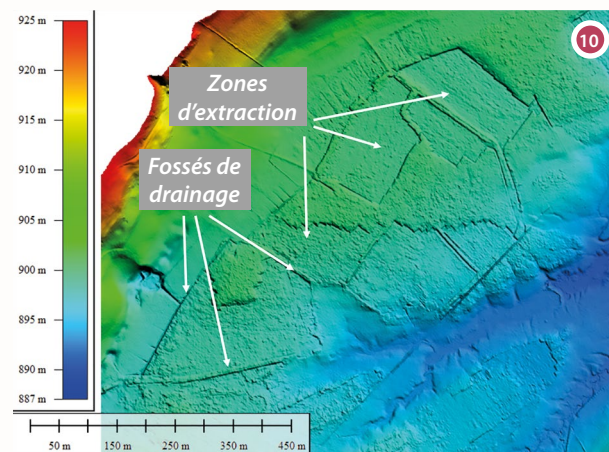


Extraction de tourbe à la Pesse (39)

Cette exploitation a eu lieu principalement entre le XVII^e et le début du XX^e siècle, pour compenser la raréfaction de la ressource en bois. Si cette activité est localement à l'origine d'une diversification et d'une régénération des milieux tourbeux, elle a souvent eu pour conséquence une détérioration importante et durable des sites du fait de l'assèchement dont elle est à l'origine.

Plus tard, dans la seconde moitié du XX^e siècle, une seconde « offensive » d'ampleur sur les milieux tourbeux a eu lieu. Cette fois-ci mécanisée, elle a cherché à convertir ces espaces alors considérés comme inutiles en zones agricoles ou forestières.

Ainsi drainage, rectification des cours d'eau, plantations, etc. ont à nouveau perturbé leur fonctionnement 10. À ces facteurs de dégradation les plus fréquents s'ajoutent de nombreux autres : fertilisation du bassin versant, prélèvements en eau, pollutions, remblaiements, créations de plans d'eau, etc.



Drainage et extraction de la tourbe ont été les perturbations les plus fréquentes. Modèle numérique de terrain (MNT) de la tourbière des Belles seignes (secteur du Russey, 25)

Depuis quelques décennies, s'ajoutent également les facteurs « globaux » que sont le changement climatique et les retombées azotées atmosphériques.

L'ensemble de ces perturbations a fortement mis à mal le réseau des tourbières jurassiennes. Il a été ainsi estimé qu'environ 30% des surfaces tourbeuses du Jura franc-comtois avaient été totalement détruites (*Moncorgé et Gisbert, 2016*). Les surfaces inactivées, c'est-à-dire n'accumulant plus de tourbe, ne sont quant à elles pas connues, mais sont probablement considérables 11.



Les perturbations fonctionnelles se traduisent le plus souvent par la réduction, voire la disparition, des espèces turfigènes et la prédominance du bouleau pubescent, de l'épicéa ou de la molinie

C'est face à ce constat, aggravé par les perspectives d'avenir, qu'il a été décidé de lancer un programme d'intervention axé sur la réhabilitation fonctionnelle des sites.

Les éléments d'étude de la fonctionnalité pour orienter les travaux

Cette étape indispensable à tout projet de revitalisation d'une tourbière a déjà fait l'objet de quelques publications. L'idée n'est donc pas ici d'en décrire une méthodologie.

Ce recueil permet d'illustrer, à travers différents sites étudiés dans le cadre du programme Life tourbières du Jura, la plus-value des différentes approches combinées et différentes méthodes utilisées.

L'objectif du programme Life était bien de prévoir des projets de « revitalisation » de tourbière à partir de milieux jugés perturbés. Il a donc été nécessaire de se poser les bonnes questions, dans le bon ordre, pour gagner en compréhension sur le fonctionnement des sites étudiés.

Il a été nécessaire d'appréhender les écosystèmes tourbeux le plus possible dans leur globalité, c'est à dire leurs trois dimensions (diachronie, structure et transfert) pour :

- replacer les objets tourbeux dans leur contexte paysager global (toutes composantes) ;
- tenter de caractériser les processus d'accumulation de tourbe ;
- mieux comprendre leur fonctionnement ;
- identifier la nature et l'intensité des perturbations ;
- juger du potentiel de régénération des sites : il ne s'agissait pas de revenir à un état initial « naturel »

impossible, mais de tenter, chaque fois que cela était possible, de relancer des dynamiques favorables à la conservation de la tourbière et de ses services écosystémiques (eau, biodiversité, carbone, etc.), ou de renoncer dans le cas contraire ;

- proposer des projets de redynamisation cohérents avec le fonctionnement, le potentiel et les objectifs des sites.

La difficulté de cette approche fonctionnelle tient en l'interdisciplinarité des spécialités qu'elle utilise (biologie, géologie, pédologie, hydrologie, histoire...), qui ne peuvent pas toujours se concentrer dans les seules compétences du gestionnaire en général. On a tenté de changer notre cadre habituel d'espace et de temps, pour *in fine* assembler les différentes pièces du puzzle donnant une cohérence d'ensemble à la synthèse fonctionnelle.

À cela s'ajoute une originalité des tourbières jurassiennes, à savoir un approvisionnement en eau minéralisée, plutôt calcaire. Et même en contexte pseudo-climacique de haut-marais acide ombrotrophe, les nappes d'eau de natures physicochimiques différentes se juxtaposent et s'imbriquent. Cela rend d'autant plus indispensable une compréhension fonctionnelle précise.

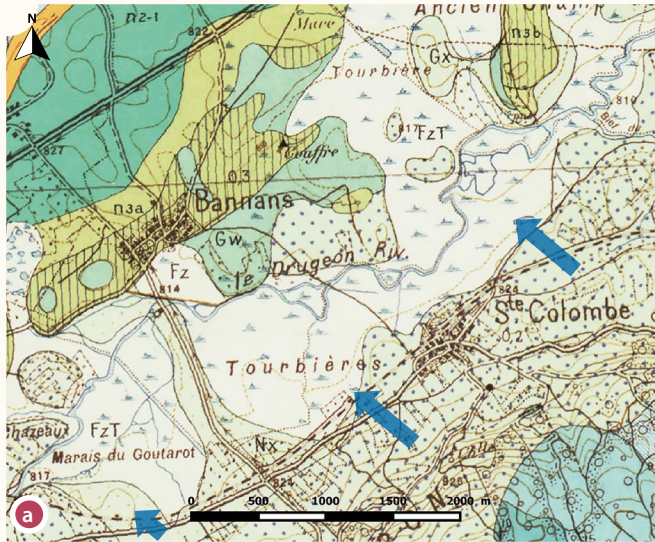
En fonction de la complexité avérée, ou tout du moins pressentie, de la démarche, mais aussi du temps, des financements et des compétences à disposition, l'analyse a été plus ou moins poussée. La démarche commune et

minimale mise en place pour asseoir tous nos projets de revitalisation de tourbières du programme Life, a été l'analyse du modèle numérique de terrain (MNT), en lien avec la végétation et l'épaisseur de tourbe. En effet, revitaliser des tourbières de montagne perturbées revient à gérer un écosystème où la topographie a la plus grande importance, où la végétation est révélatrice de ce qui se passe en surface, d'où l'outil dénominateur commun utilisé partout dans le cadre du Life, le croisement MNT/épaisseur-structure de la tourbe.

Approche globale : la tourbière dans son contexte géographique et géomorphologique

Au-delà des classiques remplissages lacustres, largement répandus sur le sud du massif, des genèses plus complexes peuvent s'observer, devant orienter vers une approche de travaux adaptée.

Un premier regard macroscopique sur l'emplacement de l'objet tourbeux dans son environnement plus vaste est indispensable. Cette première approche permet d'entrevoir certaines hypothèses d'alimentation en eau, liées à la géomorphologie, la géologie et la topographie du terrain à une échelle assez large.



Carte géologique du bassin du Drugeon (25)

EXEMPLE : les marais tourbeux du Gouterot et de Champs Guidevaux (Bannans 25)

La lecture de la carte géologique de cette partie du bassin du Drugeon couplée aux visites de terrain révèle que ces marais sont installés en pied de coteau du massif calcaire fissuré du Laveron, sur une couche de sédiments morainiques épais. Ces marais sont en pente, orientés en direction du Drugeon vers le nord-ouest, qui draine la vallée au fond du synclinal **a**.

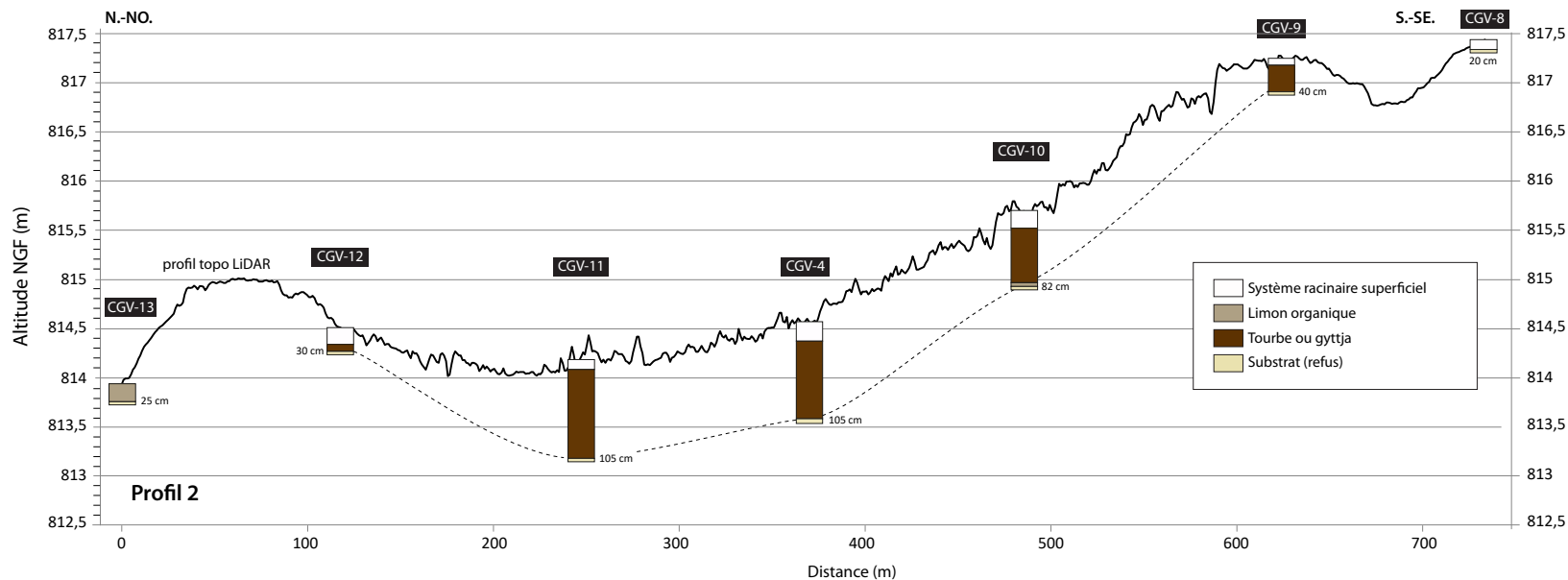
L'utilisation de ces données a permis de fournir les premières hypothèses de formation de ces marais tourbeux :

- formation à partir d'alimentation en eau de surface par les apports du bassin versant par le sud-est, dans un contexte d'écoulement ralenti, à confirmer ;
- possible alimentation en eau par une nappe de transfert dans les sédiments, à confirmer.

Ce point de départ a ouvert vers d'autres investigations sur les profondeurs et le type de tourbe. Le profil souterrain **b** du minéral montre bien une pente assez forte sur les alluvions glaciaires, mais l'ensemble est bloqué à l'ouest par un seuil morainique qui a pu faire barrage à l'eau et la ralentir, voire la stocker. D'un point de vue historique, la tourbière a été totalement exploitée pour le chauffage, il manque donc une épaisseur conséquente indéterminée.

À ce stade, les éléments accumulés laissent présager que le système tourbeux pour se former a bénéficié de conditions favorables par :

- l'alimentation en eau d'un massif montagneux karstique sans doute bien arrosé ;
- une alimentation et un transfert par le compartiment épais des sédiments morainiques ;
- une rétention d'eau favorisée grâce à une morphologie en cuvette dans la partie nord-nord ouest.



b

Profil topographique est-ouest de la tourbière de Champs Guidevaux et épaisseurs de tourbe

Diagnostic phytosociologique

Les sites Natura 2000 étudiés dans le cadre du programme Life bénéficient tous d'une cartographie de végétation plus ou moins détaillée. Cette dernière a permis de localiser à la fois :

- les milieux caractéristiques : bas-marais, haut-marais, marais de transition ;
- les gouilles de régénération issues d'anciennes fosses d'extraction en général ;
- les détails plus fins spécifiques à un marais que caractérise la végétation, comme l'alimentation d'une source ou une percolation minérotrophe diffuse.

EXEMPLE 1 : le marais tourbeux de Porfondrez (Bannans, 25)

Ce vaste marais profondément modifié par l'exploitation de la tourbe et les drainages successifs, présente des faciès de végétation très organisés **C** qui ont permis de guider des investigations piézométriques et physico-chimiques complémentaires.

Le marais est enserré entre des buttes de moraine. Des zones de marais de transition (bleu) se détachent nettement de zones plus eutrophes et plus sèches, que sont les moliniaies et mégaphorbiaies, plus en contact avec les zones agricoles et leurs apports trophiques. Plus au nord, s'étend un haut-marais dégradé.

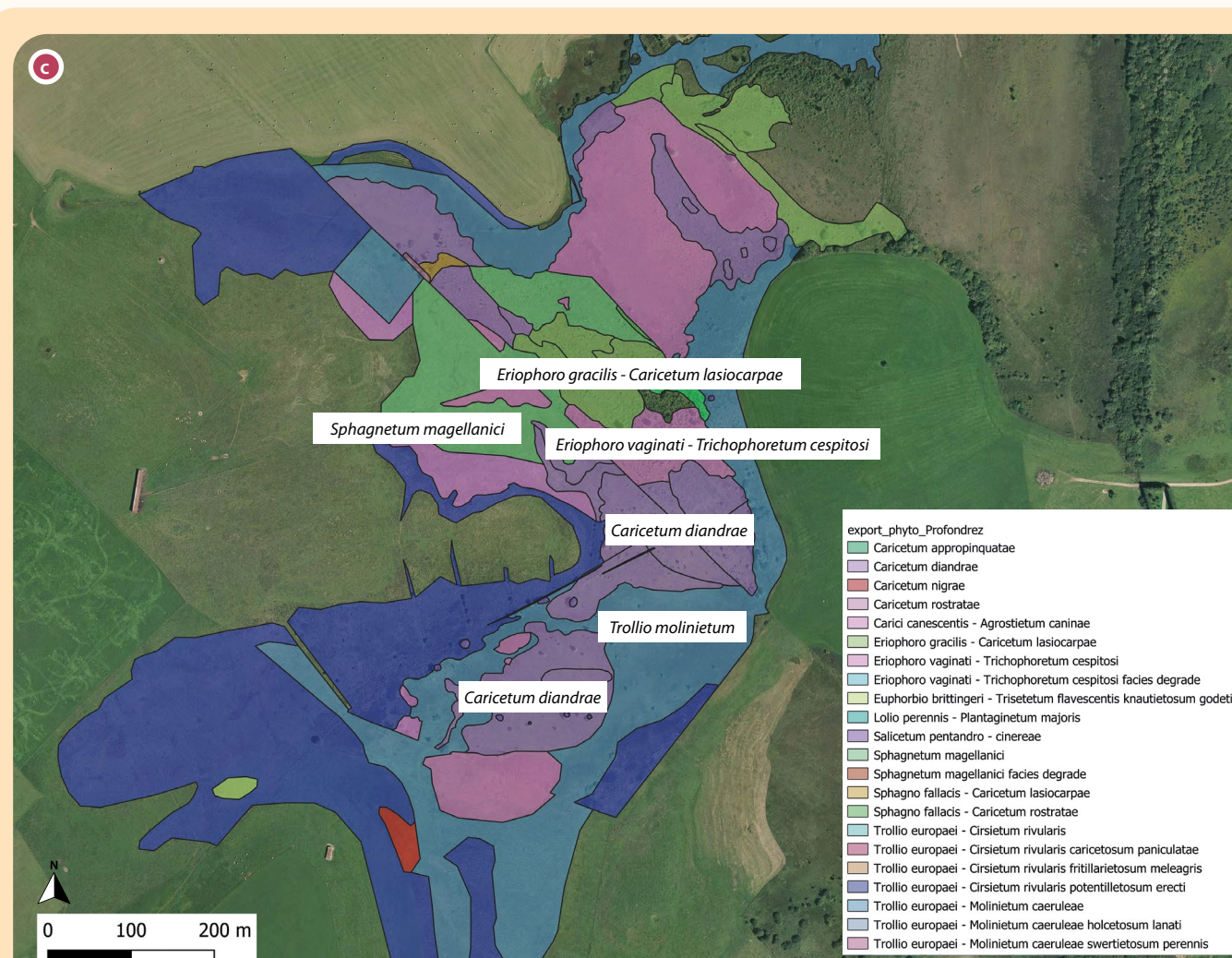
Cette approche cartographique a permis de mettre en évidence des contrastes assez marqués, qui traduisent des situations hydrologiques et trophiques variées.

Il n'est pas possible d'expliquer cette répartition phytosociologique simplement, mais il a été possible d'amorcer différentes hypothèses hydrologiques et piézométriques vérifiées par la suite :

- caractérisation de l'alimentation en eau du marais de transition (écoulements superficiels via la topo-

graphie, quantité, qualité, variabilité) : alimentation d'eau de nappe par arrivée artésienne ;

- quelle alimentation hydrologique et fonctionnement piézométrique du *Trollio-Molinietum* au contact du *Caricetum diandrae*.



Cartographie phytosociologique du marais de Porfondrez (25) (CBNFC, 2010)

EXEMPLE 2 : la tourbière de « Sur les Seignes » (Frambouhans, 25)

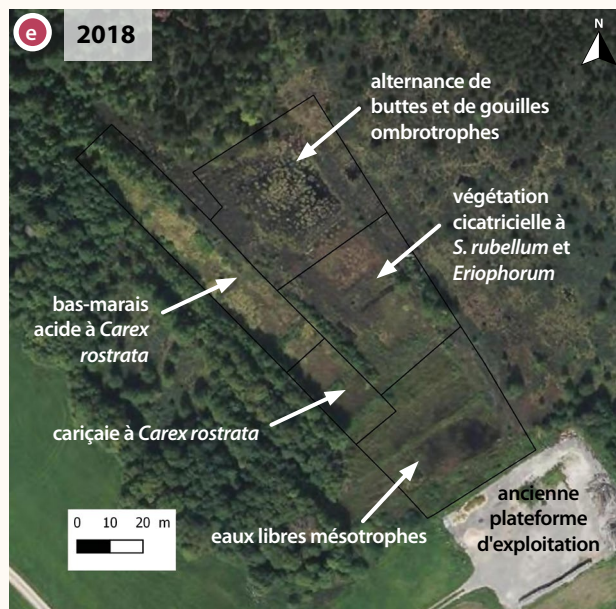
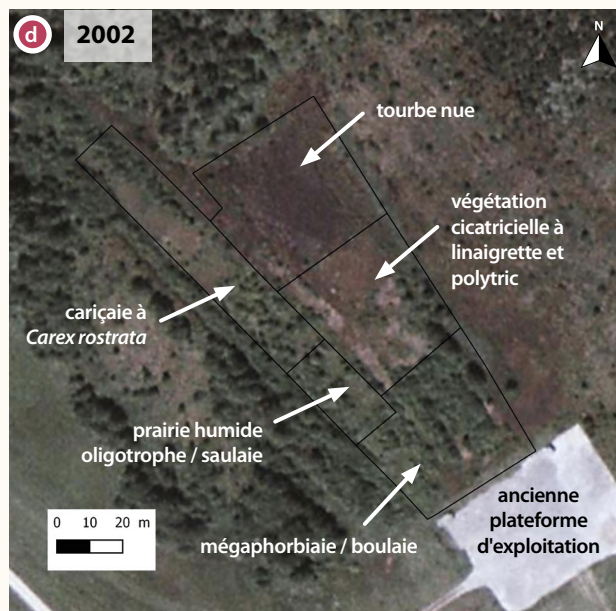
La végétation de cette tourbière est typique du nord du Haut-Doubs : un haut-marais totalement boisé, en son centre par une pinède à crochet et à sa périphérie par une pessière. Sa partie sud fait toutefois exception, du fait notamment de l'exploitation de tourbe (mécanisée, des années 1960 aux années 1980) dont elle a fait l'objet.

Cette extraction s'est faite par travées rectangulaires, depuis la marge vers le centre de la tourbière (permettant ainsi l'évacuation des eaux) et à des profondeurs diverses en fonction du degré d'avancement. Les épaisseurs de tourbe restantes au fond des travées allaient ainsi de zéro (atteinte des argiles sous-jacentes) à près de 2 mètres d'épaisseur **d** :

- les parties ayant la plus forte épaisseur de tourbe présentaient alors localement une tourbe nue en cours de colonisation par une végétation oligotrophile acidiphile clairsemée à base de linaigrettes et polytrics ;
- les parties ayant la plus faible épaisseur présentaient quant à elles un gradient de végétation allant, depuis l'amont vers l'aval, de groupements oligo-mésotrophiles et acidiphiles (cariçaies à *Carex rostrata* essentiellement) à des groupements mésotrophiles neutrophiles (prairie humide/mégaphorbiaie/boulaie).

Cette lecture de la végétation a permis de cerner rapidement son potentiel d'évolution en cas de remontée des niveaux d'eau **e** :

- sur les parties les plus épaisses, orientation vers des groupements de haut-marais actif dominés par les sphaignes rouges ;



Situation de la tourbière de « Sur les Seignes » (Frambouhans, 25) avant et après travaux. Photo du bas : la couleur jaunâtre dans la travée ouest montre le développement des sphaignes du groupe *recurvum*

- sur les parties les moins épaisses, évolution à l'amont vers un bas-marais acide à *Carex rostrata* et sphaignes vertes (passage d'un *Caricetum rostratae* à un *Sphagno-Caricetum rostratae*) et choix à l'aval de s'orienter vers des groupements aquatiques mésotrophiles.

Approche topographique de surface et lien avec l'hydrologie

L'approche « écoulements théoriques de surface » a été un préalable systématisé dans le cadre du Life, facilitée par l'utilisation du modèle numérique de terrain (MNT), acquis à large échelle par des prospections LIDAR (*Light Detection And Ranging*).

► **Le modèle numérique de terrain (MNT)** constitue une aide précieuse :

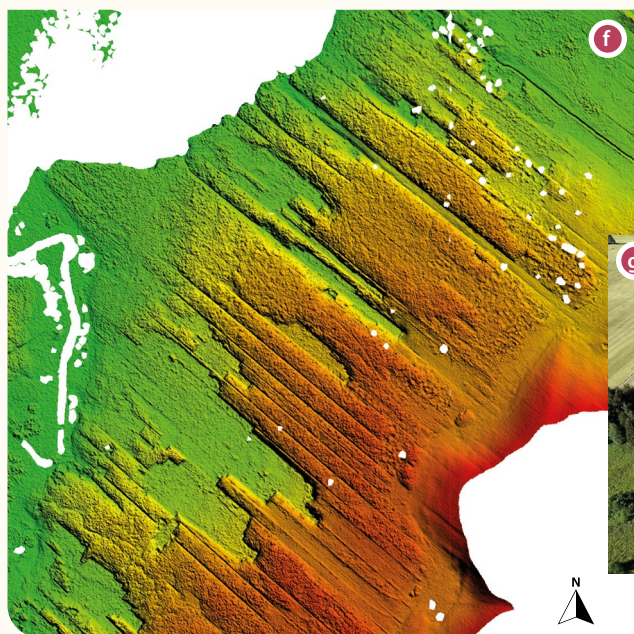
- dans les zones anciennement exploitées qui se sont boisées ;
- dans les zones où les fossés sont visuellement masqués par le boisement ou par une recolonisation végétale en surface, mais perceptibles via la micro-topographie décelée au LIDAR. L'action drainante persiste en sous-écoulement ;
- dans les zones de marais où les cours d'eau ont été recalibrés, la recherche des anciens méandres masqués par la végétation est plus évidente.

► **Les traitements numériques de la topographie du MNT** ont permis d'obtenir les courbes de niveau des sites, de tracer des bassins versants théoriques, de modéliser des flux de surface potentiels.

Avec des logiciels d'analyse topographique, il a été possible de procéder à une modélisation des écoulements potentiels de surface tenant compte de la topographie. Les écoulements superficiels théoriques se dessinent, et permettent de détecter des perturbations hydrologiques de la tourbière (souvent rectilignes) : entrées/sorties, détournements, etc. Ce modèle a été confronté au terrain, en période hydrologique active, à savoir, en zone de montagne, en période de fonte de neige (ou fin d'hiver humide), lorsque la végétation est moins masquante, aplatie et les ruissellements conséquents.

EXEMPLE 1 : la tourbière des Rousses (39)

Le boisement rendait très difficile la perception de la topographie et des écoulements, surtout sur un si grand ensemble tourbeux. Le réseau d'écoulements modélisés, mis en évidence grâce au MNT **f**, a souvent été difficilement perceptible sur le terrain, d'autant plus sous un couvert boisé d'épicéas ou de pins à crochets **g**.



Au sein du haut-marais, les fossés apparaissent clairement sur le MNT alors qu'ils sont presque invisibles sur le terrain, surtout dans la pinède

Du fait de leur faible largeur, certains fossés ont pu être couverts par de la végétation en surface **g**, conservant cependant leur effet drainant en sous-écoulement.



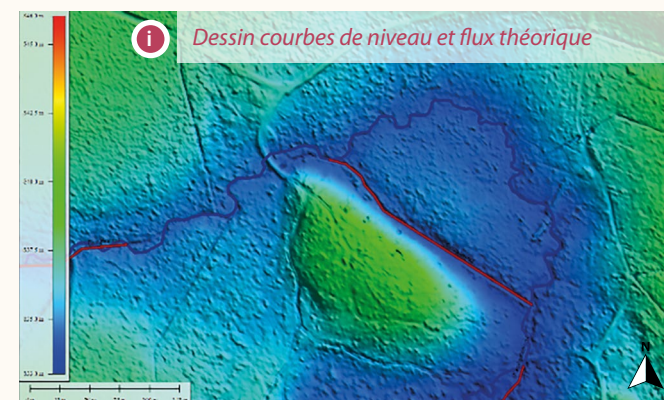
Emprise d'un fossé masqué par des buissons d'airelles, rendu visible lors de sa remise en eau. Avant travaux d'oblitération, la dépression restait toujours sèche et fortement masquée par la végétation (photo à droite)

Les éricacées, très recouvrantes, masquent souvent ces légères dépressions. Sans l'aide du MNT, compte-tenu de l'importance du réseau de drainage, une unique approche de terrain aurait été extrêmement compliquée et à l'efficacité limitée. Le MNT a également permis de dimensionner rapidement les linéaires nécessaires aux travaux.

EXEMPLE 2 : le ruisseau de Champs des Auges (Frasne, 25)

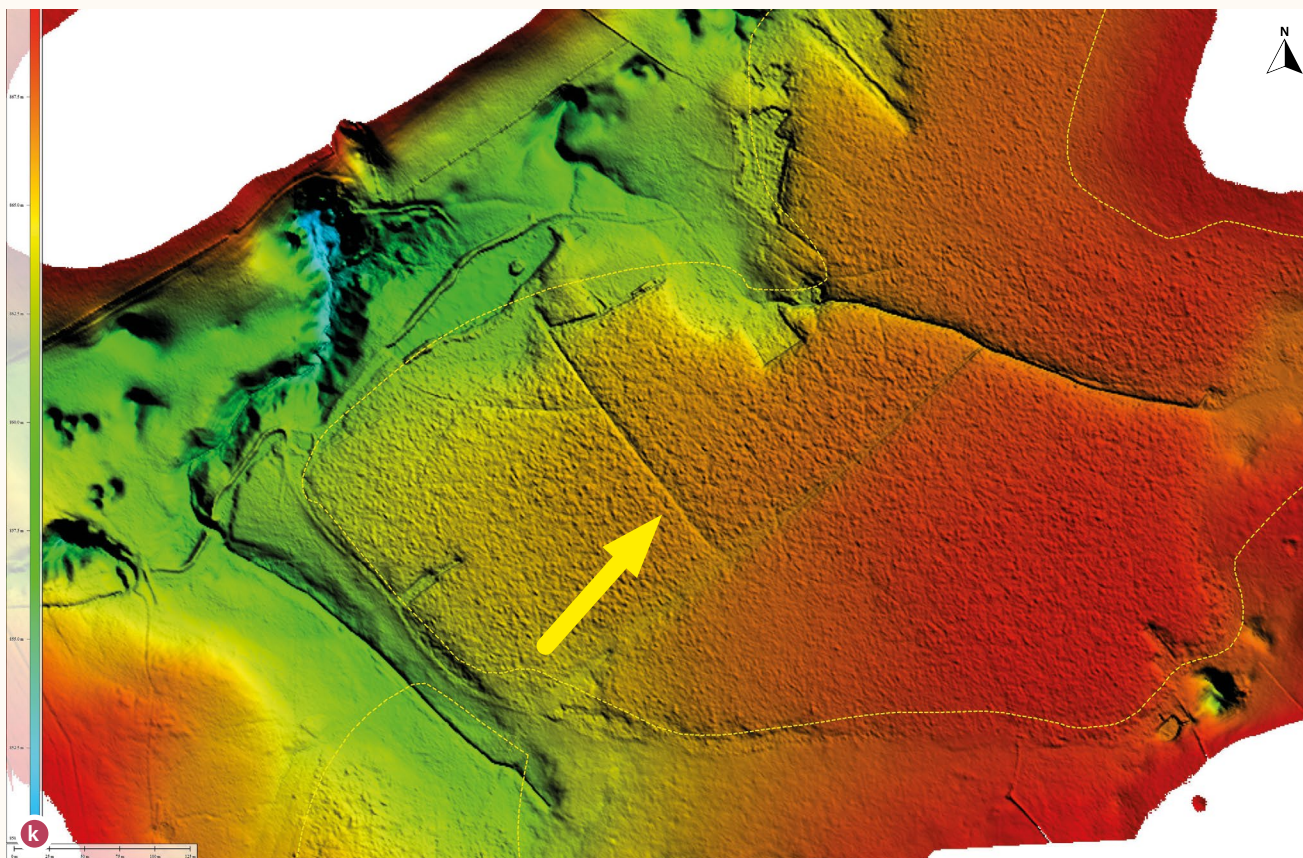
Le ruisseau de Champs des Auges a fait l'objet de travaux de rectification pour améliorer la production forestière, via le drainage. La forêt s'est fortement densifiée et l'ancien lit du cours d'eau n'était quasiment plus visible.

L'analyse du MNT a permis de repérer précisément les anciens méandres dans une zone forestière particulièrement dense sous couvert boisé **i j** (cf revue L'Azuré n°24, p. 6).



EXEMPLE 3 : la tourbière des Cerneux-Gourinots (Fournet-Blancheroche, 25)

Ici également, le boisement de pins à crochets et le couvert de végétation en surface rendait très difficile la perception des deux drains complémentaires au fossé principal. Le commencement du drain identifié par la flèche jaune **k** est d'ailleurs tellement bien masqué par la végétation qu'il n'apparaît pas sur le MNT. C'est l'observation de sa prolongation sur le MNT qui a permis d'identifier sa présence. De même, le sens d'écoulement du drain principal était particulièrement difficile à déterminer sur le terrain.



MNT de la tourbière des Cerneux-Gourinots (25). Le contour du dépôt figure en pointillé jaune

L'eau, quantité et qualité

L'exploitation de tourbe, par élimination des couches supérieures de tourbe de haut-marais, a fait émerger en surface, des eaux plus minéralisées en périodes de hautes eaux. Le drainage actif limite cependant l'effet de ces apports sur la végétation.

La résultante se traduit par une végétation plutôt ombrophile en surface, en mosaïque avec des patches de végétation plus minérophile.

Afin de mieux comprendre le fonctionnement hydro-écologiques des complexes d'habitats issus de régénération de tourbière exploitée, les études diagnostics ont parfois donné lieu à des investigations poussées sur le volet hydrologique.

EXEMPLE 1 : la tourbière de la Grande Seigne (Granges-Narboz et Houtaud, 25)

cf p. 33 : La tourbière de la Grande Seigne, le modèle 3D

La tourbière de la Grande Seigne a été exploitée en grande partie, générant une topographie « marches d'escalier », descendante depuis la périphérie vers le centre. Une mosaïque d'habitats s'est régénérée dans ce contexte perturbé, où une grande fosse centrale draine les écoulements de la tourbière. Les mesures de température, pH, conductivité à différentes profondeurs, ont permis de révéler des apports d'eau minéralisée par le fond et les coteaux de la tourbière, qui sont drainés vers l'ouest, via la grande fosse centrale.

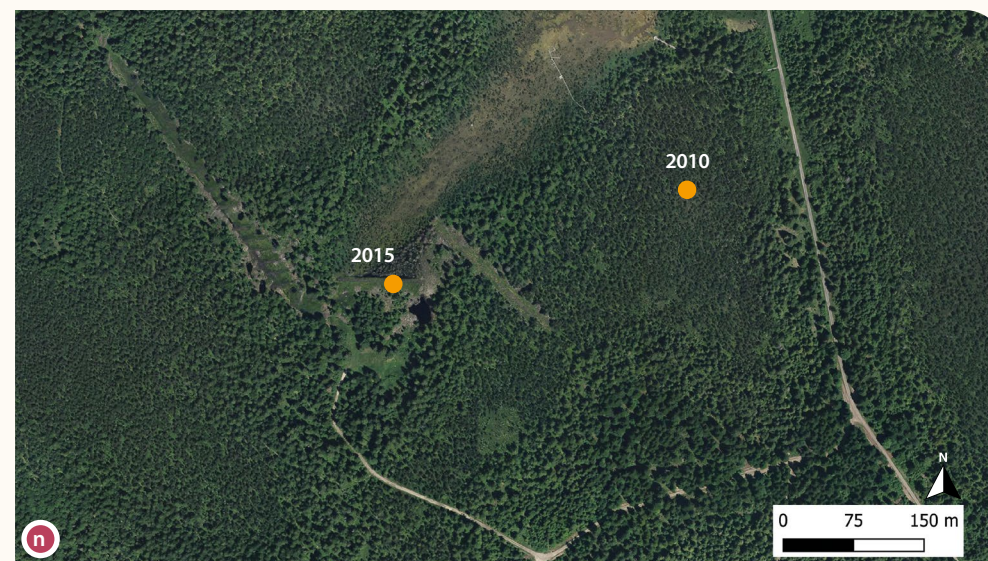
Cela a permis de générer des hypothèses du modèle de mise en place initiale de la tourbière et de fonctionnement après l'exploitation de tourbe. Le potentiel de restauration a donc été posé notamment sur la base de ces transferts hydrologiques.

EXEMPLE 2 : la tourbière de la Seigne des Barbouillons (Mignovillard, 39)

Une première approche basée sur l'analyse de la végétation de surface et dans les carottages a permis de formuler des hypothèses d'eutrophisation d'origine non naturelle d'une partie du complexe tourbeux, potentiellement générée par l'apport d'éventuels nutriments en provenance du bassin versant. Des analyses physico-chimiques de l'eau prélevée dans les piézomètres à différentes saisons **1** ont donc été nécessaires pour tester cette hypothèse et ont montré des remontées d'eau minérotophes cal-



Tourbière de la Seigne des Barbouillons (Mignovillard, 39)



Tourbière du Forbonnet : points de carottage (Frasne, 25)

Analyse	Unité	Valeur minimum	Valeur maximum
pH		6,4	7,2
Conductivité à 25°C	µS/cm	170	316
Azote ammoniacal par distillation	mgN/l	0,5	4,8
Phosphore total	mg/l	0,09	1,7
Calcium	mg/l	41,8	105

m Quelques mesures physico-chimiques dans l'eau prélevée dans les piézomètres situés dans le bas-marais alcalin et l'émergence alcaline de la tourbière de la Seigne des Barbouillons

caires au sein du complexe tourbeux (Goubet 2019), avec une forte variabilité saisonnière. Ces mesures ont été mises en relation avec le fonctionnement du bassin versant et les transferts de charge hydraulique possibles. Par ailleurs, le point en bas-marais s'illustre par une réelle pollution à

l'azote ammoniacal **m** compte-tenu de la concentration (4,8 mgN/l), ce qui signe un lien direct avec les épandages agricoles périphériques, transférés par voie hydrologique et/ou atmosphérique.

Cela doit rendre vigilant sur les actions à mettre en place, qui doivent limiter au maximum les connexions de la tourbière avec le bassin versant. Lorsque ces reconnections sont nécessaires à l'alimentation du système tourbeux, elles doivent faire l'objet d'un travail préalable d'élimination ou de limitation des apports trophiques.

Éléments paléo-environnementaux

D'autres investigations, plus poussées en termes de ressources et compétences peuvent aider à la compréhension de la mise en place de la tourbière et de son évolution, notamment lorsque les complexes tourbeux sont grands.

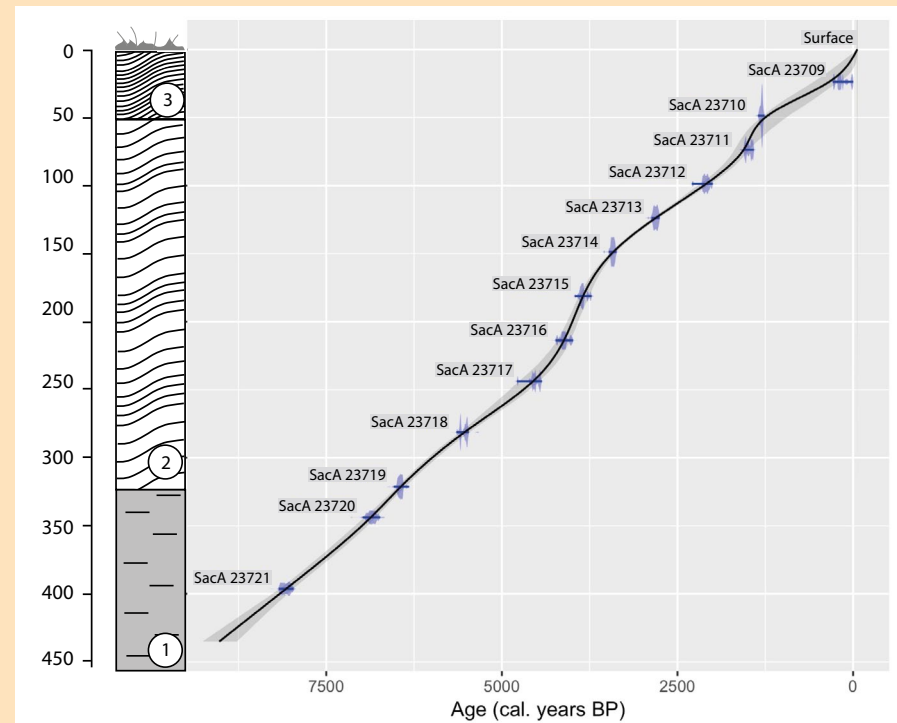
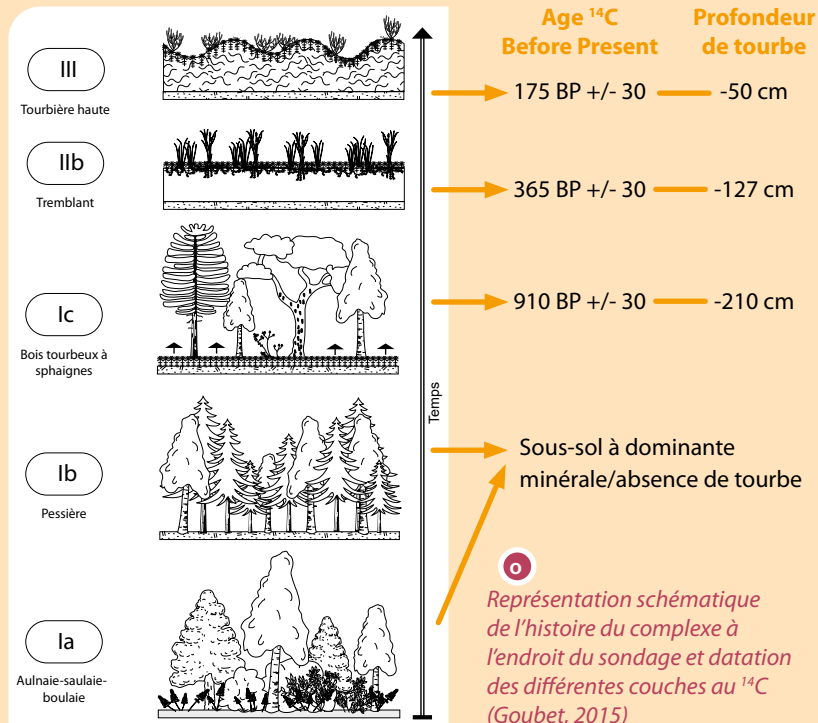
EXEMPLE : la tourbière du Forbonnet (Frasne, 25)

cf p. 48 : La tourbière du Forbonnet

Le massif tourbeux du Forbonnet à Frasne est très grand, avec près de 300 ha de tourbière, dont une grande partie en tourbière boisée, de pins à crochet ou d'épicéas, mais aussi de la tourbière haute active. Avec une telle diversité de milieux, il est clair que remplissage tourbeux ne s'est pas mis en place de la même façon et à la même vitesse partout, dans un contexte géomorphologique particulier de "micro-vallons", de moraines et de dolines.

Deux carottages ont été réalisés à 10 ans d'intervalle, à 300 mètres de distance l'un de l'autre **n** : l'un en tourbière active drainée en voie de boisement, l'autre dans la tourbière boisée à pins à crochet.

Le premier a fait l'objet d'une analyse des macro-restes végétaux, avec une datation des cinq principales phases identifiées dans la carotte de tourbe (**o**, page suivante).



Il en résulte une accumulation de tourbe extrêmement rapide (2,5 m en seulement un millier d'années), et des conditions hydrologiques qui semblent avoir évolué très vite.

Le second a fait l'objet d'une analyse palynologique et d'une datation complète **p**. Il en résulte une accumulation de tourbe beaucoup plus lente (3,3 m en 6 200 ans). Cela a permis de ré-interroger le modèle de formation de la tourbière, qui s'apparente plutôt à un complexe d'unités tourbeuses coalescentes au fil du temps, plutôt qu'une seule tourbière.

Ce travail débouche aujourd'hui sur des prospections géophysiques, pour mieux caractériser la composition et la structure du sous-sol minéral, qui a généré des flux d'eau et influencé la formation de la tourbe de façon hétérogène, dans l'espace et dans le temps.

En conclusion : de l'approche fonctionnelle au projet de restauration

Le diagnostic fonctionnel doit être le plus efficace possible : certains éléments clés du fonctionnement sont importants, et facilement mesurables et identifiables. Ils doivent permettre d'identifier clairement le(s) élément(s) de dysfonctionnement de la turfigenèse ancienne et/ou actuelle, pour juger de la capacité à agir dessus.

Certains grands sites nécessitent plus de mesures et de temps, car la taille de l'écosystème tourbeux apporte souvent de la complexité.

Les différentes approches fonctionnelles ont été adaptées à un objectif d'opérationnalité, pour assurer un maximum de chantiers, sans jamais négliger le couplage végétation/tourbe/hydrologie.

Mais une fois cette étape réalisée, il a été important de mesurer le potentiel de restauration, en fonction des enjeux du site (patrimoine, carbone, soutien d'étiage, etc.), de son fonctionnement actuel et de sa capacité à se régénérer.

La construction des projets de revitalisation des marais tourbeux a été dimensionnée dans le cadre du meilleur rapport coût/efficacité, en fonction des valeurs précédemment définies.



Partie 2

12 travaux du Life







Carte des 12 projets présentés dans ce recueil






Sur 7 ans, le programme Life tourbières du Jura a permis de restaurer 52 tourbières, soit 10 % des tourbières du massif jurassien et 16 % de celles de sa partie franche-comtoise..

Au total, ce sont 300 ha de tourbières qui ont directement été impactées par les actions de restauration mises en place, sur 34 communes et 16 sites Natura 2000.

Dans ce recueil, il n'était pas possible de présenter tous les sites réhabilités. Le choix a donc été fait de présenter 12 projets sous forme de fiches, synthétisant les différentes approches initiées, les problématiques identifiées, les solutions trouvées et les résultats attendus.

A la fin de certaines fiches, une liste de documents utiles est proposée afin de compléter la lecture. L'icône  indique que la référence est disponible sur internet tandis que l'icône  précise que le document est disponible sur demande.

Les acteurs engagés sur les sites

-  Parc naturel régional du Haut-Jura
-  Conservatoire d'espaces naturels de Franche-Comté
-  Les amis de la Réserve naturelle du lac de Remoray
-  Etablissement public d'aménagement et de gestion des eaux Haut-Doubs Haute-Loue
-  Syndicat mixte Doubs Dessoubre

La tourbière des Cerneux-Gourinots

Carte d'identité

Site Natura 2000 : Tourbière des Cerneux-Gourinots et zones humides environnantes, les Seignes des Guinots, le Verbois

Organisme gestionnaire : Conservatoire d'espaces naturels de Franche-Comté (CEN FC)

Années des travaux : 2017-2018

Communes : Fournet-Blancheroche, Frambouhans & Les Écorces (25)

Accessibilité du site : 80 % propriété privée, 20 % associatif (CEN FC et autres)

Surface du complexe tourbeux : environ 60 ha

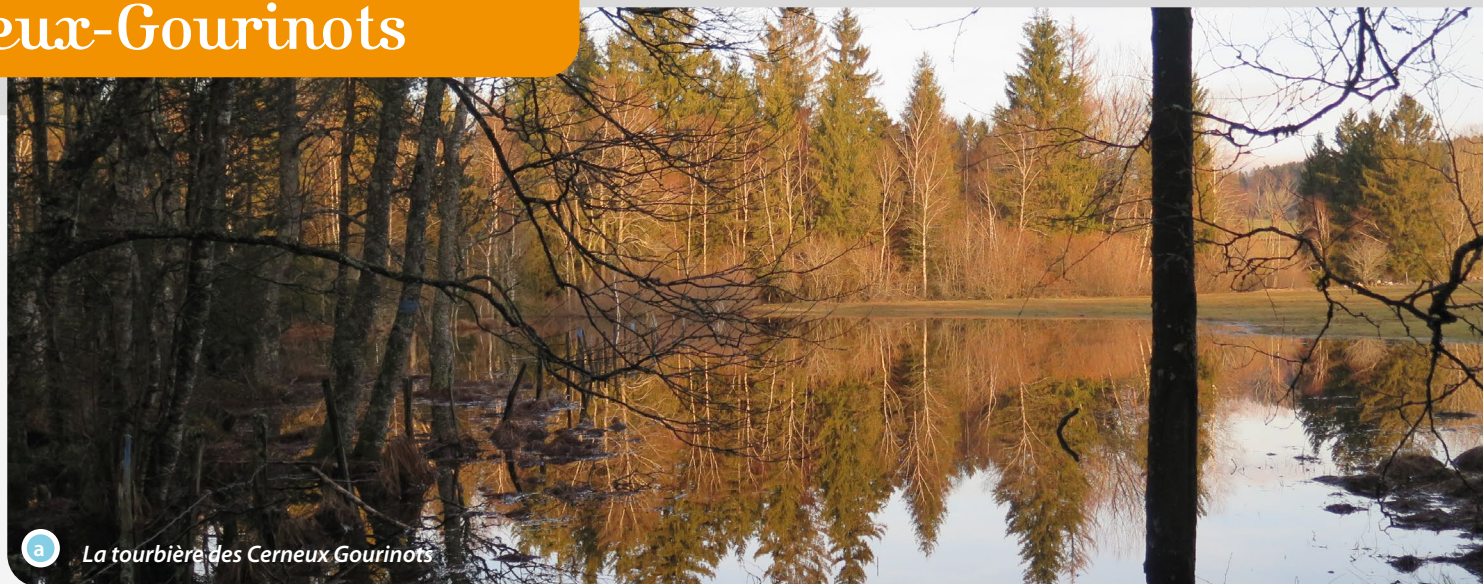
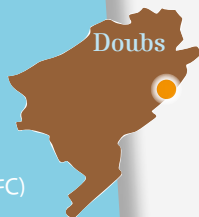
Altitude : 865 m

Usages :

- exploitation ancienne de la tourbe (du 19^e au 20^e siècle)
- pâturage en bordure de la tourbière (AOP Comté)
- chasse, cueillette

Espèces d'intérêt : Laïche étoilée (*Carex heleonastes*), Utriculaire du nord (*Utricularia stygia*), Linaigrette grêle (*Eriophorum gracile*), Tarier des prés (*Saxicola rubreta*), Leucorrhine à gros thorax (*Leucorrhina pectoralis*), Nacré de la canneberge (*Boloria aquilonaris*)...

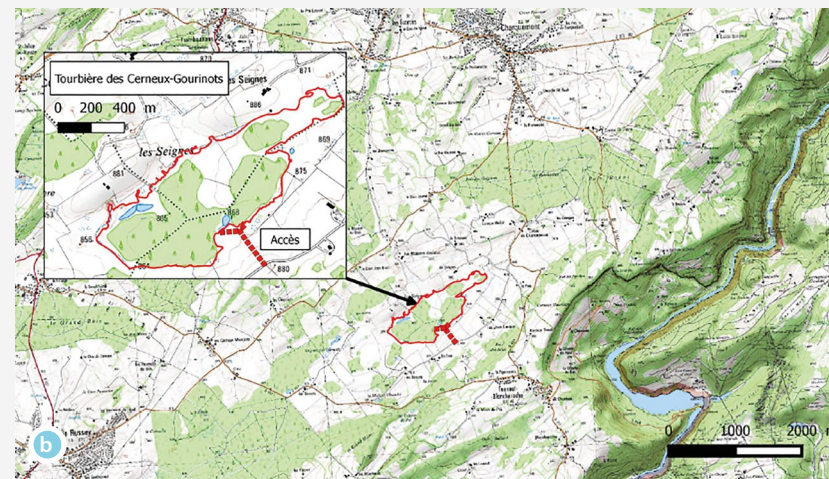
Tarier des prés
Saxicola rubreta



a La tourbière des Cerneux Gourinots


Contexte

La tourbière des Cerneux-Gourinots **a**, située sur le plateau calcaire du Russey, occupe le fond d'une vaste dépression synclinale issue de la compression alpine **b**. Contrairement au schéma classique des tourbières du massif du Jura, la géomorphologie du plateau du Russey n'a pas été influencée par les glaciations du Würm ou du Riss, dont le front de moraines externes est cartographié quelques kilomètres au Sud (Bichet V. & Campy M., 2016). La genèse de ce site relèverait alors de la présence d'un petit bassin karstique mal drainé sur substrat imperméable. Les marnes (du Purbeckien/Crétacé) sont à l'origine de conditions hydromorphes favorisant l'apparition de la tourbière dans ce contexte karstique, comme en témoigne la présence des nombreuses dolines qui bordent ce site.



Situation de la tourbière des Cerneux-Gourinots

Aujourd'hui, la tourbière est un haut-marais ombrotrophe, essentiellement recouvert par une pinède à crochet.

La généralisation de cet habitat à l'ensemble du haut-marais est allouée aux activités humaines passées telles que le drainage ou le tourbage réalisées entre le XVII^e et le XIX^e siècle, dont les stigmates sont encore perceptibles dans la tourbière. D'anciennes fosses d'extraction de tourbe sont présentes sur la périphérie du bombement et de nombreux fossés drainants ont été aménagés autrefois, notamment pour l'alimentation d'un moulin .

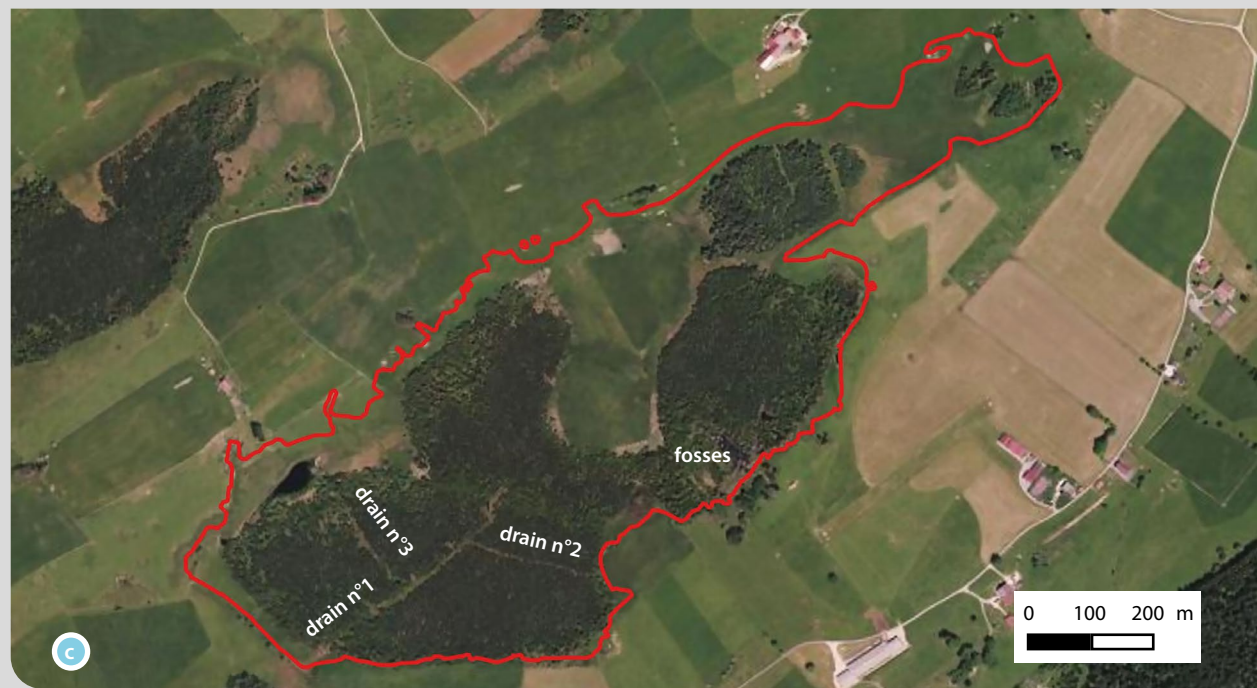
Diagnostic

IDENTIFICATION DES PROBLÈMES

La tourbière se comporte comme un compartiment isolé du point de vue hydrologique, alimentée de manière quasi exclusive par les apports météoriques. Le fonctionnement hydrologique de la partie supérieure (acrotelme) est perturbé par un réseau de fossés de drainage ou de fosses d'extraction qui accélèrent les flux et participent à l'assèchement du haut-marais. Le manque d'eau provoque la minéralisation de la tourbe, qui en s'affaissant augmente le phénomène de drainage, et ainsi de suite. L'Épicéa, qui est un bon marqueur des zones minéralisées, occupe ces secteurs.

ANALYSE FONCTIONNELLE ET POTENTIEL DE RESTAURATION

Sur la base des éléments du plan de gestion (Billant O., 2015) et l'acquisition d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT) par Lidar, plusieurs scénarios de réhabilitation hydrologique ont été étudiés. Rapidement, les pressentis liés à la cartographie de la végétation ont été confirmés par la microtopographie du site. La modélisation des flux hydrauliques a montré les perturbations engendrées par les fossés de drainage, surtout ceux perpendiculaires à la pente naturelle. Un affaissement notable de la tourbe par minéralisation, parfois de plus d'un mètre, accompagne le réseau de fossés qui sillonne le site.




Perturbations identifiées sur la tourbière des Cerneux-Gourinots

En fonction des éléments fonciers, techniques et financiers, les choix se sont portés sur deux secteurs les plus fortement atteints sur la tourbière :

- à l'ouest, un réseau de fossés (750 mètres) évacuant rapidement les eaux de pluie du haut-marais et dérivant une partie des flux de surface ;
- à l'est, une série de fosses plus ou moins profondes drainant et dérivant une partie des flux vers une perte karstique.

Au vu de ces éléments, le ralentissement et le rétablissement des flux originaux dans le sens de la pente globale de la tourbière est apparu comme un bon compromis pour limiter la minéralisation du haut-marais, voire relancer une dynamique de turfigenèse localisée.

ENJEUX DU SITE

► **Biodiversité** : la tourbière a été considérablement fermée par le Pin à crochets . Elle reste cependant un réservoir biologique majeur pour de nombreuses espèces végétales de haut-marais. Cet équilibre fragile est menacé à moyen ou long terme par un phénomène de minéralisation s'aggravant avec le drainage.

► **Alimentation en eau** : la topographie ayant été fortement modifiée, le ralentissement des flux hydrauliques est nécessaire pour limiter l'influence du drainage et de son corollaire, la minéralisation.



*Pin à crochets
Pinus uncinata*

Avant - Après

CONSÉQUENCES

Le haut-marais de la tourbière des Cerneux-Gourinots a connu de fortes atteintes par le passé. Si l'évolution du site semble stabilisée au stade de la pinède à crochet, les effets insidieux des fossés de drainage et des fosses d'extraction existent et participent à la minéralisation lente mais inexorable d'une partie du site.

Les travaux en chiffres

Période : le chantier a débuté le 01/08/2017 (bûcheronnage) et a été achevé le 24/01/2018. La mise en défens des anciennes fosses d'extraction a été réalisée en mars 2019

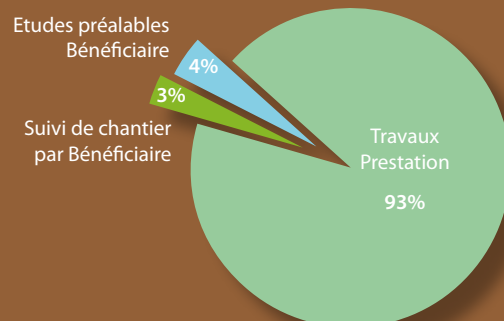
Linéaire et surface :

- Neutralisation de 719 m de fossés de drainage
- Fermeture de 1,2 ha d'anciennes fosses d'extraction
- Impact attendu de 2 ha de sol remouillé à plus ou moins long terme

Prestataires : Jura Natura Services pour le chantier hydrologique & Lycée François Xavier pour la mise en défens

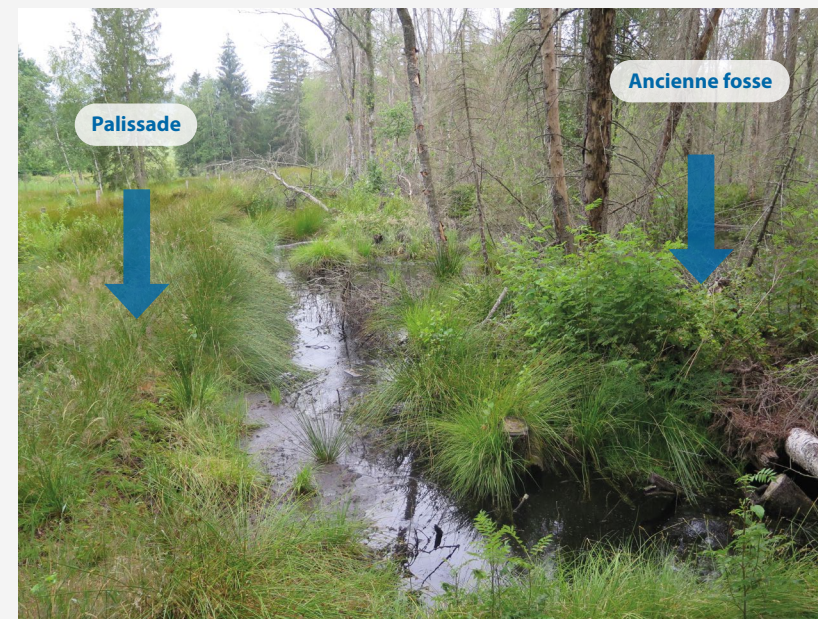
Coût total des actions Life : 177 851 € TTC *

- Travaux (vert) : 169 920 €
- Actions préalables (bleu) : 7 931 €



* les coûts des actions réalisées en préalable (hors Life) sur le site ne sont pas pris en compte

Remontée du niveau d'eau dans une ancienne fosse d'extraction



Travaux

Des travaux de neutralisation du réseau de drainage afin de remonter le niveau d'eau et de le remettre dans le sens de la pente naturelle a été réalisé (page suivante).

Afin d'éviter les nombreux allers-retours des machines pour apporter les matériaux nécessaires à l'édification des palissades en bois, la solution par hélicoptage a été retenue. Le tassement des sols a ainsi pu être évité, pour un coût environnemental (rejet de carbone) équivalent.

ÉLÉMENTS RÉGLEMENTAIRES

- Aucune – information à la cellule eau de la Direction départementale des territoires du Doubs et au service

Biodiversité eau patrimoine (BEP) de la DREAL Bourgogne-Franche-Comté.

Résultats

Après l'implantation des palissades, le niveau d'eau est remonté dans les anciennes fosses d'extraction jusqu'à affleurer au niveau du sol.

Les épicéas, qui trouvaient des conditions favorables à leur croissance, ont rapidement dépéri et le cortège de sphagnes s'est étendu.

Contact

Julien Langlade, chargé de mission au CEN Franche-Comté :
03 81 53 97 81 - julien.langlade@cen-franchemcomte.org

Afin d'accéder aux zones de chantier et de mettre en place les ouvrages, des **couloirs de circulation** (1 et 2) ont été aménagés au sein de la pinède de haut-marais (environ 800 m de long et 10 m de large).

En ligne



Les travaux de la restauration fonctionnelle

Pose de palissade en panneau tripli



4

Pour **neutraliser les écoulements dans les fossés de drainage** du secteur ouest, des barrages ont été mis en place : pose de 5 palissades en madrier de bois (3) (110 m au total) et de 8 palissades en panneaux de bois (4).

Pose de palissade en madrier de bois



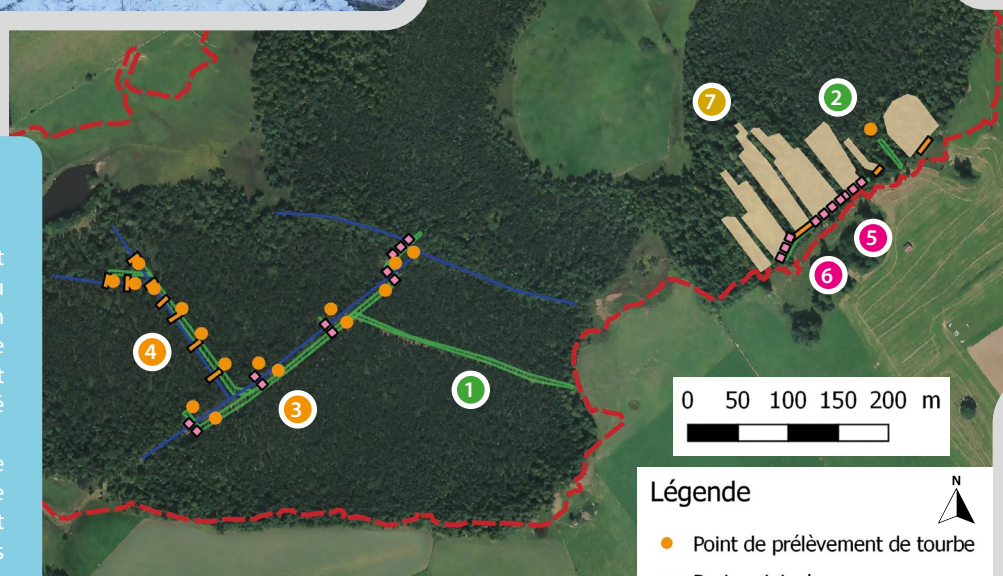
3

Points de vigilance

► **Merlon de tourbe** : la couverture de tourbe s'est fortement affaïssée sur quelques mètres carrés au niveau d'un ouvrage laissant apparaître le bois de la palissade en dessous. L'hypothèse avancée pour expliquer ce phénomène est liée aux étés 2018 et 2019 très chauds et secs qui n'ont pas permis de maintenir l'humidité nécessaire dans la tourbe du merlon.

Il a été repris sur une demi-journée d'intervention en régie à l'aide de deux stagiaires du Lycée François-Xavier, Lycée d'Enseignement Agricole de Besançon. Les résultats sont mitigés, les niveaux d'eau régulièrement bas derrière les palissades ne permettent pas d'humidifier les tourbes en surface. Cependant, les chaméphytes comme la Myrtille ou la Callune, semblent bien repartir sur les merlons malgré la sécheresse. C'est une piste à suivre pour le futur.

► **Sécurisation de la tourbière** : des chevaux de l'élevage voisin ont pénétré dans la tourbière par un secteur non clôturé et une jument s'est embourbée dans une gouille de prélèvement, occasionnant la mort de l'animal à terme malgré son sauvetage. Au-delà de cette perte pour l'agriculteur, l'incident a occasionné de légers dégâts au niveau des accès et de la zone d'intervention. La zone est aujourd'hui clôturée et la gouille a été en partie comblée par des rémanents de l'abattage lors de l'ouverture des accès du chantier.



Plan des travaux menés dans le cadre de la restauration de la tourbière du Crossat

- Légende**
- Point de prélèvement de tourbe
 - Drain original
 - ▣▣▣ Palissade en madriers de bois
 - ▬ Panneau triplis
 - ▭ Contour de la tourbière
 - Extraction ancienne de tourbe
 - ▬ Couloir d'abatage/défrichement



7

Des **travaux de mise en défens** (7) ont été réalisés au niveau des anciennes fosses d'extraction

Mise en défens des secteurs restaurés : pose de clôtures



5

Les **anciennes fosses d'extraction** ont été fermées pour maintenir un **niveau d'eau favorable** à la reprise de la turfigenèse dans le secteur est : pose de 4 palissades en madriers de bois (5) (80 m au total) et de 2 palissades en panneau de bois (6).

Couverture des palissades en madrier de bois avec la tourbe puis la végétation

Le Marais de Villeneuve-d'Amont

Carte d'identité

Site Natura 2000 : Vallée de la Loue et du Lison

Organisme gestionnaire : Conservatoire d'espaces naturels de Franche-Comté (CEN FC)

Année des travaux : 2018-2019

Commune : Villeneuve-d'Amont (25)

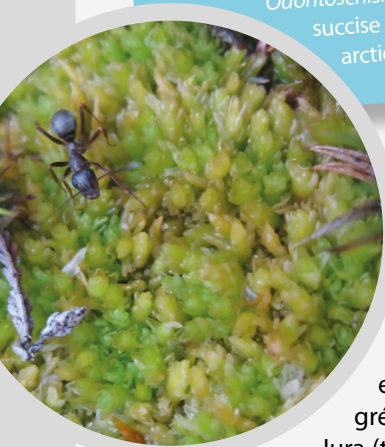
Accessibilité du site : site non réglementé et non aménagé pour la visite

Surface du complexe tourbeux : 24 ha

Altitude : 660 m

Usages :
• Exploitation forestière

Espèces d'intérêt : Rossolis à feuilles rondes (*Drosera rotundifolia*), Géranium des marais (*Geranium palustre*) *Sphagnum compactum*, *Odontoschisma sphagni*, Damier de la succise (*Euphydryas aurinia*), Cordulie arctique (*Somatochlora arctica*)...



Sphagnum compactum

Contexte

Le Marais de Villeneuve **a** est un haut-marais qui, malgré une altitude modeste pour le Jura (tourbière bombée la plus basse du massif), présente une forte typicité.



Vue aérienne depuis le nord de la tourbière. Au premier plan, la fosse d'extraction colonisée par le bouleau pubescent

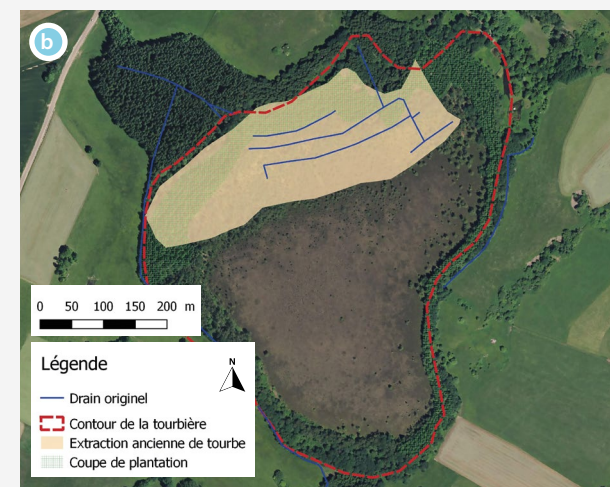
Au-delà d'un bombement très marqué, un des plus spectaculaires de Franche-Comté, elle présente en effet un zonage tout à fait caractéristique avec, au centre, des communautés ouvertes de haut-marais actif et de lande, entourées d'une ceinture boisée périphérique. La transition (topographique, hydrologique, trophique et biologique) est très rapide avec les milieux environnants non tourbeux (prairies humides, prairies mésophiles et plantations d'épicéa). Les eaux excédentaires sont collectées par un réseau de dolines situées en bordure immédiate de la tourbière.

Diagnostic

IDENTIFICATION DES PROBLÈMES

Si une grande partie de la tourbière présentait encore un bon fonctionnement au moment du diagnostic, un certain nombre d'atteintes étaient visibles, plus particulièrement dans sa partie nord **b** : un réseau de fossés de

drainage (850 m) ; une extraction massive de tourbe (**c**, page suivante - de l'ordre de 60 000 m³), à l'origine d'une vaste fosse représentant un quart de la superficie de la tourbière (6,8 ha) ; une plantation d'épicéas (5,0 ha).



Localisation des atteintes

CONSÉQUENCES

Ces différentes atteintes ont eu plusieurs effets sur le marais de Villeneuve-d'Amont :

- l'extraction de tourbe a créé une pente de 2 % dans la fosse ;
- la plantation d'épicéas a induit une augmentation de l'évapotranspiration, une interception des précipitations et un ombrage important ;
- le réseau de drainage intercepte les eaux issues du centre de la tourbière pour les évacuer rapidement vers l'extérieur.

La combinaison de ces effets a principalement conduit à un abaissement prononcé de la nappe se traduisant :

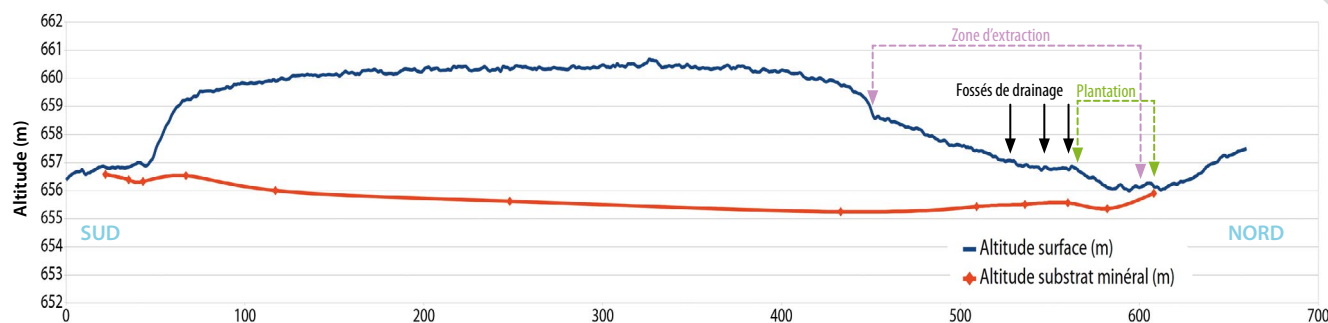
- sous la plantation d'épicéa **d** : par l'absence de toute végétation turfigène, l'essentiel de la surface étant réduite à un tapis d'aiguilles, les premiers décimètres de tourbe étant marqués par une nette minéralisation ;
- dans le reste de la fosse d'extraction **e** : par une progression du bouleau et de la molinie, nettement plus prononcée à proximité des drains.



Aspect de la plantation avant travaux



Progression du bouleau et de la molinie au sein de la partie drainée de la zone d'extraction (la plantation d'épicéa apparaît au second plan)



c Transect topographique de surface et de sub-surface

Travaux

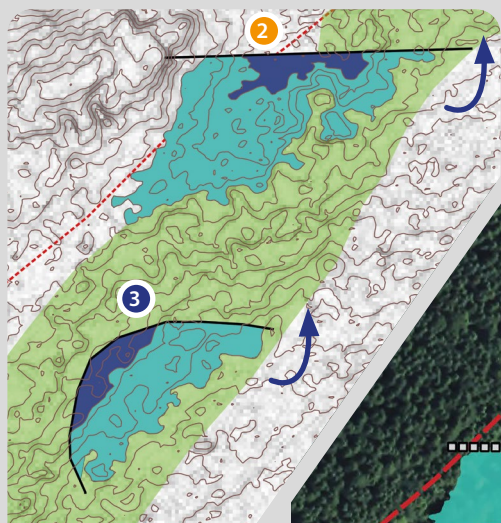
Afin de rehausser la nappe, de relancer localement la dynamique de formation de la tourbe et de reconstituer des habitats plus typiques des milieux tourbeux, trois types d'actions ont été choisies :

- coupe des épicéas ;
- neutralisation de fossés de drainage, par obturation partielle ou totale ;
- réhumectation localisée de la zone d'extraction, par la construction de quatre barrages en palplanches métalliques.

Cette troisième opération a nécessité un travail de réflexion nettement plus poussé que les autres. En effet, la configuration de la zone de tourbage (grande superficie, pente relativement importante, absence de merlons vestiges de l'extraction), d'une part ne permettait pas d'envisager une rehausse de la nappe sur l'ensemble de la zone et, d'autre part, posait des problèmes d'ancrage latéral des ouvrages.

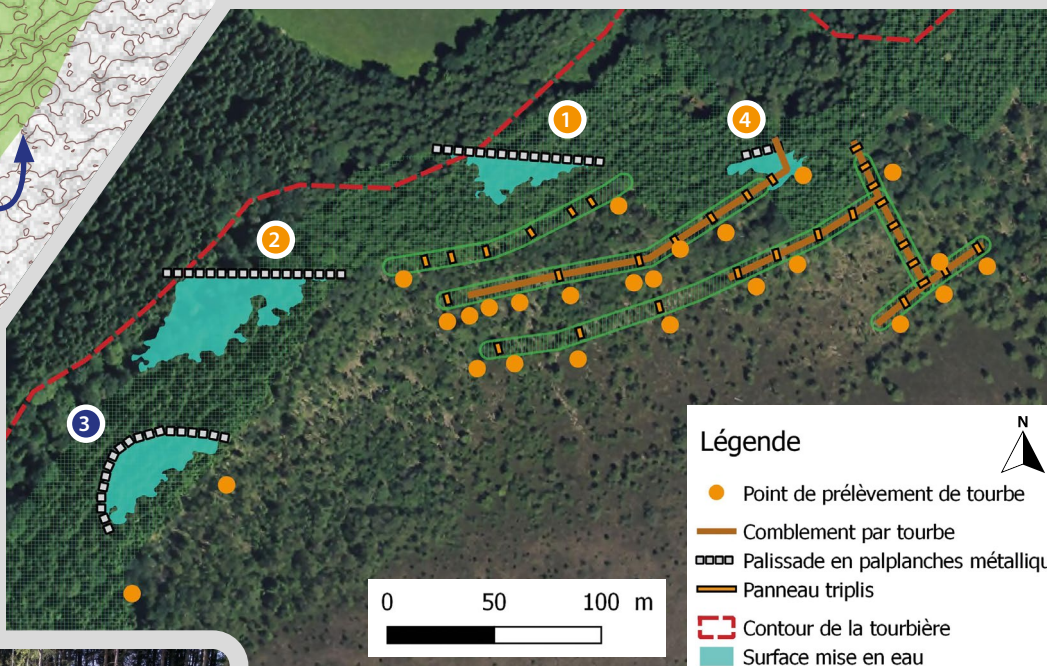
Il a donc été choisi de réaliser des remontées de nappe localisées, par la constitution de quatre barrages à surverses latérales.

Leur positionnement a été défini en fonction de la topographie fine de la zone, c'est-à-dire en fonction de la possibilité de positionner les deux extrémités de chaque barrage sur les cotes altitudinales les plus élevées (le reste du linéaire étant donc en dépression par rapport aux extrémités). Le choix des palplanches métalliques a quant à lui été motivé par la nécessité de faire des ouvrages courbes (voir barrage n° 3, page suivante), de grande longévité et pour ce cas précis, à un coût moindre que celui des barrages en madriers de bois.



Equidistance des courbes : 10 cm
Flèches bleues : surverses latérales

L'existence de petits talwegs a permis la conception de **barrages linéaires** pour les ouvrages 1, 2 et 4. Par contre, l'absence de configuration de ce type dans le secteur du barrage 3 a obligé à concevoir un **ouvrage courbe** pour obtenir l'effet de rétention désiré.



Légende

- Point de prélèvement de tourbe
- Comblement par tourbe
- ▤▤▤ Palissade en palplanches métalliques
- ▬ Panneau triplis
- ▭ Contour de la tourbière
- Surface mise en eau
- ▨ Couloir d'abatage/défrichement
- ▧ Coupe de plantation



Barrage n° 1 façonné (sauf extrémités), avant paillage



Barrage n° 3 en cours de réalisation

Les travaux en chiffres

Périodes : de juillet 2018 à août 2019

Linéaire et surface :

- Coupe de la plantation : 4,95 ha (2 220 m³ de bois extraits)
- Neutralisation de fossés de drainage : 850 m
- Ouvrages de remontée de la nappe : 4 barrages en palplanches métalliques pour un total de 277 m
- Ré-humectation d'environ 4,2 ha de tourbière

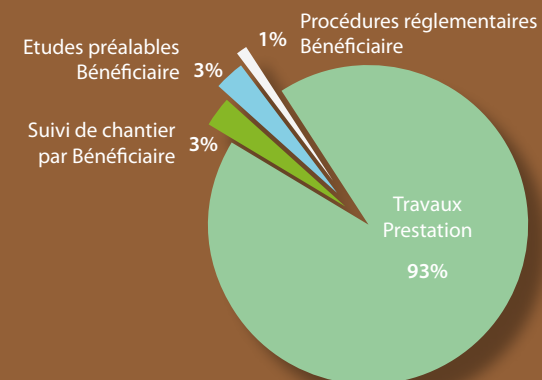
Maîtrise d'ouvrage et maîtrise d'œuvre :

- Coupe de la plantation : commune (maîtrise d'ouvrage) et ONF (maîtrise d'œuvre)
- Autres travaux : Conservatoire d'espaces naturels de Franche-Comté

Prestataires : SARL Franchini pour les travaux forestiers, Groupement FCE / Rusthul TP pour les travaux de neutralisation des fossés de drainage et ONF pour le défrichement de l'emprise des fossés de drainage

Coût total des actions Life : 164 759 € TTC *


- Travaux (vert) : 159 452 €
- Actions préalable (bleu + gris) : 5 307 €



Résultats attendus

Les zones dont le niveau d'eau a été remonté le plus proche de la surface devraient être colonisées par une végétation de haut-marais ou, sur les marges de la tourbière, par une végétation de marais de transition. Les zones périphériques sans élévation de nappe devraient quant à elles voir se reconstituer un peuplement naturel de bouleau et épicéa sur tourbe, à l'image de celui occupant les marges non artificialisées de la tourbière. Enfin, le secteur où les fossés de drainage ont été neutralisés devrait connaître une baisse de la dynamique de colonisation par le bouleau et la molinie.

Points de vigilance

- ▶ **Vestiges archéologiques :** d'après un écrit du début du XX^e siècle, la tourbière de Villeneuve héberge des vestiges archéologiques du néolithique (très rares dans les tourbières jurassiennes), mais jamais retrouvés malgré plusieurs prospections. D'où l'émoi de la communauté archéologique lors de la découverte, dans la tourbe extraite pour la couverture des ouvrages, d'une pièce de chêne ressemblant à un piquet. Après visite du site par le Service régional d'archéologie, examen dendrochronologique et datation carbone, il s'est avéré que cette pièce n'était pas due à un apport humain, mais avait plus probablement poussé naturellement sur le site, au début de l'accumulation tourbeuse.
- ▶ **Détection des fossés de drainage :** une grande proportion du linéaire de fossé était obturée en surface, donnant l'impression d'une inactivation. Or, la plupart de ces portions restaient bien actives en profondeur, du fait du maintien d'une « conduite » (dépassant parfois 40 cm de diamètre) en profondeur. Ces parties ont donc dû être sondées dans leur intégralité afin de distinguer celles à neutraliser de celles à laisser en l'état.
- ▶ **Calage topographique :** la retenue n° 1 a dû être prolongée vers l'ouest afin de permettre une surverse douce dans cette direction et ainsi dévier les flux qui, en hautes eaux, sapaient l'ouvrage.
- ▶ **Dégagements des boisements autour des ouvrages :** les dégagements réalisés autour des barrages se sont révélés insuffisants sur certains ouvrages , notamment à l'occasion d'une tornade ayant causé un chablis important sur la tourbière, un mois seulement après travaux. D'autres expériences du programme LIFE montrent que tout arbre dans l'emprise potentiel d'un ouvrage doit être éliminé dans la mesure du possible, toute réparation après travaux étant plus complexe.

Résultat d'un dégagement insuffisant des arbres autour du barrage n° 2, fort heureusement sans dommage pour ce dernier.



SUIVIS MIS EN PLACE

- ▶ Suivi de la végétation : 2 transects (protocole RhoMÉO, 17 placettes). Reconduction prévue 5 ans après travaux.
- ▶ Suivi hydrologique : sur un des deux transects de végétation, installation de 4 piézomètres munis de sondes d'enregistrement automatiques dans la zone de travaux. Poursuite prévue environ 3 ans après travaux.
- ▶ Suivi des Syrphes (analyse du peuplement avant/après travaux ; 1^{ère} campagne en 2015). Reconduction prévue dans les 5 ans après travaux.

Avant - Après

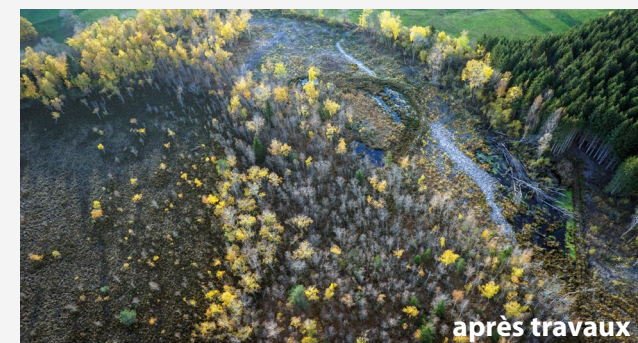
Vue aérienne du marais de Villeneuve-d'Amont



avant travaux




pendant travaux



après travaux

Documents utiles

 MONCORGÉ, S. 2017. *Tourbière de Villeneuve-d'Amont (25) - Plan de gestion 2017-2026*. Conservatoire d'espaces naturels de Franche-Comté ; Union européenne ; Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse ; Conseil régional de Bourgogne-Franche-Comté ; Conseil départemental du Doubs. 59 p. + annexes.

Contact

Sylvain Moncorgé, coordinateur tourbières au CEN Franche-Comté :
03 81 50 51 29 - sylvain.moncorgé@cen-franchecomte.org

La tourbière de la Grande Seigne

Carte d'identité

Site Natura 2000 : Bassin du Drugeon

Site Ramsar : Tourbières et lacs de la Montagne jurassienne

Arrêté préfectoral de protection de biotope du bassin du Drugeon

Maître d'ouvrage : EPAGE Haut-Doubs Haute-Loue

Années des travaux : 2018-2019

Communes : Granges- Narboz et Houtaud (25)

Accessibilité du site : site non réglementé pour l'accès mais pour certains usages, non aménagé pour la visite

Surface du complexe tourbeux : plus de 200 ha

Altitude : 815 m

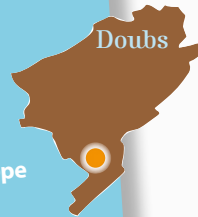
Usages :

- Chasse
- Tourbière en continuité géographique de la nappe d'eau potable de la région de Pontarlier

Espèces d'intérêt : Laïche à longs rhizomes (*Carex chordorrhiza*), Laïche étoilée (*Carex heleonastes*), Rossolis à feuilles rondes (*Drosera rotundifolia*), Liparis de Loesel (*Liparis loeselii*), Leucorrhine à gros thorax (*Leucorrhinia pectoralis*), Fadet des tourbières (*Coenonympha tullia*), Cuivré de la Bistorte (*Lycaena helle*), Solitaire (*Colias palaneus*), Damier de la Succise (*Euphydryas aurinia*), Bécassine des marais (*Gallinago gallinago*), Vanneau huppé (*Vanellus vanellus*)...



Bécassine des marais
Gallinago gallinago



La tourbière de la Grande Seigne vue du ciel

Contexte

Le vaste complexe tourbeux de la Grande Seigne ^a est constitué d'une mosaïque d'habitats, liée à l'exploitation ancienne de la tourbe. Cette dernière a lourdement impacté la partie centrale de la tourbière en abaissant son niveau topographique, mais a aussi « rafraîchi » la couche de tourbe de bas-marais, d'origine plus minérotrophe.

Le complexe tourbeux est enserré entre, d'une part les collines morainiques des Granges-Narboz au sud et à l'est, qui alimentent le marais en eaux de sources minéralisées calcaires pauvres en oxygène, et d'autre part la plaine de l'Arlier au nord (ancien delta fluvio lacustre d'origine glaciaire) dotée d'une nappe utilisée pour l'alimentation en eau potable de l'agglomération de Pontarlier. Le haut-marais s'est vraisemblablement formé secondairement sur un bas-marais de percolation, ce qui l'apparente à un type hydrologique soli-ombrogène.

Les publications historiques prouvent une intense exploitation de la tourbe durant deux siècles au moins (*André et André, 2004*), qui a considérablement modifié la topographie du massif tourbeux, et donc la circulation des eaux superficielles et de percolation.

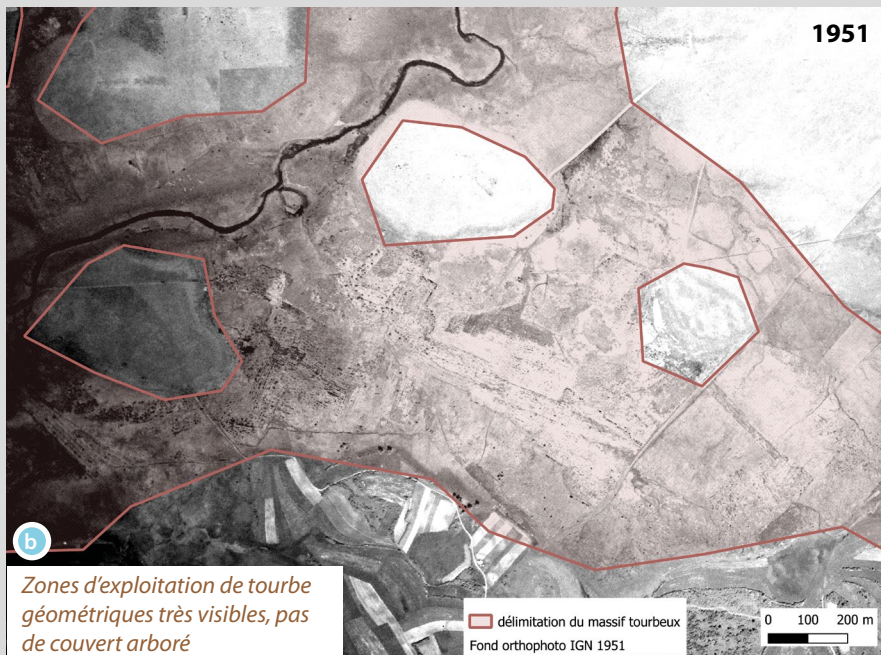
Diagnostic

IDENTIFICATION DES PROBLÈMES

La tourbière de la Grande Seigne a été colonisée par les ligneux (bouleaux, bourdaines, saules) à partir des années 1950 (comme le montrent les photographies aériennes ^b et ^c, page suivante).

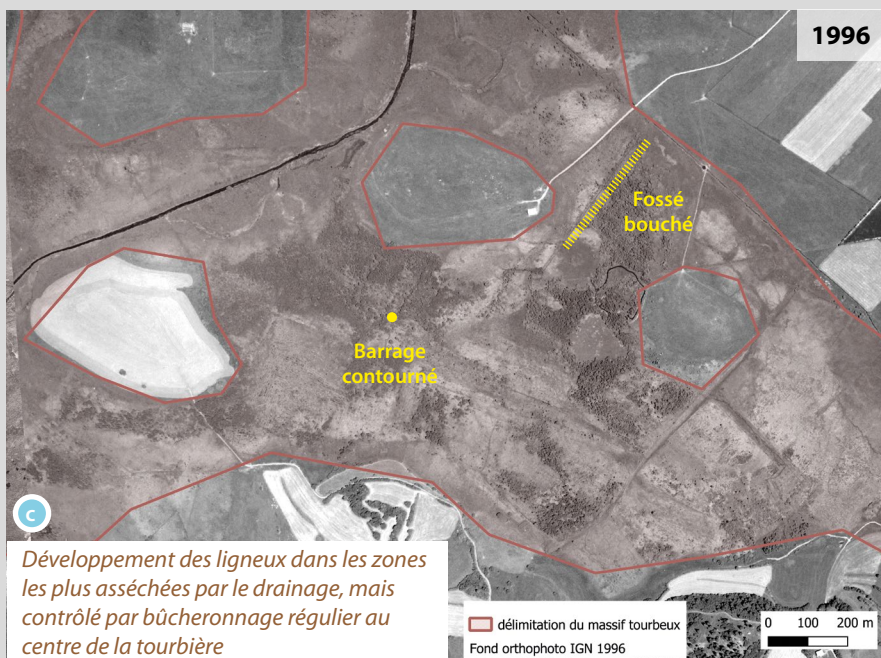
La molinie couvre une surface croissante de la tourbière et augmente l'effet de minéralisation dans les zones de battement de nappe. Les habitats de cette tourbière sont en voie de dégradation remettant en cause la présence de plusieurs espèces animales et végétales.

Vue aérienne de la Grande Seigne



1951

b
Zones d'exploitation de tourbe géométriques très visibles, pas de couvert arboré



1996

c
Développement des ligneux dans les zones les plus asséchées par le drainage, mais contrôlé par bûcheronnage régulier au centre de la tourbière

C'est le fossé de drainage principal, central, correspondant également à la fosse centrale d'extraction qui dès 1995 a été identifié comme perturbateur du fonctionnement hydrologique, lors du programme Life « Restauration du bassin du Drugeon ».

► Des coupes des ligneux ont été mises en place dès 1996 (Life « Restauration du bassin du Drugeon » puis contrats Natura 2000), avec une récurrence de 4 ans, pour enrayer la fermeture, préjudiciable aux espèces de milieux ouverts (flore, papillons, oiseaux) : les coupes ont eu pour conséquences de dynamiser les rejets ligneux au lieu de les affaiblir.

► Le fossé de drainage central a été bloqué par 2 barrages en bois dans sa partie aval en 1996 : par manque d'expérience et du fait de la poursuite de la minéralisation de la tourbe, les barrages, insuffisamment longs, ont été contournés et le drainage s'est poursuivi **c d**.

► Le fossé de drainage, exutoire des eaux de la tourbière vers le nord a été totalement bloqué par des barrages en marne et un remplissage de tourbe avec succès en 2004 **c e**.



d
2018 : un des deux barrages contournés, ouvrage réalisé en 1996



e
Colmatage du fossé exutoire nord en marne et tourbe réalisé en 2004

ANALYSE FONCTIONNELLE ET POTENTIEL DE RESTAURATION

En 2015, le bureau d'études LIN'éco a été mandaté pour effectuer un diagnostic du fonctionnement de la tourbière, définir son potentiel de régénération et proposer des mesures. L'étude a confirmé que l'exploitation de la tourbe a profondément modifié les flux hydriques de

surface et de percolation au sein du corps de tourbe **f**. Le modèle numérique de terrain, les données piézométriques et les modélisations de flux de percolation dans la tourbe ont constitué autant de preuves de la nature des perturbations.

► Les eaux de source, minéralisées et peu oxygénées, qui ont formé la tourbière, sont drainées dans les fossés périphériques et central au lieu de s'étaler dans la tourbe vers le nord. Les conséquences sont les suivantes :

- la tourbe résiduelle théoriquement de bas-marais s'ombrotrophise : les eaux météoriques prédominent sur la nappe minéralisée approfondie, sur une grande surface de la tourbière ;

- la tourbière se minéralise : la molinie se développe dans les zones les plus drainées ;

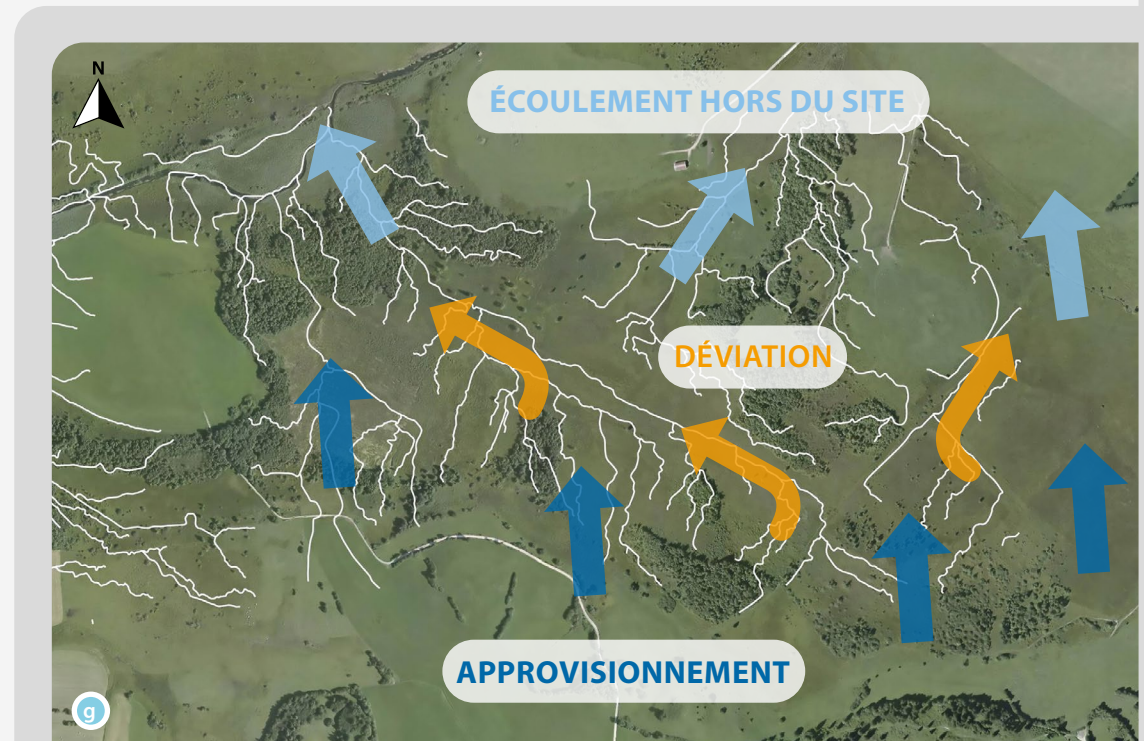
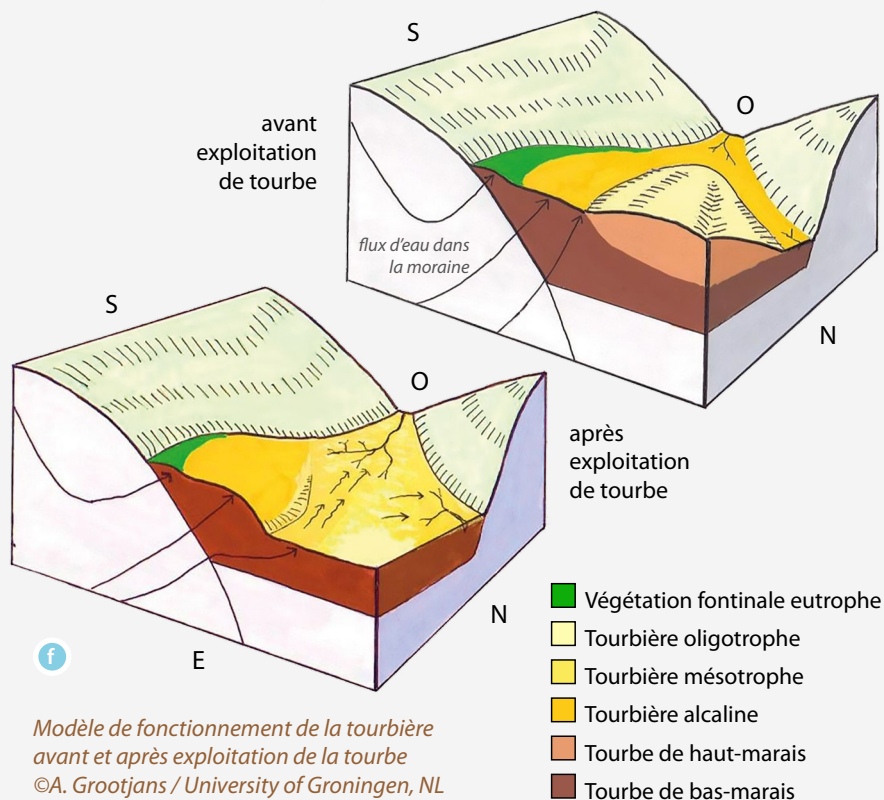
- le fossé central poursuit son action d'altération de la tourbe vers l'amont, par processus d'érosion régressive.

► **Géomorphologie** : La pente du sous-sol minéral est orientée globalement du sud vers le nord, avec un léger seuil-frein au nord, qui délimite la pseudo-cuvette. Avant exploitation de la partie centrale de la tourbière, cette pente devait favoriser le transfert de flux hydrique des sources du sud vers le nord, de façon ralentie, par percolation. Le fossé central creusé a intercepté ce flux, pour le détourner vers l'ouest **g**.

ENJEUX DU SITE

► **Biodiversité** : la tourbière, bien qu'hydrologiquement perturbée, est un réservoir biologique majeur (17 espèces végétales et 6 espèces animales protégées), lié principalement aux habitats de bas-marais et marais de transition, dans les zones bénéficiant encore d'un niveau de nappe suffisamment élevé et stable. Le potentiel de restauration en faveur des habitats et espèces est donc important.

► **Alimentation en eau** : les sources qui ont formé le marais sont toujours actives, et peuvent être à nouveau mobilisées pour une alimentation en eau diffuse et ralentie dans la tourbe. Le potentiel de remouillage est donc réel.



Déviation des flux hydriques suite à l'exploitation de la tourbe

CONSÉQUENCES

Il en résulte un complexe marécageux, tourbeux de grande taille, asséché par la déviation des flux d'eau générée par l'exploitation de la tourbe. La situation évolue rapidement vers un boisement et un accroissement du drainage central par érosion régressive. Le potentiel de restauration est important compte-tenu du maintien de patch très humides fonctionnels et riches en biodiversité. Le projet consistait ainsi à :

- supprimer les effets de drainage et étendre les surfaces de remouillage par de l'eau d'origine minérale, dépourvue d'oxygène à partir des patches favorables et fonctionnels (c'est à dire dont les fonctions des zones humides ont été restaurées). Cette eau devrait être poussée à la surface par l'action du gradient hydraulique et de la topographie de l'assise minérale, pour alimenter la partie nord-est du site ;
- remobiliser les eaux minérales de profondeur, ce qui aura deux effets bénéfiques : alimenter les espèces patrimoniales en minéraux et étouffer les racines des arbres de par la faible teneur en oxygène ;
- bloquer l'érosion régressive du fossé central.

Travaux

Les travaux, d'une ampleur inédite sur une tourbière en France, ont consisté :

- à rediriger les flux d'eau drainés du sud vers le nord sur la partie amont (est) : 5 palissades simples en madriers de bois (480 ml de palissade total) ;
- à bloquer et ralentir les flux avec surverse dans la partie aval (ouest) : 5 palissades doubles submersibles, en madriers de bois (306 ml de palissade total X 2).

Mise en oeuvre du chantier : compte-tenu de l'éloignement des accès des points de livraison, de la taille de la tourbière, de sa fragilité et des nombreuses fosses d'extraction piégeuses, l'hélicoptère a été privilégié pour des questions de rapport coût/efficacité, de moindre impact sur le site, et moindre coût carbone (2 journées entières hélicoptère contre 3 semaines de livraison par voie terrestre avec 3 engins, sans garantie de passage).

ÉLÉMENTS RÉGLEMENTAIRES

► **Procédure Loi sur l'eau et les milieux aquatiques :**
Les rubriques de la loi sur l'Eau 3.2.3.0 (création de plans d'eau) et 3.3.1.0 (remblaiement) ont nécessité une procédure déclarative, les travaux pour ces deux rubriques dépassant les seuils de déclaration (0.1 ha), mais inférieurs au seuils d'autorisation (1 ha).

► **Evaluation d'incidence Natura 2000 :**
Les surfaces impactées conduisant à une amélioration des conditions de maintien d'espèces et d'habitats d'intérêt communautaire à moyen terme, bien qu'impactant à court terme (chantier), aucun seuil de significativité n'a été relevé.

► **Espèces protégées :**
Les surfaces concernées par les populations des espèces protégées recensées ont été évaluées au regard des impacts à court, moyen et long termes. Compte tenu de leurs exigences écologiques et des résultats attendus par les travaux, aucune de ces espèces n'a été considérée comme menacée.

Les travaux en chiffres

Périodes : de septembre à novembre 2018 et de juillet à septembre 2019

Linéaire et surface :

- Neutralisation de 420 m de fossés de drainage
- Remise en eau de 19 ha d'anciennes fosses d'extraction

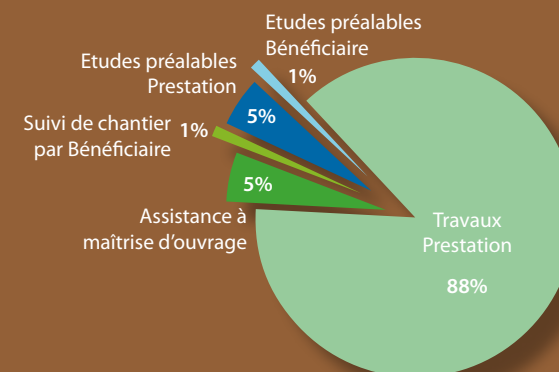
Matériels mobilisés :

- 2 pelleteuses marais sur plateau, 1 mini-pelle sur plateau, 1 broyeur, 1 dumper, 2 brouettes à chenilles, 1 hélicoptère
- 250 t de madriers de bois
- 3 000 m³ de tourbe mobilisée (déblai/remblai)

Prestataires : Lin'Eco pour l'étude et l'appui technique et Jura Natura Services pour le chantier

Coût total des actions Life : 945 196 € TTC *

- Travaux (vert) : 887 877 €
- Actions préalables (bleu) : 57 319 €



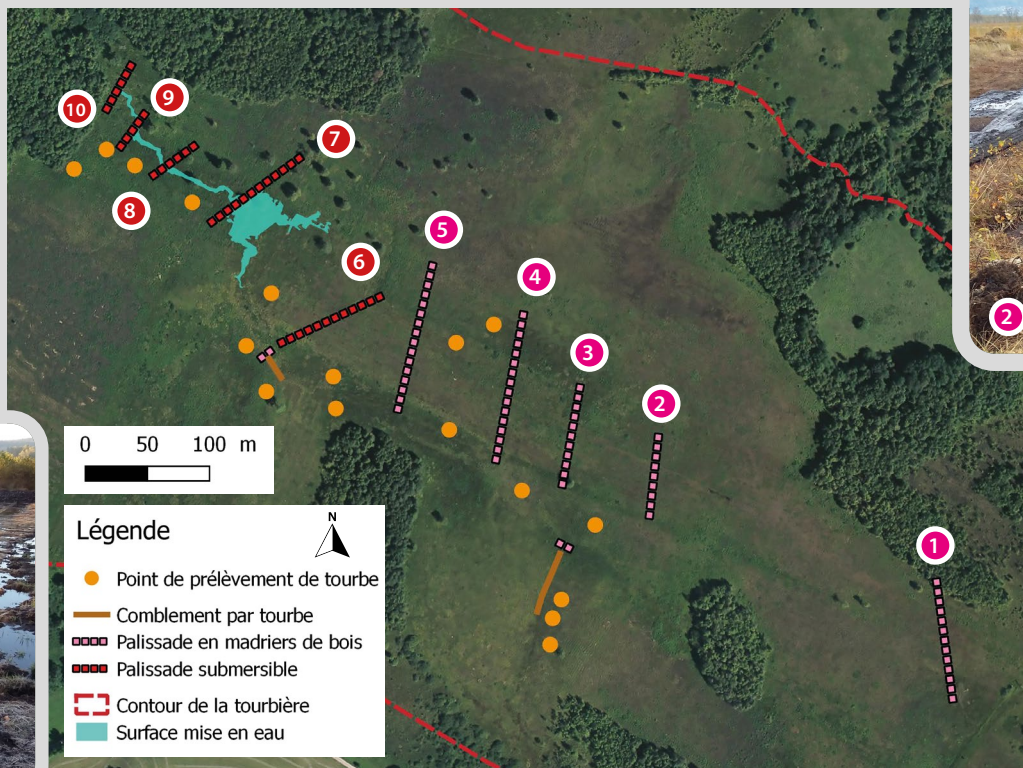
* les coûts des actions réalisées en préalable (hors Life) sur le site ne sont pas pris en compte

Les cinq digues de la partie aval (6 à 10) sont des **doubles palissades en bois** de 40 à 90 m, **techniquement adaptées pour être submersibles** (tourbe + bentonite + toile de coco + doubles grilles d'acier pour équi-dispersion du flux d'eau = prototype LIN'eco).

Les madriers sont ancrés dans le sous-sol minéral, leur longueur est adaptée à la profondeur de tourbe, de 1,5 m à 3,1 m.



Double palissade bois submersible



Vue d'ensemble des travaux



Couverture en tourbe d'une digue palissade bois simple. Pour ne pas créer d'ornièrre drainante, la pelle travaille sur des plaques

Les 5 digues de la partie amont (1 à 5) sont des **palissades en bois** de 63 ml à 125 ml dont l'objectif est de **bloquer et rediriger l'eau dans la fosse d'exploitation** et de lui faire franchir l'ancien talus d'exploitation afin que l'eau diffuse et s'étale en direction du nord.

Les madriers sont ancrés dans le sous-sol minéral, leur longueur est adaptée à la profondeur de tourbe, de 1,5 m à 3,75 m.

Points de vigilance

- ▶ **Topographie** : afin d'atteindre les objectifs après travaux en terme de circulation des eaux de surface, une étude fine de la topographie a permis d'identifier les zones autorisées ou non au passage des engins. Un balisage sur site a facilité la lisibilité pour les conducteurs d'engins car même les engins adaptés laissent des traces au sol.
- ▶ **Risques liés à la présence d'obus anciens** : la tourbière se situe en marge d'un champ d'entraînement d'artillerie du début du XX^e siècle. Un diagnostic de risque par les services de déminage a permis d'une part d'évaluer le risque principal d'explosion et de le minimiser,

d'autre part de sensibiliser les personnels de l'entreprises aux conduites de sécurité à avoir en cas de découverte, transport d'un engin explosif.

- ▶ **Sècheresse** : le chantier a été réalisé en 2018 dans des conditions de sécheresse exceptionnelle, rendant la colonisation des bourrelets de tourbe par la végétation très hypothétique. La tourbe utilisée en couverture des ouvrages s'est fendue, craquelée en surface, mais l'épaisseur de tourbe importante (40 cm) ayant été respectée, aucun madrier n'est à nu. Une réflexion est en cours pour les pailler, mais les linéaires sont importants et l'accès devenu très difficile.

En ligne

Les travaux de la restauration hydro-écologique

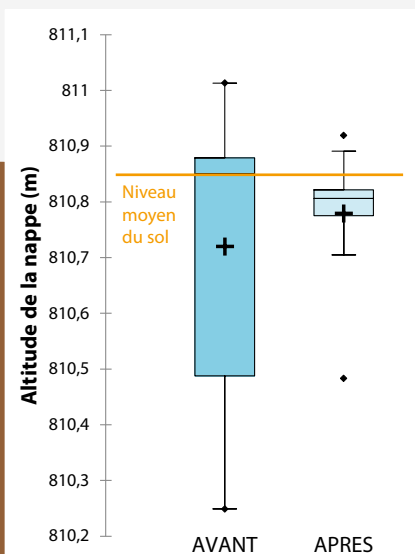
Résultats

La tourbière de la Grande Seigne est un site qui suscite l'intérêt depuis de nombreuses années, autant pour sa taille que pour les enjeux de conservation faune et flore. Pour ces raisons et l'antériorité des données existantes, le choix des gestionnaires s'est porté sur un monitoring d'envergure prévu sur le long terme.

SUIVIS MIS EN PLACE

- ▶ Suivi de la flore : 10 placettes de végétation (avant/après travaux - 2016/2019)
- ▶ Suivi spécifique de *Carex heleonastes* dans les 10 carrés de suivi par le Conservatoire botanique national de Franche-Comté - Observatoire régional des Invertébrés (CBNFC-ORI) : suivi avant/après travaux - 2015/2016/2020
- ▶ Suivi piézométrique : 5 piézomètres suivis (depuis 2017)

Altitudes de la nappe d'eau de la station « GS_ amero » de la tourbière de la Grande-Seigne : comparaison avant/après travaux



▶ **Période d'étude avant travaux :**
1/11/2017-1/11/2018

▶ **Période d'étude après travaux :**
24/12/2018-24/12/2019

L'effet des travaux est assez visible sur la fluctuation de la nappe, très limitée après travaux. La médiane est légèrement inférieure de quelques centimètres, ce qui peut s'expliquer par le fait que les sous-bassins versants ont été réduits au niveau de chaque digue et le système n'est pas encore en pleine charge, du fait de la sécheresse exceptionnelle de 2018.

▶ Suivis de *Liparis loeselii* par le CBNFC-ORI et la Société botanique de Bourgogne-Franche-Comté : suivi Life avant travaux 2015/2016, suivi Life post-travaux 2019-2020

▶ Suivi de *Calamagrostis neglecta* en 2020

▶ Inventaires des Syrphes : 2014

▶ Suivi des Lépidoptères

▶ Suivi de la Bécassine des marais nicheuse : les années paires depuis 1996/2020. Résultats 2020 très décevants et surprenants avec aucun chanteur, mais présence avérée d'oiseaux jusqu'à mi-avril au moins. Le marais était très mouillé donc plutôt favorable...

Avant - Après

Tourbière de la Grande Seigne avant travaux - décembre 2015



Tourbière de la Grande Seigne après travaux - avril 2020



Documents utiles

- 🌐 BEDOLLA, A. 2013. *Hydrologie et potentiel de restauration de quelques marais français et suisses - Notes des visites de terrain d'experts réunis à l'occasion de la venue d'Ab Grootjans - 24-29 juin 2012.* WSL. 16p.
- ❓ GROSVERNIER, P. 2014. *Tourbière de la Grande Seigne - Eléments d'analyse pour un diagnostic hydroécologique du site.* SMMAHD. 38p.
- ❓ GROSVERNIER, P.; CONTESSE, E.; POTTIER, Y.; MONTAVON, C. 2017. *Tourbière de la Grande Seigne - Définition des enjeux de conservation et des potentialités de restauration.* SMMAHD Life tourbières du Jura. 51p.
- ❓ GROSVERNIER, P. & MONTAVON, C. 2018. *Tourbière de la Grande Seigne - Analyse hydrologique : circulation des eaux en provenance des collines morainiques avant et après travaux de revitalisation.* SMMAHD Life tourbières du Jura. 14p.
- ❓ POTIER, Y. & GROSVERNIER, P. 2018. *Mesures de restauration hydrologiques en faveur de la tourbière de la Grande Seigne, Cahier des plans et schémas des principes d'exécution.* SMMAHD. 33 p.

Contact

Geneviève Magnon, chargée de missions à l'EPAGE Haut-Doubs Haute-Loue : 03 81 39 85 28 - g.magnon@eaudoubsloue.fr

Le ruisseau du Gouterot

Carte d'identité

Site Natura 2000 : Bassin du Drugeon

Site Ramsar : Tourbières et lacs de la Montagne jurassienne

Maître d'ouvrage : EPAGE Haut-Doubs Haute-Loue

Années des travaux : 2019-2020

Communes : La Rivière-Drugeon et Bannans (25)

Accessibilité du site : site réglementé par arrêté préfectoral de protection de biotope

Surface du complexe tourbeux : plus de 200 ha

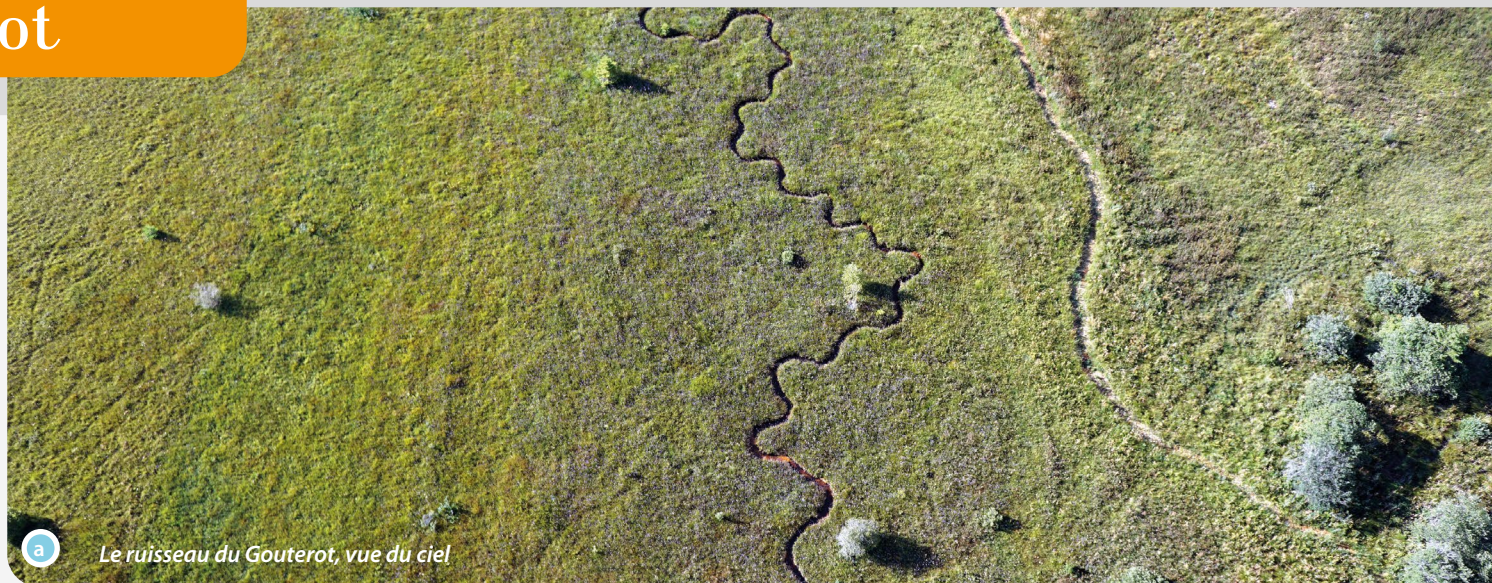
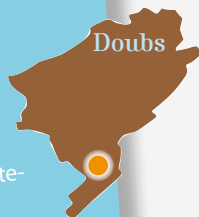
Altitude : 815 m

Usages :

- Chasse / pêche
- Adduction d'eau potable (Syndicat de 6 communes, 47300 m³ par an)

Espèces d'intérêt : Hypne brillante (*Hamatocaulis vernicosus*), Rossolis à feuilles longues (*Drosera longifolia*), Agrion de mercure (*Coenagrion mercuriale*), Cuivré de la bistorte (*Lycaena helle*), Fadet des Tourbières (*Coenympha tullia*), Damier de la succise (*Euphydryas aurinia*), Bécassine des marais (*Gallinago gallinago*), Courlis cendré (*Numenius arquata*)...

Agrion de mercure
Coenagrion mercuriale



a Le ruisseau du Gouterot, vue du ciel

Contexte

Prenant sa source au lieu-dit en Vau les Aigues sur la commune de La Rivière-Drugeon, à la jonction entre le pied du Laveron et la zone tourbeuse dans laquelle ils s'étendent, le Gouterot **a** et son affluent, la Raie Saint-Nicolas, sont limités au sud par la montagne du Laveron et au nord par la rivière le Drugeon dans laquelle ils se jettent (**b**, page suivante).

Son bassin versant topographique s'étale entre 951 m et 812 m. Sa source est à une altitude d'environ 815 m.

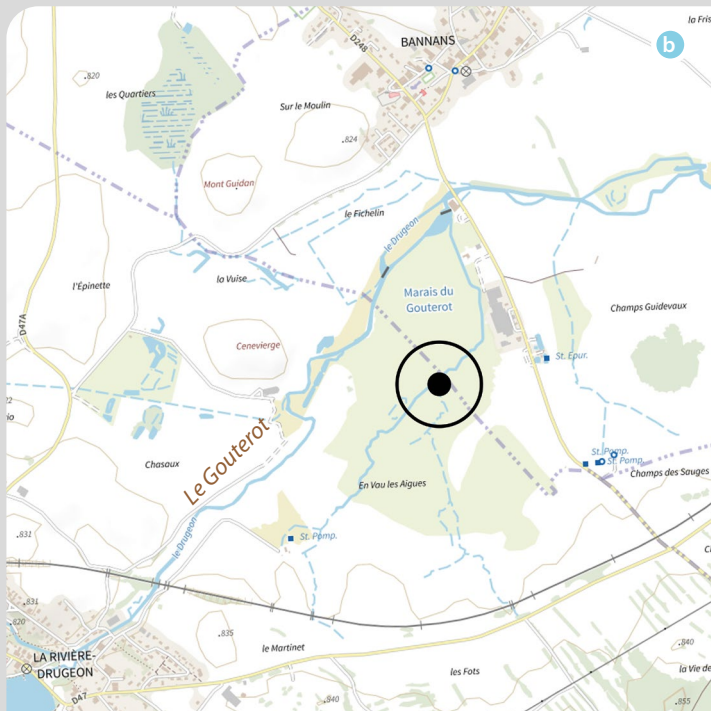
De nature géologique calcaire, l'amont du bassin est essentiellement composé de sols peu profonds perméables, dans lequel de nombreuses infiltrations d'eau sont observées. Ainsi, le bassin versant hydrologique « apparent » (sous réserve de résurgences non observées) a été estimé à 554 ha (*Téléos-suisse, 2014*).

Diagnostic

IDENTIFICATION DES PROBLÈMES

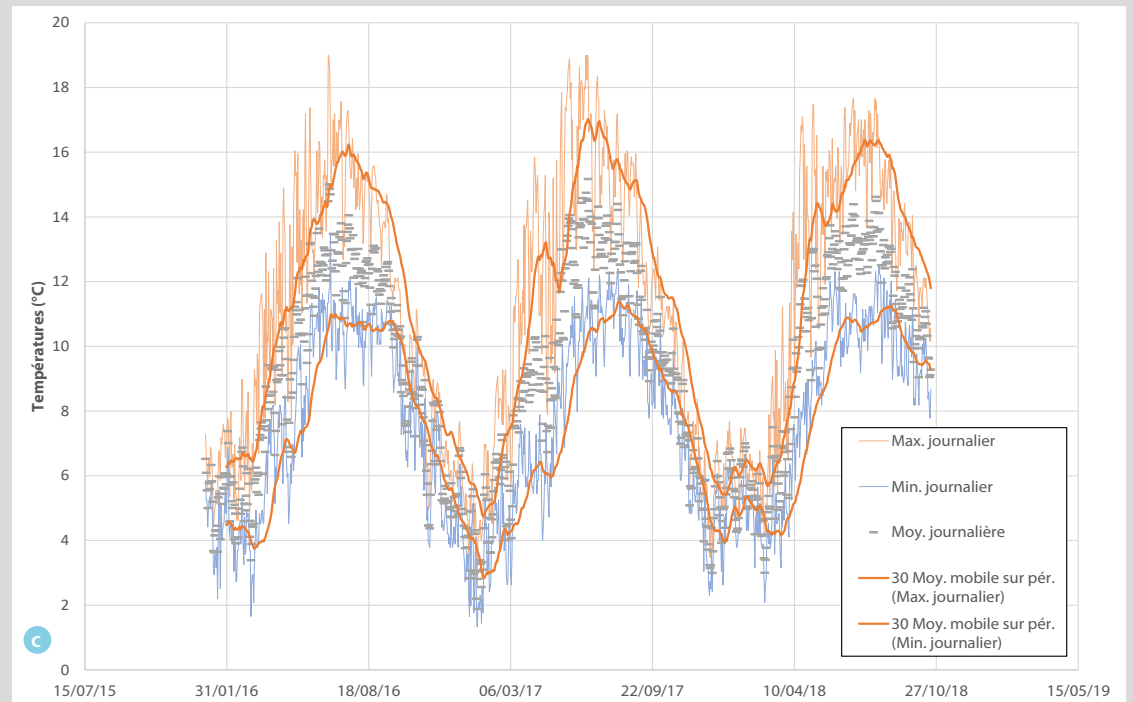
Depuis un certain nombre d'années, la qualité du ruisseau et sa capacité à produire un peuplement aquatique équilibré semble largement se détériorer, phénomène confirmé et précisé par plusieurs diagnostics. Alors que le Gouterot semblait peu perturbé au niveau morphologique, des analyses diachroniques ont mis en évidence des indices de curage et de rectification, dont une partie est antérieure à 1950. Il est fort probable que cette rectification ait été initiée dès le XVIII^e siècle. Des travaux de curages sont également visibles sur les photos aériennes (*Téléos, 2014*), sur le Gouterot ou la Raie Saint-Nicolas.

Cette dégradation a été aggravée par la rectification du Drugeon qui a induit l'abaissant du niveau de base ainsi que l'altitude de la nappe d'accompagnement.



Situation
du Gouterot

Température
remarquable
journalière
(min, max, moy)
sur 3 années
consécutives
avant restauration



Le tarissement de la nappe et l'étalement de la lame d'eau à l'étiage a induit la diminution puis le réchauffement des écoulements estivaux (Téléos, 2014). Cette diminution des débits est accompagnée de développements végétaux très importants, d'atterrissements par sédimentation, mais également d'une progression de l'emprise des ligneux sur le marais. Cette évolution et l'érosion manifeste de la qualité hydrobiologique du cours d'eau a abouti à l'inscription du projet de restauration du Gouterot dans le programme Life tourbières du Jura.

ANALYSE FONCTIONNELLE ET POTENTIEL DE RESTAURATION

Le diagnostic s'est essentiellement basé sur l'analyse du cours d'eau :

- analyse du bassin versant ;

- étude de peuplement macrobenthique (2001-2008) :
 - analyse des insectes aquatiques (ordre des plécoptères, éphéméroptères et trichoptères),
 - indices biologiques (IBGN CB2) ;
- étude de peuplement piscicole (1998-2008-2019) ;
- étude de la qualité hydromorphologique : Indice d'Attractivité Morphodynamique - IAM (2008) ;
- suivi thermique (depuis 2001).

En complément, une série de piézomètres a été installée préalablement à la réalisation des travaux, afin d'en mesurer l'impact à court, moyen et long termes.

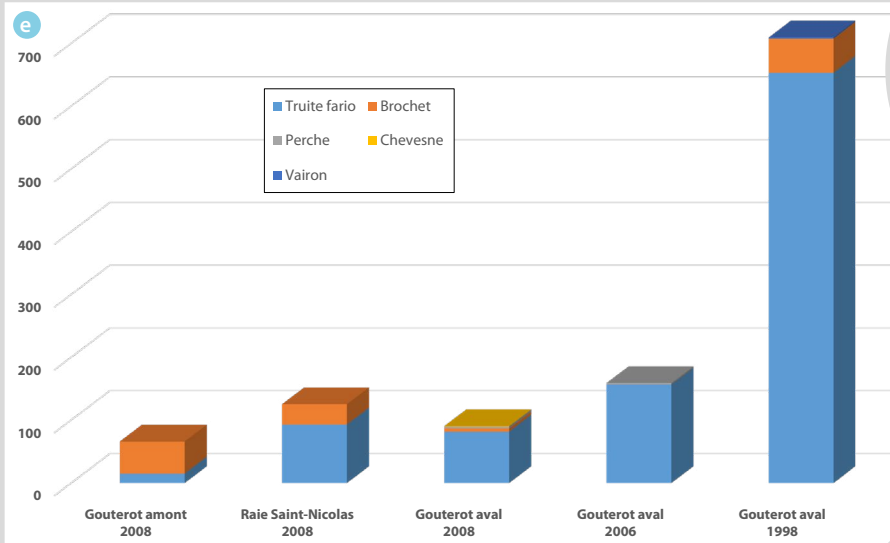
Le fonctionnement hydrologique du marais du Gouterot a été fortement impacté par les travaux de rectification

du Drugeon dans les années 1960. Le niveau de la nappe a été abaissé de 1,15 m en moyenne, et n'a été qu'en partie compensé par les travaux de restauration du Drugeon conduits dans le secteur en 1998 et 1999.

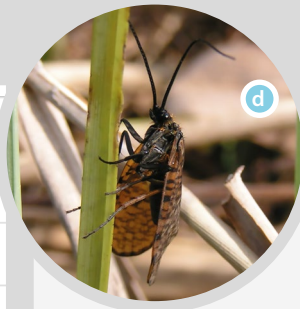
La qualité hydromorphologique du cours d'eau et de sa capacité à accueillir la faune piscicole n'atteint qu'entre 20 et 30 % de la note référentielle pour ce type de cours d'eau, alors que le régime thermique du cours d'eau reste froid (c) (les maxima journaliers dépassent très rarement les 17 °C) et que la qualité d'eau reste assez appréciable.

C'est bien la qualité médiocre de l'habitat qui explique la faiblesse relative du peuplement aquatique :

- IBGN entre 11/20 et 13/20 (faible variété taxonomique) ;



Comparaison des peuplements piscicoles du Gouterot et de la Raie Saint-Nicolas de 1998 à 2008



Oligostomis reticulata

- une diminution des débits (augmentation des prélèvements d'eau, enrésinement du bassin versant...);
- un colmatage intense par des sédiments fins du tracé, dont le profil transversal est largement trop élevé. Ce colmatage limite très fortement les secteurs favorables à la reproduction des organismes aquatiques (et des poissons en particulier).

Sans être irréprochable, la qualité de l'eau du ruisseau du Gouterot et de la Raie Saint-Nicolas, reste donc plutôt satisfaisante. Les températures ne dépassent jamais les valeurs réputées létales pour les espèces sensibles comme la truite fario. L'impact de la rectification du cours d'eau principal, le Drugeon, a été intense sur la nappe d'accompagnement et la zone humide du secteur. Cette détérioration a été en partie réduite par des travaux de restauration du Drugeon engagés sur le secteur en 1999 sans être cependant optimale.

Les analyses hydro-écologiques réalisées sur le ruisseau et son affluent ont mis en évidence la poursuite de la dégradation. Cet affaiblissement est à mettre en relation avec une qualité hydromorphologique amoindrie par d'anciennes rectifications et des curages réguliers. Mais également par une baisse des débits d'étiage qui pourrait être liée à plusieurs facteurs : augmentation des prélèvements d'eau, enrésinement du bassin versant (la superficie d'épicéas matures est passée de 231,9 ha en 1951 à 336,50 ha en 2012 et pourrait expliquer une réduction des écoulements à l'étiage de 10 à 20 l/s par

augmentation de l'évapotranspiration et de l'interception des pluies estivales – *Téléos 2014*), diminution des échanges avec la nappe d'accompagnement...

ENJEUX DU SITE

- **Biodiversité** : le ruisseau du Gouterot et son affluent la Raie Saint-Nicolas constituent un milieu aquatique d'importance primordiale à proximité du Drugeon. Les températures qui restent fraîches dans ces cours d'eau en font un véritable refuge pour les espèces sténothermes d'eau froides, dans un contexte où le cours d'eau principal présente quant à lui des températures assez élevées.
- Bien que fortement perturbé par les curages consécutifs, le Gouterot conserve un débit important, qui représente plus de 50 % du débit d'étiage du Drugeon rectiligne. Le soutien des débits d'étiage par ce cours d'eau est ainsi primordial pour l'ensemble du secteur.

- **Alimentation en eau potable** : le site fait l'objet de prélèvements d'eau pour la production en eau potable. La préservation de la ressource et l'alimentation en équilibre avec la nappe jouent un rôle sociétal de premier ordre.

Travaux

Le programme de restauration avait pour objectif :

- de supprimer l'effet drainant des tracés rectilignes enfoncés et de renforcer la connectivité entre le lit mineur et le lit majeur en remontant la ligne de fond ;
- de diversifier les habitats aquatiques en remettant le cours d'eau dans son ancien tracé afin de permettre la restauration du peuplement aquatique de qualité (la restauration du Gouterot et de la Raie Saint-Nicolas permet par exemple à ces cours d'eau de retrouver un milieu favorable à la reproduction de ces espèces).

- biomasse piscicole entre 20 kg/ha et 60 kg/ha en 2019 pour le Gouterot. La Raie Saint-Nicolas (affluent du Gouterot) parvient à produire 101 kg/ha, ce qui reste très modeste (les valeurs observées en 1998 ne reflètent pas forcément la réalité du peuplement : le Gouterot étant géré en ruisseau pépinière, il faisait l'objet d'un alevinage massif afin d'élever des truites destinées à être déplacées par la suite) ;

- bien que présentant des espèces patrimoniales (*Hagenella clathrata* et *Oligostomis reticulata* ^d), espèces de milieux tourbeux), la diversité en éphémères, trichoptères et plécoptères du secteur est amoindrie avec une vingtaine d'espèces seulement contactées le long des berges des deux cours d'eau en 2008.

L'examen de l'évolution des peuplements piscicoles ^e met également en évidence une détérioration progressive entre 2001 et 2008, qui serait liée à :

- la poursuite de la déstructuration des habitats liée à d'anciens curages de ruisseaux ;

ÉLÉMENTS RÉGLEMENTAIRES

- ▶ Autorisation au titre de la Loi sur L'eau.
- ▶ Notice d'incidence Natura 2000.

Les travaux en chiffres

Périodes : de juillet 2019 à juillet 2020

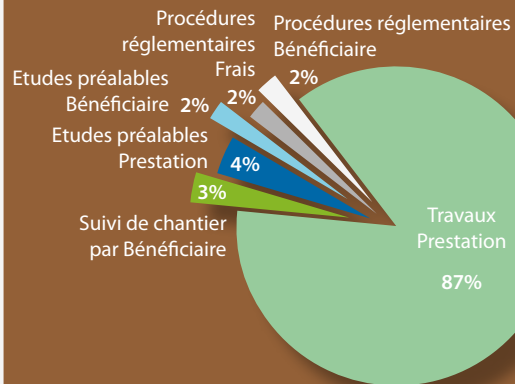
Linéaire et surface :

- Reméandrement : 1492 m
- Fermeture du tracé rectiligne et de fossés périphériques : 1478 m
- Linéaire rechargé en matériaux : 1023 m
- 2760 m³ de matériaux mobilisés pour le comblement et 600 m³ de recharge

Prestataires : Téléos-Suisse pour l'étude préalable (hors LIFE) et Jura Natura Services pour le chantier

Coût total des actions Life : 251 374 € TTC *

- Travaux (vert) : 226 986 €
- Actions préalables (bleu + gris) : 24 388 €



* les coûts des actions réalisées en préalable (hors Life) sur le site ne sont pas pris en compte



1 et **2** : une partie des travaux a consisté à **remettre en eau d'anciens méandres**.

Nouveau tracé de la raie Saint-Nicolas avant mise en eau

3 à **5** : le **tracé rectiligne a été totalement comblé**, ainsi que toute une série d'anciens fossés participant au drainage de la zone.



Cartographie des travaux réalisés

Les travaux ont été accompagnés d'une **modification d'une passe à poissons** existante sur le Drugeon **6**, à proximité de la confluence du Gouterot.

7 à **9** : sur de longs tronçons où d'anciens méandres n'ont pu être identifiés ou lorsque la topographie héritée du drainage ne permettait pas de reméandrer le cours d'eau, le **profil en travers du cours d'eau a été modifié par recharge importante en matériaux minéraux adaptés** (la granulométrie en particulier est adaptée à la fraie des espèces présentes).

La **suppression d'une prise d'eau de fontaines du village 10** et leur mise en circuits fermés permet également de réduire les prélèvements d'eau sur la zone humide (le débit des fontaines équivaut à la consommation journalière de la commune de Bannans).

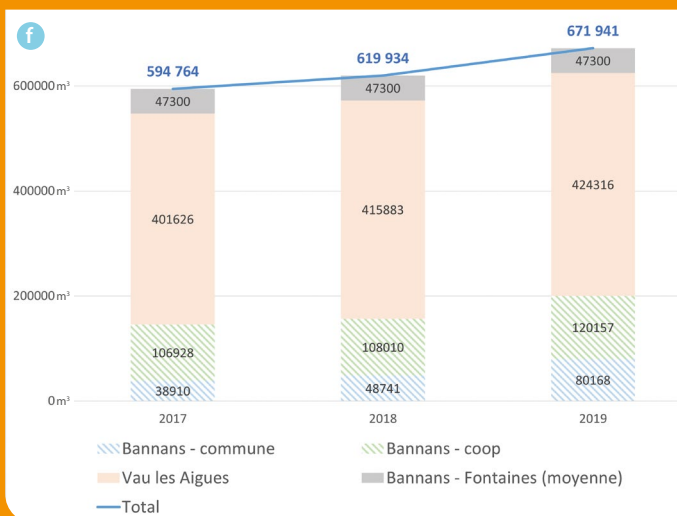
Points de vigilance

▶ **Restauration de la passe à poissons :** à proximité de la confluence du Gouterot, un ancien seuil d'un moulin avait été équipé d'une passe à poisson dans le cadre des travaux de restauration du Drugeon en 1999. Elle était destinée à faciliter le déplacement des truites depuis le Drugeon en direction du Gouterot. De grandes différences entre la conception et la réalisation la rendaient très peu fonctionnelle. Celle-ci a pu être réaménagée dans le cadre du programme Life.

Le marais du Gouterot et l'eau potable

Trois prélèvements majeurs sont effectués dans le périmètre immédiat du marais du Gouterot  :

- le prélèvement de Bannans qui alimente la commune et fournit également de l'eau au village voisin et à une industrie agro-alimentaire (pas située sur le bassin versant du Gouterot) ;
- la station de prélèvement de Vau les Aigues, située à la source du Gouterot et qui alimente six communes ;
- la prise d'eau des fontaines de Bannans, qui prélève directement l'eau superficielle du ruisseau.



Prélèvements d'eau à proximité des travaux

L'alimentation des fontaines de Bannans est un ingénieux système. Il permet d'acheminer l'eau depuis le ruisseau par gravité jusqu'à un système de répartition situé au centre du village à plus de 570 m, en passant sous la rivière le Drugeon. Il alimente cinq fontaines dans le village.

Les débits cumulés des cinq fontaines représentent environ 1,5 l/s. Il est probable que le débit prélevé dans le ruisseau soit supérieur en raison de fuites dans la canalisation d'acheminement. Ceci équivaut à une consommation annuelle d'environ 47 300 m³, soit le même volume que la consommation annuelle du village. Cette eau rejoint une perte karstique sans repasser par le milieu superficiel.

Le reméandrement du ruisseau du Gouterot, réalisé dans le cadre du programme Life, a rendu obsolète le système de prélèvement des fontaines. Afin d'économiser la ressource, la commune a décidé de modifier ce système en mettant les fontaines en circuit fermé.

Résultats

Les travaux sont trop récents pour évaluer leur impact. Néanmoins, il est intéressant de constater une colonisation très importante du site par les oiseaux d'eau en période de nidification et en particulier les Vanneaux huppés, dont au moins 12 individus défendaient farouchement le territoire jusqu'à la fin du mois de juillet 2020. Des nidifications de Courlis cendré et de Bécassines des marais ont également été observées en 2020.







SUIVIS MIS EN PLACE

► Suivis biologiques prévus : macroinvertébrés et faune piscicole dans un pas de temps N+3 ; N +6. L'inventaire

de l'évolution du stock d'espèces sera également à prévoir afin de le comparer avec les données disponibles en 2008.

► Suivi de la nappe

Documents utiles

-  NALDEO. 2017. *Conception d'un ouvrage de franchissement piscicole sur le Drugeon à Bannans*. SMMAHD. 35 p.
-  DREAL FRANCHE-COMTÉ. 2013. *430002290, Zones humides de Vau Les Aigues à la Loitière*. INPN SPN - MNHN Paris. 26p.
-  BRICOTTE, V. & GOULMY, F. 2001. *Potentiel biocénétique de trois affluents du Drugeon, Gouterot, Bief Voulain & Bief Rouget*. Mémoire DESS qualité des eaux et bassins versants, Université de Franche-Comté. 46p. + annexes.
-  PIERRE, B. 2008. *Caractérisation écologique d'un petit cours d'eau de marais : le Gouterot*. Mémoire M2 qtebv, Université de Franche-Comté. 52 p. + annexes.
-  TELEOS-SUISSE. 2014. *Restauration du Gouterot, volume 1. Du diagnostic physique à la restauration*. SMMAHD. 11 p.
-  TELEOS-SUISSE. 2014. *Restauration du Gouterot, volume 2. Expertise hydraulique*. SMMAHD. 75p.

Contact

Jean-Noël Resch, hydrobiologiste à l'EPAGE Haut-Doubs Haute-Loue : 03 81 39 85 26 - jn.resch@eaudoubsloue.fr

Avant - Après

Restauration de la Raie Saint-Nicolas



Le marais tourbeux des Levresses

Carte d'identité

Site Natura 2000 : Bassin du Drugeon

Site Ramsar : Tourbières et lacs de la Montagne jurassienne

Réserve naturelle régionale : les tourbières de Frasne-Bouverans

Maître d'ouvrage : EPAGE Haut-Doubs Haute-Loue

Année des travaux : 2011 (hors Life)

Communes : Frasne (25)

Accessibilité du site : site réglementé par arrêté de classement en Réserve naturelle régionale (accès limité aux chemins ouverts au public) et arrêté préfectoral de protection de biotope

Surface du complexe tourbeux : environ 15 ha

Altitude : 835 m

Usages :

- Exploitation ancienne et intense de la tourbe (du 19^e au 20^e siècle)
- Pâturage en bordure de marais
- Chasse

Espèces d'intérêt : Laïche étoilée (*Carex heleonastes*), Liparis de loesel (*Liparis loeselii*), Rossolis à feuilles longues (*Drosera longifolia*), Fadet des tourbières (*Coenonympha tullia*), Vanneau huppé (*Vanellus vanellus*)...

Laïche étoilée
Carex heleonastes



Le marais des Levresses, vue du ciel

Contexte

Le marais des Levresses ^a, sur la commune de Frasne ^b, page suivante), se situe dans un contexte géomorphologique particulier : la marge glaciaire occidentale de la glaciation du Würm.

La zone se caractérise donc par un relief un peu chaotique, constitué d'un ensemble de buttes morainiques, qui ont formé des bassins, des barrages, autant d'obstacles à l'écoulement de l'eau. Par ailleurs, ces moraines sont constituées d'un mélange d'argiles et de cailloutis plus ou moins grossiers, relativement étanches, mais insuffisamment pour ne pas être pénétrées par des eaux de percolation. Le marais des Levresses s'est donc formé dans l'une de ces cuvettes, partiellement fermée par un seuil morainique au sud, exutoire naturel de la tourbière en période d'excédents hydrologiques.

La riche histoire de Frasne en matière d'exploitation de tourbe montre que ce site a fait l'objet d'une intense exploitation, dès la deuxième moitié du XVII^e siècle au moins.

Les délibérations de la commune de Frasne indiquent des chiffres de l'ordre de 3 500 m³ de tourbe exploitée en une année, en 1894 (*Bôle L., 2009*), pour une population d'un millier d'habitants seulement.

Le marais des Levresses a sans doute été exploité pendant une centaine d'années, d'après les délibérations de la commune, ce qui laisse imaginer un marais complètement transformé, dans lequel il pourrait manquer de l'ordre de 300 000 m³ de tourbe. L'exploitation de la tourbe a cessé en 1903, aux vues de l'épuisement du gisement, pour être reportée sur le complexe tourbeux du Forbonnet (*Guyonneau J., 2004*).



Situation du marais des Levresses (Frasne, 25)

Diagnostic

IDENTIFICATION DES PROBLÈMES

L'étude du marais, initiée par un diagnostic phytosociologique précis (Guyonneau J., 2004) a permis de dénombrer 305 espèces végétales, toutes issues de successions secondaires neutro-alcalines, suite à l'exploitation de la tourbe.

L'analyse phytosociologique, complétée par une approche comparative à la carte phytosociologique de Guinochet (1955) laisse apparaître au marais des Levresses :

- un envahissement important par les ligneux, en particulier dans les anciennes fosses d'exploitation de tourbe (bouleau pubescent, saule, bourdaine), signe d'une atteinte hydrologique ;

- une hypertrophie qui peut être liée à la minéralisation de la tourbe, dont le niveau de nappe est trop instable pour se maintenir (développement notamment des groupements à *Molinia caerulea* et des mégaphorbiaies).

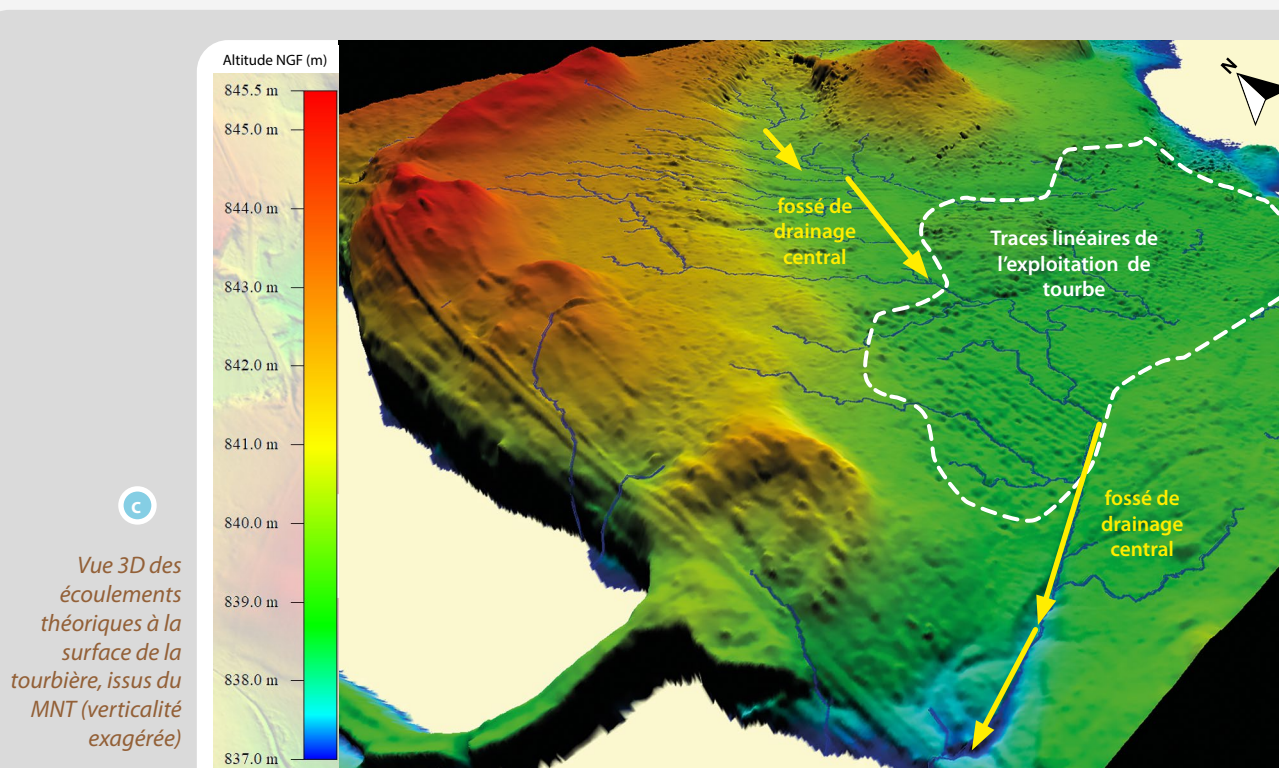
Ce cortège végétal de grande valeur patrimoniale, bien que correspondant à des successions secondaires de régénération, s'altère très vite.

ANALYSE FONCTIONNELLE ET POTENTIEL DE RESTAURATION

Au début des années 2000, nos analyses fonctionnelles n'étaient pas très poussées, ne disposant pas du MNT. Elles intégraient cependant, en plus d'une analyse

phytosociologique fine, un diagnostic topographique, hydrologique et piézométrique le plus précis possible, et des sondages pédologiques.

Le marais des Levresses se situe dans une cuvette drainée par un fossé central **c**. L'épaisseur de tourbe qui y subsiste n'excède pas 1,5 mètre. Les variations piézométriques en 2004 peuvent aller jusqu'à 75 cm dans les zones les plus drainées. L'eau de la tourbe est plutôt neutro-alcaline. Le marais se situe au fond d'une cuvette, alimenté par les eaux de versant et de façon plus hypothétique par les nappes des aquifères morainiques. La présence d'un fossé central issu de l'exploitation passée de la tourbe draine les eaux hors du marais. Seules les zones planes, éloignées du fossé de drainage, profitent de conditions plus humides (marais de transition).



ENJEUX DU SITE

► **Biodiversité** : la tourbière, bien qu'hydrologiquement perturbée et de plus en plus fermée par la colonisation des ligneux, reste un réservoir biologique majeur pour toutes les espèces végétales de bas-marais et de marais de transition mais également pour bon nombre de d'espèces de rhopalocères, odonates et syrphes.

► **Alimentation en eau** : la topographie ayant été totalement modifiée, il faut tenter de ralentir au maximum les flux d'eau disponible pour limiter l'influence du drainage, sinon l'effet de minéralisation, qui a également un effet de rabaissement de la topographie va se poursuivre.

CONSÉQUENCES

Il en résulte un complexe marécageux, tourbeux asséché par le drainage, modifié topographiquement par l'exploitation de la tourbe, et en phase d'embaumissement et de minéralisation.

La situation évolue rapidement vers un boisement de saules/bouleaux/bourdaie, et un affaissement de la surface tourbeuse asséchée qui accélère d'autant plus l'évacuation de l'eau dans le canal central ^d.



Enfrichement du site

Sur ce site, il y a un fort potentiel de restauration du fait de la qualité des tourbes, d'une alimentation en eau non captée, d'aquifères morainiques actifs. Le dysfonctionnement hydrologique est le fait quasi exclusif (sans prise en compte du dérèglement climatique) de la présence du fossé de drainage central

Travaux

Le projet a donc consisté à neutraliser le canal central pour étendre les eaux de ruissellement sur la plus grande surface possible de tourbière (*Lin'Eco, 2010*). Réalisées en 2011, les actions mises en place étaient innovantes pour ce type de travaux.

ÉLÉMENTS RÉGLEMENTAIRES

► Procédure Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques : Pas de procédure exigée suite à la DIT (seuils non atteints).

► Notice d'incidence Natura 2000 : Les surfaces impactées conduisant à une amélioration des conditions de maintien d'espèces et d'habitats d'intérêt communautaire à moyen terme, bien qu'impactant à court terme (chantier), aucun seuil de significativité n'a été relevé.

► Espèces protégées : Aucune espèce protégée n'était concernée par l'impact direct du chantier en lui-même, en revanche l'impact à moyen terme des travaux a été jugé positif sur les espèces protégées.

► Autorisation de la Réserve naturelle : L'avis du CSRPN a été requis par l'autorité de gestion de la RNR et la Région, étant donné que ce chantier n'était pas mentionné dans le plan de gestion de la réserve, caduque.

Les travaux en chiffres

Période : 2 semaines, du 16 au 29 mai 2011 en raison d'un début de printemps exceptionnellement sec (sinon déconseillé en cette saison). Cette intervention précoce a eu l'avantage de générer un démarrage de la végétation immédiatement et le développement d'une couverture végétale des ouvrages de protection contre le dessèchement.

Linéaire et surface :

- Neutralisation de 745 m de fossés de drainage
- Impact attendu de 1.5 ha de sol remouillé à plus ou moins long terme

Matériels mobilisés :

- Moyens techniques : 1 pelleuse 8T sur plateau (80g/cm²), 1 petit transporteur Kubota (80g/cm²), 1 brouette réversible Eurotrack (150 g/cm²)
- Matériaux : 66 m³ de sciure, 19 panneaux de bois (triplis) et 13 m³ de bois (madriers)

Prestataires : Lin'eco pour l'appui technique et Jura Natura Services pour le chantier hydrologique

Coût des premiers travaux expérimentés avant le programme Life (2011) :
31 664 € TTC *

Ce coût correspond à l'ensemble des travaux et à l'assistance technique, financés dans le cadre d'un contrat Natura 2000.

Afin de neutraliser totalement le fossé, des **bouchons en panneaux de bois** ont été mis en place, puis le fossé a été colmaté à la sciure de bois dans les zones de plus forte pente : 3 et 4.

Le gisement de tourbe sur place étant peu épais, et la présence concentrée d'espèces protégées importante, il n'a donc pas été possible de neutraliser le fossé avec de la tourbe prélevée sur place, d'où l'utilisation de sciure de bois.



Etape 1 de neutralisation de fossé : pose des panneaux de bois



Etape 2 de la neutralisation de fossé : remplissage du canal de sciure



Etape 3 de la neutralisation de fossé : couverture de la sciure par la tourbe issue du curage de la tourbe minéralisée

Quatre palissades en madrier de bois ont été construites dans les zones d'optimisation de l'étalement de l'eau, afin de remonter le niveau d'eau : 1 et 2.

Légende

- Point de prélèvement de tourbe
- Comblement par sciure
- Drain original
- Palissade en madriers de bois
- Panneau triplis



0 25 50 m



Plan des travaux du marais des Levresses (2011)



Pose de palissade bois



Palissade amont, couverte de tourbe, paillée

Points de vigilance

► **Palissade** : La dernière palissade aval a été piétinée par des bovins, et le bourrelet de tourbe a dû être refait. Depuis, il s'est à nouveau effondré car la zone de réparation n'était sans doute pas assez stabilisée (2 qualités de tourbe différentes). L'ouvrage présente une surverse qui diminue la rétention d'eau à l'amont. Toutes nos palissades sont aujourd'hui clôturées par du fil de fer et des piquets bois, pour interdire tout accès aux animaux, d'autant que les années sèches ont favorisé leur pénétration dans le marais pour aller chercher l'eau.

Résultats

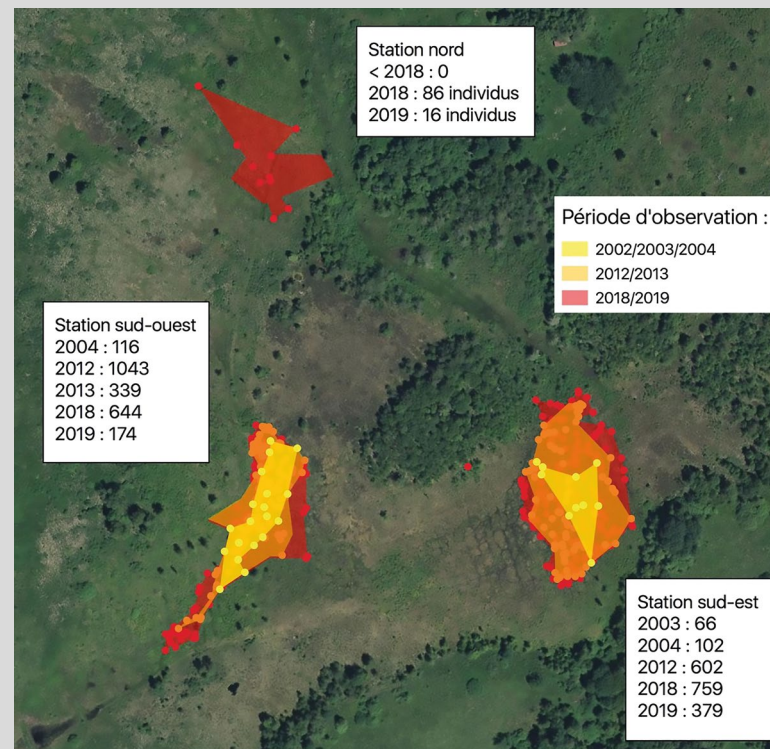
Ce marais bénéficie d'une dizaine d'années de suivis après travaux, et permet d'enrichir nos connaissances sur le fonctionnement de l'hydrosystème après travaux.

SUIVIS MIS EN PLACE

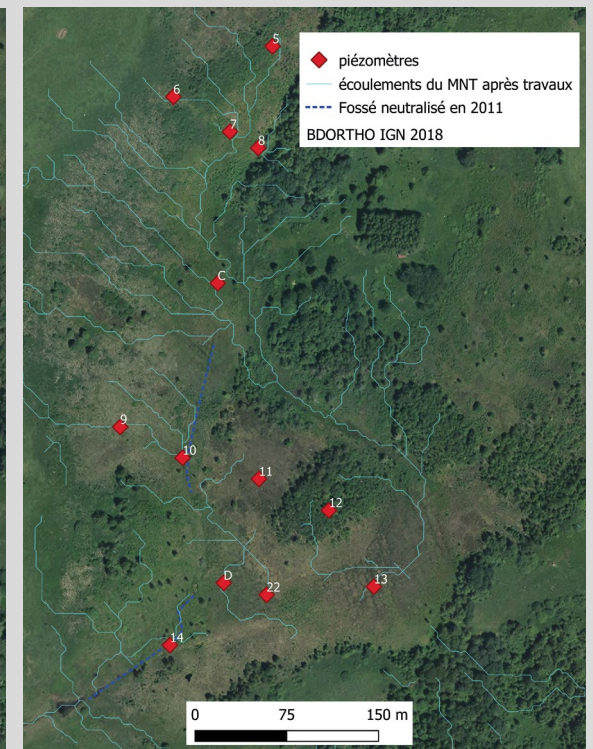
► **Suivi de la flore** : 32 placettes de suivi de la végétation (avant/après travaux) ont été mises en place afin de suivre un éventuel impact des travaux. Les relevés datent de 2004 (avant travaux), 2012 (N+1) et enfin 2017 (N+6).

Le Conservatoire botanique conclut à un effet positif sur la végétation en 2012. En revanche, l'effet s'est estompé en 2017, sans doute en raison de la récurrence d'épisodes très secs et chauds (2015 et 2017), qui malheureusement se sont poursuivis en 2018, 2019 puis 2020. Le développement des ligneux ne s'est pas arrêté (bouleaux, bourdaines, saules), en revanche, les bouleaux les plus vieux, qui n'avaient jamais fait l'objet d'une coupe, tendent à mourir.

Plusieurs hypothèses doivent être vérifiées à l'avenir : le marais des Levresses dispose d'un résidu de tourbe assez faible, et constitue un petit bassin versant, avec une petite réserve d'eau. Les épisodes très secs et chauds de ces dernières années ne permettent pas le maintien de niveaux de nappe stables et élevés. Les ligneux profitent d'une alimentation en eau minérotrophe qui leur est favorable, avec de surcroît des battements de nappe encore prononcés sur les marges de la tourbière, qui leur permet un développement rapide. Les zones les plus mouillées, zone centrale de marais de transition avec une nappe plus stable, présentent beaucoup moins ce faciès d'emboisement. Le vieillissement des arbres est peut-être une option, qui génère également de l'ombre pour les périodes d'évaporation intense que l'on connaît ces dernières années. Couper les arbres n'aurait pour effet que de relancer leur dynamique.



e Suivi du *Liparis de Loesel* au marais des Levresses



f Carte de suivi des piézomètres du marais des Levresses (et écoulements théoriques générés par le MNT après travaux)

► **Suivi du *Liparis de Loesel*** : cette espèce, bien présente aux Levresses a vu sa population véritablement « exploser » (multiplication par 10) suite aux travaux e. Même si la population a marqué le pas sur le plan quantitatif en 2019 (sans doute les résultats de la sécheresse exceptionnelle de 2018), l'étendue est restée identique. Une nouvelle station a même été trouvée dans un nouvel écoulement généré par des travaux à l'amont.

► **Suivi « *Syrph the net* »** : un état des lieux a été réalisé en 2018 (N+7 des travaux). Ce suivi doit donc se poursuivre au-delà du programme Life pour s'assurer de l'apport d'éléments probants, via d'autres politiques publiques.

► **Suivi piézométrique** : 7 piézomètres ont été installés en 2004, dans le cadre de l'étude de J. Guyonneau dans la zone concernée par les travaux f.

Le marais des Levresses n'a jamais été équipé de sondes piézométriques enregistreuses, il n'est donc suivi qu'à l'occasion de mesures manuelles, qui, faute de moyens humains, n'ont pu être réalisées que sporadiquement.

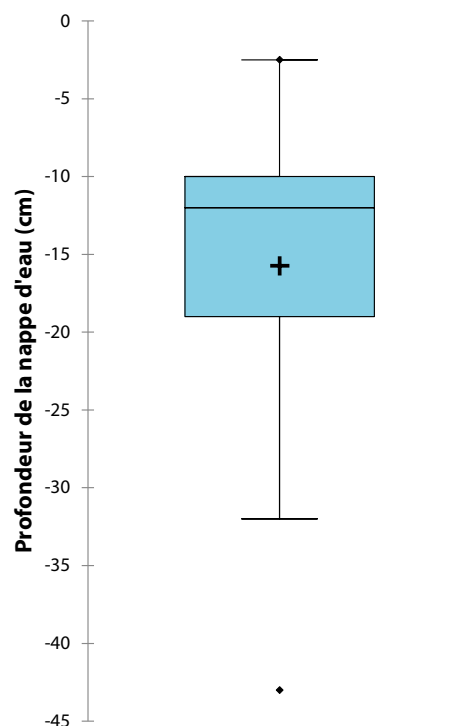
Les mesures prennent en compte la hauteur de l'eau dans le tube piézométrique et la hauteur du tube par rapport au sol, étant donné que le tube n'est pas ancré dans le sous-sol et fluctue avec la variation des pressions d'eau.

Avant - Après

Les mesures sont réalisées suffisamment régulièrement pour en faire un traitement statistique que depuis 2016 (1 relevé par quinzaine du 15/04 au 15/11). Le piézomètre 22 se situe dans un marais de transition qui a été bloqué par les des barrages aux exutoires sud et ouest, en 2011 et 2013. La représentation en boxplot de la période 2016-2020 ^g, post-travaux, montre un marais au battement de nappe réduit (entre -10 cm et -20 cm dans le sol), et une médiane proche de -10 cm dans le sol, donc assez proche de la surface, compatible avec un marais de transition.

Cependant, les valeurs extrêmes de sécheresse peuvent approcher les -30 à -40 cm : elles ont toutes été relevées pendant les épisodes de sécheresse de 2018, 2019 et 2020, avec une récurrence inquiétante. Les périodes de recharge de la nappe de la tourbière ne semblent plus suffisantes pour compenser les périodes de forte sécheresse avec une forte évapotranspiration liée aux températures très élevées (>30°C régulièrement depuis 2018).

Il semble important de poursuivre l'effort de suivi sur ce marais, tant piézométrique que sur la végétation, afin d'identifier si les effets des sécheresses et canicules cumulées n'auront pas un effet de modification de la flore à plus ou moins long terme. Des galeries de campagnols commencent à apparaître dans certains marais pourtant considérés comme en bon état, dans les épisodes de sécheresses extrêmes qui se succèdent, avec des impacts sur la végétation.



^g Représentation en boxplot de l'altitude de la nappe d'eau de la station 22 de la tourbière des Levresses après travaux

Le fossé central avant travaux - 2004



Le marais ennoyé après travaux - février 2021



Documents utiles

[?] MAGNON, G. 2011. *Compte-rendu de travaux – fermeture des fossés de la tourbière des Levresses Contrat natura 2000*. Communauté de communes Frasn-Drugeon. 16 p.

^g GUYONNEAU, J. 2004. *Le marais des Levresses, Réserve naturelle régionale des tourbières de Frasn - 25 : Etude de la végétation et renaturation hydrologique*. Mémoire de stage, Université de Nancy I, Institut national polytechnique de Lorraine, Université de Metz. 38 p. : Bibliogr. p. 40-43 + annexes.

Contact

Geneviève Magnon, chargée de missions à l'EPAGE Haut-Doubs Haute-Loue : 03 81 39 85 28 - g.magnon@eaudoubsloue.fr

La tourbière du Forbonnet

Carte d'identité

Site Natura 2000 : Bassin du Drugeon

Site Ramsar : Tourbières et lacs de la montagne jurassienne

Réserve naturelle régionale : les tourbières de Frasne-Bouverans

Maître d'ouvrage : EPAGE Haut-Doubs Haute-Loue

Station de recherche : site instrumenté dans le cadre du Système National d'Observation (SNO) depuis 2008

Années des travaux : 2015-2016

Commune : Frasne (25)

Accessibilité du site : site réglementé par arrêté de classement en Réserve naturelle régionale (accès limité aux chemins ouverts au public) et arrêté préfectoral de protection de biotope

Surface du complexe tourbeux : environ 270 ha

Altitude : 820-840 m

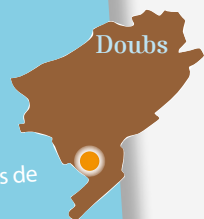
Usages :

- Exploitation ancienne et intense de la tourbière (du 19^e au 20^e siècle)
- Exploitation forestière

Espèces d'intérêt : Laïche à longs rhizomes (*Carex chordorrhiza*), laïche des bourbiers (*Carex limosa*), Andromède à feuilles de Podium (*Andromeda polifolia*), Scheuchzerie des marais (*Scheuchzeria palustris*), Aeschna subarctique (*Aeschna subarctica*), Solitaire (*Colias palaeno*)...



Solitaire *Colias palaeno*



La tourbière du Forbonnet vue du haut

Contexte

Le site du Forbonnet **(a)** est une vaste entité géomorphologique marécageuse (270 ha), constituée d'unités phytosociologiques tourbeuses différentes, coalescentes, sans doute indépendantes et disjointes antérieurement. La formation globale de ce complexe tourbeux est étroitement liée à la géomorphologie d'origine glaciaire, caractérisée par des dépôts morainiques épais, ayant généré de multiples barrages ou ralentisseurs aux flux d'eau. Ces derniers reposent sur un massif calcaire fracturé, caractérisé par des pertes ou des émergences, typiques du massif jurassien, au contact parfois direct de la tourbe. Le complexe tourbeux, variant les épaisseurs de tourbe de 1 à 7 mètres, se compose, compte-tenu de sa très grande taille, de 16 sous-bassins versants hydrologiques.

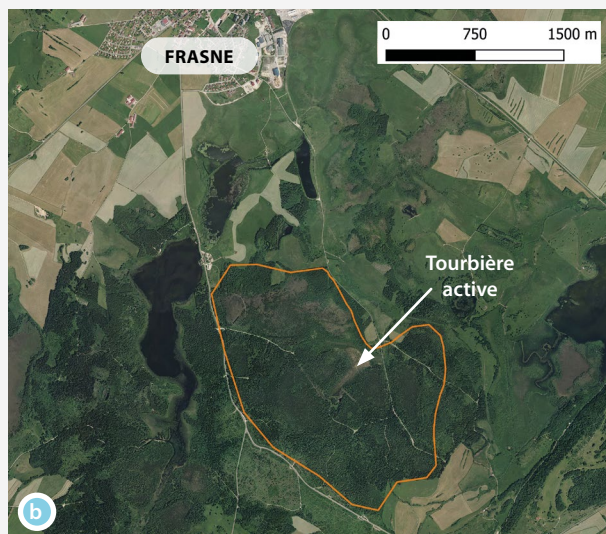
Du fait de la taille du site, un travail préalable de définition des enjeux de conservation et des potentialités de restauration a été réalisé à l'échelle de tout le complexe

tourbeux (*Grosvernier P., 2011*). Ce travail a été conçu sur la base de :

- l'établissement des valeurs de conservation (espèces, habitats, eau, carbone) à travers des diagnostics précis ;
- la définition des problèmes et l'identification des causes de dysfonctionnement ;
- le besoin d'intervention qualifié par : la nécessité d'intervenir, l'urgence d'une intervention, l'importance des valeurs à conserver, le potentiel de restauration ou la faisabilité scientifique et technique d'une intervention, la faisabilité politique et économique d'une intervention.

Au nord-est de ce vaste complexe tourbeux, le secteur dit de la tourbière active de Frasne **(b)**, page suivante), d'environ 6 hectares, présente des faciès de végétation de haut-marais et bas-marais en mosaïque. Il a été défini comme la zone à enjeux de conservation prioritaire

du point de vue de la flore et des habitats tourbeux qui y subsistent. Cependant, le fonctionnement de la tourbière active est perturbé, compte-tenu d'un envahissement rapide en son centre, par le pin à crochet et l'épicéa.



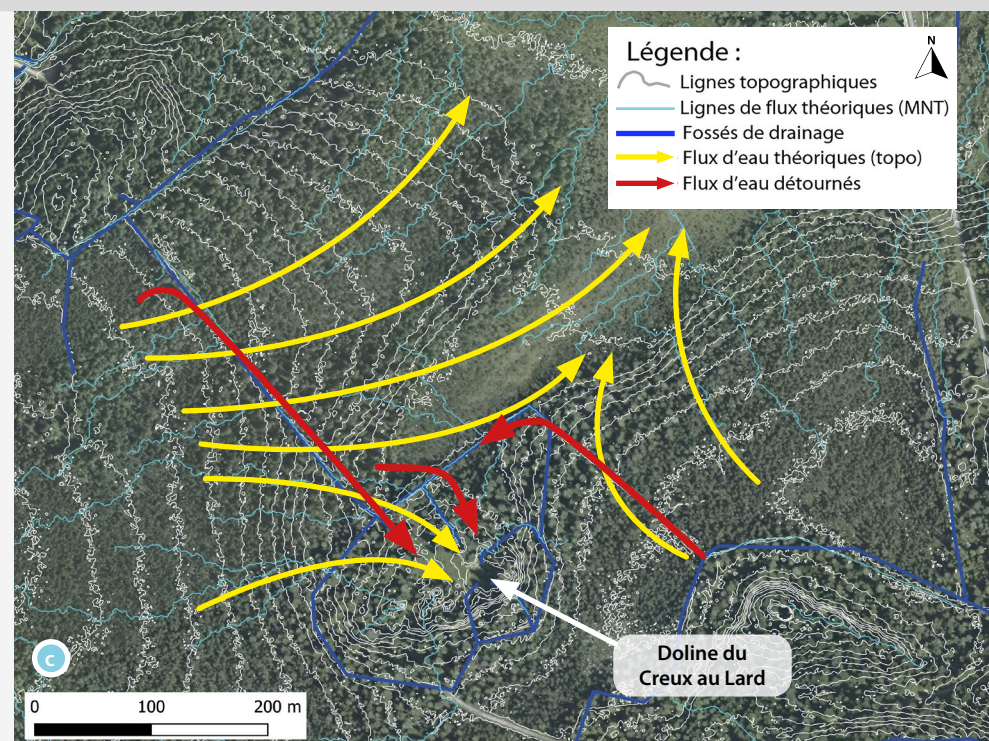
Situation du complexe tourbeux du Forbonnet (Frasne, 25)

Diagnostic

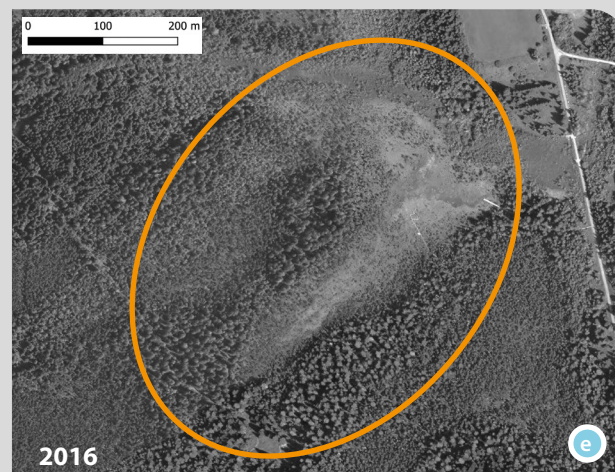
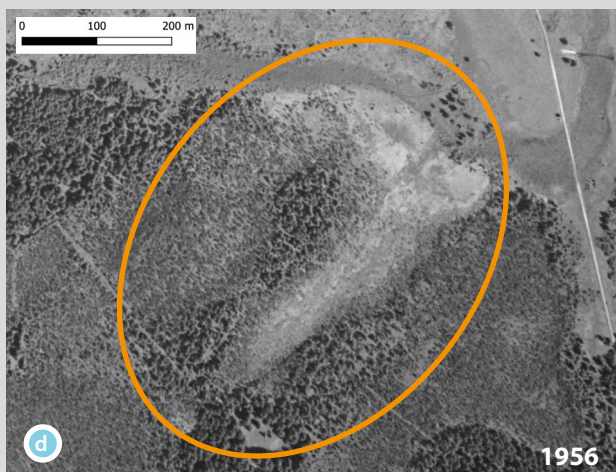
IDENTIFICATION DES PROBLÈMES

► Un réseau de drainage important : les analyses précédentes, confortées par l'analyse du modèle numérique de terrain **c**, issu d'une prospection LIDAR, prouvent l'existence d'un réseau de drainage important, qui contribue à assécher la tourbière et a pu favoriser la colonisation des épicéas.

► Une colonisation rapide des épicéas : l'analyse historique (aménagements forestiers anciens de l'ONF, 1797-1951), couplée à l'analyse diachronique des photos aériennes (1956 **d** - 2016 **e**) montre un envahissement des milieux ouverts de la tourbière par les pins puis les épicéas.



Flux hydrologiques de la tourbière active détournés par le réseau de drainage (LIN'eco, 2014)



Vue aérienne de la tourbière active du Forbonnet en 1956 et en 2016

ANALYSE FONCTIONNELLE ET POTENTIEL DE RESTAURATION

Le réseau de drainage mis en place à des fins sylvicoles a modifié les lignes de flux, interceptant une partie des eaux de surface du bassin versant de la tourbière active, pour les détourner vers un réseau de dolines, dont la principale, le Creux au Lard. En plus des canaux de drainage eux-mêmes, l'affaissement du terrain, dû à l'assèchement induit par le drainage, a vraisemblablement modifié la topographie aux abords immédiats du Creux au Lard.

Au-delà de la question des flux de surface, la question ardue à explorer était : où se situe la limite naturelle du bassin versant d'origine de la tourbière dite « vivante » ?

Une série de sondages pédologiques en lien avec les profils topographiques (Grosvernier P., 2015 et Collin L., 2016) a permis de dessiner les contours de la naissance progressive de la cuvette **f** (courbes de niveau descendant vers la tourbière dite «vivante»). Cette exploration a permis de définir le bassin versant naturel de la tourbière active, en lien avec sa géomorphologie et de pouvoir construire des bases solides pour le projet de restauration.

Le type hydrologique de la tourbière active s'apparente à une tourbière de pente (soligène) et de percolation, approvisionnant une tourbière de cuvette **g** (limnogène) (Grosvernier P., 2011).

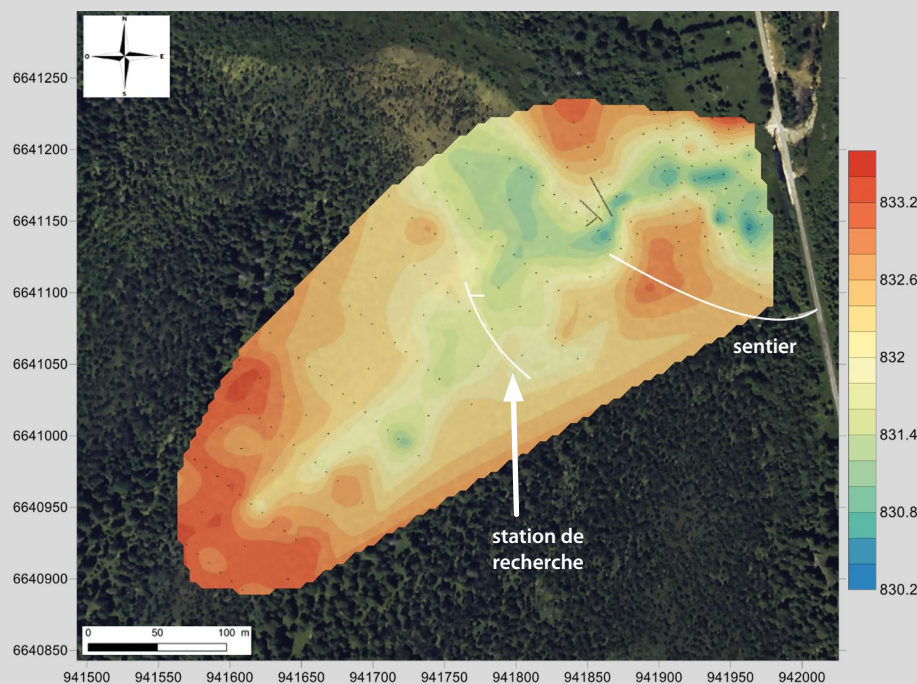
ENJEUX DU SITE

► **Biodiversité** : la tourbière, bien qu'hydrologiquement perturbée et de plus en plus fermée par la colonisation des résineux, reste un réservoir biologique majeur : le Nacré de la Canneberge (*Boloria aquilonaris*) y a déjà disparu, l'Hottonie des marais (*Hottonia palustris*) et la Scheuchzérie (*Scheuchzeria palustris*) y sont menacées. La Sarracénie pourpre (*Sarracenia purpurea*), plantée dans les années 1960 menace également les espèces locales par une colonisation excessive. Par ailleurs, dans la tourbière boisée, la prise en compte de la Gélinoite (*Bonasa bonasia*) doit également être assurée, alors que le développement de l'épicéa y est préjudiciable.

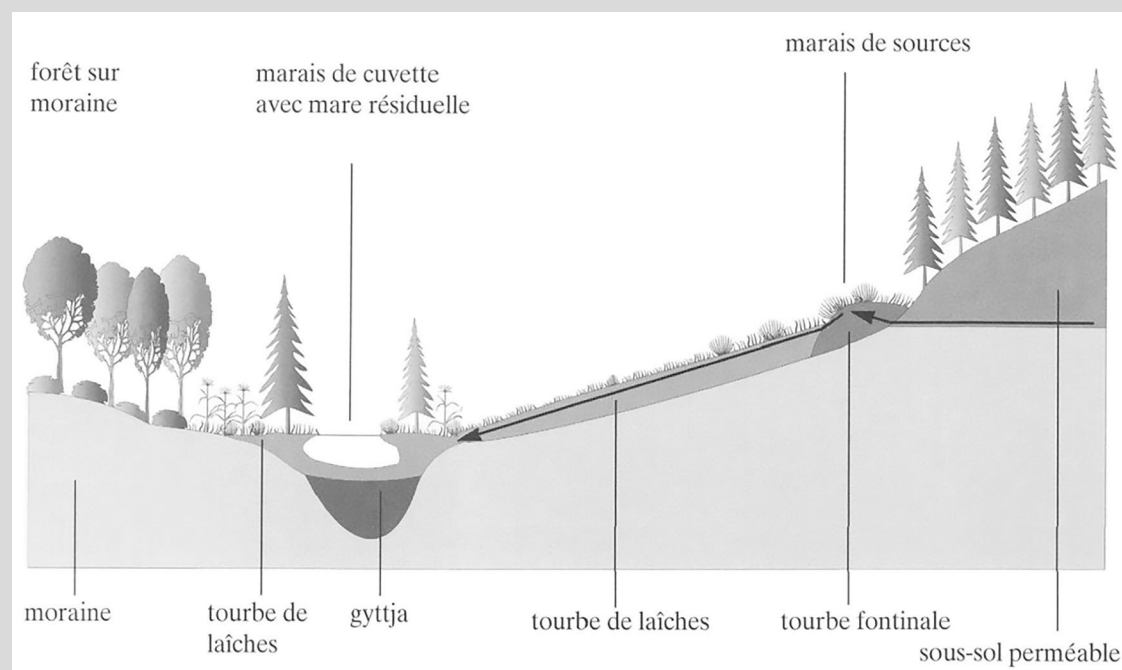
► **Alimentation en eau** : les flux qui ont formé le marais peuvent être à nouveau mobilisés pour ré-alimenter la tourbière active de façon diffuse, cela implique une prise en compte des bassins versants à large échelle. Le potentiel de remouillage est donc réel.

CONSÉQUENCES

Il en résulte un complexe marécageux, tourbeux de grande taille, asséché par la déviation des flux d'eau créée pour l'amélioration sylvicole. La situation évolue rapidement vers un boisement de résineux, et un affaissement de la surface tourbeuse asséchée par drainage en périphérie du Creux au Lard, qui accélère l'évacuation des flux d'eau.



f Cartographie du relief minéral sous la couche de tourbe (Collin L., 2016)



g Type hydrologique de la tourbière active (Steiner G-M., 2005 ; Grosvernier P., 2011)




Scheuchzeria palustris
Scheuchzeria palustris

Travaux

Le potentiel de restauration était important compte tenu des gros volumes de tourbe encore présents sur site. Le projet consistait ainsi à :

- supprimer les effets de drainage pour ralentir les flux ;
- restaurer le bassin-versant originel en compensant artificiellement le niveau d'eau dans la zone de tourbière affaissée (proche du Creux au Lard), sans quoi la neutralisation des fossés ne supprimera pas la direction des flux vers la doline ;
- rediriger tous les flux d'eau détournés volontairement vers le Creux au Lard par l'Homme, en direction de la tourbière active.

Mise en oeuvre du chantier : les travaux, de très grande ampleur, réalisés sur deux ans, ont commencé par le déboisement de tous les accès, zones de travaux et zones de remouillage en bordure d'ouvrage avec un chantier d'élimination de tous les ligneux  (épicéas, pins à crochets, bouleaux).

ÉLÉMENTS RÉGLEMENTAIRES

► Procédure Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques : La superficie des travaux comprise entre 0,1 et 1 ha implique le déclenchement d'une procédure déclarative au titre des rubriques 3.2.3.0 (création de plan d'eau) et 3.3.1.0 (remblaiement). La mesure de compensation de restauration de 8300 m² de zones humides imposée par l'Administration n'est autre que le chantier en lui-même qui remet en eau la zone humide.

► Notice d'incidence Natura 2000 : Concernant les surfaces impactées à court terme par le chantier, conduisant à une amélioration des conditions de maintien d'espèces et d'habitats d'intérêt communautaire à moyen terme, il n'a été relevé aucun seuil de significativité.

► Espèces protégées : Aucune espèce protégée n'était concernée par l'impact direct du chantier en lui-même, en revanche l'impact à moyen terme des travaux a été jugé positif sur les espèces protégées.



Dégagement des bois par un débusqueur adapté

Les travaux en chiffres

Périodes :

- Bûcheronnage : juillet 2015
- Fossé est et digue : de septembre à novembre 2015
- Fossé sud-ouest : de mai à juillet 2016

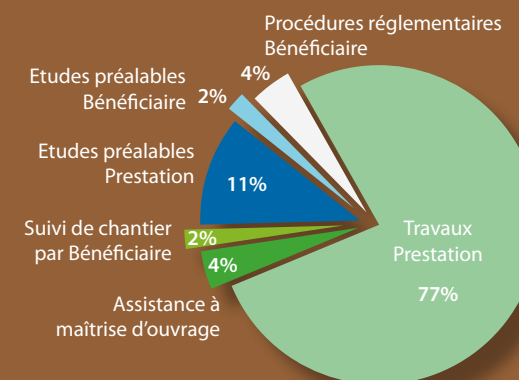
Linéaire et surface :

- Déboisement de 3.4 ha
- Neutralisation de 745 m de fossés de drainage
- Impact attendu de 10 à 15 ha de sol remouillé à plus ou moins long terme

Prestataires : Lin'Eco et SCOP Sagnes pour l'étude et l'appui technique, Jura Natura Services pour le chantier hydrologique, L.Mathieu/ETF Rinaldi/Nature Bois Energie/ONF pour le bûcheronnage

Coût total des actions Life : 338 188 € TTC *

- Travaux (vert) : 279 365 €
- Actions préalables (bleu + gris) : 58 823 €



* Les études préalables ont été réalisées hors LIFE avant 2014, dans le cadre des financements de la réserve naturelle

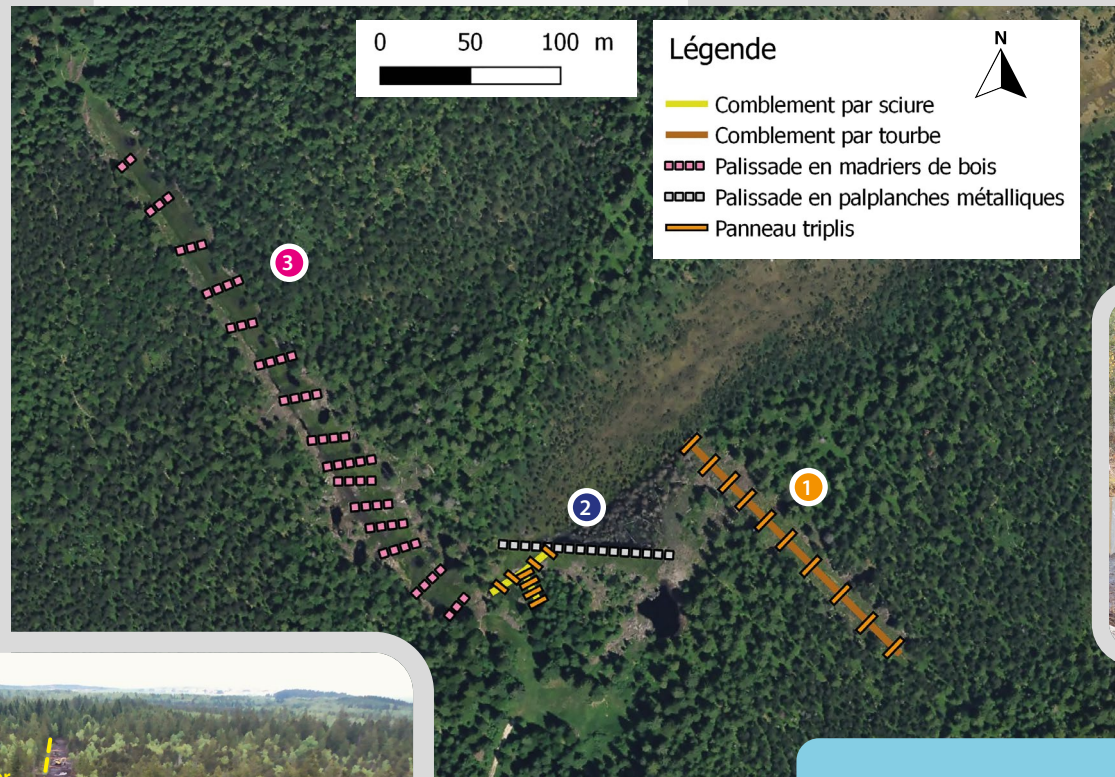
- ① Les fossés les plus pentus ont été neutralisés par des **points de blocage en panneaux / palissades bois et colmatage total à la tourbe** (eù égard aux disponibilités de la ressource sur place)

En ligne



Les travaux de la restauration hydrologique

Plan projet des travaux de remouillage de la tourbière active du Forbonnet



- ② Afin de compenser l'affaissement de la topographie par assèchement, une digue a été construite dans la zone de naissance naturelle du bassin versant de la tourbière active.

Compte-tenu de la présence d'une couche de bois épaisse à la base de la tourbe, le choix d'une **digue de palplanches métalliques**, coupante, a été fait, pour ne pas pousser ce bois dans le substrat et risquer d'impacter l'étanchéité du substrat (et le rendre poreux).



Digue métallique de compensation topographique, couverte de tourbe



- ③ De **longues palissades de madriers de bois** ont été créées afin de neutraliser le fossé de drainage et de rediriger tous les flux d'eau sud-ouest vers la tourbière (flèches bleues).

15 digues de madriers de bois de déviation des flux

Points de vigilance

- ▶ **Topographie** : la circulation des engins a fait l'objet d'un point de vigilance très important. Malgré cela, le passage répété des engins en un seul point possible, a généré un tassement de la tourbe de quelques cm, modifiant la circulation de l'eau souhaitée. De ce fait certaines palissades ont dû être rallongées.
- ▶ **Ancrage de la palissade métallique** : l'ancrage de la palissade sur un substrat étanche peu épais (limité à environ 30 cm d'argile, sur un calcaire fracturé) a dû être calculé précisément à l'aide de sondages pédologiques très rigoureux sur les 90 m d'implantation. Un plan coté de l'enfoncement de chaque palplanche métallique devait être respecté par l'entreprise et vérifié régulièrement par le maître d'ouvrage.

Résultats

SUVIS MIS EN PLACE

- ▶ Suivi de la flore et de la végétation : 10 placettes de végétation (avant/après travaux). L'objectif est d'évaluer l'impact des travaux sur la végétation à partir de relevés phytosociologiques. L'évolution de certaines espèces caractéristiques devraient donner des indications sur les éventuelles modifications engendrées par les travaux. Seuls un N-1 et N+2 sont disponibles, sans changement réellement significatif à ce jour, sauf sur la régression de *Andromeda polifolia*, très nette dans la zone d'inondation des travaux au profit des sphaignes. Ce suivi doit donc se poursuivre au-delà du programme Life pour s'assurer de l'apport d'éléments probants, via d'autres politiques publiques.
- ▶ Suivi « Syrph the net » : un état des lieux a été réalisé en 2017 (N+1 des travaux). Ce suivi doit se poursuivre au-delà du programme Life pour identifier d'éventuels modifications des peuplements, via d'autres politiques publiques.
- ▶ Suivi piézométrique : 10 piézomètres équipés de sondes enregistreuses ont été installés dans la tourbière

en 2014 afin de mesurer les fluctuations de niveau de nappe, et d'évaluer les modifications avant/après travaux.

- ▶ Suivi hydrologique des débits à l'exutoire de la tourbière (SNO tourbière) : la courbe de tarage est en cours d'élaboration, les résultats ne sont pas encore exploitables, mais un travail de thèse (en cours) permettra d'apporter des éléments sur les modifications hydrologiques d'ici 2022.
- ▶ Suivi des mesures de carbone (SNO tourbière) : mise en place d'un mât d'Edy covariance en 2018, après travaux. Il n'y aura pas de comparaison avant / après travaux, mais un suivi sur le long terme des échanges de carbone au sein de la tourbière (*Lhosmot A., in prep.*)
- ▶ Suivi topographique, avec le MNT avant/après travaux : la réactualisation du MNT devrait permettre d'évaluer les changements de direction des flux d'eau de surface. Un nouveau survol a été réalisé en 2020 et montre explicitement la nouvelle circulation des flux en direction de la tourbière active comme projeté. Un test par photogrammétrie réalisé en 2019 n'avait pas donné des résultats suffisamment fiables compte-tenu de la couverture arborée.

Avant - Après

Avant travaux hydrologiques :
dégagement de la palissade - juillet 2015



Impact de l'inondation de la palissade : mortalité des ligneux et développement des sphaignes - 2019



Documents utiles

- GROSVERNIER, P. 2014. *Fermeture de fossés au Creux au Lard, tourbière du Forbonnet (Commune de Frasne, France)*. Compte-rendu d'étude du cabinet LIN'eco. SMMAHD. 16 diapositives.
- GROSVERNIER, P. 2011. *Enjeux de conservation et potentialités de restauration de la tourbière du forbonnet (Commune de Frasne, France)*. Compte-rendu d'étude du cabinet LIN'eco. SMMAHD. 22 diapositives.
- GROSVERNIER, P. 2005. *Expertise hydroécologique de la tourbière du Forbonnet (Commune de Frasne, France)*. Compte-rendu d'étude du cabinet LIN'eco. SMMAHD. 7 p.
- GUYONNEAU, J. 2010. *Relevés floristiques réalisés sur les carrés permanents de la combe tourbeuse de la RNR Frasne-Bouverans (25)*. SMMAHD.
- MAGNON, G. & CALVAR, E. 2012. *Éléments constitutifs en vue d'une demande de classement d'un site en Réserve Naturelle Régionale, site des tourbières de Frasne-Bouverans (25, France)*. SMMAHD. 139 p.
- GOUBET, P. 2016. *Résultat d'expertise de l'analyse des macrorestes de carotte de tourbe de la tourbière de la Seigne des Barbouillons (25, France)*. SMMAHD.
- GOUBET, P. 2015. *Résultat d'expertise de l'analyse des macrorestes de carottes de tourbe de la tourbière active de Frasne (25, France)*. SMMAHD. 9 p.
- BRIOT, M. 2004. *Restauration des capacités biogènes des tourbières : Etude hydrogéologique, hydrologique, et pédologique d'une zone sous influence d'un drain dans la Réserve Naturelle de Frasne (Doubs, France)*. Rapport de stage, SMMAHD. 30 p. + annexes.
- COLLIN, L. 2016. *Etablissement d'un modèle conceptuel du fonctionnement hydro-écologique de la tourbière de Frasne (25, France)*. Rapport de stage, SMMAHD.
- LHOSMOT, A. En préparation. *Réactivité du carbone dans les interactions combinant l'atmosphère et les tourbières : combiner l'analyse hydrogéochimique et des flux de gaz à effet de serre à l'échelle des microsites pour contraindre la variabilité spatio-temporelle des fonctions puits et émetteur de C de la tourbière de Frasne (25)*. Thèse de doctorat, Laboratoire de chrono-environnement, Université de Franche-Comté.

Contact

Geneviève Magnon, chargée de missions à l'EPAGE Haut-Doubs Haute-Loue : 03 81 39 85 28 - g.magnon@eaudoubsloue.fr

Le complexe tourbeux du lac de Malpas

Carte d'identité

Site Natura 2000 : Lac et tourbières de Malpas, les prés Partot et le bief Belin

Site Ramsar : Tourbières et lacs de la Montagne jurassienne

Maître d'ouvrage : EPAGE Haut-Doubs Haute-Loue

Commune : Malpas (25)

Années des travaux : 2019-2020

Accessibilité du site : site non ouvert au public (parcelles privées) - sentier balisé du tour du lac de Malpas (Circuit 6)

Surface du complexe tourbeux : 8 ha intégrés à un complexe tourbeux de plus de 30 ha

Altitude : 920 m

Usages :

- Exploitation ancienne probable de la tourbière jusqu'au 19^e siècle
- Drainage des eaux en vue de l'alimentation d'un moulin de scierie jusqu'au 19^e siècle
- Pâturage et fauche manuelle encore pratiqués au 20^e siècle
- Milieu récepteur de l'assainissement collectif jusqu'au raccordement au réseau dans les années 1980
- Milieu récepteur des eaux pluviales

Espèces d'intérêt : Andromède à feuilles de polium (*Andromeda polifolia*), Calamagrostis raide (*Calamagrostis stricta*), Rossolis à feuilles rondes (*Drosera rotundifolia*), Grassette commune (*Pinguicula vulgaris*), Fadet des tourbières (*Coenonympha tullia*), Cuivré de la Bistorte (*Lycaena helle*), Damier de la Succise (*Euphydryas aurinia*)...



Fadet des tourbières *Coenonympha tullia*

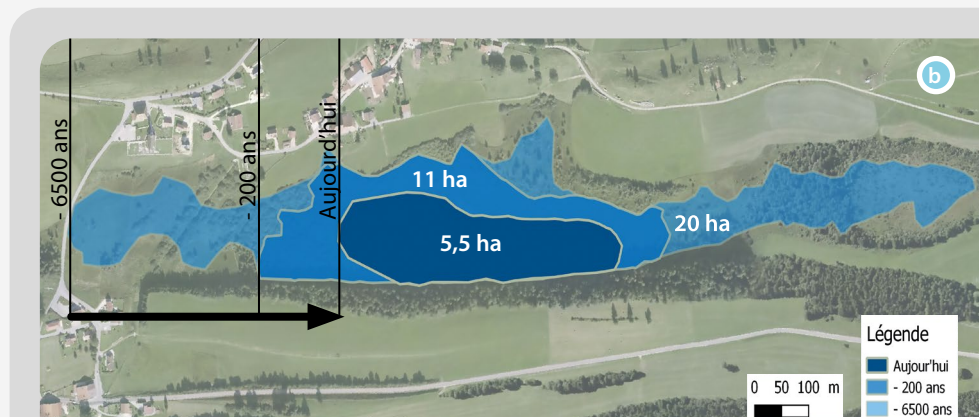


Le complexe tourbeux du lac de Malpas, vue du ciel

Contexte

Le complexe tourbeux du lac de Malpas **a** occupe une vaste dépression lacustre de plus de 20 ha. Il présente l'ensemble des stades d'évolution d'un plan d'eau en cours d'atterrissement jusqu'à une tourbière bombée boisée **b**.

C'est le surcreusement des calcaires par le glacier du Würm qui a permis la rétention de l'eau et la formation d'un lac. L'originalité du site réside dans le rôle prépondérant joué par les pertes en faveur de la formation des tourbières. En effet, la cote maximale de l'eau du lac et des marais associés semble fixée par la présence de ces exutoires naturels, en bordure ouest du lac, entre calcaires fracturés/fissurés du Valanginien et dépôts morainiques.



Le processus naturel d'atterrissement s'est accéléré au cours des derniers siècles comme en témoignent les datations en radioéléments (Carbone 14) et les éléments d'archives, d'après le laboratoire chrono-environnement.

Le contexte géomorphologique et topographique est propice à la récolte des eaux de versants, des eaux de source et des précipitations favorisant une mosaïque d'habitats typiques de ces diverses sources d'alimentation. Le ruisseau de Malpas vient par ailleurs se déverser dans la tourbière. Ainsi, la formation du complexe tourbeux s'apparente à un type limnogène ou soli-limnogène évoluant de façon localisée vers un type limno-ombrogène. Les profondeurs de tourbe varient de 2,5 m au sud à 6 m dans la tourbière bombée au nord du lac.

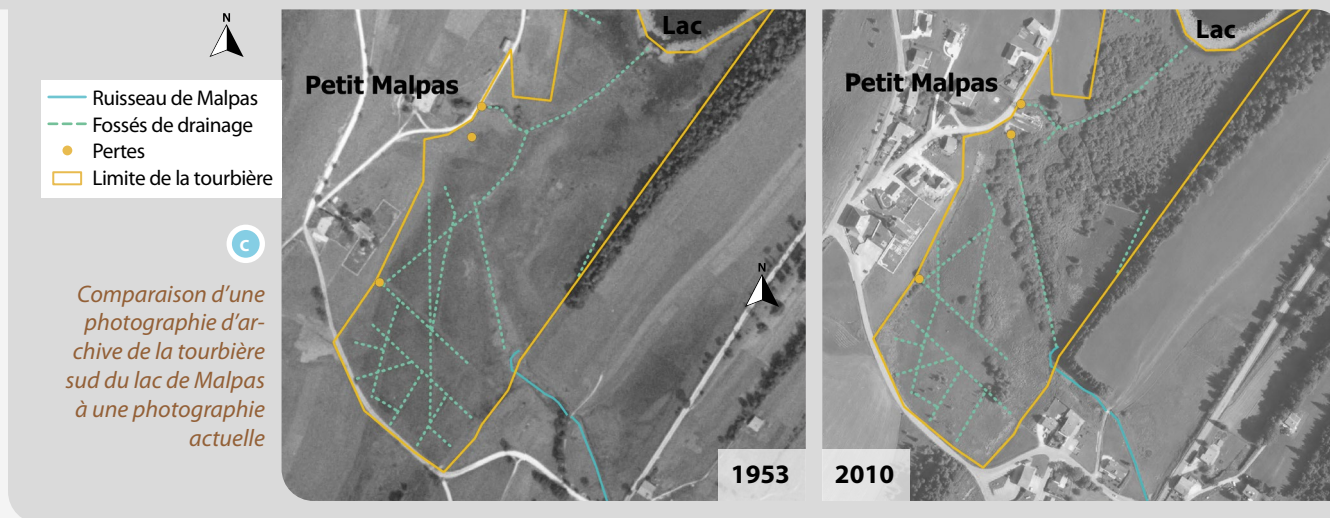
Les dégradations de la tourbière les plus importantes ont été constatées sur la partie sud du complexe : c'est cette unité fonctionnelle qui a fait l'objet d'une étude diagnostic fine et des travaux menés dans le cadre du Life tourbières du Jura.

Diagnostic

IDENTIFICATION DES PROBLÈMES

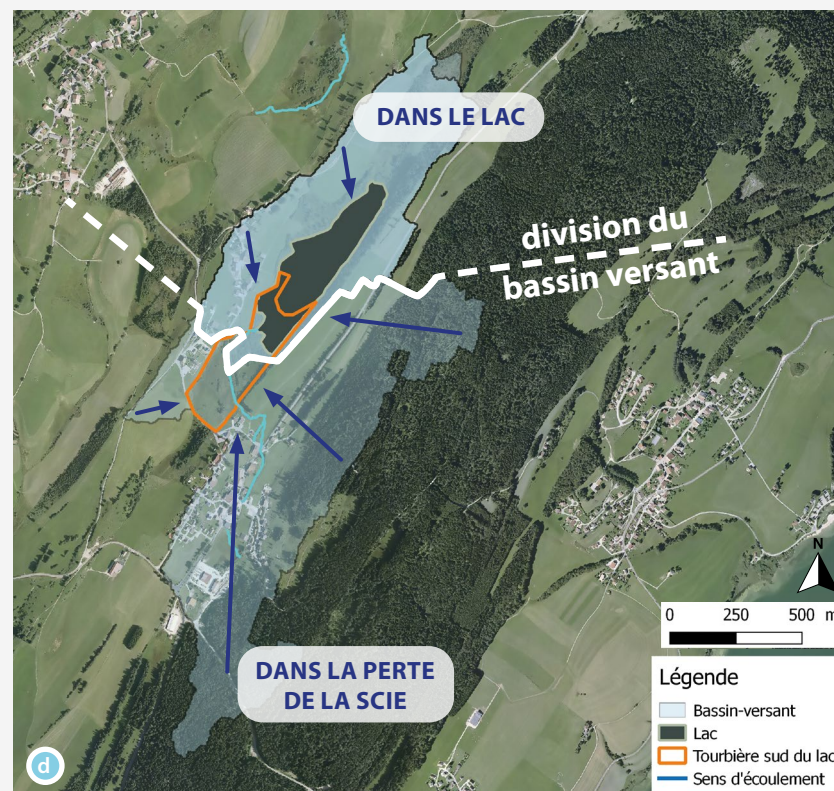
Le complexe tourbeux du lac de Malpas a fait l'objet, comme de nombreuses tourbières du massif jurassien, d'une rapide colonisation par les ligneux (des saules en majorité) dans les 40 dernières années, comme en attestent les photos aériennes d'archive ^c. Mais c'est le remplacement des cariçaies au sud du lac, par une mégaphorbiaie montagnarde dégradée (*Urtica dioica*, *Epilobium sp...*) qui a souligné l'importance du dysfonctionnement hydrologique : depuis 70 ans, cette zone, en plus de s'être asséchée, a vu sa charge trophique augmenter.

L'origine de la perturbation semble évidente une fois sur le terrain ^e : un fossé central de 4 m de largeur et 2 m de profondeur ^f entaille la tourbière du sud au nord drainant les eaux du ruisseau directement vers une perte aménagée, dont la cote naturelle a été volontairement abaissée. Plusieurs autres fossés de taille réduite sont observés et semblent actifs.



Ces aménagements, réalisés dans les années 1960 ont été particulièrement efficaces : la tourbe noire minéralisée observée sur les 50 premiers centimètres présente une texture grenue, exempte de fibres et de macrorestes. D'un point de vue piézométrique, le constat est concordant : la nappe à proximité du fossé central affiche en effet des variations de l'ordre du mètre, preuve d'un fort dysfonctionnement hydrique. L'analyse des gradients piézométriques fait apparaître un drainage des eaux du lac par ce fossé lors des périodes de sécheresse : l'influence des aménagements s'étendrait donc à l'ensemble du complexe tourbeux. Les fossés ont également redessiné le bassin-versant topographique et conditionnent donc aujourd'hui les flux d'eau : l'hydrosystème est scindé en deux, l'alimentation n'est plus réciproque ^d.

Conséquence du creusement du fossé central : le bassin-versant original est scindé en deux



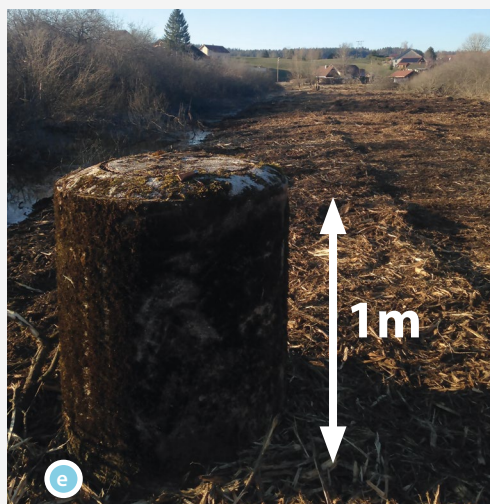
L'objectif principal de ces aménagements pose encore question mais il semblerait que la motivation première était de récolter les eaux usées du village pour les acheminer vers la perte. Aucune plus-value agricole n'a en effet été observée : la fauche et le pâturage ont d'ailleurs disparu depuis le creusement du fossé.

L'augmentation de l'eutrophisation du site est sans doute la conséquence de la minéralisation importante de la tourbe et de façon plus hypothétique du déversement des eaux usées (assainissement) dans le fossé central. Les modifications trophiques et hydriques ont favorisé l'émergence d'espèces nitrophiles humides ainsi que l'embuissonnement.

ENJEUX DU SITE

Les pressions humaines ont été et sont encore déterminantes sur l'évolution des habitats du complexe tourbeux du lac de Malpas. Les enjeux de biodiversité sont importants avec la présence de plusieurs espèces animales et végétales protégées et une diversité d'habitats d'intérêt patrimonial en voie d'enfrichement et de sur-eutrophisation. Ce site constitue vraisemblablement une source importante de CO₂ du fait de la minéralisation des tourbes asséchées. Ce sont déjà 2500 à 5000 m³ estimés de tourbe qui ont disparu au cours des 40 dernières années **e**.

L'enjeu « qualité et quantité d'eau » est intrinsèquement lié aux enjeux « biodiversité » et « CO₂ » puisque les aménagements hydrauliques sont à l'origine des dysfonctionnements hydro-écologiques observés sur le complexe. L'alimentation en eau est fondamentale pour la conservation de la tourbe et les flux d'eau ayant permis l'installation du complexe tourbeux sont toujours bien présents : ruisseau, sources, lac, eaux météoriques. La situation tant géomorphologique que topographique du site est par ailleurs propice à la récolte et à l'accumulation d'eau : c'est le drainage via les aménagements hydrau-



Témoin de l'abaissement topographique et de la minéralisation de la tourbe : l'apparition des regards d'assainissement



Fossé central de la tourbière sud du lac de Malpas après broyage de la saulaie et avant neutralisation

liques qui rend le bilan hydrique négatif. Depuis les travaux de mise en séparatif du réseau d'assainissement, la qualité physico-chimique des eaux du fossé central s'est améliorée. Compte-tenu de ces paramètres favorables, un projet de réhabilitation de la tourbière sud du lac de Malpas a pu être envisagé.

Travaux

Les mesures proposées doivent permettre de reconnecter les trois ensembles hydrologiques « tourbière, lac et ruisseau » afin de stopper la minéralisation de la tourbe et peut être redémarrer la turfigénèse dans la tourbière.

► **Modification des ouvrages hydrauliques** : les fossés de drainage doivent être neutralisés et la cote de déversement de la perte de la Scie surélevée jusqu'à un niveau jugé « naturel » pour empêcher la sortie accélérée de l'eau. La remise en eau de la tourbière dans l'état entrainerait la mise en charge des canalisations d'eau plu-

viale du village : ce réseau doit donc être rehaussé pour empêcher tout risque de mise en charge. Les nouvelles canalisations permettent également la déviation des eaux en rive gauche du fossé central sur une zone plane, favorisant le remouillage. Les eaux du fossé se déversent actuellement dans la perte de la Scie via deux ouvrages de protection de perte. La capacité d'écoulement maximum de la perte de la Scie est égale à celle de l'ouvrage 1, ce qui autorise la neutralisation de l'ouvrage 2 sans conséquence hydraulique notable tout en abaissant le coût de l'opération.

► **Restauration hydroécologique de la tourbière** : une fois les modifications des canalisations réalisées, les travaux dans la tourbière peuvent s'opérer :

- le colmatage minutieux et conséquent de la partie amont (sud) du fossé central **f** permet d'empêcher la capture et la concentration des flux (ruisseau, eaux pluviales) par ce fossé tout en favorisant les transferts d'eau en direction du lac ;

- l'étrépage de la tourbe minéralisée de la partie sud de la tourbière permet de créer un contexte topographiquement favorable à l'étalement de l'eau, au remouillage et à la réduction de la force d'érosion. De plus, en période de hautes-eaux, les écoulements en direction du lac seront favorisés ;

- le colmatage total du fossé central étant impossible compte-tenu de son gabarit, la construction d'une double palissade dans la zone intermédiaire aide à retenir et à structurer les matériaux utilisés pour le comblement amont tout en aidant à la redirection de l'eau vers le lac ;

- l'effacement des anciens merlons de curage aide à la cohérence topographique de l'ensemble de la tourbière et à l'écoulement des eaux de surface et de sub-surface.

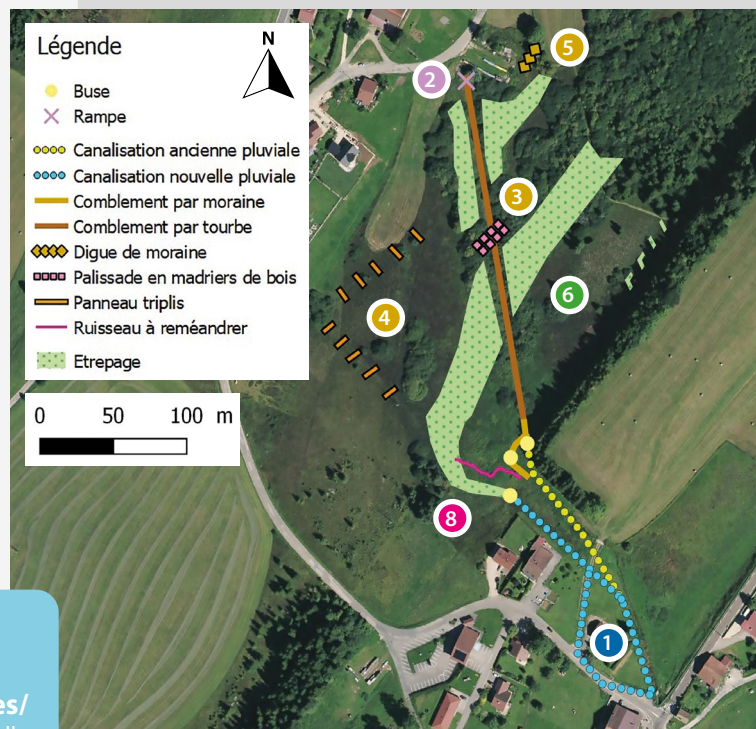
► **Reméandrement du ruisseau de Malpas :** la partie aval du ruisseau de Malpas est déviée et reméandrée en direction de la zone de remouillage.

Points de vigilance

► **Relations ouvrages hydrauliques/mesures de réhabilitation :** la nouvelle configuration du réseau d'eau pluviale a permis de réhausser le niveau de la nappe dans la tourbière. Tout le projet de réhabilitation s'est reposé sur une cohérence topographique de l'amont (ruisseau et canalisation d'eau pluviale) vers l'aval (la perte de la Scie) garantissant le remouillage de la tourbière et sa reconnexion au lac tout en préservant l'écoulement des eaux pour ne pas envoyer les canalisations. L'ensemble des opérations (étrépage, palissade, comblement...) a donc totalement été cotée en altitude, puis le nivellement de chaque élément a été vérifié lors du chantier. Certaines zones ont été interdites d'accès (délimitées par un balisage) pour éviter tout tassement par les engins susceptible de générer des modifications de la topographie.

En résumé, les travaux consistent en :

- le **réhaussement des canalisations d'eau pluviale 1** ;
- le **réhaussement de la cote de l'ouvrage de protection de perte 1 2** (perte de la Scie) ;



Opérations menées dans le cadre des travaux de restauration hydro-écologique de la tourbière sud du lac de Malpas



Déviation et reméandrement de la partie aval du ruisseau de Malpas (à gauche) et embouchure du nouveau réseau d'eau pluviale du village de Malpas dans la zone de remouillage étrépage (à droite)

Modification du réseau d'eau pluviale du village de Malpas sur un linéaire de 190 m



Construction de la double palissade au niveau du fossé central

- la **neutralisation du fossé central 3** : comblement total en amont et partiel en aval de la double palissade avec les matériaux récoltés suite à l'étrépage des merlons de curage ;
- la **neutralisation des fossés secondaires 4** : panneaux en bois ou étrépages et constitution de merlons ;
- la **neutralisation de l'ouvrage de protection de perte 2 5** par la constitution d'une digue minérale ;
- l'**étrépage pour l'étalement et la redirection des eaux 6** ;
- le **reméandrement 8** de la partie aval du ruisseau de Malpas.



En ligne

Les travaux de la restauration hydrologique

Les travaux en chiffres

Périodes : 2 phases, automne 2019 et printemps 2020

Linéaire et surface :

- Neutralisation de 440 m de fossés de drainage
- Remouillage de 3 ha de tourbière
- Reconnexion hydrologique d'un complexe de 20ha

Matériels mobilisés :

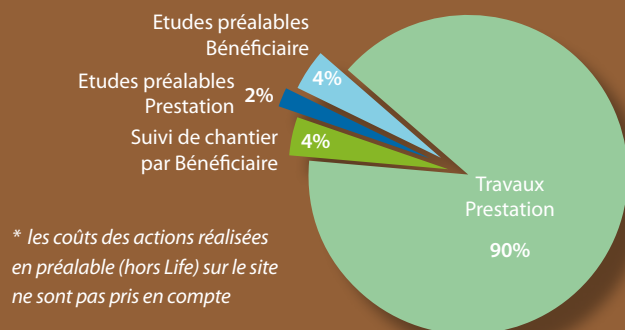
- Entreprise lot tourbière : 2 pelles marais 23 tonnes, 2 dumper, 1 kubota
- Entreprise lot canalisation et ouvrage de protection de perte : 2 pelles 23 tonnes dont une brise-roche, 1 camion-benne
- 1200 m³ de tourbe ou de matériaux argileux utilisés pour le comblement
- 30 ml de madriers de bois
- 60 m² de panneaux de bois
- 37 ml de canalisation 600, 123 ml de canalisation 1000

Prestataires : Setec Hydratec pour la conception de l'ouvrage de protection de perte (réhaussement), Jura Natura Services pour le chantier tourbière et Boucard TP pour le chantier du pluvial

Coût total des actions Life : 256 860 € TTC *

- Travaux (vert) : 241 842 €
- Actions préalables (gris) : 15 019 €

Travaux en tourbière : 84 000€ HT, travaux sur le pluvial : 98 000€ HT, conception de l'ouvrage de protection de perte : 4 900 € HT

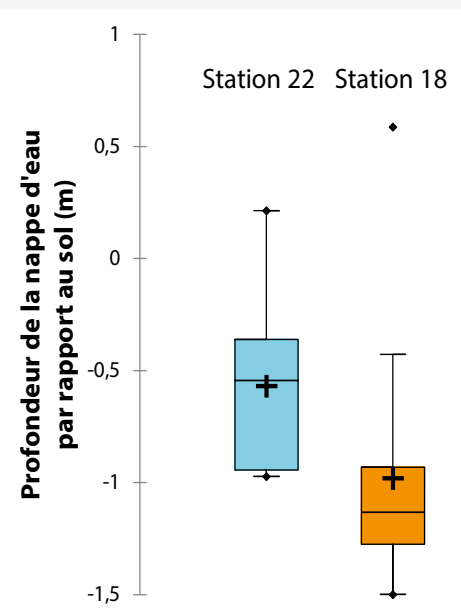


Résultats

Les travaux ont été finalisés le 28 mai 2020. Les suivis floristiques et entomologiques après travaux seront réalisés dans les années à venir. Un suivi piézométrique est en place depuis mai 2015. Il avait permis d'établir un diagnostic piézométrique avant travaux et ainsi d'identifier les perturbations hydrologiques du site. L'acquisition de données se poursuit actuellement.

SUIVIS MIS EN PLACE

- ▶ Suivi de la flore : cartographie de végétation réalisée en 2006
- ▶ Suivi entomologique : inventaire Lépidoptères et Odonates en 2018
- ▶ Suivi piézométrique : 5 piézomètres suivis (depuis 2015)



Altitudes de la nappe d'eau des stations 18 et 22 de la tourbière sud du lac de Malpas avant travaux

Le piézomètre 18 est situé à proximité immédiate du fossé central. Il présente un battement de nappe de 1m d'amplitude et une médiane se situant à -1,2 m par rapport au sol ce qui souligne l'effet drainant du fossé. Le piézomètre 22 est situé au centre de la tourbière. Eloigné des fossés il affiche néanmoins un comportement piézométrique reflétant une perturbation hydrologique.

Avant - Après

Vue aérienne du complexe tourbeux du lac de Malpas



Documents utiles

- ? COLLIN, L. 2018. *Tourbière du lac de Malpas : Diagnostic hydro-écologique*. SMMMAHD. 15p.
- ? COLLIN, L. 2018. *Tourbière du lac de Malpas : Etude avant-travaux AVP PRO*. SMMMAHD. 28p.

Contact

Louis Collin, chargé de mission zones humides et milieux aquatiques à l'EPAGE Haut-Doubs Haute-Loue : 03 81 39 85 29 - l.collin@eaudoubsloue.fr

La tourbière du Crossat

Carte d'identité

Site Natura 2000 : Vallons de la Drésine et de la Bonavette

Site Ramsar : Tourbières et lacs de la Montagne jurassienne

Organisme gestionnaire : Association Les Amis de la Réserve Naturelle du Lac de Remoray

Années des travaux : 2017 et renfort en 2018

Commune : Remoray-Boujeons (25)

Accessibilité du site : site interdit au public (Arrêté Préfectoral du 16 juillet 1982 complétant l'arrêté ministériel portant création de la Réserve naturelle du Lac de Remoray)

Surface du complexe tourbeux : 10 ha

Altitude : 850 m

Usages :

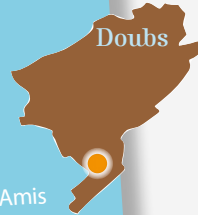
- Biodiversité
- Exploitation ancienne et familiale de la tourbière (du XIX^e et XX^e siècle)

Espèces d'intérêt : Andromède (*Andromeda polifolia*), Sphaignes (*Sphagnum sp.*), Cetraria sepincola, Solitaire (*Colias palaeno*),

Cuivré de la Bistorte (*Lycaena helle*), Damier de la Succise (*Euphydryas aurinia*), Leucorrhine douteuse (*Leucorrhinia dubia*),

Leucorrhine à gros thorax (*Leucorrhinia pectoralis*), Pipizella mongolorum...

*Damier de la Succise
Euphydryas aurinia*



La tourbière du Crossat, vue du ciel

Contexte

La tourbière du Crossat ^a, traversée par le ruisseau de Bonnefontaine, est un haut-marais situé au sud-ouest du lac de Remoray (25). Elle s'est formée suite à l'atterrissement par des formations palustres du quaternaire de la cuvette lacustre (grand lac sous le glacier würmien) (*Bichet et al., 2008*).

Sa végétation est constituée d'une pessière à sphaignes. Quelques secteurs abritent du pin à crochets et d'autres des haut-marais évolués non boisés.

La tourbière a déjà bénéficié de premières actions de réhabilitation dans sa partie la plus méridionale :

- dans les années 1990, des travaux de déboisement ont été effectués afin de restaurer l'ouverture du milieu pour favoriser le maintien de certaines espèces de rhopalocères et d'odonates (*Colias palaeno*,

no, *Leucorrhinia dubia*, *Leucorrhinia pectoralis*). Ces espèces ont ainsi pu être sauvées de justesse, à court terme.

- en 2005, un fossé de drainage de 40 mètres a été comblé. Cinq mares ont ainsi été créées, quatre petites sur le linéaire du drain et une plus grande à proximité afin de prélever la tourbe nécessaire au comblement.

En 2007, des travaux plus conséquents ont été réalisés dans une lande sèche légèrement en pente, dominée par *Calluna vulgaris*, *Vaccinium uliginosum* et *Molinia caerulea* et parsemée d'anciennes fosses d'exploitation végétalisées par des groupements de tourbière de transition. Neuf bassins d'eau libre ont été créés : peu profonds, disposés en terrasse et séparés par des digues, ils ont pour objectif de relancer le processus de turbification depuis ces zones de stockage d'eau créées.

Diagnostic

IDENTIFICATION DES PROBLÈMES

Antoine Magnin mentionnait en 1904 : « Au Crossat, aucune trace de végétation arborescente n'est signalée au début du XX^e siècle ». Des traces de nombreuses fosses d'exploitation et de fossés de drainage témoignent d'une exploitation familiale de la tourbe à la fin du XIX^e et au début du XX^e siècle. Cette dernière a engendré des perturbations hydrologiques bouleversant le fonctionnement naturel de la tourbière. La tourbe s'est minéralisée en surface, favorisant une flore non turfigène (*Molinia caerulea*, *Caluna vulgaris*...) au détriment des sphaignes. Le boisement s'est accéléré.

L'ensemble de la tourbière est globalement altéré par un enrichissement trophique, provoqué par des perturbations topographiques et hydriques (drains) engendrant l'accélération du boisement.

ANALYSE FONCTIONNELLE ET POTENTIEL DE RESTAURATION

A partir de 2014, les investigations de restauration sont portées sur le secteur de bas-marais situé au nord ouest de la tourbière du Crossat en rive gauche du ruisseau de Bonnefontaine.

L'analyse du modèle numérique de terrain issu de la technologie LIDAR sur la tourbière **b** a clairement mis en évidence un réseau de 10 fossés parallèles dans la zone de bas-marais accélérant l'évacuation de l'eau vers un important fossé collecteur à l'est. Il est intéressant de noter que ces 10 fossés, presque invisibles sur le terrain sont toutefois rendus très visibles, au début du printemps, par la floraison du Populage des marais (*Caltha palustris*), témoignant d'un écoulement **c**.



Les 10 fossés visibles par l'alignement de *Caltha palustris* avant les travaux de 2014

L'oblitération des fossés apparaissait indispensable pour ralentir au maximum les écoulements et assurer une meilleure diffusion de l'eau dans le marais. Ces travaux ont été réalisés en octobre 2014.

A l'est, le gros collecteur évacue l'eau des anciennes fosses d'exploitation jusqu'au ruisseau de Bonnefontaine, 80 mètres plus bas. Il avait aussi pour conséquence d'intercepter le flux d'eau qui naturellement devait percoler dans le marais à l'est en direction du lac **b**. La remise en eau par blocage de la fosse amont complétée par l'oblitération du fossé devaient atténuer le drainage du marais ouest, et favoriser la diffusion vers l'est. La présence de sphaignes à proximité est une condition très favorable au redémarrage du processus de turfigénèse.

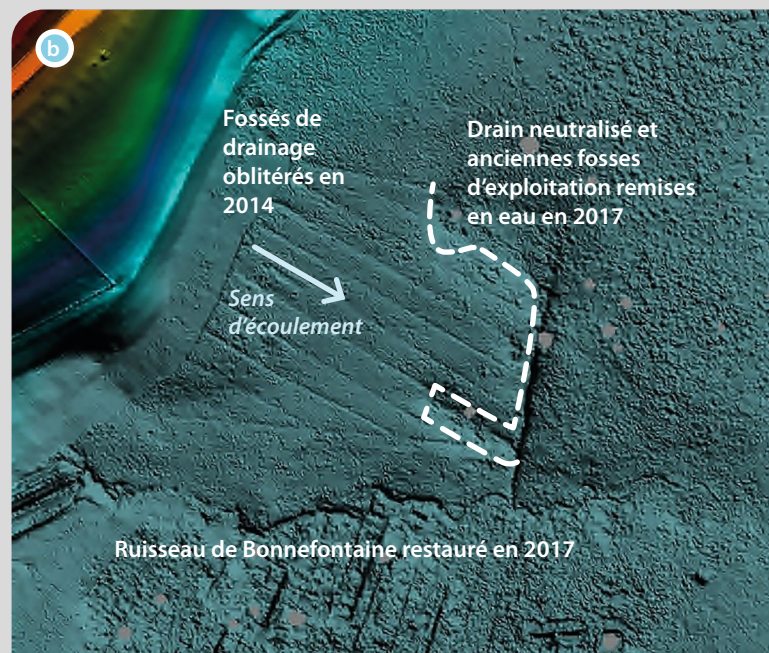
ENJEUX DU SITE

► **Biodiversité** : la tourbière du Crossat est composée d'habitats d'intérêt communautaire prioritaires de Tourbières boisées (91D0*) et de Tourbières hautes actives (7110*).

Certaines espèces de faune et de flore **d** associées à ces habitats sont remarquables. Le gestionnaire de la réserve naturelle travaille au maintien de leur population.



Cetraria sepincola sur branchette de bouleau



Modèle numérique de terrain en 2012

CONSÉQUENCES

Malgré la minéralisation et l'altération des couches superficielles, l'identification des perturbations hydrologiques montre qu'il est possible d'améliorer le fonctionnement de certains secteurs du haut-marais du Crossat. La présence de sphaignes laisse présager la reprise de la turfigénèse, si les conditions hydrologiques sont améliorées.

Travaux

Les travaux de comblement des 10 fossés du bas-marais ont été réalisés en 2014 dans le cadre d'un contrat Natura 2000.

Compte tenu de la densité de fossés et de la dégradation superficielle de la tourbe en place, il était à craindre que des gouilles créées pour prélever de la tourbe sur place auraient eu du mal à conserver l'eau. Il a donc été privilégié de combler intégralement les fossés par 250 m³ de sciure d'épicéa, renforcé de 60 panneaux en bois.

Les travaux de 2017, dans le cadre du Life tourbières du Jura, ont complété cette réhabilitation et visaient :

- à neutraliser l'effet drainant du fossé ;
- à remettre en eau d'anciennes fosses d'extraction de la tourbe ;
- permettre une diffusion latérale de l'eau vers l'est.

DYSFONCTIONNEMENTS

Lors de ce chantier plusieurs phases n'ont pas été menées de façon optimale, pour diverses raisons, conduisant à des dysfonctionnements.

1 Restauration morphodynamique du cours d'eau :

création de nouveaux méandres à l'amont et recharges en galets /graviers dans le haut-marais du Crossat, jusqu'à sa confluence avec le lac.

2 Bûcheronnage du secteur.

Palissade en bois avant couverture par la tourbe



Légende

	Comblement par tourbe
	Palissade en madriers de bois
	Panneau triplis
	Ruisseau à reméandrer
	Surface mise en eau
	Couloir d'abatage/défrichage

0 25 50 m

Plan des travaux menés dans le cadre de la restauration de la tourbière du Crossat

3 Palissade en madrier

longue de 30 m, haute de 3,50 m. L'ouvrage est recouvert de tourbe prélevée à proximité immédiate en aval. Il est à noter que l'encaissant lacustre est situé à 5,20 m de profondeur.

4 Comblement partiel du fossé

avec l'ancien déblai de tourbe présent au bord du drain.

5 Agencement de deux panneaux de bois de 5 mètres

pour former un bouchon de 8,50 m (recouvrement sur 1,50 m) et de 2 m de hauteur. L'ouvrage est recouvert de tourbe prélevée à proximité.

Pose de panneaux en bois



► **Conditions hydrologiques et météorologiques de mise en place défavorables** : les travaux ont été réalisés en fin d'automne - début d'hiver. Lors du chantier, la neige et le froid se sont installés. Ces conditions ne sont pas favorables à une mobilisation idéale des volumes de tourbe pour recouvrir les ouvrages. De plus, d'importantes précipitations ont directement suivi. La tourbe non stabilisée s'est rapidement gorgée d'eau et a « glissé » le long de l'ouvrage ^e.



Travaux pendant des conditions météorologiques défavorables

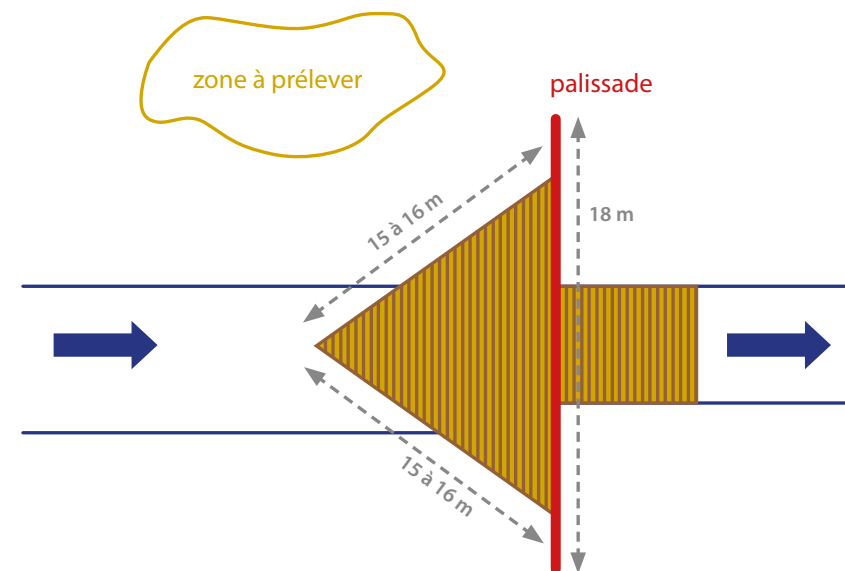
► **Palissade en bois non ancrée dans le minéral et mauvais emplacement du prélèvement de tourbe** : pour des questions budgétaires visant à augmenter la longueur de la palissade, il avait été choisi de minimiser la hauteur des madriers à 3,50 mètres alors que l'encaissant lacustre était détecté à 5,20 m de profondeur.

Par ailleurs, en raison des inondations, l'accès des engins au chantier a été contraint, conduisant à prélever la tourbe de couverture de la palissade 5 m en aval, décalé de 4 m de l'extrémité de la palissade.

Suite à la mise en charge de la fosse amont très rapide, 15 jours plus tard, le niveau d'eau a baissé et est redescendu d'environ 1 mètre. Après analyse de la situation, il s'avère qu'un flux d'eau s'est mis en place sous la palissade, en son centre, pour ressortir dans la gouille de prélèvement de tourbe. Le niveau amont s'est stabilisé au niveau de la gouille de prélèvement aval. La charge hydraulique amont, cumulée probablement avec une forte conductivité hydraulique de la tourbe altérée, expliquent sans doute ce dysfonctionnement de l'ouvrage ^f.



L'eau est passée sous la palissade non ancrée dans le substrat étanche pour ressortir de façon artésienne dans le point de fragilité créé par la gouille de prélèvement



^g *Schéma des travaux de consolidation : déporter le point de charge hydraulique*

Solution trouvée : afin de reprendre la grande digue de madriers, deux solutions se sont présentées :

- soit faire une seconde digue, ancrée dans le substrat encaissant, au moins pour la partie centrale de l'ouvrage, solution la plus sûre, mais jugée trop onéreuse ;
- soit déporter le point de charge hydraulique loin en amont de la palissade afin de minimiser le risque d'écoulement préférentiel au sein du corps tourbeux.

Pour cette dernière solution, le merlon de tourbe qui couvrait la palissade a intégralement été remobilisé et disposé en triangle en amont de la palissade afin de déporter la charge hydraulique de plus de 10 mètres ^g. La zone de prélèvement a été positionnée en amont de l'ouvrage, afin de ne pas interférer. Le merlon de tourbe de palissade a été intégralement couvert de foin de marais pour faciliter sa stabilisation et sa végétalisation.

Les travaux de consolidation se sont déroulés fin novembre 2018 avec grand succès **h**. Dès les premières pluies, l'ancienne fosse d'exploitation s'est remplie d'eau.



Travaux de consolidation fin novembre 2018

Malgré des étés 2019 et 2020 très secs et caniculaires, le niveau d'eau s'est maintenu très proche du niveau de terrain. Le niveau de la palissade ne permet toutefois pas une diffusion latérale intégrale en rive gauche en raison de la topographie de la tourbière boisée minéralisée... Un léger flux contournant est observé en rive droite, sur un secteur qui n'a cependant pas été perturbé par le passage des engins, il ne semble toutefois pas générer d'érosion. De très nombreux arbres ont dépéri ou sont en train de dépérir du fait de l'inondation permanente. Le retour des sphaignes, présentes à proximité, devrait être observé rapidement.

► **Digue aval sous-dimensionnée** : l'ouvrage n'était pas dimensionné pour retenir le flux d'eau inattendu qui s'est mis en place suite au dysfonctionnement amont (l'eau aurait dû percoler latéralement). L'eau a contourné l'ouvrage générant rapidement une légère érosion latérale **i**.



Erosion de la digue aval

Solution trouvée : il a été choisi de prolonger l'ouvrage aval en panneaux grâce aux chutes des madriers de la palissade amont **j** recouverts d'un merlon de tourbe afin que les débordements ne se fassent pas sur les zones perturbées par le passage des engins. Cette petite intervention s'est révélée très efficace. L'ouvrage bloque depuis un gros volume d'eau, réhumidifiant une surface importante de tourbière.



Prolongement de la digue avec des chutes de madriers recouverts par la suite de tourbe

Les travaux en chiffres

Périodes : novembre - décembre 2017 et novembre 2018 pour la consolidation de la palissade

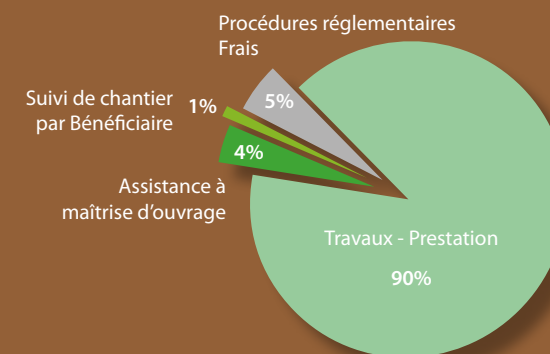
Linéaire et surface :

- Neutralisation de 76 m de fossés de drainage
- Remouillage de 0,28 ha de tourbière

Prestataire : Jura Natura Services

Coût total des actions Life : 94 672 € TTC *

- Travaux (vert) : 90 331 €
- Actions préalable (gris) : 4 341 €




* les coûts des actions réalisées au préalable (hors Life) sur le site ne sont pas pris en compte

Avant - Après

Résultats

Plusieurs effets positifs sont déjà visibles sur la tourbière :

- basculement et dépérissement des bouleaux et des épicéas ;
- augmentation du niveau d'eau ;
- végétalisation de l'ouvrage à l'aval  ;
- recolonisation des lieux par la faune : pontes d'amphibiens dès le premier printemps, nombreux invertébrés en voie d'installation, présence d'oiseaux d'eau.



Ouvrage à l'aval après deux saisons de végétation septembre 2019

Tourbière du Crossat - amont de la palissade



1/ Avant travaux de consolidation - janvier 2018



2/ Après travaux - mars 2019



3/ Après travaux - juillet 2019



4/ Après travaux - novembre 2020

SUIVIS MIS EN PLACE

- ▶ Suivi photographique
- ▶ Suivi piézométrique

Contact

Céline Mazuez, attachée scientifique à Les Amis de la Réserve Naturelle du Lac de Remoray :
03 81 69 78 23, celine.mazuez@espaces-naturels.fr

La tourbière du Moutat

Carte d'identité

Site Natura 2000 : Tourbières et ruisseaux de Mouthe, source du Doubs

Site Ramsar : Tourbières et lacs de la Montagne jurassienne

Maître d'ouvrage : Parc naturel régional du Haut-Jura

Années des travaux : 2017

Commune : Mouthe (25)

Accessibilité du site : partiellement aménagé ; non réglementé

Surface du complexe tourbeux : environ 20 ha

Altitude : 855 m

Usages :

- Prairies agricoles en périphérie
- Pratique du ski alpin en périphérie
- Aménagement d'une plateforme de vision et d'un sentier en périphérie

Espèces d'intérêt : Cuivré de la Bistorte (*Lycaena helle*), Damier de la Succise (*Euphydryas aurinia*), Hypne brillante (*Hamatocaulis vernicosus*)...

Hypne brillante
Hamatocaulis vernicosus



La tourbière du Moutat, vue du ciel

Contexte

Le Doubs prend sa source au pied du vaste anticlinal du Noirmont qui marque la frontière avec la Suisse. Durant son premier kilomètre, il enserre la tourbière du Moutat ^a avant de rejoindre le village de Mouthe.

La tourbière s'est développée sur des sédiments lacustres sableux peu imperméables. Lors de sa mise en place, l'alimentation par le karst, à la faveur du front de chevauchement de l'anticlinal du Noirmont sur le synclinal de Mouthe devait être plus active. La forme circulaire bien visible au sud-ouest de la tourbière est le témoin d'une ancienne source sous-lacustre à travers les sédiments, formant un pockmark.

Comme l'essentiel des tourbières du massif, la tourbière du Moutat a été exploitée pour le chauffage familial. Mais ici, l'intensité a été très conséquente au regard de sa modeste surface.

Diagnostic

IDENTIFICATION DES PROBLÈMES

La tourbière du Moutat présente l'essentiel des perturbations qui ont pu être recensées dans le programme Life tourbières du Jura.

- Le drainage par rectification de cours d'eau : le Doubs lui-même a vu son premier méandre court-circuité dès la fin du XIX^e siècle. Ce méandre qui baignait la partie nord-est du marais a été déporté plus au nord.
- Le bas marais situé entre l'ancien méandre et les secteurs de haut-marais a également été intensément drainé, dès le début du XX^e siècle, probablement pour mettre en place une culture en ados.
- L'ensemble du haut-marais historique a été exploité, ne conservant plus que les zones périphériques et deux

bandes d'accès aux fosses d'exploitation. Les fosses sont largement ouvertes sur l'aval. Sur celle la plus au sud, le drainage est accentué par un fossé conduisant au Doubs en traversant le pockmark.

ANALYSE FONCTIONNELLE ET POTENTIEL DE RESTAURATION

La suppression du méandre du Doubs a divisé par 3 le linéaire de cours d'eau sur ce tronçon. Sur le « court-circuit », la pente qui s'est accentuée et les habitats aquatiques plus homogènes ont induit une diminution de la population de truites d'environ 30 % par rapport au tracé témoin en équilibre juste en amont. Remettre en eau l'ancien méandre, encore bien visible sur le terrain, a permis de retrouver un profil morphodynamique plus en équilibre. Il est espéré que cela atténuera l'effet drainant sur la tourbière périphérique.

Parallèlement, les six fossés **b** totalisant un linéaire de plus d'un kilomètre assèchaient l'ensemble du bas-marais nord. Le comblement intégral devrait atténuer cet effet. Cependant, compte tenu des perturbations passées, les résultats seront probablement lents à être significatifs.



Fossé avant travaux

Les grandes fosses d'exploitation du haut-marais sont très largement ouvertes sur l'aval donc difficilement obli- térables, aussi peu d'améliorations sont envisageables

pour un rapport coût/efficacité raisonnable. Seule la grande fosse la plus au sud voyait son drainage accentué par un fossé assez actif qui se déverse dans le pockmark. Son oblitération devrait permettre de remonter le niveau d'eau dans les parties basses de la fosse et générer une diffusion latérale de l'eau stockée vers le sud.

ENJEUX DU SITE

► **Biodiversité** : il y a peu d'espèces particulièrement patrimoniales des tourbières sur ce site. Mais la mixité des habitats offre une diversité intéressante. La dynamique sphagnale semble assez forte et il apparaît intéressant de la conforter.

► **Attrait touristique** : la source du Doubs est un site bien connu de la montagne jurassienne. Un cheminement pédestre longe le Doubs et enserme une partie de la tourbière jusqu'à une plateforme de découverte. Un camping et des centres d'accueil d'enfants sont présents à proximité. Cette tourbière présente donc un fort enjeu pédagogique.

► **Le Doubs** : il est probablement la rivière la plus emblématique de la partie française du massif. Restaurer son premier méandre à proximité de la source est également symbolique.

Travaux

ÉLÉMENTS RÉGLEMENTAIRES

Le reméandrement du Doubs et la réhabilitation de la tourbière du Moutat, ont nécessité une procédure au titre de la LEMA décret 93-742 du 29/03/1993 consolidé au 18 juillet 2006 - Régime de déclaration pour les rubriques :

• **3.1.2.0.** : installations, ouvrages, travaux ou activités conduisant à modifier le profil en long ou le profil en travers du lit mineur d'un cours d'eau ;

• **3.1.5.0.** : installations, ouvrages, travaux ou activités, dans le lit mineur d'un cours d'eau, étant de nature à détruire les frayères, les zones de croissance ou les zones d'alimentation de la faune piscicole, des crustacés et des batraciens

• **3.3.1.0.** : assèchement, mise en eau, imperméabilisation, remblais de zones humides ou de marais.

La mise en eau du méandre a été considérée comme un ennoisement de zone humide.

Les travaux en chiffres

Période : août 2017

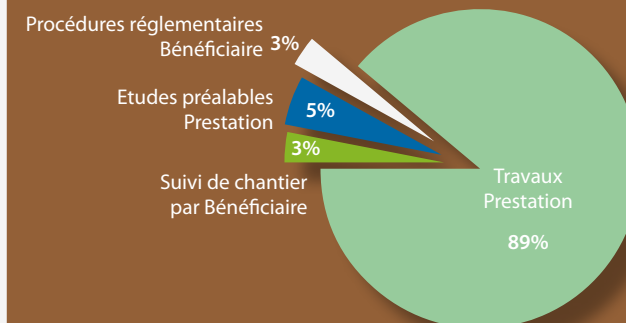
Linéaire et surface :

- Oblitération de 1 100 m de fossés en bas-marais
- Remise en eau de 0,5 ha d'anciennes fosses d'extraction
- Recréation d'environ 230 m de cours d'eau.

Prestataires : étude préliminaire en régie et Jura Natura Services pour le chantier

Coût total des actions Life : 119 599 € TTC *

- Travaux (vert) : 109 745 €
- Actions préalable (bleu + gris) : 9 854 €



* les coûts des actions réalisées en préalable (hors Life) sur le site ne sont pas pris en compte

En ligne



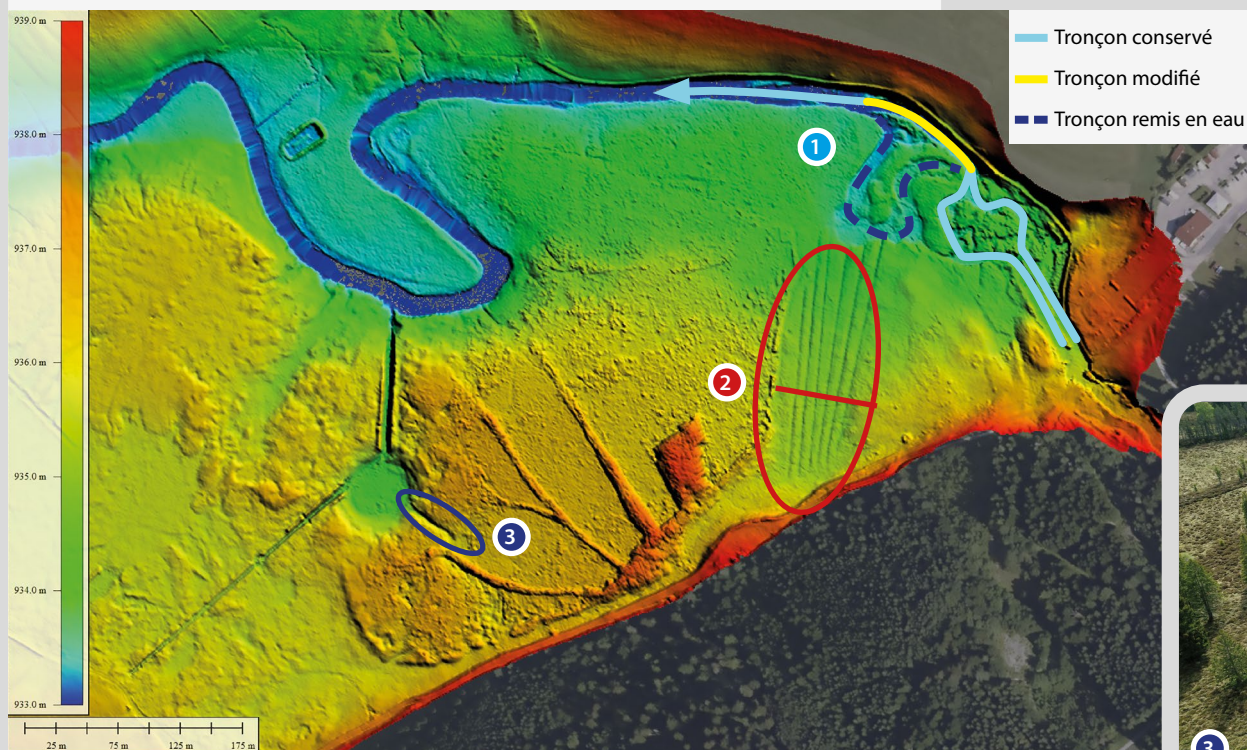
Les travaux de la restauration fonctionnelle

1 Remise en eau de l'ancien méandre du Doubs : le tracé de l'ancien méandre a juste été « nettoyé » en enlevant la végétation et la vase accumulées du fait de son court-circuitage, avant de supprimer le bouchon artificiel qui obstruait son entrée. Le tronçon rectiligne qui court-circuitait le méandre a été comblé intégralement, sur 80 mètres, afin de restaurer l'écoulement dans le méandre. La longueur du méandre repris est de 230 mètres.

Mise en place d'un batardeau temporaire pour dévier l'eau vers le méandre recréé et pouvoir combler le lit rectiligne à sec



Travaux réalisés dans la tourbière du Moutat, vus sur MNT



3 Oblitération du fossé drainant une fosse d'exploitation : compte tenu de la largeur du fossé, accentuée par la minéralisation

de proximité évasant les lèvres, ce fossé a été barré par une palissade en madriers de 25 mètres de long et deux mètres de profondeur. Elle a été recouverte par environ 50 m³ de tourbe prélevée à proximité.

La palissade bloque le fossé qui drainait la fosse d'exploitation. Une mare a été créée par le prélèvement de la tourbe (entre les arbres, à gauche)



2 Comblement du réseau de 6 fossés en bas-marais :

ces fossés parallèles totalisaient 1 100 mètres de linéaire. Chaque fossé a été légèrement curé pour mettre à nu la tourbe avant comblement, en prenant soin de réserver la végétation qui constitue le fond des fossés.

4 panneaux de triplis bois (3,5m x 1m x 22mm) ont été mis en place sur chaque fossé. La tourbe étant peu épaisse, le prélèvement sur place ne pouvait se faire. Les fossés ont été comblés par 850 m³ de tourbe importée d'autres travaux affectant une tourbière. La végétation réservée a été soigneusement remise en place pour couvrir la tourbe.



DYSFONCTIONNEMENTS OBSERVÉS

Le fossé et la fosse se sont mis en eau avec les premières pluies **c**. Cependant, elle s'est vidée après environ 1 mois sans précipitation **d**. Il semblerait que la zone de contact avec le sable sous-jacent constitue une perte suffisante pour vidanger le stock d'eau. Il est espéré que les dépôts de matière organique colmatent le sédiment.



À gauche, la fosse remise en haut en mai 2018, totalement vidée en août, à droite

Résultats

SUIVIS MIS EN PLACE

- ▶ Suivi des habitats dans la zone de bas-marais afin d'estimer la gestion à mettre en œuvre. Une cartographie à N+2.
- ▶ Suivi des papillons du bas marais par transects. Un passage à N +2.
- ▶ Suivi piscicole, de la macrofaune benthique et de la thermie du Doubs.

Contact

Pierre Durlat, chargé de missions milieux naturels au PNR Haut-Jura :
03 84 34 12 53 - p.durlat@parc-haut-jura.fr

Méandre du Doubs réhabilité (mai 2018), l'ancien cours rectiligne, comblé, n'est pas encore végétalisé



Dans le méandre réhabilité, le Doubs coule en équilibre hydrodynamique avec la tourbière environnante



Grâce au comblement du fossé drainant la fosse d'exploitation, l'eau diffuse et remouille des secteurs qui s'étaient boisés du fait de l'assèchement passé (mai 2018)

La tourbière de l'Entrecôtes-du-Milieu

Carte d'identité

Site Natura 2000 : Entrecôtes-du-Milieu - Malvaux

Organisme gestionnaire : Conservatoire d'espaces naturels de Franche-Comté (CEN FC)

Année des travaux : 2020

Commune : Foncine-le-Haut (39)

Accessibilité du site : un ponton d'accès depuis la route forestière traversant le site

Surface du complexe tourbeux : 18,7 ha

Altitude : 1035 m

Usages :

- Exploitation ancienne : extraction de tourbe, exploitation des herbages
- Tourbière traversée par une route forestière

Espèces d'intérêt : Laïche étoile des marais (*Carex heleonastes*), Andromède à feuilles de polium (*Andromeda polifolia*), Rossolis à feuilles rondes (*Drosera rotundifolia*), Damier de la succise (*Euphydryas aurinia*), Cuivré de la bistorte (*Lycaena helle*), Solitaire (*Colias palaeno*)...



La tourbière de l'Entrecôtes-du-Milieu vue du ciel

versants abruptes bordés de falaises. Cette tourbière mixte, composée schématiquement d'un haut-marais entouré de bas-marais, est issue d'un ancien lac lié au surcreusement glaciaire et à la présence d'une moraine ayant obturé le fond de la vallée. La tourbière est parcourue sur toute sa longueur par le ruisseau d'Entrecôtes.

une longueur d'environ 150 mètres **b**, dont une portion (50 mètres) s'enfonçait régulièrement (**c**, page suivante), occasionnant une déviation des eaux souterraines en les redirigeant préférentiellement vers le cours d'eau (caractère drainant), notamment en période de hautes eaux.

Diagnostic

IDENTIFICATION DES PROBLÈMES

Cette tourbière, bien qu'encore riche sur le plan écologique, présente un certain nombre de perturbations fonctionnelles : extraction relativement importante de tourbe au sein du haut-marais, correction et incision du ruisseau d'Entrecôtes, arrêt de l'exploitation agricole des bas-marais (induisant leur évolution vers la moliniaie, la mégaphorbiaie puis la forêt).

Elle est également traversée par une route forestière sur



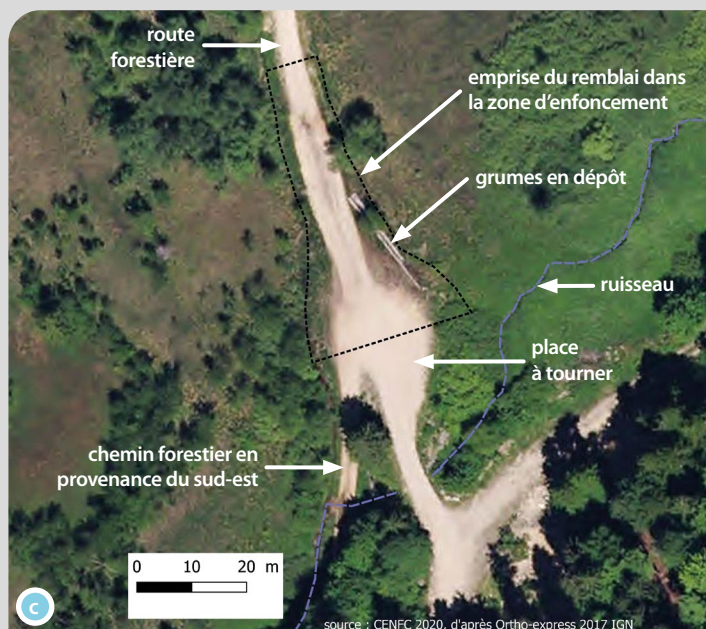
Vue aérienne en 3D depuis le nord de la combe d'Entrecôtes. On distingue nettement la route (en blanc) traversant la tourbière (contour en jaune)

Rossolis à feuilles rondes
Drosera rotundifolia

Contexte

La tourbière de l'Entrecôtes-du-Milieu **a** s'insère dans une combe jurassienne typique, aux



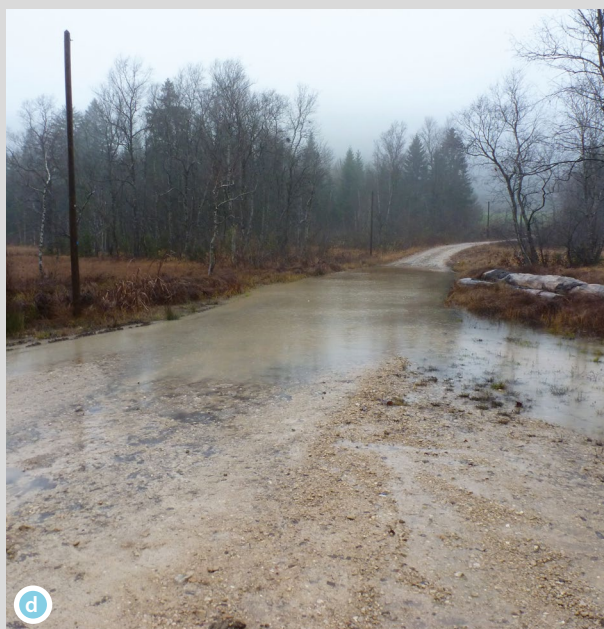


Localisation de la zone d'enfoncement de la route forestière

Par ailleurs, un élargissement de la route à cet endroit, permettant de prendre le virage pour rejoindre un chemin forestier (place à tourner), servait également de place de dépôt pour grumes **c**, présentant un risque de pollution pour le ruisseau passant à proximité immédiate (traitement des grumes, lixiviats).

La problématique de route sur tourbe étant peu répandue en France, nous avons choisi de lui consacrer la présente fiche (et ne décrivons donc pas plus avant les autres problématiques et les travaux engagés pour les traiter).

L'enfoncement de la route a ainsi conduit la commune à recharger régulièrement la portion concernée au cours des dernières décennies **d**. Malgré ces efforts, la route a continué à s'enfoncer, et ce d'autant plus que le poids du remblai augmentait au fur et à mesure des rechargements, augmentant la déviation des eaux vers le ruisseau et le drainage induit.



Aspect de la route en période d'inondation (novembre 2015)

Une étude géotechnique, réalisée en 2012, a permis d'expliquer ce phénomène, en montrant que le remblai (de 1,8 m d'épaisseur environ) se situait sur des matériaux fortement compressibles (tourbe et argiles vasardes) de plus de 17 mètres d'épaisseur.

RÉFLEXIONS PRÉALABLES

Les partenaires ne souhaitant pas dévier la route en amont ou en aval de la tourbière (ce qui aurait par ailleurs induit d'autres perturbations non souhaitables), il a été choisi d'engager une modification de la route en elle-même dans le cadre du programme Life. Cette modification nécessitait donc de conjuguer l'amélioration de l'hydrologie de la tourbière avec les usages en cours (passages de grumiers notamment). À l'époque, deux solutions avaient été alors proposées par le cabinet d'études géotechniques :

- effectuer un renforcement de sol par inclusion

rigide. Cette solution s'avérait très coûteuse au regard des enjeux et incertaine du fait de la forte épaisseur des matériaux compressibles ;

- continuer le rechargement régulier du chemin. L'enfoncement du chemin serait de l'ordre de 0,75 m, avec un rechargement s'étalant sur 40 ans.

Un examen de la bibliographie concernant les routes sur substrat tourbeux, notamment en Amérique et en Europe du nord (Moncorgé S. & Cotte B., 2016), a permis pendant quelques temps d'envisager une autre solution, basée sur :

- un allègement du remblai, par suppression du matériau graveleux existant et remplacement par un matériau plus léger, en l'occurrence de la tourbe, prélevée sur place ;
- un renforcement et une rigidification de l'assise, par installation de tapis de rondins et/ou perches, technique très ancienne et encore largement utilisée dans les zones nordiques.

Cette solution permettait notamment de maintenir au mieux la continuité hydrologique entre l'amont et l'aval de la route.

Les réflexions, poursuivies lors de la réalisation de l'avant-projet (Moncorgé S. & Langlade J., 2018) avec l'appui de référents « infrastructures forestières » de l'ONF ont cependant permis d'identifier un certain nombre de problèmes liés à cette technique :

- le besoin d'un tracé rectiligne, contradictoire avec le virage nécessaire pour rejoindre le chemin forestier se dirigeant vers le sud-est, et nécessitant donc une déviation de celui-ci, relativement compliquée et coûteuse ;
- un risque important de dégradation liée à la traction de grumes ;

- une largeur importante de la route (atteignant 30 m au niveau de la place à tourner), posant un problème de rigidité de l'assise ;
- un coût élevé (de l'ordre de 100 000 € HT) et présentant des incertitudes et des risques en phase travaux (éboulement, enlèvement).

En concertation avec les partenaires du projet, il a donc été choisi de renoncer à cette solution et de s'orienter vers une solution moins satisfaisante sur le plan hydraulique, mais beaucoup plus simple, présentant une longévité nettement supérieure et nettement moins chère.

Travaux

Une mission d'assistance à maîtrise d'ouvrage a ainsi été confiée à l'ONF et a permis de concevoir un nouveau projet (ONF, 2020) basé sur :

- un rechargement de la route ^e sur une épaisseur finale de 90 cm, mais sur une largeur réduite, aboutissant à une bande de roulement de 3,5 m ;
- la pose de géotextiles imperméables ^f, sous forme de feuillets disposés verticalement tous les 5 mètres, perpendiculaires à l'axe de la route, afin de stopper la circulation de l'eau au sein du remblai et limiter ainsi son caractère drainant ;
- la suppression de la place de stockage et la création d'une nouvelle, située à 300 mètres de distance (sur une parcelle appartenant au Conservatoire d'espaces naturels de Franche-Comté), ainsi que la réduction de la place à tourner, avec décaissement partiel du remblai (création d'une mare) ;
- la pose de blocs métriques le long des nouvelles emprises, de façon à bien les délimiter.



Rechargement en matériau calcaire dur de dimension 80/150, sur géotextile perméable



Mise en place d'une feuille de géotextile à perméabilité réduite. Enchâssées tous les 5 mètres, en travers de l'empierrement, ces feuilles empêchent l'eau de circuler longitudinalement dans le remblai (limitant son effet drainant) et les dirigent préférentiellement de l'autre côté de la route, vers l'aval de la tourbière

Les travaux en chiffres

Période : le chantier a été réalisé du 31/08/2020 au 03/09/2020

Linéaire et surface :

- Longueur de route concernée : 50 m
- Matériaux apportés : 180 m³
- Extraction de matériaux (décaissement remblai pour création mare) : environ 20 m³
- Place de dépôt nouvellement créée : 400 m²

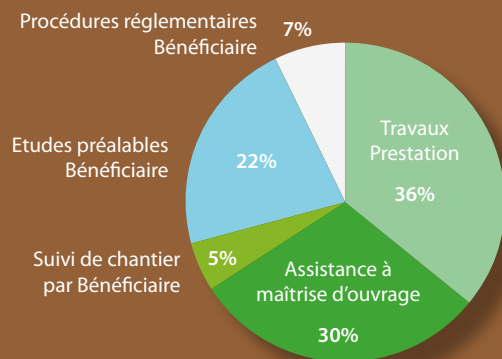
Maîtrise d'ouvrage et maîtrise d'œuvre :

- Maîtrise d'ouvrage : Commune / maîtrise d'ouvrage déléguée : Conservatoire d'espaces naturels de Franche-Comté
- Assistance à maîtrise d'ouvrage et maîtrise d'œuvre : Office national des forêts

Prestataire : Benetruy TP (Lemuy, 39)

Coût total des actions Life pour la modification de la route : 42 070 € TTC *

- Travaux (vert) : 29 873 €
- Actions préalables (bleu + gris) : 12 198 €



* les coûts des actions réalisées en préalable (hors Life) sur le site ne sont pas pris en compte

Résultats

Les travaux réalisés permettront de maintenir la circulation sur cette portion de route, tout en limitant son effet drainant sur la tourbière, qui risquait d'aller en s'accroissant. Le remblai continuera à s'enfoncer et il est possible qu'il nécessite une recharge d'ici un certain nombre d'années avant sa stabilisation finale.

Ce projet a été marqué par le renoncement d'une technique intéressante sur le plan hydrologique (l'allègement du remblai et la rigidification de l'assise), mais correspond au final au meilleur compromis que nous ayons pu identifier, permettant de concilier longévité de la route, limitation de son impact hydrologique, sécurité et coût de restauration ^g.



Aspect de la route 6 mois après travaux

Points de vigilance

► **Réseaux :** la présence d'un câble électrique moyenne tension (20 000 V) enfouie dans la route a été identifiée dès le début, permettant d'engager une concertation en amont avec le gestionnaire, ENEDIS. D'où l'importance de ne pas négliger ces investigations et d'engager notamment la Déclaration de projet de travaux (DT) le plus en amont possible du projet.

Documents utiles

- ^g GEORGET, S. 2013. *Etude géotechnique préliminaire de site, chemin, Foncine-le-Haut (39)*. Alios ingénierie ; Commune de Foncine-le-Haut. 18 p. + annexes.
- ^g MONCORGÉ, S. & COTTE, B. 2016. *Route forestière de la tourbière de l'Entrecôte à Foncine-le-Haut (39), Choix du principe de réhabilitation et techniques envisagées*. Conservatoire d'espaces naturels de Franche-Comté ; Union européenne ; Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse ; Conseil régional de Bourgogne-Franche-Comté ; Conseil départemental du Jura. 5 p.
- ^g MONCORGÉ, S. & LANGLADE, J. 2018. *Route forestière de la tourbière de l'Entrecôte à Foncine-le-Haut (39), avant-projet détaillé – version provisoire*. Conservatoire d'espaces naturels de Franche-Comté ; Union européenne ; Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse ; Conseil régional de Bourgogne-Franche-Comté ; Conseil départemental du Jura. 22 p. + annexes.
- ^g ONF. 2020. *Restauration de la route forestière dans la tourbière d'Entrecôtes, projet. Version du 17 février 2020*. Commune de Foncine-le-Haut ; Conservatoire d'espaces naturels de Franche-Comté. 13 p.

Contact

Sylvain Moncorgé, coordinateur tourbières au CEN Franche-Comté :
03 81 50 51 29 - sylvain.moncorge@cen-franchecomte.org

La tourbière des Douillons

Carte d'identité

Site Natura 2000 : Grandvaux

Site Ramsar : Tourbières et lacs de la Montagne jurassienne

Maître d'ouvrage : Parc naturel régional du Haut-Jura

Années des travaux : 2015-2018

Commune : Nanchez (39)

Accessibilité du site : non aménagé, non réglementé

Surface du complexe tourbeux : 21 ha

Altitude : 855 m

Usages :

- Pâturage agricole périphérique
- Itinéraire de randonnée et de ski nordique en périphérie

Espèces d'intérêt : Leucorrhine à gros thorax (*Leucorrhinia pectoralis*), Cuivré de la Bistorte (*Lycaena helle*)...

Leucorrhine à gros thorax
Leucorrhinia pectoralis

Contexte

Cette tourbière ^a se situe à l'extrémité sud du synclinal du Grandvaux. Le remplissage du périclinal s'est fait d'une



Vue d'ensemble de la tourbière des Douillons lors des travaux

part par atterrissement d'un plan d'eau dans la partie basse en cuvette (composante limnogène), d'autre part par percolation permanente d'eau en provenance de sources et de suintements au contact entre bancs calcaires fissurés et bancs marneux (composante soligène). Avec l'augmentation de l'épaisseur de la tourbe dans sa partie haute, pouvant atteindre 5 mètres, la végétation s'est progressivement trouvée de plus en plus éloignée du contact avec les eaux minérotrophe. La proportion grandissante des eaux météoriques a favorisé l'apparition de groupements acides à sphaignes menant à la formation d'une tourbière haute (composante ombrotrophe).

Après une exploitation par les familles de Chaux-des-Prés et un drainage à vocation agricole autour de 1969, une exploitation semi-industrielle a été engagée en 1973. Une autorisation de création de carrière de tourbe horticole a été attribuée par arrêté préfectoral. Celle-ci s'est rapidement arrêtée une à deux années plus tard.

Diagnostic

IDENTIFICATION DES PROBLÈMES

Le modèle numérique de terrain (MNT) obtenu à partir des données récoltées par LIDAR permet de mettre en évidence plusieurs éléments de topographie dont :

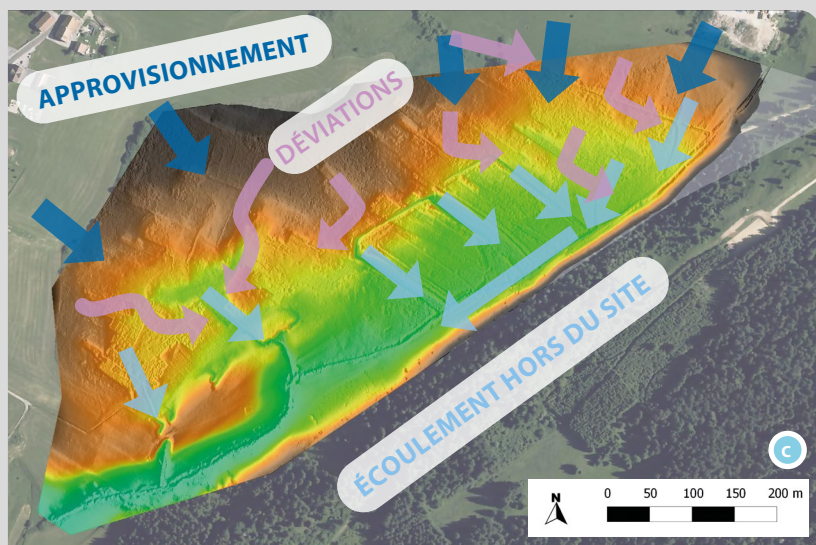
- le découpage des fronts d'exploitation de tourbe, aux formes rectangulaires vers la limite nord de la tourbière ;
- la présence d'un grand fossé du nord au sud de la tourbière, la ceinturant par son flanc est ;
- les incisions des fossés de drainage rejoignant le canal collecteur au fond du talweg en limite sud de la tourbière.

Lors de la tentative d'exploitation mécanisée de la tourbe horticole, un cheminement en traverses de chemin de

fer en bois, traitées à la créosote, a été mis en place pour permettre le déplacement des engins d'exploitation puis abandonné au sein de la tourbière.

Dès les années 1980, des premières tentatives de réhabilitation du site ont été engagées. Les moyens mis en œuvre, insuffisants, n'ont pas donné entière satisfaction. :

- milieu des années 1980, une première phase de travaux, consistait en la « remise en état après exploitation » et devait inonder les anciennes fosses industrielles mais les bouchons réalisés, trop poreux, ont généré des retenues à niveau fluctuant ;
- une deuxième phase de travaux de réhabilitation, menés par le PNR Haut-Jura au début des années 2000, a consisté d'une part à exploiter les épicéas qui avaient été plantés dans la tourbière, et d'autre part à obstruer les fossés par des panneaux posés manuellement. Efficaces quelques années, ces aménagements ont rapidement été contournés et rendus inopérants **b**.



L'analyse de la topographie de surface résultante de l'exploitation de la tourbière permet d'identifier les points de perturbation qui dévient l'eau de son parcours naturel

Les deux grandes fosses ont été oblitérées par des matériaux morainiques. Suite à cela, pour une des fosses, un débordement s'est fait sur l'ouvrage, qui a rapidement été érodé et a disparu. Pour l'autre, la topographie a permis une surverse latérale, diffuse, permettant la tenue de l'ouvrage.

ANALYSE FONCTIONNELLE ET POTENTIEL DE RESTAURATION

Par l'analyse de la topographie, la tendance majeure qui se dessine est un approvisionnement naturel de la tourbière en eau à partir de ses flancs nord-est à nord-ouest. Mais l'extraction de la tourbe a provoqué de profondes modifications de la topographie et des conditions de rétention ou d'écoulement de l'eau **c**. Si les quelques petites fosses d'extraction (par endroits obturées) ont contribué à recréer, très ponctuellement, des conditions de stagnation de l'eau favorables à l'accumulation de tourbe, le réseau de fossés de drainage, mis en place au fur et à mesure de l'exploitation du site, continue à en perturber le fonctionnement. Le fossé de ceinture intercepte l'essentiel des apports périphériques de surface. Le réseau interne évacue l'eau vers le collecteur périphérique.

En outre, les grandes fosses creusées mécaniquement autour de 1973 privent d'eau toute une partie centrale de la tourbière. Il en résulte globalement un fort assèchement et en conséquence une minéralisation de la tourbe qui s'était accumulée au fil des millénaires. La minéralisation de la tourbe engendre à son tour une eutrophisation des milieux. L'abaissement du niveau moyen de l'eau dans le sol et l'eutrophisation entraînent un envahissement de la tourbière par les ligneux, si bien que le maintien des espèces patrimoniales liées aux milieux ouverts ne peut être assuré.



Ancien panneau de bois, contourné, ne jouant plus son rôle de barrage

ENJEUX DU SITE

► **Biodiversité** : le plan d'eau généré par l'oblitération d'une des fosses de l'exploitation industrielle s'est rapidement végétalisé, avec notamment l'installation de radeaux. En 2012, il accueillait une des plus belles populations de Leucorrhine à gros thorax du Massif jurassien. La fragilité de la mise en eau et l'isolement de la population, la rendait fragile. Les aménagements devaient donc stabiliser ce plan d'eau et permettre la mise en eau d'autres fosses pour multiplier les sites favorables à l'espèce et ainsi la rendre moins dépendante à un seul plan d'eau et donc moins fragile.

Travaux

Avant d'entamer les travaux sur le site, des ligneux ont été abattus et broyés, en se concentrant principalement sur les arbres gênant les accès aux chantiers.

Pour la résorption du cheminement utilisé lors de la phase d'exploitation industrielle de la tourbière, environ 800 traverses de chemin de fer en bois ont été sorties de la tourbière. L'évacuation et le traitement conforme de ces déchets a été opéré par la SNCF.

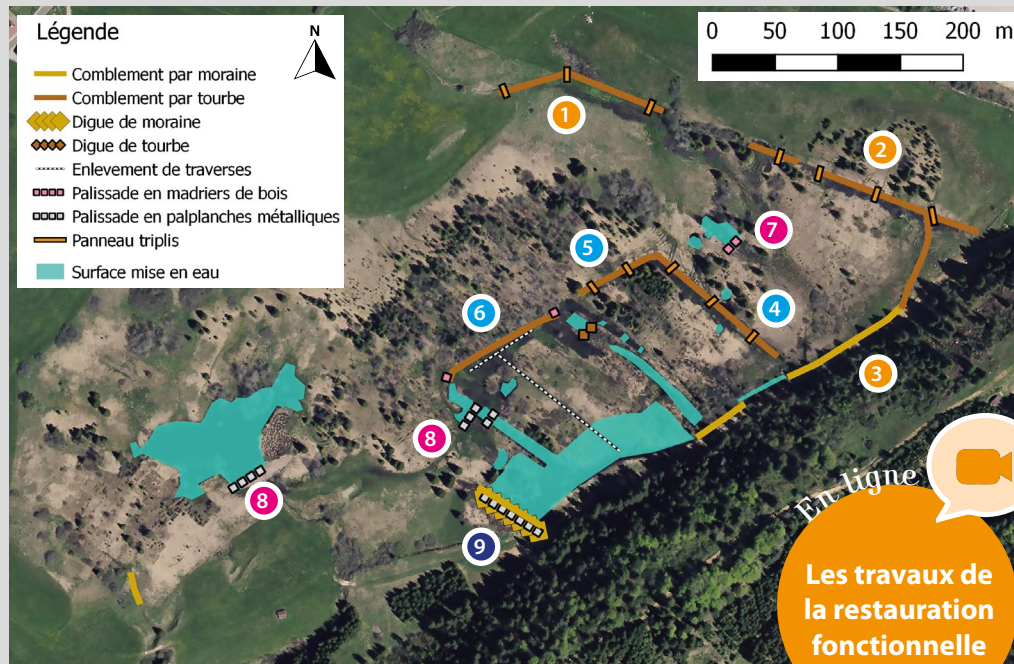
Oblitération des fossés de ceinture, pour, en amont, stopper l'interception des alimentations en provenance de la bordure de la tourbière et en aval ralentir le drainage vers l'exutoire du système :

- les fossés 1 et 2, environ 1,5 m de large et 1 m de profondeur, ont été comblés au maximum par de la tourbe prise sur place, renforcée de panneaux de triplis. Cela a permis de garantir une meilleure diffusion latérale de l'eau que des bassins successifs ;
- le collecteur principal sud 3 a été comblé par des matériaux morainiques en maintenant une zone en eau entre les deux tronçons comblés (150 m comblés pour 200 m bloqués).



Oblitération des fossés à l'intérieur de la tourbière, pour supprimer le drainage et limiter les « îlots centraux » qui s'assèchent :

- les fossés 4 et 5, ont été comblés intégralement par de la tourbe prise sur place, formant les gouilles 3 et 4, renforcée d'une structure en panneau de tripli ;
- le fossé 6, plus de 2,5 m de large et 2 m de profondeur, a été intégralement comblé par de la tourbe dégradée, prélevée sur les bourrelets de curage. Les extrémités ont été renforcées par des palissades en madriers d'épicéa pour garantir l'étanchéité et la solidité.



Travaux réalisés entre 2016 et 2018 sur la tourbière des Douillons

Remise en eau de fossés d'extraction de tourbe

- 8 par pose de palplanches d'acier, quand les hauteurs d'eau retenue dépassaient les 1,5 m. Le volume de matériau de couverture nécessaire était important. Pour compenser le manque de tourbe disponible, une partie provient de dépôts morainiques et la couverture finale a été réalisée en tourbe prélevée sur une ancienne butte de « haut-marais » ou dans la gouille 10.
- 7 par pose d'une palissade en madriers d'épicéa, lorsque la hauteur d'eau retenue était inférieure à 1 m. La tourbe servant à couvrir l'ouvrage a été prélevée à proximité (gouille 2). Les deux digues ont été paillées avec du « foin de marais » provenant de la Combe du Nanchez pour la préserver d'un dessèchement trop intense et favoriser la revégétalisation.



La moraine a été choisie pour combler le collecteur sud car le volume nécessaire était important, l'accès était facile et le fossé était situé le long du versant, donc sous influence importante des eaux minéralisées



Stabilisation du niveau hydraulique de la tourbière, à l'aval, par la création d'une digue de moraine enterrée et posée sur l'argile encaissante 9. L'ampleur de l'ouvrage doit permettre à long terme de restaurer le niveau supposé avant drainage et compenser l'affaissement de la tourbière qui s'est abaissé par l'érosion et la minéralisation de la tourbe.



Points de vigilance

► **Topographie** : attention, tout point bas, générant une surverse sur un ouvrage ou un écoulement préférentiel dans l'évacuation de l'eau, générera inmanquablement une érosion qui remettra en cause la pérennité de l'aménagement à plus ou moins long terme.

► La remise en eau de tourbe minéralisée peut mettre en solution des éléments nutritifs, transférés vers les hydrosystèmes. Certaines gouilles peuvent se couvrir transitoirement de lentilles d'eau ou d'algues filamenteuses du fait de l'eutrophisation **d**.



ÉLÉMENTS RÉGLEMENTAIRES

Le drain collecteur, bien que créé en 1969, présentait les caractéristiques réglementaires d'un cours d'eau. Il a été considéré comme tel dans la procédure.

Au titre de la LEMA **décret 93-742** du 29/03/1993 consolidé au 18 juillet 2006 - Régime d'autorisation pour les rubriques :

- **3.1.1.0.** : Installations, ouvrages, remblais et épis, dans le lit mineur d'un cours d'eau constituant un obstacle à l'écoulement des crues ou à la continuité écologique ;
- **3.1.2.0.** : Installations, ouvrages, travaux ou activités conduisant à modifier le profil en long ou le profil en travers du lit mineur d'un cours d'eau ;
- **3.1.5.0.** : Installations, ouvrages, travaux ou activités, dans le lit mineur d'un cours d'eau, étant de nature à détruire les frayères, les zones de croissance ou les zones d'alimentation de la faune piscicole, des crustacés et des batraciens.

Régime de déclaration pour les rubriques :

- **3.2.3.0.** : Création de plans d'eau permanents ;

- **3.3.1.0.** : Assèchement, mise en eau, imperméabilisation, remblais de zones humides ou de marais.

Résultats

DYSFONCTIONNEMENTS

Deux ouvrages réalisés en 2016 ont présenté des dysfonctionnements :

► **8** : de 2016 à 2018, la fosse se remplit avec les précipitations importantes et se vide après environ 1 mois sans pluie. Il semblerait que l'exploitation passée ait attaqué l'ensemble du corps tourbeux par endroit, dégradant ses capacités de rétention de l'eau, pour atteindre une moraine graveleuse, pas totalement étanche. À compter de 2020, malgré un étiage très sévère, la fosse est restée en eau. Est-ce que les dépôts organiques se sont accumulés pour colmater le fond ?

► Digue de moraine **9** : dès le premier hiver 2016-2017, un point de surverse est observé sur la digue, probablement lié à un enfoncement dû au poids du matériau morainique dans l'argile encaissante. Un point bas est créé. Une fois la surverse engagée, une brèche s'est très rapidement formée dans la digue.



La surverse sur la digue génère très rapidement une brèche par érosion

En mars 2018, la digue a été confortée par une palissade métallique de 70 mètres de long, avec un point bas choisi et stabilisé permettant un écoulement de 4 mètres, rive gauche, le long du versant plutôt que sur la tourbe.



Renforcement de la digue par la mise en place d'un rideau de palplanches métalliques. Il sera ensuite recouvert de tourbe et se végétalisera

SUIVIS MIS EN PLACE

- Suivi de la flore et des bryophytes : 21 placettes suivies annuellement depuis l'année des travaux et cartographie intégrale en 2020.
- Suivi des syrphes : 2016/2019, avant et après travaux.
- Suivi des odonates et particulièrement *Leucorrhinia pectoralis*. Pour cette espèce, en 2019, il n'est pas observé d'accroissement notable de la population, mais une dispersion vers un grand nombre de fosses. Enfin en 2020 l'impact positif des travaux sur la population de *Leucorrhinia pectoralis* est confirmé avec l'observation de 168 imagos sur l'ensemble du site (+60 % des effectifs par rapport à 2016, répartis sur neufs gouilles) et par la récolte d'une centaine d'exuvies sur deux nouveaux plans d'eau.

Avant - Après

Les travaux en chiffres

Périodes : entre décembre 2015 et septembre 2016.
La reprise de l'ouvrage **9** a été réalisée en mars 2018.

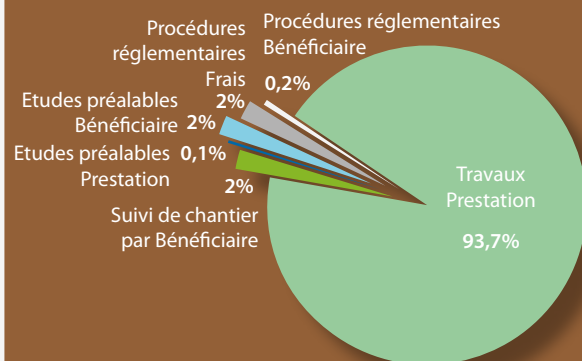
Linéaire et surface :

- Oblitération de 1 170 m de fossés de drainage
- Remise en eau de 2,27 ha d'anciennes fossés d'extraction
- Contrôle d'environ 0,8 ha de ligneux colonisant le long des fossés et cours d'eau

Prestataires : Lin'Eco pour l'étude et Jura Natura Services et Goyard TP pour le chantier

Coût total des actions Life : 211 153 € TTC *

- Travaux (vert) : 202 024 € (dont 26 600 € pour la reprise de la digue)
- Actions préalables (bleu + gris) : 9 129 €



* les coûts des actions réalisées en préalable (hors Life) sur le site ne sont pas pris en compte, incluant l'étude préalable

Oblitération complète du fossé **6**



juillet 2016



juillet 2018

Rétention de l'eau dans la partie basse de la tourbière **9**



septembre 2016



août 2020

Remise en eau des anciennes fossés de tourbage par pose d'une palissade **8**



août 2016



août 2020

Contact

Pierre Durllet, chargé de missions milieux naturels au PNR Haut-Jura :
03 84 34 12 53 - p.durllet@parc-haut-jura.fr

Les tourbières des Rousses

Carte d'identité

Site Natura 2000 : Vallée de l'Orbe

Site Ramsar : Tourbières et lacs de la Montagne jurassienne

Maître d'ouvrage : Parc naturel régional du Haut-Jura

Année des travaux : 2018

Commune : Les Rousses (39)

Accessibilité du site : Partiellement aménagé, non réglementé

Surface du complexe tourbeux : environ 100 ha au bord d'un lac de 90 ha

Altitude : 1160 m

Usages :

- Prairies agricoles en périphérie
- Pratique du ski nordique en périphérie et une piste traverse la tourbière
- Aménagement d'un platelage de découverte sur un petit tronçon avec interprétation
- Base nautique sur le lac à proximité immédiate - Golfs en amont et partiellement sur la tourbière

Espèces d'intérêt : Cuivré de la Bistorte (*Lycaena helle*), Azuré des paluds (*Phengaris nausithous*), Damier de la Succise (*Euphydryas aurinia*), Vertigo septentrionale (*Vertigo geyeri*), Vertigo édenté (*Vertigo genesii*), Hypne brillante (*Hamatocaulis vernicosus*)...

Cuivré de la Bistorte
Lycaena helle



Bief noir, lac et tourbières des Rousses

Contexte

L'Orbe est une rivière transfrontalière qui coule depuis le lac des Rousses ^a en France, jusqu'aux lacs de Joux et Brenets en Suisse avant de se perdre dans le karst. Cette vallée fermée de 30 kilomètres de long, correspond à une gouttière synclinale aux versants abrupts. Le fond, tourbeux, compte parmi les ensembles les plus vastes et les plus riches du massif du Jura.

Les dépôts tourbeux de la tourbière des Rousses sont fortement limnogènes, donc développés sur un remplissage lacustre (*Magny M. & Richard H., 1987*) qui a vu la surface du lac divisé par 3 en 15 000 ans. Certains secteurs ont progressivement évolué vers une tourbière ombrotrophe. La turbification semble globalement n'avoir débuté qu'au début de l'ère chrétienne. Les épaisseurs de tourbe sont très variables dans la vallée, en fonction des contextes de dépôt et peuvent atteindre 4 mètres.

Les tourbières des Rousses ont largement été exploitées pour le chauffage familial, au moins jusque dans les années 1970. Quelques rares exploitations se sont poursuivies jusqu'au milieu des années 1990.

Diagnostic

IDENTIFICATION DES PROBLÈMES

Les tourbières, et particulièrement les hauts-marais, ont été « striées » de fossés délimitant les cantons de tourbe à exploiter. Dans la tourbière des Berthets, ces fossés sont espacés de 15 à 30 mètres et devaient être profonds d'environ 1,50 mètres. Les fosses d'exploitation ont été creusées en s'appuyant sur ces fossés, en remontant du lac vers les versants de la vallée. Sous l'effet du drainage, les parties de haut-marais relictuel se sont rapidement boisées, formant une pinède à crochets. Un passé boisé est attesté par la présence de bois dans la tourbe. Mais était-il aussi dense ? Cela n'est guère probable.

Il est difficile d'identifier quelle est la part naturelle de la part héritée de l'exploitation dans l'ensemble de bas-marais alcalin de la Gouille à l'Ours, où confluent les biefs Noir et Février. Les rectifications et l'enfoncement des cours d'eau, résultant en partie de l'abaissement du niveau du lac, participaient à l'assèchement de certains secteurs de ce marais.

ANALYSE FONCTIONNELLE ET POTENTIEL DE RESTAURATION

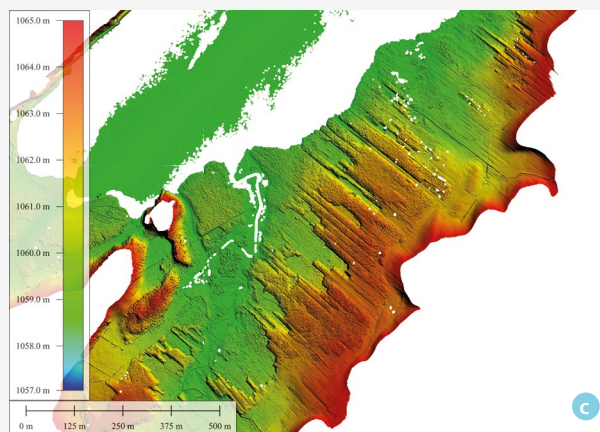
Au sein de la tourbière, deux ensembles fonctionnels doivent être individualisés : les hauts-marais et la Gouille à l'Ours, secteur de bas-marais alcalin baigné par deux ruisseaux.



Emprise d'un fossé rendu visible lors de sa remise en eau. Avant les travaux d'oblitération, la dépression restait toujours sèche et fortement masquée par la végétation

► Le **secteur de haut-marais** est largement occupé par une pinède à crochets, parfois remplacée par une boulaie ou une pessière à proximité des fosses d'exploitation. Le boisement rend très difficile la perception topographique des choses, surtout sur un ensemble tourbeux de cette taille. Le réseau de fossés mis en évidence grâce au MNT issu du LIDAR est souvent difficilement perceptible sur le terrain. Du fait de leur faible largeur, ils se sont souvent comblés en surface, conservant toutefois leur effet drainant en profondeur. Les couverts d'éricacées masquent également souvent les légères dépressions **b**.

L'importance de ce réseau de drainage n'aurait pas été mis en évidence sans le LIDAR **c**. La sécheresse de surface et l'invisibilité des fossés dans le haut-marais, pouvaient laisser des doutes sur l'opportunité d'une oblitération.



Ampleur de l'exploitation de la tourbe et du réseau de drainage mis en évidence par le levé LIDAR

Associé à ce réseau de fossés, un ensemble de fosses d'exploitations, ouvertes sur l'aval, génère également un important assèchement des zones hautes périphériques. L'oblitération des exutoires peut permettre de relancer la turbification au sein même des fosses où un niveau d'eau peut être conservé haut et d'atténuer le drainage des zones périphériques.

► Le **secteur de bas-marais** correspond à la zone de confluence des biefs Février et Noir. Cette zone a été profondément chamboulée par l'exploitation de la tourbe qui a déporté le lit du bief Février contre le front d'exploitation. Estimer quelle était la situation antérieure à l'exploitation est impossible. Espérer retrouver celle-ci était également illusoire. L'analyse de la végétation a montré une tendance à l'assèchement et à l'enrichissement trophique à proximité des cours d'eau. Ceux-ci étaient globalement très enfoncés et surdimensionnés, fonctionnant comme des drains. Lors des basses eaux, la lame d'eau était très faible et éloignée du toit de la nappe **d**. L'amélioration fonctionnelle devait donc passer par un rééquilibrage altitudinal des cours d'eau.



Bief Noir à l'étiage, fonctionnant comme un drain dans le bas-marais

Pour retrouver un niveau d'eau en cohérence avec le fonctionnement du marais et ralentir les flux au maximum, l'option du reméandrement a été privilégiée. Pour le bief Février, très rectiligne, une reprise intégrale du tracé a été choisie, à un gabarit plus faible. Pour le bief Noir, encore sinueux et d'un gabarit conséquent, la création de quelques méandres dans certains tronçons rectilignes a été privilégiée. Les points de calage altitudinaux du fond permettent une rehausse de l'ensemble de la ligne d'eau et de retrouver un meilleur équilibre entre la nappe et le cours d'eau.

ENJEUX DU SITE

► **Périmètre de captage** : le lac des Rousses est le point de prélèvement pour l'alimentation en eau potable de six communes. Le réseau de drains génère des échanges directs entre le versant agricole et le lac, favorisant potentiellement les transferts de matière organique jusqu'à la masse d'eau. De plus, l'exploitation de la tourbe sur le pourtour du lac peut être estimée à plus de 150 000 m³. À cela doit s'ajouter la tourbe disparue par minéralisation. Le stock d'eau disparu correspond à environ 20 % des prélèvements AEP annuels.

► **Biodiversité** : le site dans son ensemble héberge une diversité remarquable des espèces typiques des tourbières jurassiennes. Sept des neuf espèces de la Directive Habitats-Faune-Flore visées par le programme se rencontrent sur le site ^e. La mosaïque de milieux favorise la multiplicité des espèces. Les plus emblématiques se situent essentiellement dans les parties les plus fonctionnelles de la tourbière. Ce n'est pas là que les interventions ont été ciblées.

► **Attrait touristique** : la station des Rousses revêt un attrait touristique indéniable. En hiver, l'ampleur de la tourbière et les boisements de pins bordant le lac apporte une ambiance « scandinave ». Le site est donc utilisé pour le ski nordique. Il a fallu tenir compte de cet enjeu dans la réflexion sur les actions à mener. Ici, c'est la pratique du ski qui a été adaptée aux enjeux de réhabilitation, en partenariat avec la station, afin de préserver cet itinéraire important pour l'appropriation de ce milieu naturel.

Travaux

► **Secteur du haut-marais** : le chantier visait à oblitérer plusieurs fossés et à remettre en eau les fosses d'exploitation.

► **Secteur bas-marais** : les deux biefs qui confluent dans ce marais ont été travaillés de manière à restaurer les relations nappes/cours d'eau, en favorisant au maximum la rétention d'eau. Afin de garantir un meilleur équilibre en période d'étiage, les gabarits ont été volontairement choisis de faible dimension, avec une section « au carré » et des bords verticaux. Avec le temps, le profil devrait trouver une forme plus naturelle. Mais cela peut prendre beaucoup de temps dans les zones de marais, où les cours d'eau n'ont pas beaucoup de puissance puisque débordant rapidement et où le transport sédimentaire est quasi nul.

Au préalable, des actions d'abattage et broyage des ligneux ont été menées sur les deux secteurs, en se concentrant sur les arbres gênant les accès aux chantiers. Il a été nécessaire d'aménager des itinéraires de circulation des engins dans la tourbière. Les arbres abattus ont été débités, entassés et abandonnés sur site.

Compte tenu de la dispersion du chantier sur une grande surface, des volumes importants de matériaux à livrer, des distances de transports, et de la sensibilité des sols, tant des prairies environnantes que de la tourbière, l'apport des madriers d'épicéas (26,4 m³) et des 34 panneaux de triplis a été réalisé par hélicoptère. Cette technique a permis une répartition de l'ensemble des matériaux en environ 45 minutes contre au moins 6 jours par voie terrestre, avec un risque de causer nettement plus de dégâts au sol.



Sympetrum noir
Sympetrum daniae

ELÉMENTS RÉGLEMENTAIRES

Le reméandrement des bief Noir et Février a nécessité une procédure au titre de la LEMA décret 93-742 du 29/03/1993 consolidé au 18 juillet 2006 - Régime d'autorisation pour les rubriques :

- **3.1.2.0.** : Installations, ouvrages, travaux ou activités conduisant à modifier le profil en long ou le profil en travers du lit mineur d'un cours d'eau,
- **3.1.5.0.** : Installations, ouvrages, travaux ou activités, dans le lit mineur d'un cours d'eau, étant de nature à détruire les frayères, les zones de croissance ou les zones d'alimentation de la faune piscicole, des crustacés et des batraciens.

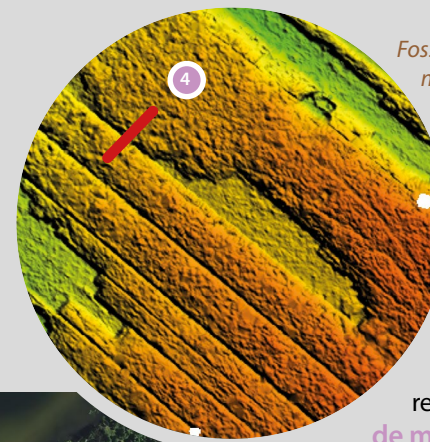
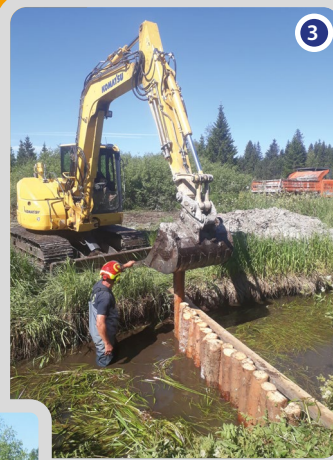
La mise en eau d'une fosse d'exploitation a généré l'ennoiement de pieds d'Andromède, espèce protégée au niveau national. En considérant que le nombre de pieds concernés représente une part négligeable de l'importante population de la tourbière, que l'évolution de cette fosse était à terme défavorable à l'espèce, et que les milieux recréés seront plus favorables à l'espèce en périphérie de la zone remise en eau, les services de la DREAL ont exonéré de dérogation au titre des espèces protégées.

Points de vigilance

- **Remise en eau des fosses** : compte tenu de la dénivellation parfois assez forte au sein de la tourbière, et des effets topographiques générés par la minéralisation en périphérie des fosses, il n'était souvent pas possible de générer une réennoiement total de la fosse. L'atténuation du drainage latéral en est amoindri.

Le cours aval du bief Noir subit une importante fluctuation de son niveau, en lien direct avec le marnage du lac des Rousses. Une rampe de fond a été mise en place à l'aval de la zone de chantier **3** pour éviter une érosion régressive importante lors des basses eaux. Afin de limiter l'apport de matériaux, il a été choisi de réaliser deux rideaux de pieux d'épicéas prélevés sur site et de les remplir avec de l'argile lacustre prélevée sous la tourbe. Malheureusement, les interstices entre les pieux d'épicéas sont trop grands et l'argile trop meuble, l'ouvrage s'est rapidement érodé. Une reprise est nécessaire.

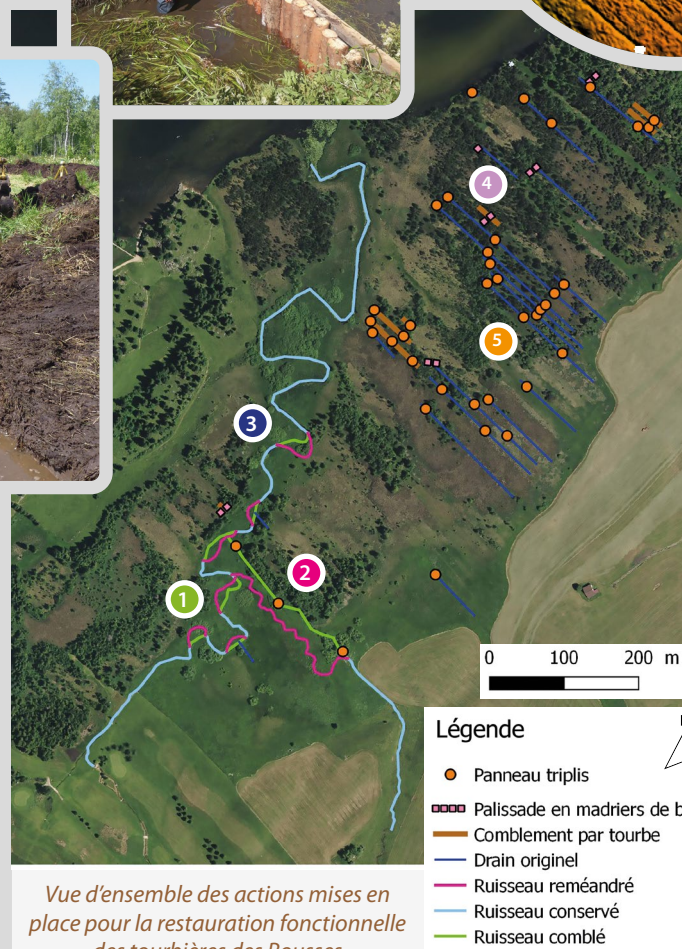
Le tracé du bief Noir n'ayant pas subi de modifications drastiques, les travaux ont surtout porté à reconnecter le niveau de la nappe avec celui du cours d'eau. Pour cela, **quelques méandres ponctuels ont été retracés 1** pour remonter l'ensemble de la ligne d'eau. Le projet a porté sur 660 m de cours d'eau. Six tronçons ont été créés, à un gabarit de 70 x 40 cm totalisant 342 m, alors que seuls 265 m ont été comblés. Chaque intersection a été renforcée par une fascine en bois mort. Celle-ci se dégradera progressivement, une fois le remplissage stabilisé. Les travaux ont été réalisés par une pelle de 8 tonnes se déplaçant sur des plaques. Les biefs conservés devraient rapidement être colonisés par les héliophytes, permettant progressivement de réduire la section actuellement surdimensionnée.



Fosse d'exploitation en contexte forestier, mise en évidence grâce au MNT. Obstruction par une palissade sur l'exutoire.

4 Six fosses d'exploitation ont été remises en eau par oblitération de leurs exutoires. Compte tenu des dimensions des exutoires, et de la lame d'eau prévue d'être retenue, ce sont des **palissades de madriers d'épicéa** qui ont été mises en œuvre. Elles ont été ancrées dans le substrat lacustre sous-jacent, à 4 mètres et sont longues de 8 à 15 mètres.

Dans le cas du Bief Février, la dégradation était profonde. Le cours d'eau avait été déplacé contre le front d'exploitation de la tourbe. **Un nouveau tracé a été créé sur 285 mètres 2**. Compte tenu des profondes modifications de la topographie liées à l'exploitation de la tourbe, le lit recréé n'a pas pu s'appuyer sur une situation naturelle passée. Le tracé méandrique a été choisi en fonction de la compatibilité avec la topographie actuelle et en adéquation avec l'équilibre hydrodynamique recherché. Le lit guide a été creusé au gabarit 40 x 30 cm grâce à une minipelle sur plaques, de manière à ne générer aucune ornière à proximité du lit. Le lit rectifié et abandonné a été comblé intégralement, sur 250 mètres, grâce à la tourbe récupérée sur une butte relictuelle de haut-marais n'ayant aucune possibilité de redynamisation du fait de son isolement topographique. Cela a nécessité environ 100 m³ de matériaux.



Vue d'ensemble des actions mises en place pour la restauration fonctionnelle des tourbières des Rousses

La relativement faible dimension des fossés, 1,50 m de profondeur pour 50 cm de large, a permis d'envisager l'**oblitération par des bouchons de tourbe renforcés par une structure de panneaux de bois 5**. Avec le temps, la « gueule » des fossés s'était évasée par minéralisation, leur largeur pouvant ponctuellement atteindre environ 1,50 m. Les panneaux utilisés faisaient ainsi, sauf exception, 4 m de large et 2 m de hauteur. La tourbe utilisée pour les bouchons a été prélevée en amont, de manière à permettre un comblement d'environ 20 m linéaires de fossé, 10 m de part et d'autre de chaque bouchon. La végétation extraite sur la zone de prélèvement a été réservée et utilisée pour couvrir la tourbe sur l'emprise des bouchons. Les fossés les plus courts ou drainant une fosse d'exploitation, ont été intégralement bouchés. 35 bouchons ont ainsi été créés.

Les travaux en chiffres

Périodes : entre mars et juillet 2018

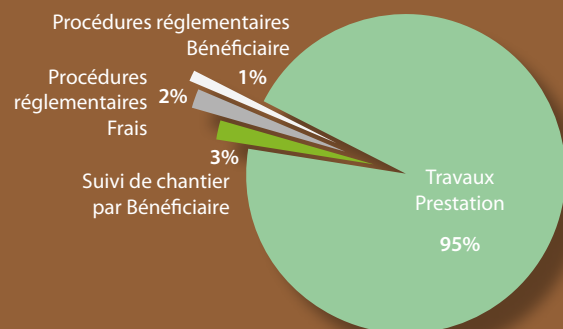
Linéaire et surface :

- Oblitération de 2812 m de fossés en haut-marais
- Remise en eau de 1,6 ha d'anciennes fosses d'extraction
- Recréation d'environ 650 m de cours d'eau, pour une remise en équilibre d'un peu plus de 1000 m

Prestataires : Biotec pour l'étude et le dossier réglementaire de la partie « cours d'eau » et Jura Natura Services pour le chantier

Coût total des actions Life : 272 172 € TTC *

- Travaux (vert) : 264 804 €
- Actions préalables (gris) : 7 368 €



* les coûts des actions réalisées en préalable (hors Life) sur le site ne sont pas pris en compte, cela inclut les études préalables

Résultats

La mise en eau des fossés au sein du haut-marais a été très rapide, malgré la période sèche de 2018. Cela témoigne de l'intérêt d'oblitérer des fossés, même s'ils ne semblent pas actifs en surface.

La colonisation par les sphaignes dont *Sphagnum angustifolium*, n'est pas homogène. Si des individus sont présents à proximité des zones mises en eau, la colonisation peut être très rapide.

SUIVIS MIS EN PLACE

- ▶ Suivi de la flore et des bryophytes par cartographie des recouvrements sur 9 placettes de 200 à 1 770 m². Cela doit documenter l'évolution de l'impact du remouillage selon l'éloignement des zones réellement travaillées. Etat initial en 2018. Reconduction en 2020 et ensuite, pas de temps à définir.
- ▶ Suivi des Syrphes : 2015/2018 en état initial.
- ▶ Suivi piézométrique selon un transect le long d'un ensemble de fossés de haut-marais

Avant - Après

Evolution d'un fossé d'exploitation après oblitération - Travaux réalisés en mai 2018



Documents utiles

- BIOTEC. 2016. *Restauration du bief Noir et du bief Février, affluents du lac des Rousses, commune des Rousses*. Dossier d'autorisation au titre des articles L.214-1 à 6 du Code de l'Environnement.
- CLAUDE, J. ; TISSOT, B. ; GENS, H. & SPEIGHT, M. 2016. *Diagnostic écologique de la tourbière des Rousses (Les Rousses - 39) par la méthode « Syrph the Net » : Etat initial avant travaux de réhabilitation*. Rapport d'étude, Les amis de la réserve naturelle du lac de Remoray. 27 p. + annexes.
- GENS, H. ; TISSOT, B. ; CLAUDE, J. & MAZUEZ, C. 2019. *Diagnostic écologique de la tourbière des Berthets (Les Rousses - 39) par la méthode « Syrph the Net »*. Rapport d'étude, Les amis de la réserve naturelle du lac de Remoray. 29 p. + annexes.
- HUGONNOT, V. 2021. *Suivi de la végétation vasculaire et des bryophytes après travaux de restauration hydrologique - Tourbière des Rousses (les Rousses-39) - Année n+2 - 2020*. 45 p.

Contact

Pierre Durllet, chargé de missions milieux naturels au PNR Haut-Jura : 03 84 34 12 53 - p.durllet@parc-haut-jura.fr



Partie 3

Zoom sur les techniques



Les techniques de restauration utilisées

Introduction

Cette partie du recueil n'a pas vocation à présenter les réflexions qui ont guidé le choix d'utilisation de telle ou telle technique, les fiches sites y contribuent largement. Il s'agit plutôt de présenter les techniques les plus couramment utilisées ou certaines plus originales, leurs modalités opérationnelles, leurs avantages et inconvénients, leurs coûts...

Plusieurs techniques de neutralisation de fossés de drainage ou de fosse d'exploitation, utilisées dans le cadre du programme Life, sont issues de l'expérience suisse en la matière, consignée dans l'ouvrage de référence que constitue le « Guide de régénération des haut-marais » édité par l'Office fédéral de l'environnement (*Grosvernier & Staubli, 2009*), complétées par les expériences acquises lors du LIFE « tourbières » ou d'autres spécialistes consultés lors de la mise en œuvre.

Ces modalités techniques ont été mises en œuvre dans le cadre spécifique des tourbières jurassiennes du Life, dans des contextes géologiques, hydrologiques particuliers qui ne peuvent en aucun cas être utilisés comme des « recettes », mais peuvent apporter des éléments de réflexion pour l'élaboration d'autres projets.

Deux grandes catégories de situations ont guidé le choix des techniques :

► Les situations nécessitant la neutralisation de fossés de drainage : les techniques ont été adaptées en tenant compte de la pente et le gabarit de l'écoulement, leur éloignement et la difficulté d'accès des engins, la dispo-

nibilité en matériaux de colmatage nécessaire. Une neutralisation totale du canal de drainage est toujours à privilégier, mais les contraintes du site peuvent conduire à des adaptations.

► Les situations nécessitant l'ennoiment d'anciennes fosses de tourbage ou de zones d'affaissement ou de modifications topographiques par minéralisation : les techniques ont été adaptées tenant compte des dimensions de la fosse et la charge hydraulique induite par le barrage, la nature du sol/sous-sol, les matériaux à disposition sur place...



Travaux de neutralisation du fossé de drainage de la tourbière du lac de Malpas

Préambule : accessibilité et cheminement d'accès

► Dans tous les chantiers du programme Life, l'accessibilité au site et l'acheminement des fournitures sur la zone de travaux ont été des **contraintes fortes** de faisabilité.

La structure de la tourbe, essentiellement constituée de fibres végétales, n'a pas la même résistance à la pression répétée des engins, selon s'il s'agit de buttes de haut-marais ou d'un bas-marais. Travailler dans des conditions plus sèches (vivement conseillé), ne limite que partiellement le risque d'embourbement des engins, c'est la résistance de la structure végétale aux passages répétés qui va garantir une certaine portance. Cette dernière est très variable et doit être bien appréhendée avant le lancement du chantier.

Il est nécessaire de prendre en compte avec grand soin et à anticiper :

- la sensibilité de la végétation de surface : les tapis végétaux constitués, et en particulier les sphaignes, peuvent être très sensibles d'une part au tassement, d'autre part à l'arrachage par les chenilles des engins ;
- le poids des fournitures à transporter par voie terrestre doit être limité pour réduire la pression au sol, ce qui génère une démultiplication des aller-retours ;

- la répétition des aller-retours des engins, même adaptés ou circulant sur plateaux, génèrent une pression au sol qui peut modifier la topographie du sol et générer des écoulements non souhaités de nature à remettre en cause la pertinence du projet.

La plus grande partie de l'approvisionnement en matériaux des chantiers du Life a été effectuée par voie terrestre. Les engins montés sur chenilles avaient toujours une pression au sol chargée inférieure à 350g/cm² ①. De plus, des chenilles souples de type élastomère diminuent la dégradation du sol et de la végétation.

Projets concernés : Gouterot, Les Levresses, Malpas, Crossat, Moutat, Entrecôtes-du-Milieu, Douillons

- Dans les sites particulièrement engorgés et/ou remaniés par d'anciens tourbages, ou très sensibles, la circulation des engins exclusivement sur des plaques, permettant d'augmenter leur portance et de protéger la végétation a été exigée aux entreprises ②. Cela génère un temps d'acheminement beaucoup plus long. Pour les approvisionnements et zones de circulation les plus délicats, des chemins de plaques ont été installés pour couvrir la totalité de la zone de cheminement sensible.

Projet concerné : Forbonnet

- Dans les sites les plus portants et les plus secs (plantations forestières drainées ayant entraîné un assèchement important du sol), des engins à chenilles « standard », métalliques et solides pour résister aux branches et troncs, avançant sur un lit de billons coupés sur place, ont pu intervenir sans impact conséquent au sol ③. Le lit de rondins est retiré en fin de chantier.

Projet concerné : Villeneuve-d'Amont

- Dans des situations très particulières : chantier peu accessible et éloigné de bord de route, sensibilité de la

tourbe et/ou des terrains périphériques particulièrement importante (agricoles par exemple), quantité de matériaux à transporter importante, un approvisionnement aéroporté par hélicoptère a été choisi ④. Cette solution, soit ne présentait aucune alternative réaliste, soit représentait un meilleur rapport coût/efficacité/préservation :

- une utilisation des engins limitée aux seuls nécessités de construction des ouvrages ;
- une consommation de carburant maîtrisée, malgré l'héliportage : pas de transports terrestres longs et nécessitant plusieurs machines (dépôt/transport/reprise) ;



- une durée d'intervention limitée à quelques heures, versus quelques jours ou semaines, générant une maîtrise des coûts ;
- un gain conséquent pour la préservation du sol tourbeux.

Cette méthode nécessite une étude économique préalable, sachant que le coût écologique, pour des volumes de fournitures important est de toute façon avantageux.

Projets concernés : Cerneux-Gourinots, Grande Seigne, Les Rousses

1/ Points de blocage avec panneaux de bois plein

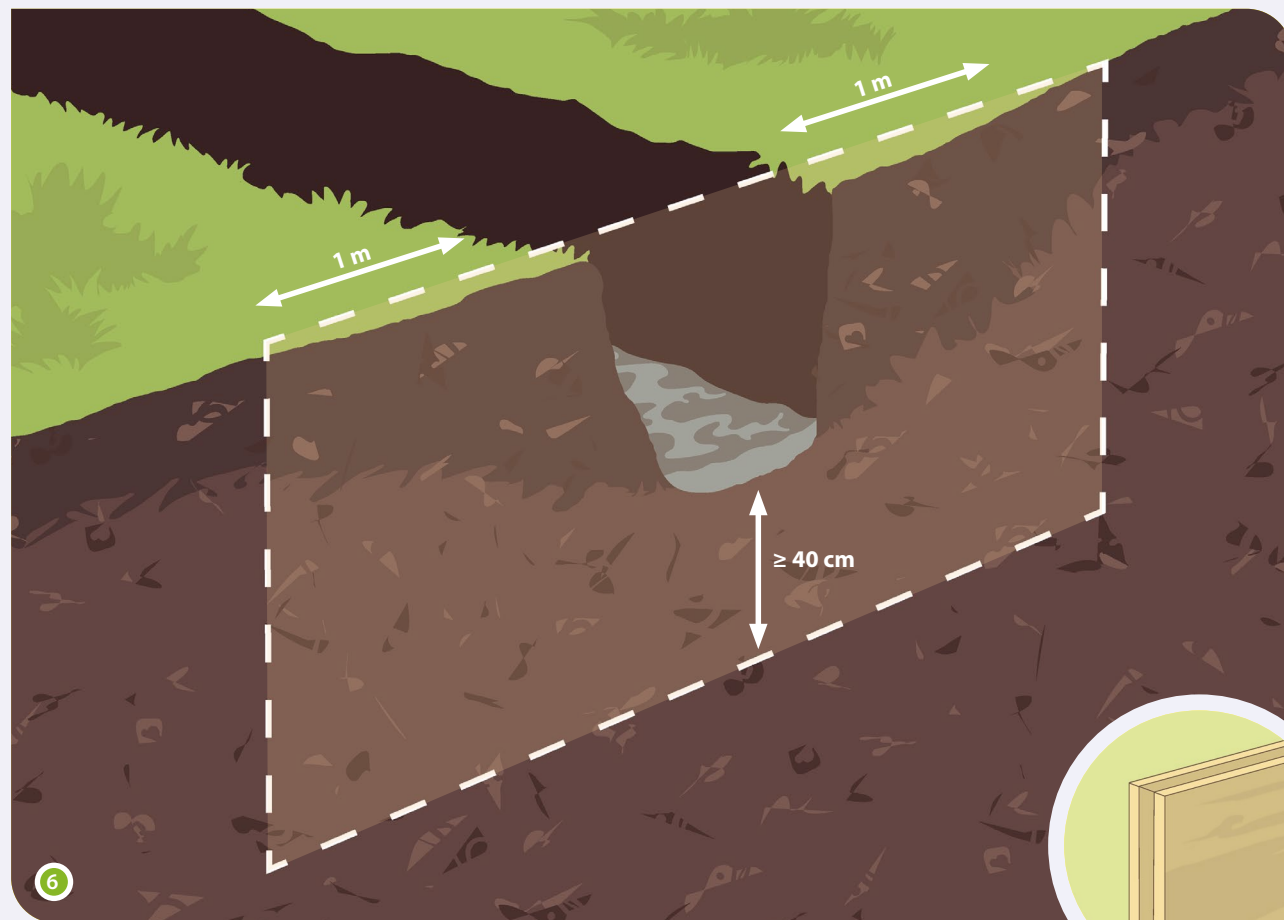


► **Principe** : le drainage de la tourbe en surface et en périphérie du fossé a pour conséquence une minéralisation qui la rend plus poreuse. La mise en place de points de blocage localisés dans le fossé a vocation à stopper l'eau verticalement et horizontalement, et à diffuser l'écoulement en le faisant remonter vers la surface dans toute la colonne de tourbe et latéralement le plus largement possible. Les ouvrages installés doivent être suffisamment nombreux et rapprochés, au regard de la topographie amont/aval et latérale (rive gauche/rive droite), pour bloquer efficacement l'écoulement.

► **Caractéristiques des panneaux** : panneau de bois plein, type triplis **5** de 22 à 30 mm d'épaisseur minimum en bois massif (non traités, exempts de colle aux formaldéhydes). Les dimensions maximales commercialisées sont 5 m x 2 m, tout redimensionnement inférieur étant possible.

► **Contexte d'utilisation et mise en œuvre** : totalement immergés dans l'eau et le sol tourbeux, ces panneaux sont utilisés dans des fossés de faible profondeur et de largeur moyenne. En effet, il faut tenir compte :

- de la nécessité d'un ancrage d'au moins 40 cm **6** dans un substrat étanche ou à très faible conductivité hydraulique (substrat minéral ou tourbe de très bonne qualité) pour éviter tout risque de sous-écoulement (cela est d'autant plus vrai si le panneau est utilisé comme simple barrage, sans comblement) ;



- de la nécessité d'un ancrage latéral qui va au-delà de la zone minéralisée par l'effet drainant **6** (au moins 1 m d'ancrage dans chaque berge après avoir curé la partie très minéralisée des fonds et bords du fossé) ;

- Le rapport entre la très faible épaisseur et la largeur importante de ces panneaux, rend le risque de cassure important à l'enfoncement, l'utilisation doit se limiter à de la tourbe peu résistante à l'enfoncement, plutôt meuble, exempte de racines ou de couches fibriques très denses (type laïche).

L'utilisation de ce type de matériau doit être réservée à des fossés de taille modérée, maximum 2,5 m de large et 1 m de hauteur de berge.

Après remise en charge de la nappe, le panneau de bois sera totalement immergé dans l'eau et la tourbe, et ne devrait donc pas être affecté par la décomposition, si et seulement si la tourbe protège d'une épaisseur suffisante les panneaux et ne se minéralise pas avec le temps.

► **Coût au m²** : le coût relatif de fourniture est faible (de l'ordre de 25 € HT/m²), mais le coût de pose est variable selon la distance d'acheminement au site et la difficulté de mise en œuvre.

Projets concernés : Villeneuve-d'Amont, Forbonnet, Crossat, Mouthe, Entrecôtes-du-Milieu, Douillons, Les Rousses

Point de vigilance

► la vigilance doit être accrue lorsque le fossé n'est pas totalement comblé, les panneaux posés isolément doivent être bien protégés de la décomposition par un merlon de tourbe. Même avec un merlon de tourbe important, il a été constaté avec la répétition d'épisodes secs et chauds, une forte minéralisation de ces merlons qui se dégradent et laissent apparaître l'ouvrage à nu. Il est nécessaire de renouveler la protection sans tarder.



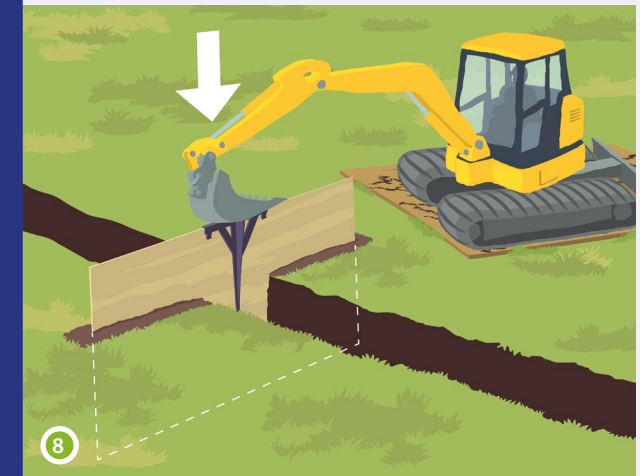
9

Méthode pour enfoncer les panneaux

- Etréper toute la zone d'implantation du panneau jusqu'à la tourbe à nu et conserver cette végétation de côté.
- Utilisation d'une trancheuse : lame métallique, accrochée au bras de pelle, permettant de trancher la tourbe sur toute sa profondeur pour préparer l'implantation du panneau **7**. Cette technique est particulièrement nécessaire lorsque la tourbe présente une forte densité de résidus de bois, de racines, de fibres très denses. Sans cette étape, la présence de ces obstacles végétaux dans la tourbe peut bloquer l'enfoncement du panneau et le risque de le casser s'accroît avec l'augmentation de la pression par le bras de pelle. Dans les cas extrêmes, un tronçonnage des obstacles dans la tourbe à la tronçonneuse peut être nécessaire pour enfoncer le panneau (tourbe à laïche très dense et très résistante). Les sondages préalables sont utiles pour évaluer la situation.
- Enfoncement du panneau par pression du bras de pelle : pour limiter le risque de casser le panneau, un outil métallique posé sur la tranche du panneau et stabilisé par de longues pattes latérales, attaché au bras de pelle, permet d'exercer une pression répartie sur un long linéaire et d'enfoncer progressivement le panneau **8**.
- Couverture de l'ouvrage par de la tourbe puis de la végétation dans le cadre d'un comblement de fossé **9** (cf p. 94 : **Comblement des fossés**). Si le fossé n'est pas comblé, les panneaux de bois devront être protégés de toute dégradation par un merlon de tourbe (cf p. 91 : **Palissades métalliques**).



7



8

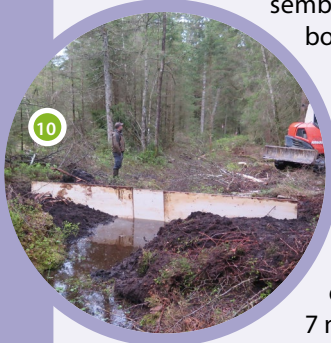


9

Succession de panneaux de bois afin de stopper l'eau verticalement et horizontalement

CAS PARTICULIER D'UTILISATION POUR UN FOSSÉ PLUS LARGE

Dans quelques cas rares, afin d'optimiser les coûts, l'assemblage de plusieurs panneaux de bois entre eux a été testé :



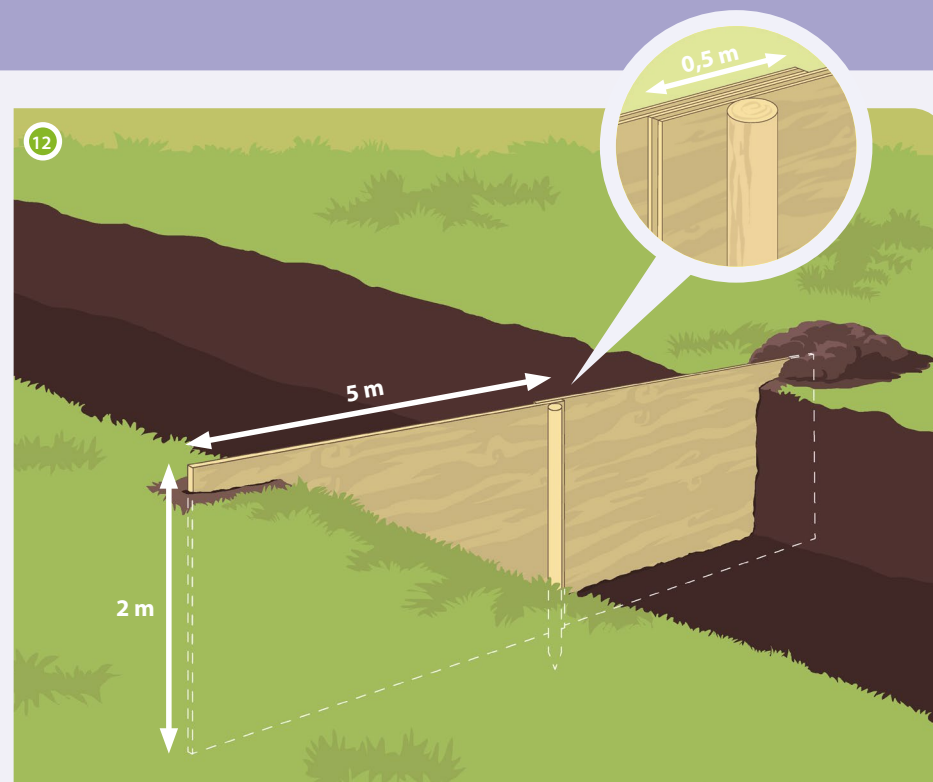
- cas de l'assemblage de deux panneaux de 5 m de large **10**, afin de créer des ouvrages plus longs pour un fossé peu large, mais très minéralisé sur certaines parties, nécessitant une emprise de blocage ponctuelle d'environ 7 m de large (Frasne, marais de Gû);

- cas du blocage de l'évacuation d'une fosse d'extraction par l'alignement de cinq panneaux de bois avec une faible charge hydraulique (cf p. 23 : La tourbière des Cerneux-Gourinots) **11**.

Dans les deux cas, les panneaux ont été implantés en les chevauchant au minimum de 50 cm, voire 1 m. Sur la tourbière des Cerneux-Gourinot, les panneaux ont été vissés entre eux sur la partie apicale. Dans ce même site, des renforts en madriers (8 cm x 20 cm) ont été posés à l'aval de l'ouvrage au niveau des chevauchements, pour augmenter la résistance à la charge hydraulique.

L'efficacité réside notamment dans le parfait chevauchement et l'adhérence totale des deux panneaux sur une surface importante, qui n'autorise aucune voie d'eau entre eux dans la tourbe **12**.

Les difficultés rencontrées pour l'installation de panneaux individuels sont démultipliées en cas d'assemblage. Si les panneaux ne sont pas parfaitement collés au niveau de la superposition du fait de la présence de tourbe, de branches ou de racines, l'eau risque de s'infiltrer et d'ouvrir au fil du temps une brèche dans l'ouvrage qui ne sera plus étanche. Cette technique présente donc plus de risques et nécessite un respect strict des consignes d'installation par le prestataire et de vérification par le maître d'ouvrage.



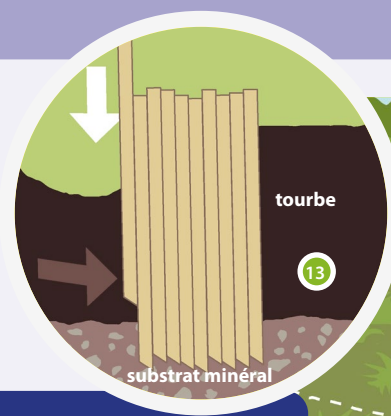
Avantages

- Matériau à faible coût
- Facilité d'approvisionnement avec petits engins pour les petits panneaux (brouette à chenilles)
- Facilité et rapidité d'installation d'un panneau, surtout en tourbière non boisée avec une mini-pelle

Inconvénients

- À réserver aux fossés de taille modeste
- Difficultés de fonçage dans une tourbe contenant des obstacles (racines, fibres denses, ...)

2/ Palissades en madriers de bois



► **Principe** : il est comparable au point précédent, il permet de neutraliser un point d'écoulement drainant (fossé, ancienne fosse d'extraction de tourbe) mais s'applique sur des orifices de grande taille (fossés larges ou profonds) nécessitant un ancrage plus profond ou pour résister à des charges hydrauliques plus importantes. Les ouvrages installés doivent être suffisamment nombreux et rapprochés, au regard de la topographie amont/aval et latérale (rive gauche/rive droite), pour bloquer efficacement l'écoulement.

► **Caractéristiques** : ces palissades sont constituées de madriers en bois massif brut non traité, de largeur 16 à 20 cm et d'épaisseur minimum 10 cm, rainurés-crêtés, taillés en biseau à la base 13. L'essence utilisée dans le cadre du Life est l'épicéa, essence locale, au rapport coût/efficacité intéressant.

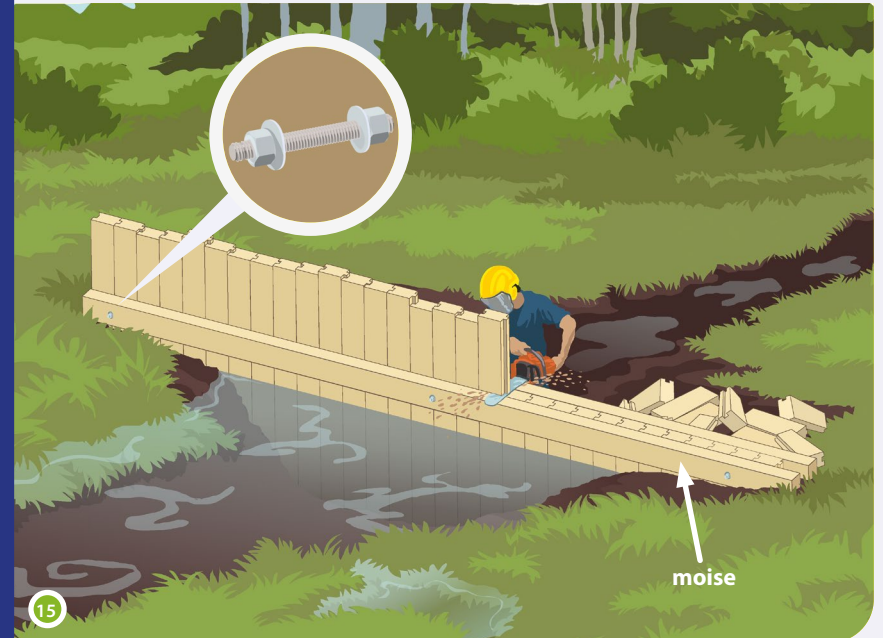
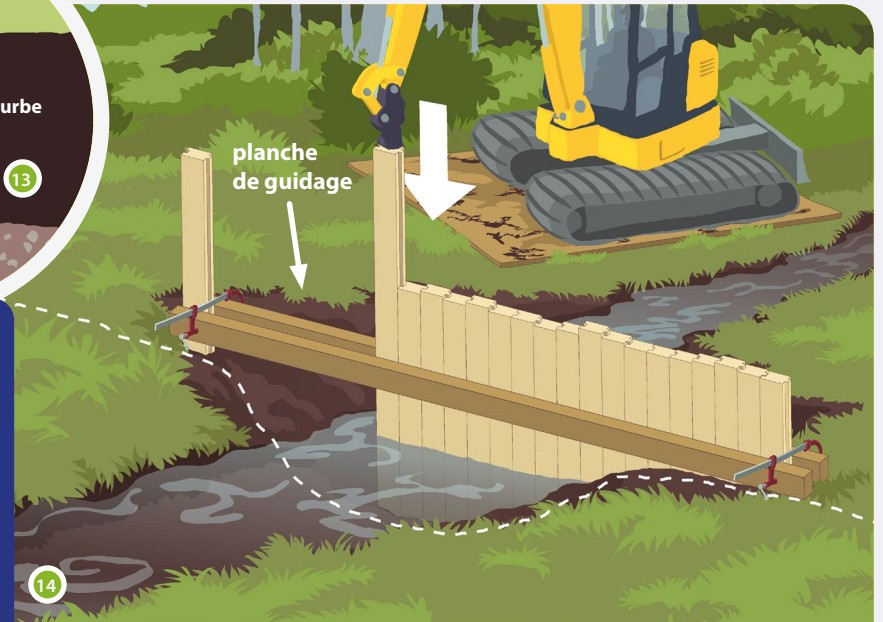
La hauteur des madriers est adaptée à la profondeur d'ancrage nécessaire dans la tourbe, mais ne peut excéder ce qu'un bras de pelleteuse peut enfoncer et ce que les ouvriers peuvent manipuler, difficilement plus de 5 mètres.

► **Contexte d'utilisation** : les palissades en madriers sont utilisées pour des besoins d'ancrage de plus de 2 m de profondeur et/ou pour des nécessités de résistance à la charge hydraulique assez importante, ou des ouvrages de grande largeur. Constituées d'une succession de madriers, sa longueur est conditionnée par la zone à remettre en eau. Ainsi, les ouvrages les plus longs conçus dans le Life sont de 125 m (travaux de la Grande Seigne), mais peuvent aussi être limités à 4 m de large pour des ancrages profonds.

Mise en oeuvre

a Préparatifs : la zone d'emprise de l'ouvrage (y compris le bourrelet de couverture) est préalablement décapée pour mettre la tourbe à nu et pour une bonne cohésion ultérieure du bourrelet de tourbe sur le terrain naturel. Dans certains contextes de molinie en touradons, la végétation peut être préalablement broyée.

b Construction de l'ouvrage bois : les madriers préalablement façonnés, sont glissés manuellement les uns dans les autres dans la rainure prévue pour cela et enfoncés par le bras de pelleteuse dans la tourbe 14. La profondeur doit atteindre au minimum 20 cm dans le substrat sous-jacent peu perméable 13 (minéral ou tourbe non minéralisée), préalablement sondé. La mise en place de planches de guidage permet de garantir la rectitude de l'ouvrage, d'autant plus important que l'ouvrage sera long. Au terme de la construction, l'ouvrage est moisé des 2 côtés pour assurer la rigidité et la cohésion de l'ensemble. Enfin, les madriers sont coupés juste au-dessus de la moise 15, à une cote légèrement supérieure à l'ennoïement atteint en hautes eaux. Les résidus de coupe sont évacués ou enfouis dans le sol.





► **Cas particulier** : dans des cas d'écoulements concentrés importants, nécessitant un grand étalement de la surface de la lame d'eau dans la tourbe et, générant des poussées hydrauliques fortes, la palissade bois peut être doublée 16. L'espace entre les deux palissades est rempli de tourbe pour ajouter un maintien vertical de l'ensemble. La totalité est couverte de tourbe, en respectant les préconisations préalables.

Le volume de tourbe à mobiliser sera d'autant plus important. En cas de hauteur importante, elle peut être en plus renforcée à l'aval par des jambes de force.

► **Coût au m²** : de 250 à 600 €/ml, selon la hauteur des madriers (dépendant des volumes de bois)

► **Temps de pose moyen par ml** : dans le cadre du Life, grand maximum 20 ml/jour de madriers à 2 ouvriers + 1 pelleteur

Projets concernés : Cerneux-Gourinots, Grande Seigne, Les Levresses, Forbonnet, Malpas, Crossat, Moutat, Entre-côtes-du-Milieu, Douillons, Les Rousses



Avantages

- Longueur de l'ouvrage non limitée
- Solidité de l'ouvrage
- Peut supporter une hauteur d'eau importante
- Ancrage plus efficace pour des profondeurs de tourbe importantes
- Matériau 100% végétal

Inconvénients

- Coût de l'ouvrage supérieur à ceux constitués de panneaux
- Préparation de fourniture plus longue
- Difficultés de transport et d'installation d'autant plus importantes que les madriers sont longs
- Nécessite une mise en œuvre soignée pour garantir la jonction des madriers.

Points de vigilance

► Un tel ouvrage est sujet à l'érosion superficielle si un écoulement se met en place sur celui-ci. L'ouvrage peut alors être très rapidement fragilisé. Il faut absolument proscrire les surverses sur l'ouvrage et bien anticiper la diffusion souhaitée de l'eau retenue. Dans l'unique cas particulier des ouvrages de la Grande Seigne, les palissades déjà très longues ne permettaient pas de diffuser latéralement l'excès de charge hydraulique, un prototype d'aménagement de surverse diffusive sur tout le linéaire de l'ouvrage a été adapté (cf p. 31 : La tourbière de la Grande Seigne). Autrement, les palissades métalliques peuvent être à privilégier.

► Lors de la mise en place des madriers et la couverture par le merlon de tourbe, il est primordial de ne pas laisser les engins circuler sur les bordures du futur ouvrage pour éviter de générer des points bas et des points d'écoulement susceptibles d'engendrer une érosion.

► L'ancrage en profondeur dans le sous-sol minéral ou dans une tourbe de très bonne qualité peu perméable est indispensable pour :

- éviter que l'enfoncement d'un madrier ne fasse descendre plus profondément le précédent ;
- garantir l'absence de sous-écoulement sous l'ouvrage (cf p. 59 : La tourbière du Crossat).

► L'ancrage latéral de l'ouvrage dans une tourbe non influencée par le drainage est indispensable pour éviter un contour-

nement par l'eau latéralement. Cela nécessite une emprise de l'ouvrage suffisamment large de part et d'autre du fossé ou de la fosse à neutraliser.

► Anticiper la montée de l'eau : la construction de tels ouvrages dans le cas d'écoulements permanents conséquents, ou en situation hydrologique défavorable, peut générer une inondation quasi immédiate. Il convient donc d'anticiper le problème soit par le pompage en continu de l'eau pour terminer l'ouvrage, soit en n'enfonçant que partiellement un madrier au centre 17 pour garantir l'écoulement de l'eau en continu avant l'achèvement de l'ouvrage.

► Suivre la bonne végétalisation des ouvrages dès la saison suivant les travaux et vérifier sur le long terme que le bois n'est pas apparent, à cause notamment de la minéralisation de la tourbe (sinon prévoir un confortement pour garantir la pérennité de l'ouvrage).

► Creusement des points de prélèvement de tourbe : la végétation de surface décapée préalablement au creusement est mise de côté et réimplantée sur les berges après creusement. Le point de prélèvement ne doit pas atteindre la couche d'assise minérale, pour ne pas perturber la chimie de l'eau. Des berges en pentes douces sont à privilégier pour favoriser l'ancrage de la végétation de colonisation, et un (des) point(s) profond(s) peu(ven)t favoriser l'habitat des insectes aquatiques.

3/ Palissades métalliques



► **Principe** : similaires aux palissades en madriers de bois, les palissades métalliques permettent l'oblitération d'éléments drainants de grandes dimensions (grands fossés ou fosses d'exploitation). Elles ont été favorisées pour leur meilleure tenue, un meilleur ancrage dans le minéral ou pour permettre un écoulement sus-jacent.

► **Caractéristiques** : elles sont constituées d'éléments de palplanches d'acier brut, jointes les unes aux autres en se glissant dans des goulottes en « U », garantissant une bonne tenue de l'ouvrage. Il n'est procédé à aucun travail de soudure des palplanches les unes avec les autres.

► **Contexte d'utilisation** : les palissades métalliques ont été privilégiées pour différentes raisons :

- lors de charges hydrauliques amont importantes (colonne d'eau supérieure à 1,5 m) surtout si l'enfoncement possible des éléments dans le sous-sol est limité ;
- de par leur finesse et leur solidité, les palplanches métalliques peuvent s'utiliser dans une tourbe hétérogène contenant des morceaux de bois ou des couches dures. Elles sont également plus adaptées si le substrat sous-jacent comprend des particules minérales importantes. En contexte très résistant, un vibrofonceur peut être utilisé ;
- la technique d'emboîtement des palplanches permet de réaliser des ouvrages courbés ce qui peut être intéressant dans certains contextes ;
- l'acier étant nettement moins sujet à une dégradation que le bois s'il est au contact direct avec l'air ou

l'eau, les palissades métalliques ont été privilégiées dans des contextes où il n'était pas possible d'éviter une surverse sur l'ouvrage.

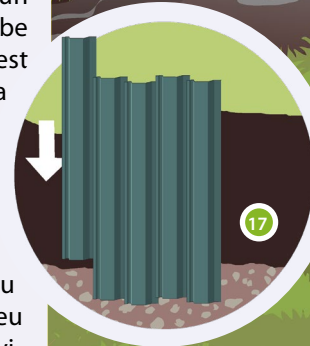
Comme pour les palissades en madriers de bois, il n'y a pas de limite à leur longueur. Pour éviter les sous-écoulements et garantir la tenue si la charge hydraulique est importante, l'ancrage est nécessaire dans le substrat minéral sur 15 à 30 cm ¹⁷.

La question d'implantation d'un matériel métallique dans la tourbe avec la présence de flux d'eau s'est posée. En milieu anaérobie, la palplanche métallique est largement utilisée pour les cours d'eau et canaux. En tourbe acide saturée, il semble que le métal demeure relativement inerte, sachant qu'à l'échelle du temps de la restauration, il y a peu de chance qu'une altération soit visible dans un contexte de nouvelle turfigenèse.

► **Cas particulier** : comme pour les palissades bois, dans un contexte de forte poussée hydraulique, avec un ancrage à l'imperméabilité incertaine, il est possible de doubler les ouvrages métalliques et de remplir de tourbe l'interstice pour la garantie d'un bouchon plus efficace et plus solide.

Mise en oeuvre

Identique aux palissades en madriers de bois : ¹⁷ ¹⁸ ¹⁹.



18

17

19

Projets concernés : Grande Seigne, Forbonnet, Ville-neuve-d'Amont, Douillons

Avantages

- Solidité de l'ouvrage
- Possibilité de surverse sur l'ouvrage
- Ancrage aisé dans le sous-sol minéral
- Ouvrage pouvant être courbe
- Peut accepter une hauteur d'eau importante à l'amont

Inconvénients

- Coût de l'ouvrage supérieur à ceux constitués de panneaux et madriers en bois
- Matériau « non naturel »
- Poids des palplanches rendant la manipulation difficile
- Plus difficile à recouper à bonne hauteur



Couverture de l'ouvrage (bois ou métallique) :

Pour d'une part éviter l'altération dans le temps du matériau émergeant du terrain naturel par l'alternance assec/ennoie-ment, et d'autre part faciliter la végétalisation de l'ouvrage, une couverture conséquente en tourbe est mise en place ²⁰. Elle est constituée de tourbe non minéralisée d'au moins 40 cm d'épaisseur, de format trapézoïdal (surface plane d'au moins 1 m de large au sommet). Les talus du bourrelet doivent être le mieux tassé possible et respecter une pente de 1/2 de part et d'autre pour limiter les problèmes de glissement voire d'effondrement. Compte-tenu de la hauteur de l'ouvrage, les volumes de tourbe nécessaires peuvent être importants, il faut donc préalablement avoir trouvé le gisement par sondage, le plus possible à proximité de l'ouvrage pour limiter le transport, mais à une distance suffisante pour ne pas générer de drainage supplémentaire et donc impérativement en amont de l'ouvrage.

La tourbe est enfin recouverte de la végétation préalablement décapée à proximité. En cas d'impossibilité, il est important de pailler l'ouvrage avec du foin, pour limiter au maximum son dessèchement et faciliter la germination de la végétation.

4/ Digue minérale



► **Principe** : les tourbières jurassiennes se sont souvent créées à la faveur d'un verrou morainique. La reconstitution de contextes similaires a été testée à l'aval de complexes tourbeux.

► **Caractéristiques** : digue constituée de matériaux minéraux, éléments morainiques à forte proportion argileuse ou argile. La digue est mise en place à même le substrat minéral encaissant, après excavation du sol de couverture (tourbe résiduelle, très fortement minéralisée).

► **Contexte d'utilisation** : installation dans des contextes où le substrat minéral encaissant est proche de la surface et où la tourbe environnante est très minéralisée (avec un possible affaissement généralisé du corps tourbeux).

Projets concernés : Malpas, Douillons

Points de vigilance

► La nature de l'encaissant minéral peut avoir son importance. S'il est trop ductile, la digue minérale peut s'enfoncer sous son propre poids avec le temps et ne plus atteindre la cote altitudinale escomptée.

► Un tel ouvrage est sujet à l'érosion superficielle si un écoulement se met en place sur celui-ci. L'ouvrage peut alors être très rapidement fragilisé. Il faut absolument proscrire les surverses sur l'ouvrage et bien anticiper les points de diffusion de l'eau retenue.



Mise en oeuvre

- Excavation d'une tranchée dans la tourbe pour mettre à nu le substrat minéral encaissant sur la largeur de la digue à créer 21.
- Mise en place des matériaux morainiques directement sur l'encaissant minéral, de manière à créer une digue « en trapèze » 22.
- Couverture avec les matériaux excavés pour reprise de la végétation et une meilleure intégration paysagère 23.



Avantages

- Facilité de réalisation : terrassement
- Matériaux facilement disponibles et transportables, possiblement en grande quantité
- Peu onéreux

Inconvénients

- Ne s'adapte qu'aux contextes minérotrophes
- Attention au poids des matériaux sur l'encaissant et aux épaisseurs de tourbe relativement faibles

5/ Comblement des fossés



► **Principe** : lorsque la pente du fossé de drainage est conséquente, ou que les abords des fossés sont trop minéralisés, une succession de « biefs » en eau peut n'avoir que peu d'effet sur la ré-humectation visée de la tourbière. Il est alors nécessaire de combler intégralement le fossé dont on veut atténuer l'impact drainant.

► **Caractéristiques** : la nature des matériaux à mettre en œuvre est dépendante de plusieurs facteurs conjoints : caractéristiques de la tourbe, facilité d'apport, possibilité de prélèvement sur site...

► **Contexte d'utilisation et mise en œuvre** : quel que soit le contexte de mise en œuvre, un curage préalable du fossé à combler est nécessaire, de manière à « nettoyer » les bords du fossé des éléments hétérogènes de végétation ou de tourbe fortement dégradée et poreuse. Cela limite les phénomènes d'écoulement préférentiel au contact des matériaux en place et de ceux de comblement. Le résidu de curage sera réutilisé en couverture, pour favoriser une reprise de la végétation.

Des points de blocage du flux d'eau doivent être installés de l'amont vers l'aval, selon les méthodes préalablement citées (panneaux de bois plein, palissade bois). Puis, le matériau de colmatage, adapté au contexte géologique, hydrologique, et pédologique est mis en place entre les bouchons préalablement créés, à l'avancement de l'amont à l'aval.

Il est important d'anticiper le phénomène de foisonne-

ment et de tassement des matériaux de comblement dans le temps. Ce remblai de comblement doit donc prendre la forme d'un bombement marqué qui se tassera avec le temps, quels que soient les matériaux utilisés.

A/ FOSSÉ DE BORDURE DE TOURBIÈRE AU CONTACT DU MINÉRAL

S'adapte aux cas des fossés de ceinture des tourbières, initialement créés pour intercepter l'eau entrant dans la tourbière depuis la périphérie. La proximité de l'encaissant minéral permet d'imaginer l'usage d'un matériau minéral, type groise ou moraine, plus facile à se procurer ²⁴.



La diffusion de l'eau se fait alors soit par-dessus le comblement, soit à la faveur de « biefs » en eau, non comblés.

B/ FOSSÉ AU SEIN DU CORPS TOURBEUX AVEC GROSSE ÉPAISSEUR DE TOURBE

Dans la mesure du possible il est préférable de privilégier un comblement avec de la tourbe prélevée sur place ²⁵ en ménageant des mares ²⁶.



Points de vigilance

- Ne pas faire les zones de prélèvements en aval des ouvrages de blocage de l'eau pour ne pas les fragiliser et favoriser les écoulements.
- Ne pas risquer de créer un drainage préférentiel entre les zones de prélèvement si elles sont trop proches les unes des autres.
- Éviter les zones de pente pour prélever la tourbe, de manière à ce que l'eau affleure sur tous les bords de la mare ou privilégier un format de mare en « demi-lune » perpendiculaire à la pente pour limiter le drainage.
- Ne pas creuser jusqu'à l'encaissant minéral dans les points de prélèvements.



C/ FOSSÉ AU SEIN DU CORPS TOURBEUX AVEC FAIBLE ÉPAISSEUR DE TOURBE

Dans certains bas-marais, la tourbe disponible n'est pas suffisante pour la prélever sur place.

Dans ce cas de figure, un matériau de substitution a pu être utilisé : la sciure d'épicéa issue de scierie 27.

Les caractéristiques de faible porosité de la sciure compactée garantissent une bonne efficacité de colmatage, bien qu'inférieure à celle de la tourbe. Une fois enfouie, et gorgée d'eau, cette matière végétale n'est pas amenée à se dégrader. Il convient toutefois de bien la recouvrir, au minimum par les « résidus de curage » des fossés.

Cette solution ne peut être qu'alternative, il ne faut pas minimiser les difficultés de se fournir en gros volumes de sciure et il peut être difficile de les acheminer jusqu'aux fossés en cœur de tourbière.

Points de vigilance

- ▶ S'assurer que la sciure provient de bois non traités aux insecticides sur place de stockage des grumes.
- ▶ Utiliser de la sciure de scierie et non des plaquettes de broyeurs forestiers (la porosité de ces éléments grossiers est trop importante pour assurer le rôle de rétention d'eau).
- ▶ La sciure est très difficile à mettre en place s'il existe un écoulement résiduel dans le fossé au moment de l'oblitération.



L'ouverture au public

Selon les enjeux et les objectifs, plusieurs aménagements ont été mis en œuvre.

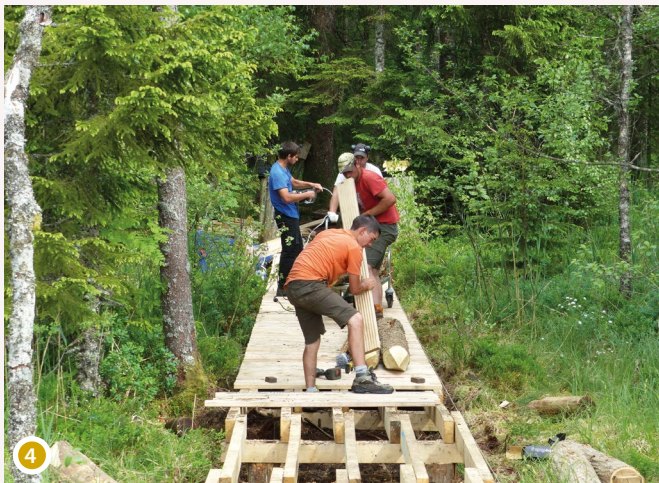
Platelage pour une accessibilité grand public (poussette, fauteuil roulant)

► **Caractéristiques et techniques d'installation** : ce platelage a pour objectif d'accueillir le public sur un cheminement confortable. Cet aménagement peut être adapté pour permettre l'accès des personnes à mobilité réduite (création de zones de dépassement, rampes d'accès, adaptation des mobiliers et signalétiques, etc.).

La première étape consiste en une préparation du parcours de l'aménagement par la coupe et le débroussaillage du cheminement.

Les fondations des ouvrages sont ensuite réalisées par des pieux enfoncés dans le sol jusqu'au substrat minéral ou, à défaut, d'au moins 200 cm **1** **2**. La section minimale demandée dans ce programme aux entreprises pour ces pieux est de 120 x 120 mm. Les plateaux sont, quant à eux, fixés sur des solives (minimum 60 x 140 mm), elles-mêmes fixées aux pieux **3**.





La section des planches constituant les plateaux est, en moyenne, de 35 x 140 mm et de largeur de 120 cm **4**
5 6.

Le long du parcours, des miséricordes (assis-debout) sont parfois installées pour permettre au public de profiter du paysage ou des aménagements d'éco-interprétation présents. Les miséricordes ont en moyenne les dimensions suivantes : longueur de 4 m, hauteur au-dessus du platelage de 1,05 m, composée de 3 poteaux (section de 120 x 120 mm) qui portent 2 lisses horizontales (section 100 x 100 mm) fixées par boulons à bois.

Les bois avivés sont ensuite rabotés et leurs arêtes sont arrondies ou chanfreinées. Pour l'ensemble des aménagements, les gestionnaires ont privilégié le choix d'essences non exotiques (excepté le robinier faux-acacia) et non traitées chimiquement, y compris l'autoclave. Les bois en contact avec le sol ou l'eau sont en robinier (faux-acacia) pour sa durabilité naturelle (classe 4 naturel). Les autres bois, qui ne sont pas en contact permanent avec le sol ou l'eau, sont en robinier (faux-acacia) ou en chêne sélectionné (pédonculé ou rouvre).

► **Coût au ml** : à partir de 200 euros TTC par ml dans ce programme

Avantages

- Possibilité d'adapter l'aménagement aux personnes à mobilité réduite
- Permet le déplacement en groupe (famille, animations pédagogiques, classes, etc.)
- Itinéraire pouvant être adapté à beaucoup de contextes de tourbière

Inconvénients

- Impacts de l'aménagement sur la tourbière plus ou moins forts : lors de l'installation (engins et ouvriers) puis à moyen ou long terme sur le fonctionnement global du secteur (cf Fiche technique n°5 du Pôle-relais tourbières : « Ouverture et aménagement des zones humides pour l'accueil du public »)



Platelage de type « randonneur »



► **Caractéristiques et techniques d'installation** : aménagement plus léger que le platelage précédant, ce platelage rustique est davantage un aménagement de randonnée non adapté aux poussettes ou aux personnes à mobilité réduite.

Les cheminements mis en place sont constitués d'un double linéaire de plateaux de bois, de 20 cm de large chacun, posés dans le sens de progression, selon un écartement permettant la marche confortable : 1 à 2 cm maximum **7**. Ces plateaux sont ensuite vissés ou cloués sur des madriers transversaux de dimensions suffisantes. Les madriers sont posés à même la tourbe, de niveau, ce qui nécessite l'enlèvement de la végétation de surface au droit des madriers ou un léger terrassement manuel. Les portées choisies sont de 150 cm entre les madriers et adaptées à la microtopographie et à la sinuosité si nécessaire. Les madriers sont éventuellement fixés à des pieux enfoncés dans le sol (d'environ 1,5 m) au niveau des tronçons pouvant faire l'objet d'inondation et où des risques de flottaison sont à craindre **8**.

Le bois utilisé est non traité, de qualité charpente, brut de sciage, écorcé et net d'aubier. Dans le cadre de ce programme, deux essences ont été testées : le douglas et l'épicéa.

► **Coût au ml** : à partir de 24 euros TTC par ml dans ce programme



Avantages

- Aménagement plus discret que le platelage grand public : se fond davantage dans le site et permet de conserver des parcours plus sauvages
- Installation sans grosse préparation du terrain et coupe préalable
- Relativement facile à installer
- Impacts plus faibles sur le milieu
- Economique : 5 à 7 fois moins cher qu'un platelage pour une accessibilité grand public

Inconvénients

- Aménagement non adapté aux personnes à mobilité réduite, aux poussettes, aux personnes ayant du mal à marcher
- Non adapté à la pratique du vélo/VTT (risque de chute)

Plateforme

► **Caractéristiques et techniques d'installation** : accessible généralement par des platelages, ce type d'aménagements permet notamment l'accueil de groupes plus ou moins importants selon la taille de la plateforme **9**.

Celle-ci est souvent associée à des éléments d'éco-interprétations du milieu **10** (panneaux, mobiliers de découverte, etc.). Dans le cadre de visites guidées par des animateurs natures, la plateforme permet aux classes de se réunir sur un même espace et découvrir la tourbière ensemble.

Un terrassement est souvent nécessaire pour permettre la mise en place de l'aménagement. Des pieux en bois (fondations de l'ouvrage) sont ensuite installés en les ancrant dans le sous-sol minéral. L'installation des plateaux se fait de la même manière que pour les platelages pour une accessibilité grand public **11**. Une attention est portée sur l'élimination rapide de toute humidité sur ou dans le bois (ex : dessus de poteaux ou traverses avec une pente, assemblages avec évacuation, larmiers, etc.) et sur l'assurance qu'une bonne ventilation des divers éléments constituant les ouvrages soit possible.

► **Coût au ml** : à partir de 450 euros TTC le m² dans ce programme



Avantages

- Aménagement permettant le rassemblement de groupes plus ou moins importants
- Aménagement pouvant être adapté aux personnes à mobilité réduite

Inconvénients

- Impacts de l'aménagement sur la tourbière plus ou moins forts : lors de l'installation (engins et ouvriers) puis à moyen ou long terme sur le fonctionnement global du secteur

Le suivi des travaux du programme

La construction du volet Suivi sur un site se pense en fonction de la question qui est posée par le gestionnaire et donc en lien direct avec les études préalables et l'élaboration du projet de réhabilitation. Dans le cadre du programme, l'ensemble des sites n'a pas été suivis avec les mêmes objectifs ni la même intensité.

Sur certaines tourbières à enjeux forts, le suivi a été mis en place plusieurs années avant les travaux et associait plusieurs indicateurs dans une finalité de diagnostic : pour améliorer la connaissance de ces sites, mieux comprendre les dysfonctionnements et mettre en œuvre des actions adaptées. Ces suivis se sont prolongés après les travaux et se prolongeront plusieurs années après le programme Life dans la mesure du possible. En effet, bien que des premiers résultats aient pu être observés pour un certain nombre d'indicateurs, il faudra attendre plusieurs années, voire décennies, pour pouvoir quantifier et analyser les résultats de ces travaux, notamment sur la reprise des processus de turbification. Les gestionnaires espèrent pouvoir prolonger le suivi de ces sites pendant au moins 10 ans afin d'avoir suffisamment de recul post-travaux pour pouvoir faire des bilans pertinents. Nous espérons ainsi produire, à terme, une évaluation de l'impact des travaux du programme sur les sites suivis durant cette période.

Ces suivis présentent cependant des coûts matériels mais surtout humains non négligeables. La récolte régulière des données, leur traitement et leur analyse, la maintenance du matériel sont autant de tâches particulièrement chronophages.

Au vu du nombre de tourbières réhabilitées pendant ce programme, cette intensité de suivi n'a donc pas pu être mise en œuvre sur l'ensemble des sites. Sur certaines



Tente Malaise employée pendant le programme Life pour la méthode Syrph the Net

tourbières, les suivis se sont donc limités à l'évaluation de l'impact direct des travaux sur un pas de temps court (2 ou 3 ans) et sur la base d'un ou deux indicateurs pertinents (souvent la piézométrie et les éventuelles espèces à enjeux présentes). L'objectif était de pouvoir comparer la situation existante avant le programme à celle obtenue grâce aux travaux de restauration réalisés dans le cadre du projet. D'autres sites n'ont quant à eux fait l'objet d'aucun suivi.

Plusieurs indicateurs abiotiques et biotiques ont ainsi été évalués pendant le programme : suivi de la piézo-

métrie, de la qualité et la température de l'eau, des rhopalocères et des odonates d'intérêt communautaire, de la flore remarquable, de la végétation (dont les bryophytes), des macro-invertébrés, etc. Dans le cadre de ce recueil, nous n'avons pas souhaité présenter l'ensemble de ces types de suivis dont la plupart sont déjà mis en œuvre par de nombreux gestionnaires. Nous avons donc choisi de partager notre expérience sur deux indicateurs qui ont fait l'objet de beaucoup de réflexions et d'échanges pendant ce projet : la méthode Syrph the Net **1** et la piézométrie.

Chrysotoxum bicinctum

La méthode Syrph the Net

Entre 2014 et 2019, 12 sites ont fait l'objet d'un diagnostic Syrph the Net (StN). L'objectif était de tester la méthode StN pour suivre l'impact des actions du projet sur la fonctionnalité des écosystèmes tourbeux (zone épigée). Cette méthode est basée sur l'étude des peuplements de syrphes qui appartiennent à une famille de diptères.

► **Pourquoi faire des suivis basés sur les syrphes ?**
À l'état larvaire, les syrphes utilisent des niches écologiques restreintes et ont des exigences strictes. Ils sont considérés comme d'excellents bio-indicateurs de l'état de l'environnement (Speight M.C.D., 1986 & 1989; Sarthou J-P., 1996; Good J.A. et al., 1996; Burgio G. et al., 2007).

En France, les habitats, les micro-habitats et les traits de vie de plus de 95% des espèces de syrphes sont connus (Sarthou V. et al., 2010). À l'aide de ce taxon, il est possible d'investiguer à la fois la quasi-totalité des écosystèmes, une grande variété de leurs niches écologiques et les trois maillons trophiques principaux : zoophage, microphage et phytophage (Castella E. et al., 2008). Cette conjonction semble actuellement unique si l'on compare aux autres groupes d'insectes terrestres (Goeldlin P. et al., 2003; Sarthou J-P. et al., 2005; Fayt P. et al., 2006; Redon M., 2009).

En Europe, 875 espèces de diptères syrphidés sont inventoriées (Pape T. et al., 2015), 560 en France (Speight M.C.D.,

et al., 2016) et 340 en Franche-Comté (Claude J., in prep). Pour comparaison avec d'autres taxons plus couramment utilisés dans les suivis : 253 espèces de lépidoptères diurnes sont recensées en France, 103 chez les odonates et 240 chez les orthoptères ².

► Objectifs des études StN :

- réaliser un diagnostic initial en mesurant les altérations éventuelles que subit le site :
 - caractériser les communautés syrphidiennes du site,
 - analyser et comparer les assemblages d'espèces piégées selon la méthodologie StN par rapport au potentiel du site,
 - identifier et préciser les enjeux de conservation d'habitats et éventuellement de syrphes ;
- utiliser les capacités prédictives de la base de données pour définir les objectifs à atteindre qui, si possible, orienteront plus précisément les actions de restauration ;
- réaliser un second diagnostic « post-travaux » pour comparer l'évolution des communautés syrphidiennes avant et après travaux.

1 / « SYRPH THE NET » COMMENT ÇA MARCHE ?

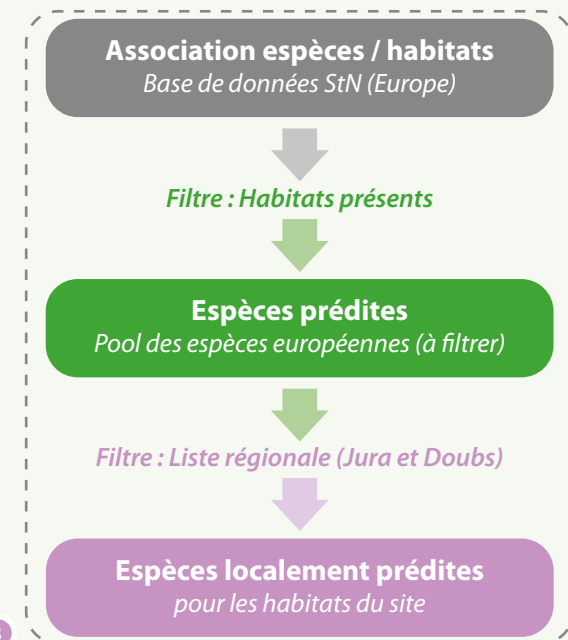
► StN est une méthode synthétique et analytique (Speight M.C.D., 2017) utilisant une base de données où sont encodées les associations espèces/habitats en fonction de leur typicité aux habitats larvaires :

- 0 : pas d'association ;
- 1 : association minimale (l'habitat est seulement utilisé de façon marginale par l'espèce) ;
- 2 : association moyenne (l'habitat fait partie de la gamme normale utilisée par l'espèce) ;
- 3 : association maximale (l'habitat est préférentiel pour l'espèce).

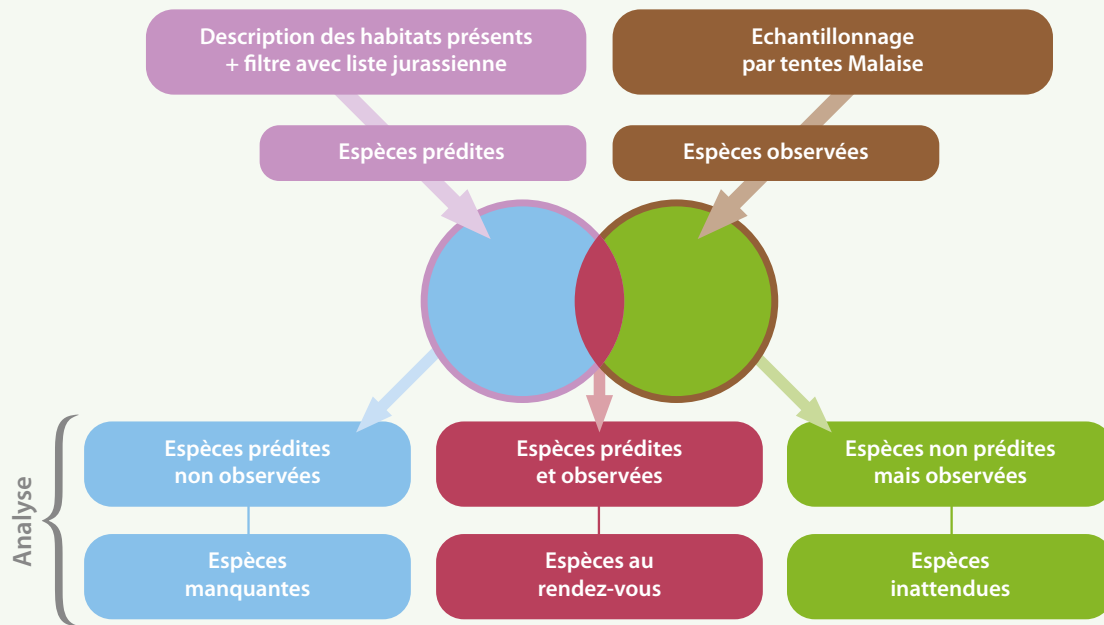
Indicateur	Nb d'espèces en France	Domaine d'application
Lépidoptères	253	Milieux ouverts
Odonates	103	Zones humides
Orthoptères	240	Milieux ouverts et lisières
Syrphes	560	Tous les habitats

² Place des syrphes dans les bio-indicateurs entomologiques terrestres « usuels »

À partir de la liste des habitats présents, une liste des espèces européennes prédites dans les habitats du site a été constituée. Cette première est ensuite filtrée avec celle des espèces régionales, ce qui permet d'obtenir une liste régionale des espèces attendues pour les habitats du site décrit ³.



³ Schéma du principe de l'élaboration de la liste des espèces prédites



4 Principe de la comparaison des listes d'espèces - Sources : Sarthou & Sarthou, 2010 modifié

En comparant la liste régionale des espèces prédites avec celle des espèces observées, trois types de listes d'espèces sont obtenues 4.

Les espèces « au rendez-vous », exprimées en pourcentage des espèces prédites, indiquent l'intégrité écologique de l'habitat ou de la station étudiée selon les seuils détaillés ci-dessous 5.

Intervalle	Intégrité	Description
[0-20%]	Très faible	Très insuffisante
[21-40%]	Faible	Insuffisante
[41-50%]	Moyenne	Moyenne
[51-75%]	Bonne	Bonne
[76-85%]	Très bonne	Très bonne
[86-100%]	Excellente	Excellente

5 Seuils d'appréciation des différents critères

Les listes d'espèces attendues et échantillonnées permettent de définir la qualité de la description des habitats et micro-habitats associés (notion se rapprochant de celle de l'intervalle de confiance - Claude J. & Dussaix C., in prep.).

2 / POINTS POSITIFS

► Mise en œuvre et contribution du diagnostic StN

Dans les sites où très peu d'études ont été réalisées, StN apporte les éléments suivants :

- l'échantillonnage des espèces présentes ;
- une quantification de la fonctionnalité du milieu étudié ;
- une identification des points forts/points faibles, quantification des dysfonctionnements et/ou des facteurs limitants, et une hiérarchisation de ces phénomènes ;

- un diagnostic initial avant gestion, travaux ou non intervention.

Dans les sites où de nombreuses études ont déjà été déployées par le gestionnaire, StN apporte :

- une quantification de la fonctionnalité écologique, comparable aux autres tourbières diagnostiquées ;
- des résultats opposables avec les résultats d'autres études permettant de les nuancer ou de les questionner (études sur l'état de conservation par ex, critère de typologie floristique des cartographies de végétation, etc.).

► Résultats des diagnostics écologiques StN

Une partie des tourbières du programme Life a fait l'objet d'un diagnostic initial avant travaux de réhabilitation.

Les analyses des communautés syrphidiennes ont permis de confirmer plusieurs perturbations/dysfonctionnements (ex : oscillations importantes de la nappe d'eau, assèchement des premières strates du sol ou encore boisement peu équilibré/fonctionnel car relativement trop jeune et homogène...).

L'interprétation des résultats conduit à questionner l'origine de ces phénomènes, anthropiques ou naturels :

- des dysfonctionnements dus à l'impact anthropique (ex : fossés de drainage, extraction de la tourbe...);
- des caractéristiques de fonctionnement naturel (ex : drainage induit par la topographie).

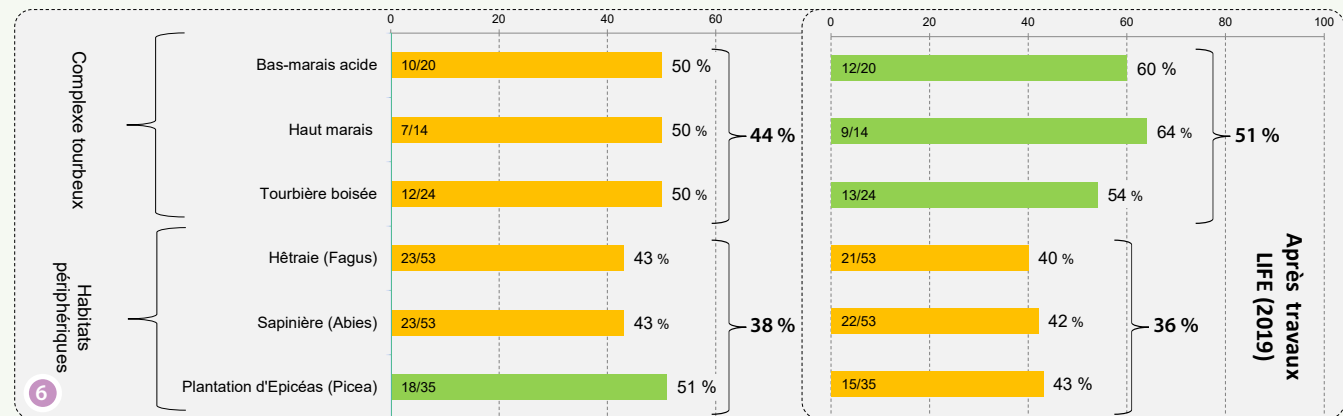
Contraint par les délais du programme, seulement deux diagnostics « post-travaux » ont été réalisés.

À la tourbière des Creugnots (Bonnétage, 25), l'intégrité écologique du site passe de 37 % en 2016 à 39 % en 2019. Comme attendu, une diminution de l'intégrité écologique

de la plantation d'épicéas, habitat anthropique non ciblé, qui a été déboisée ou ennoyée, est observée. Le diagnostic mesure surtout une augmentation de la fonctionnalité des habitats tourbeux : en lien avec la restauration hydrologique, l'intégrité écologique passant de 44 % à 51 % ⁶. Les effectifs des espèces tyrphobiontes ont décuplé et cela dans un contexte climatique défavorable aux espèces de zones humides lors de la réalisation de l'étude (Decoin R. et al., 2020). Les syrphes semblent bien répondre aux modifications des tourbières suite aux travaux Life et traduisent une première amélioration de la fonctionnalité écologique immédiatement après travaux.

À la tourbière des Douillons (Nanchez, 39), les travaux de restauration hydrologique ont permis la stabilité de l'intégrité écologique des habitats humides (tourbière de transition, bas-marais, phragmitaie) et cela malgré un contexte climatique très défavorable aux zones humides ces dernières années. Néanmoins, malgré une remontée des eaux de la nappe, le nombre d'espèces affiliées aux sols et/ou à la tourbe engorgée en eau et leurs effectifs n'ont pas encore augmenté. Les légères diminutions d'intégrité écologique de plusieurs habitats (prairie humide, mégaphorbiaie, tourbière boisée (*Betula/Pinus*) sont probablement la conséquence de l'effet interannuel de l'échantillonnage non exhaustif ; phénomène qui est d'autant plus présent sur les études réalisées en une seule année (Decoin R. et al., 2020).

Pour ces deux études, les analyses confirment plusieurs phénomènes toujours présents : oscillations de la nappe d'eau, manque de maturité du peuplement forestier, pauvreté floristique des bas-marais (tourbière des Creugnots uniquement). Globalement contraint par les échéances du programme Life, ces diagnostics post-travaux ont été planifiés trop tôt pour déceler d'importantes évolutions des habitats et l'apparition des espèces à colonisation lente (1 seule génération par an). La réalisation de diagnostics sur le moyen, long terme (10/20 ans après travaux) pourrait être riche d'enseignements. Cela permettrait par



Evaluation de la fonctionnalité des 6 habitats de la tourbière des Creugnots (Bonnétage, 25) (espèces au rdv/prédites). Les habitats obtiennent séparément une intégrité écologique plus élevée que lorsqu'ils sont interprétés ensemble. Cela s'explique par une dominance d'espèces euryèces (utilisant plusieurs type d'habitats) dans le cortège de syrphes échantillonnés. Les espèces manquantes sont à contrario majoritairement sténoèces (utilisant un nombre restreint d'habitats).

exemple de mieux cerner la recolonisation des syrphes sur des habitats favorables, phénomène encore trop peu étudié. Le programme Life contribuera t-il à rétablir un réseau de tourbières fonctionnelles pour les invertébrés ?

► Contribution significative à la connaissance de l'entomofaune régionale et nationale

Grâce aux 12 études StN menées sur les départements du Doubs et du Jura, les connaissances sur les syrphidae des tourbières se sont grandement renforcées : près de 25000 syrphes identifiés (les déterminations les plus complexes ont été confirmées par le docteur Martin C.D. Speight, expert européen) et transmis au géo-visualisateur de données biodiversité SIGOGNE ; six espèces de syrphes sont ajoutées à la faune franc-comtoise (*Cheilosia melanopa*, *Pelecocera tricincta*, *Platycheirus angustipes*, *Sphaerophoria chongjini*, *Trichopsomyia lucida*, *Xylota caeruleventris*). *Xylota caeruleventris* est nouvelle pour la France. Cette dernière tyrphobionte, fortement menacée à l'échelle européenne, n'est présente que dans trois tourbières restaurées dans le cadre du programme Life (Tissot B. et al., 2019). Dans les mois à venir, l'importante base de données obtenue va contribuer à l'établisse-

ment d'une liste rouge régionale des syrphes menacés, selon les critères et la méthodologie de l'UICN. C'est une première en France pour cette famille d'insectes.

Quelques chiffres

- **13 108** données au total (pour 52413 individus)
- **5 675** données sur les syrphidae (25261 individus / 256 espèces)
- **7 433** données entomofaune autre que syrphidae (pour 27152 individus / ~1000 espèces)

L'échantillonnage des diagnostics StN s'effectue à l'aide de tente Malaise (Malaise R., 1937), pièges passifs qui interceptent efficacement les insectes volants. Grâce à un tri poussé de nombreuses familles d'insectes (autres que les Syrphidae) et la collaboration de nombreux spécialistes, une quantité remarquable de données d'insectes a été valorisée (27000 insectes pour plus de 1000 espèces différentes). Les 7500 données obtenues alimentent di-

vers projets comme des atlas ou des révisions de faune de France. Les découvertes entomologiques faites grâce au programme Life, ont fait et feront l'objet d'articles scientifiques (Coppa G. et al., 2016 ; Dubois Q. et al., 2019). Ces études StN apportent une contribution majeure à la connaissance de la biodiversité des tourbières du Jura.

3 / POINTS NÉGATIFS

► Echéances trop courtes

Contraints par les échéances du programme Life (6 ans initialement prévus), les diagnostics post-travaux ont été planifiés trop tôt (seulement 3 ans après les travaux). Même si les syrphes semblent bien répondre aux modifications de leurs habitats, ce court pas de temps n'aura pas permis de constater l'apparition des espèces à colonisation lente (une seule génération par an) (Decoin R. et al., 2020).

► Problème d'adaptation de l'habitat StN « tourbière boisée » aux tourbières jurassiennes

L'épicéa est présent dans l'ensemble des tourbières jurassiennes et dans la quasi-totalité des diagnostics un cortège de syrphes affiliés aux épicéas était présent. Or, ces espèces ne sont pas intégrées dans l'habitat StN « tourbière boisée » qui comprend seulement les essences *Betula* et *Pinus*.

► Méthode StN et dépendance de la qualité de la cartographie de végétation du site étudié

Lors des diagnostics, la sélection des habitats étudiés est dépendante de la cartographie de végétation qui n'est pas assez précise ou trop ancienne pour certains sites, une actualisation aurait été souhaitable. De ce fait, même si la méthode StN est basée sur les microhabitats utilisés par les syrphes au stade larvaire, les résultats des analyses restent à l'échelle du macrohabitat (Speight M.C.D. et al., 2020).

► Biais méthodologique

Suite à des interrogations concernant des notes d'intégrités écologiques jugées trop faibles, une étude sur la

méthodologie StN a été menée pendant le programme Life (Gens H. et al., 2019). En milieux tourbeux, l'échantillonnage basé sur une seule année est sujet à un effet inter-annuel marqué. Les conclusions des diagnostics (dysfonctionnements décelés) sont similaires mais la quantification de l'intégrité écologique est variable d'une année à l'autre (probablement à cause des conditions climatiques). Ce biais méthodologique bride les comparaisons d'intégrités écologiques entre les différentes tourbières.

► Codage des espèces

Après toutes ces analyses, l'écologie de certaines espèces des tourbières du massif jurassien semble diverger de leur écologie encodée dans la base de données StN. Par exemple, *Eristalis rupium*, une espèce présumée affiliée aux tourbières boisées, est absente des 13 sites étudiés. En Franche-Comté, elle a uniquement été rencontrée dans des hêtraie-sapinières (Grand'Côte/Massacre/Risoux). Même si cette singularité ne concerne que quelques espèces, elle peut influencer sur les notes d'intégrité écologique de certains habitats appelant un nombre restreint d'espèces. Le programme Life va permettre d'améliorer la méthodologie StN pour les tourbières.

4 / POINT DE VUE GLOBAL

► Connaissance du site et pertinence des analyses StN

Pour l'étude des tourbières, l'outil « Syrph the Net » est plus aisé à mettre en œuvre sur des sites avec un bon niveau de connaissances, notamment une cartographie d'habitats fine et opérationnelle. Par contre, cet outil apporte plus d'éléments aux sites peu connus qu'aux tourbières ayant déjà fait l'objet d'études poussées (LIDAR, études hydrologie, etc).

► Retours en termes de gestion sur les sites Life

La plupart des diagnostics ont confirmé des dysfonctionnements hydrologiques et ont démontré la né-

cessité d'effectuer des travaux de réhabilitation des tourbières. Néanmoins, la méthode StN reste un outil d'évaluation quantifiée, ou de suivi, sans prétendre expliquer le fonctionnement complet d'une tourbière. Tout comme les études botaniques, les diagnostics StN n'étudient, à travers la faune, que la partie « épigée » des tourbières. Seules les études poussées en hydrologie et en géologie permettent de comprendre plus finement le fonctionnement de ces hydrogéosystèmes tourbeux et d'en tirer des applications de gestion. Il n'empêche que les suivis de la flore ou des invertébrés restent primordiaux pour quantifier les gains fonctionnels obtenus.

5 / PROPOSITIONS D'AMÉLIORATION

La méthode StN a été largement testée au cours de ce programme Life et différents aspects pourraient être améliorés dans les années à venir :

- grâce aux nombreuses données obtenues, l'encodage de l'écologie de quelques syrphes pourrait être retravaillé. La création d'un nouvel habitat « tourbière boisée *Betula/Pinus/Picea* », mieux adapté aux tourbières jurassiennes, est envisageable. Ces mises à jour affineront la quantification de l'intégrité écologique de certains habitats tourbeux ;
- suite à plusieurs tests, la méthodologie la plus adéquate consiste à employer deux couples de tentes Malaise sur deux années différentes (4TM au total), avec un positionnement au cœur de la tourbière (Gens H. et al., 2019). Dans la mesure du possible, il sera préférable d'entreprendre des échantillonnages sur 2 ans afin d'éviter le biais inter-annuel et d'analyser des données d'échantillonnages plus robustes.

La piézométrie

Le Life Tourbières du Jura s'est fixé plusieurs objectifs de réhabilitation, mesurés par des indicateurs de réalisation tels que le linéaire de fossé comblé, de linéaire de ruisseau reméandré ou encore de surface de fosses de tourbage remises en eau...

Sur une tourbière ou un cours d'eau, des investigations diagnostiques sont nécessaires à l'identification et à la quantification des perturbations. Les dégradations ou la disparition des habitats et la régression ou la disparition des espèces typiques, les modifications structurales et texturales des sols tourbeux (absence de fibres et de macrorestes) et l'eutrophisation des eaux de surface sont autant de signes révélateurs d'un dysfonctionne-

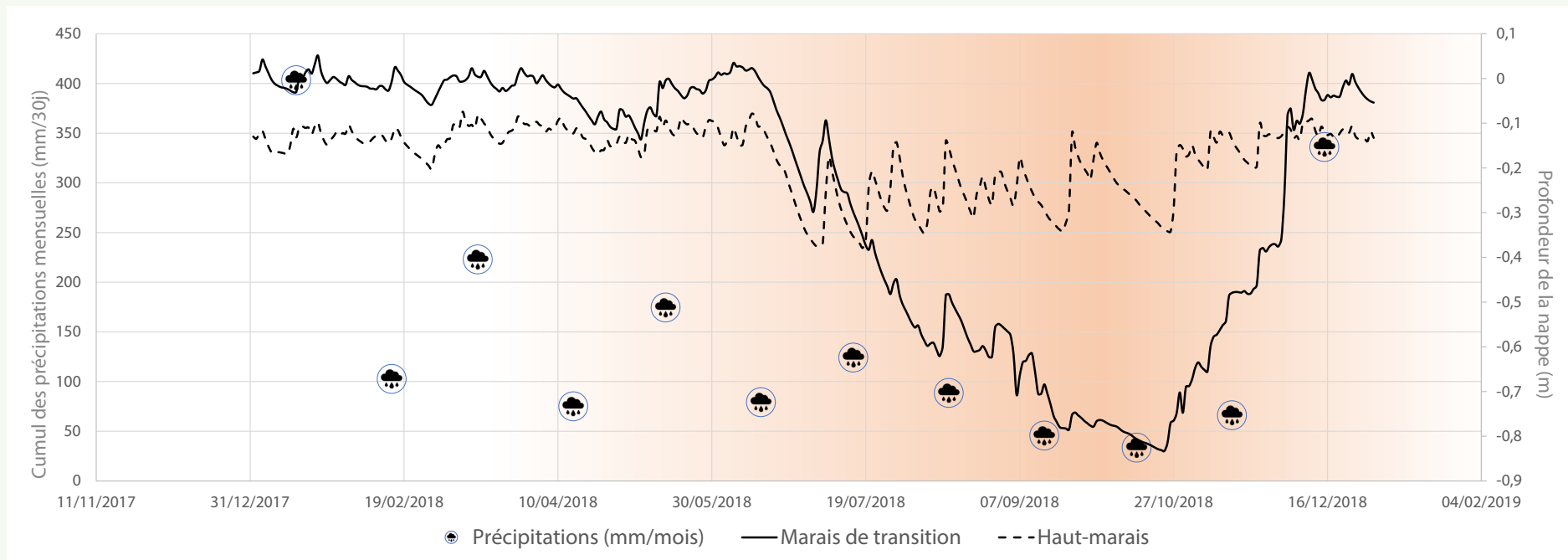
ment hydrologique : la quantité d'eau entrant dans l'hydrosystème n'est pas suffisante pour compenser celle qui en sort. Les composantes de cette balance hydrique doivent être caractérisées pour conclure à la nature de la perturbation et proposer des mesures de réhabilitation efficaces.

1 / POURQUOI S'INTÉRESSER À LA PIÉZOMÉTRIE ?

La piézométrie permet d'identifier mais surtout de quantifier les conséquences hydrologiques des perturbations lors de l'étude diagnostique et d'aider au dimensionnement des mesures de réhabilitation lors de l'étude avant travaux ⁷. Elle permet également de mesurer l'impact des travaux réalisés sur le fonctionnement hydroécologique et hydraulique.

Les mesures de réhabilitation visent à atteindre un meilleur état habitationnel et/ou fonctionnel en améliorant les conditions hydro-écologiques d'un site. Après intervention, l'eau peut circuler et se stocker différemment, mais comment observer et quantifier ces modifications ? Comment les rapprocher des mesures de réhabilitation et juger de l'efficacité de celles-ci ? Les suivis phytosociologiques sont, par exemple, indispensables à l'appréciation des résultats sur le moyen terme (2 à 10 ans...) mais ne permettent pas d'apprécier l'effet des mesures de réhabilitation sur la balance hydrique à court terme (0-2 ans).

La piézométrie présente un fort intérêt dans le cadre d'un programme Life parce qu'elle permet d'apprécier et de caractériser l'effet « travaux » très rapidement. Par contre, s'il est possible d'observer la remontée de la



⁷ Évolution de la profondeur de la nappe d'eau dans le corps de tourbe de deux marais au cours d'une année hydrologique

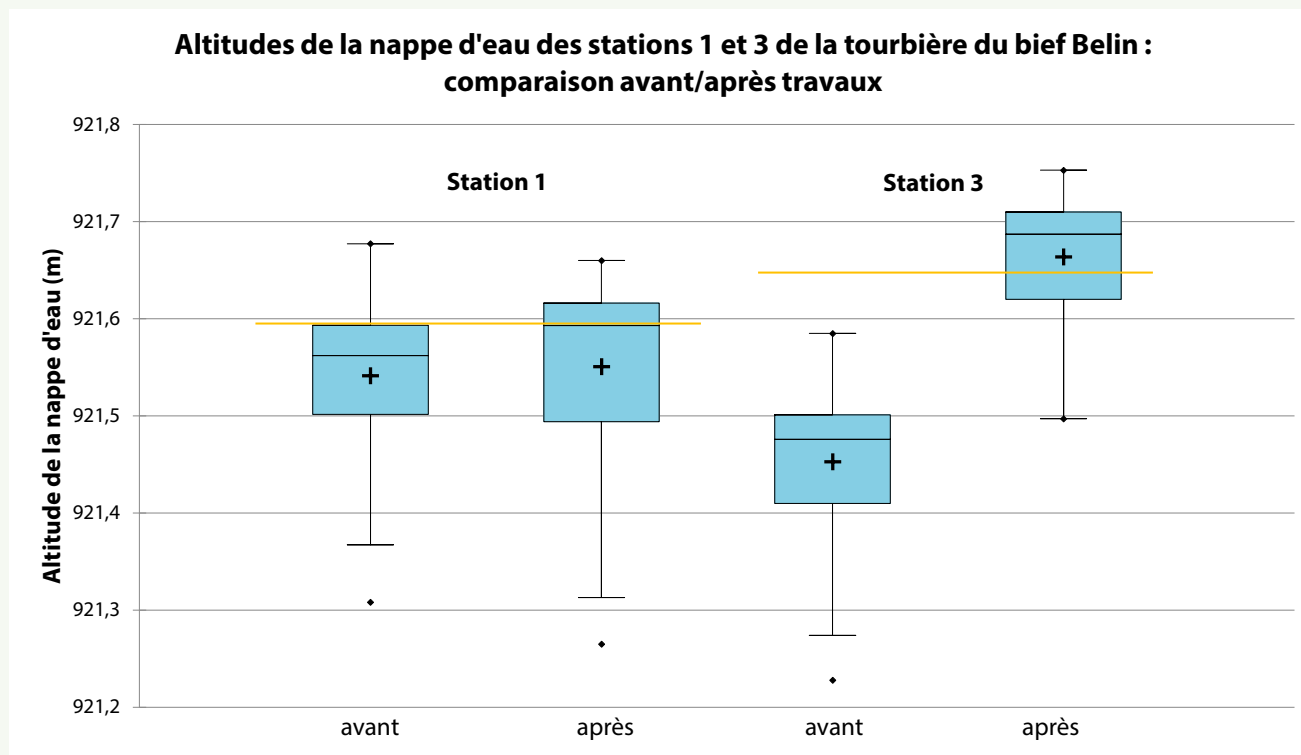
nappe dès les mois suivant l'intervention, il est préférable d'attendre une année hydrologique pleine pour commencer l'analyse fine (graphique/empirique et/ou statistique) des effets des mesures de réhabilitation sur le comportement piézométrique. Un travail plus poussé permet d'extrapoler ces résultats aux années futures et, par exemple, de formuler des hypothèses quant à la reprise de la végétation et sa structuration dans l'espace (x, y et z). A cette échelle de temps, il est donc tout à fait envisageable d'apporter des corrections aux mesures de restauration effectuées ou de tirer des enseignements pour la réalisation des travaux.

Sur le long terme, les conséquences des opérations de réhabilitation sur l'hydrologie et les habitats naturels sont incertaines. Un suivi piézométrique pourra apporter des réponses quant aux raisons des évolutions habitationnelles observées, donnera des précisions d'ordre hydrologique sur les conséquences à long terme des travaux de réhabilitation et leur effet sur la capacité de résilience de l'hydrosystème.

2 / DE LA THÉORIE À LA PRATIQUE

La piézométrie est utilisée pour caractériser la profondeur de la surface de la nappe d'eau. Elle trouve de nombreuses applications et est notamment utilisée dans le cadre du suivi du stock d'eau des aquifères captés. Dans la littérature, la dimension hydro-écologique n'est que peu abordée et donc par conséquent peu référencée et n'a pas permis d'utiliser l'outil piézométrique sur les sols tourbeux efficacement dès le début du programme Life.

De 2014 à 2020, notre manière d'instrumenter les sites, de récolter, traiter et interpréter les données a évolué. Comme dans toute démarche scientifique, pour que les données soient utilisables, il faut mûrement réfléchir au dispositif mis en place et rédiger un protocole, tout en ne négligeant ni le temps ni le coût de sa mise en place, de sa maintenance et de la valorisation des données. Les



8 Exemple de boîtes à moustache permettant une comparaison avant/après travaux des données piézométriques

agents du Life tourbières du Jura se sont peu à peu approprié cet outil avec l'aide de bureaux d'études et d'universitaires afin d'améliorer leur technicité, d'adapter cet outil aux investigations hydro-géo-écologiques en tourbière et répondre au mieux aux questions scientifiques posées.

Au moment de la rédaction de ce recueil, un projet de guide technique sur la piézométrie en tourbières est porté par le Pôle-relais tourbières, qui permettra aux gestionnaires d'aborder l'outil piézométrique de façon « clef en main ». Le Life tourbières du Jura y apportera son retour d'expérience.

3 / EXEMPLE DE MISE EN FORME

Dans les fiches de retour d'expérience de travaux, le comportement piézométrique de la nappe d'eau est présenté sous forme de « boîte à moustache ». Cette représentation graphique a l'avantage d'être connue et peut donc être interprétée par la plupart de nos lecteurs. Elle a l'avantage également de présenter de manière synthétisée plusieurs informations : les valeurs minimum, maximum et extrêmes ainsi que les quartiles 25, 50 (médiane) et 75 qui permettent d'apprécier la stabilité et le temps de séjour de la nappe. Plusieurs pages de données peuvent être comparées comme les valeurs d'altitude de nappe avant et après travaux 8.

Bibliographie

- BEDOLLA, A. 2013.** *Hydrologie et potentiel de restauration de quelques marais français et suisses - Notes des visites de terrain d'experts réunis à l'occasion de la venue d'Ab Grootjans - 24-29 juin 2012.* WSL. 16 p.
- BETTINELLI, L. ; GHARET, S. ; TISSOT, B. ; LANGLOIS, D. 2010.** *Les syrphes : les nouveaux « indicis » des gestionnaires.* L'azuré, n°10. p 6-7.
- BICHET, V. CAMPY, M. 2016.** *Montagnes du Jura, géologie et paysages.* Cinquième édition. Néo éditions. 304 p.
- BILLANT, O. 2015.** *Tourbière des Cerneux-Gourinots (Fournet-Blancheroche, Frambouhans et Les Ecorces, 25).* Renouveau du plan de gestion 2015-2024. Conservatoire d'espaces naturels de Franche-Comté ; Conseil général du Doubs ; Conseil régional de Franche-Comté ; Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse. 55 p. + annexes.
- BIOTEC. 2016.** *Restauration du bief Noir et du bief Février, affluents du lac des Rousses, commune des Rousses.* Dossier d'autorisation au titre des articles L.214-1 à 6 du Code de l'Environnement.
- BRICOTTE, V. & GOULMY, F. 2001.** *Potentiel biocénétique de trois affluents du Drugeon, Gouterot, Bief Voulain & Bief Rouget.* Mémoire DESS qualité des eaux et bassins versants, Université de Franche-Comté. 46 p. + annexes.
- BRIOT, M. 2004.** *Restauration des capacités biogènes des tourbières : Etude hydrogéologique, hydrologique, et pédologique d'une zone sous influence d'un drain dans la Réserve Naturelle de Frasne (Doubs, France).* Rapport de stage, SMMAHD. 30 p. + annexes.
- BURGIO, G. & SOMMAGIO, D. 2007.** *Syrphids as Landscape Bioindicators in Italian Agroecosystems.* Agric. Ecosys. Environ., n°120. p 416-422.
- CASTELLA, E. & SPEIGHT, M.C.D. 1996.** *Knowledge representation using fuzzy coded variables: an example based on the use of Syrphidae (Insecta, Diptera) in the assessment of riverine wetlands.* Ecological Modelling, vol. 85, p 13-25.
- CASTELLA, E. ; SPEIGHT, M.C.D. ; SARTHOU, J-P. 2008.** *L'envol des syrphes.* Espaces naturels, n°21. p 22-23.
- CLAUDE, J. ; TISSOT, B. ; SPEIGHT, M. 2015.** *Diagnostic écologique de la Grande Seigne (Houtaud/Les Granges Narboz - 25) par la méthode « Syrph the Net » : Etat initial avant travaux de réhabilitation.* Rapport d'étude, Les amis de la réserve naturelle du lac de Remoray. 22 p. + annexes. DOI 10.13140/RG.2.2.35703.01449.
- CLAUDE, J. ; TISSOT, B. ; GENS, H. & SPEIGHT, M. 2016.** *Diagnostic écologique de la tourbière des Rousses (Les Rousses - 39) par la méthode « Syrph the Net » : Etat initial avant travaux de réhabilitation.* Rapport d'étude, Les amis de la réserve naturelle du lac de Remoray. 27 p. + annexes.
- CLAUDE, J. ; TISSOT, B. ; SPEIGHT, M. 2016.** *Diagnostic écologique de la tourbière des Douillons (Nanchez - 39) par la méthode « Syrph the Net » : Etat initial avant travaux de réhabilitation.* Rapport d'étude, Les amis de la réserve naturelle du lac de Remoray. 24 p. + annexes. DOI 10.13140/RG.2.2.11376.05120.
- CLAUDE, J. ; TISSOT, B. ; GENS, H. ; SPEIGHT, M. 2016.** *Diagnostic écologique de la tourbière des Rousses (Les Rousses - 39) par la méthode « Syrph the Net » : Etat initial avant travaux de réhabilitation.* Rapport d'étude, Les amis de la réserve naturelle du lac de Remoray. 22 p. + annexes. DOI: 10.13140/RG.2.2.30621.41441.
- CLAUDE, J. ; TISSOT, B. ; SPEIGHT, M. 2017.** *Diagnostic écologique de la tourbière des Creugnots (Bonnétage et Saint-Julien-les-Russey-25) par la méthode « Syrph the Net » : Etat initial avant travaux de réhabilitation.* Rapport d'étude, Les amis de la réserve naturelle du lac de Remoray. 22 p. + annexes. DOI: 10.13140/RG.2.2.23910.52806.
- CLAUDE, J. En préparation.** *Compilation des données de Syrphes (Diptera : Syrphidae) de la région Franche-Comté février, 2019.* Les amis de la réserve naturelle du lac de Remoray. 1 feuille (excel).
- CLAUDE, J. & DUSSAIX, C. En préparation.** *Diagnostic écologique des zones humides et habitats périphériques du Grand Etang de Saint-Mars-La-Brière (72) par la méthode "Syrph the Net".* 17 p.
- COLLIN, L. 2016.** *Etablissement d'un modèle conceptuel du fonctionnement hydro-écologique de la tourbière de Frasne (25, France).* Rapport de stage, SMMAHD.
- COLLIN, L. 2018.** *Tourbière du lac de Malpas : Diagnostic hydro-écologique.* SMMAHD. 15p.
- COLLIN, L. 2018.** *Tourbière du lac de Malpas : Etude avant-travaux AVP PRO.* SMMAHD. 28p.
- COPPA, G. ; G. REDING, J-P. ; CLAUDE, J. 2016.** *Présence de Limnephilus pati dans le département du Doubs (France).* Ephemera, vol 18(1). p15-20.
- DECOIN, R. ; CLAUDE, J. ; MAZUEZ, C. ; TISSOT, B. 2020.** *Diagnostic écologique de la tourbière des Creugnots (Bonnétage et Saint-Julien-les-Russey -25) par la méthode « Syrph the Net » : Etat après travaux de réhabilitation.* Rapport d'étude, Les amis de la réserve naturelle du lac de Remoray. 33 p. + annexes.
- DREAL FRANCHE-COMTÉ. 2013.** *430002290, Zones humides de Vau Les Aigues à la Loitière.* INPN SPN - MNHN Paris. 26p.

DUBOIS, Q. & CLAUDE, J. 2019. *Le Nacré de la Canneberge Boloria aquilonaris (Stichel, 1908) dans la tourbière des Rousses (FR, 39) : analyse génétique et mise en contexte à l'aide de populations belges et suisses.* Revue scientifique Bourgogne-Franche-Comté Nature, n°30. p 107-112.

FAYT, P. ; DUFRÊNE, M. ; BRANQUART, E. ; HASTIR, P. ; PONTÉGNIE, C. ; HENIN, J.-M. ; VERSTEIRT, V. 2006. *Contrasting Responses of Saproxylic Insects to Focal Habitat Resources: The Example of Longhorn Beetles and Hoverflies in Belgian Deciduous Forests.* Journal of Insect Conservation, Volume 10, n°2. p 129-150.

GAUTHIER, E. ; JASSEY, V. ; MITCHELL, E. ; LAMENTOWICZ, M. ; PAYNE, R. ; DELARUE, F. ; LAGGOUN-DEFARGE, F. ; GILBERT, D. ; RICHARD, H. 2019. *From Climatic to Anthropogenic Drivers: A Multi-Proxy Reconstruction of Vegetation and Peatland Development in the French Jura Mountains.* Quaternary 2019, 2, 38. 13p. DOI : 10.3390/quat2040038.

GENS, H. ; TISSOT, B. ; CLAUDE, J. ; SPEIGHT, M. 2017. *Diagnostics écologiques des tourbières des pestiférés (Chapelle-des-bois - 25) et des Mortes (Bellefontaine - 39) par la méthode « Syrph the Net ».* Rapport d'étude, Les amis de la réserve naturelle du lac de Remoray. 37 p. + annexes.

GENS, H. ; MAZUEZ, C. ; CLAUDE, J. ; DECOIN, R. ; TISSOT, B. 2019. *Critique méthodologique du système expert « Syrph the Net » via 2 diagnostics écologiques de la tourbière des Mortes (Bellefontaine - 39).* Rapport d'étude, Les amis de la réserve naturelle du lac de Remoray. 29 p. + annexes.

GENS, H. ; TISSOT, B. ; CLAUDE, J. ; MAZUEZ, C. 2019. *Diagnostic écologique de la tourbière des Berthets (Les Rousses - 39) par la méthode « Syrph the Net ».* Rapport d'étude, Les amis de la réserve naturelle du lac de Remoray. 29 p. + annexes.

GENS, H. ; TISSOT, B. ; CLAUDE, J. ; MAZUEZ, C. 2019. *Diagnostic écologique de la tourbière du Boulou (Lamoura - 39) par la méthode « Syrph the Net ».* Rapport d'étude, Les amis de la réserve naturelle du lac de Remoray. 28 p. + annexes.

GEORGET, S. 2013. *Etude géotechnique préliminaire de site, chemin, Foncine-le-Haut (39).* Alios ingénierie ; Commune de Foncine-le-Haut. 18 p. + annexes.

GOELDLIN, P. ; DELARZE, R. ; CASTELLA, E. ; SPEIGHT, M.C.D. 2003. *Les insectes indicateurs.* Mémoire de la société vaudoise des sciences naturelles, n°20. p 259-267.

GOOD, J.A. & SPEIGHT, M.C.D. 1996. *Saproxylic invertebrates and their conservation throughout Europe.* Convention on the Conservation of European Wildlife and their Natural Habitats. Conseil de l'Europe. 52 p.

GOUBET, P. 2015. *Résultat d'expertise de l'analyse des macrorestes de carottes de tourbe de la tourbière active de Frasne (25, France).* SMMAHD. 9 p.

GOUBET, P. 2016. *Résultat d'expertise de l'analyse des macrorestes de carotte de tourbe de la tourbière de la Seigne des Barbouillons (25, France).* SMMAHD.

GOUBET, P. ; TOURMAN, A. 2018. *Diagnostic fonctionnel de la tourbière de la Seigne des Barbouillons.* Compte-rendu d'étude commandée par le Syndicat mixte des milieux aquatiques du Haut-Doubs. Cabinet Pierre Goubet. 30 p.

GROSVERNIER, P. 2005. *Expertise hydroécologique de la tourbière du Forbonnet (Commune de Frasne, France).* Compte-rendu d'étude du cabinet LIN'eco. SMMAHD. 7 p.

GROSVERNIER, P. ; STAUBLI, P. 2009. *Régénération des hauts-marais. Bases et mesures techniques.* L'environnement pratique, n° 0918. Office fédéral de l'environnement. 96p.

GROSVERNIER, P. 2011. *Enjeux de conservation et potentialités de restauration de la tourbière du forbonnet (Commune de Frasne, France).* Compte-rendu d'étude du cabinet LIN'eco. SMMAHD. 22 diapositives.

GROSVERNIER, P. 2014. *Tourbière de la Grande Seigne - Eléments d'analyse pour un diagnostic hydroécologique du site.* SMMAHD. 38p.

GROSVERNIER, P. 2014. *Fermeture de fossés au Creux au Lard, tourbière du Forbonnet (Commune de Frasne, France).* Compte-rendu d'étude du cabinet LIN'eco. SMMAHD. 16 diapositives.

GROSVERNIER, P. ; CONTESSE, E. ; POTTIER, Y. ; MONTAVON, C. 2017. *Tourbière de la Grande Seigne - Définition des enjeux de conservation et des potentialités de restauration.* SMMAHD Life tourbières du Jura. 51p.

GROSVERNIER, P. & MONTAVON, C. 2018. *Tourbière de la Grande Seigne - Analyse hydrologique : circulation des eaux en provenance des collines morainiques avant et après travaux de revitalisation.* SMMAHD Life tourbières du Jura. 14p.

GUYONNEAU, J. 2004. *Le marais des Levresses, Réserve naturelle régionale des tourbières de Frasne - 25 : Etude de la végétation et renaturation hydrologique.* Mémoire de stage, Université de Nancy I, Institut national polytechnique de Lorraine, Université de Metz. 38 p. : Bibliogr. p. 40-43 + annexes.

GUYONNEAU, J. 2010. *Relevés floristiques réalisés sur les carrés permanents de la combe tourbeuse de la RNR Frasne-Bouverans (25).* SMMAHD.

HOBBS, R.J. ; COLE, D.N. ; YUNG, L. ; ZAVALETA, E.S. ; APLET, G.H. ; CHAPIN, F.S. ; LANDRES, P.B. ; PARSONS, D.J. ; STEPHENSON, N.L. ; WHITE, P.S. ; GRABER, D.M. ; HIGGS, E.S. ; MILLAR, C.I. ; RANDALL, J.M. ; TONNESSEN, K.A. ; WOODLEY, S. 2009. *Guiding concepts for protected area*

stewardship in an era of global environmental change. *Frontiers in Ecology and the Environment*. E-View pre-print. 8 p.

HUGONNOT, V. 2021. *Suivi de la végétation vasculaire et des bryophytes après travaux de restauration hydrologique - Tourbière des Rousses (les Rousses-39) - Année n+2 - 2020*. 45 p.

LHOSMOT, A. En préparation. *Réactivité du carbone dans les interactions combinant l'atmosphère et les tourbières : combiner l'analyse hydrogéochimique et des flux de gaz à effet de serre à l'échelle des microsites pour contraindre la variabilité spatio-temporelle des fonctions puits et émetteur de C de la tourbière de Frasne (25)*. Thèse de doctorat, Laboratoire de chrono-environnement, Université de Franche-Comté.

MAGNON, G. 2011. *Compte-rendu de travaux - fermeture des fossés de la tourbière des Levresses Contrat natura 2000*. Communauté de communes Frasne-Drugeon. 16 p.

MAGNON, G. & CALVAR, E. 2012. *Éléments constitutifs en vue d'une demande de classement d'un site en Réserve Naturelle Régionale, site des tourbières de Frasne-Bouverans (25, France)*. SMMAHD. 139 p.

MAGNY, M. & RICHARD, H. 1987. *Contribution à l'histoire Holocène du lac des Rousses (Jura, France) : recherches sédimentologiques et palynologiques*. *Revue de paléobiologie*, 6-1. p 89-103.

MALAISE, R. 1937. *A new insect trap*. *Entomologisk tidskrift* n° 58. p 148-160.

MONCORGÉ, S. & GISBERT, M. 2016. *Plan d'actions en faveur des tourbières de Franche-Comté 2016-2025*. Conservatoire d'espaces naturels de Franche-Comté. Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse ; Conseil régional de Bourgogne-Franche-Comté ; Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement de Bourgogne-Franche-Comté. 153p. + annexes.

MONCORGÉ, S. & COTTE, B. 2016. *Route forestière de la tourbière de l'Entrecôte à Foncine-le-Haut (39), Choix du principe de réhabilitation et techniques envisagées*. Conservatoire d'espaces naturels de Franche-Comté. Union européenne ; Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse ; Conseil régional de Bourgogne-Franche-Comté ; Conseil départemental du Jura. 5 p.

MONCORGÉ, S. 2017. *Tourbière de Villeneuve-d'Amont (25) - Plan de gestion 2017-2026*. Conservatoire d'espaces naturels de Franche-Comté. Union européenne ; Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse ; Conseil régional de Bourgogne-Franche-Comté ; Conseil départemental du Doubs. 59 p. + annexes.

MONCORGÉ, S. & LANGLADE, J. 2018. *Route forestière de la tourbière de l'Entrecôte à Foncine-le-Haut (39), avant-projet détaillé – version provisoire*. Conservatoire d'espaces naturels de Franche-Comté. Union européenne ; Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse ; Conseil régional de Bourgogne-Franche-Comté ; Conseil départemental du Jura. 22 p. + annexes.

NALDEO. 2017. *Conception d'un ouvrage de franchissement piscicole sur le Drugeon à Bannans*. SMMAHD. 35 p.

ONF. 2020. *Restauration de la route forestière dans la tourbière d'Entrecôtes, projet*. Version du 17 février 2020. Commune de Foncine-le-Haut ; Conservatoire d'espaces naturels de Franche-Comté. 13 p.

PAPE, T. ; BEUK, P. ; PONT, A. ; SHATALKIN, A. ; OZEROV, A. ; WOŹNICA, A. ; MERZ, B. ; BYSTROWSKI, C. ; RAPER, C. ; BERGSTRÖM, C. ; KEHLMAIER, C. ; CLEMENTS, D. ; GREATHEAD, D. ; KAMENEVA, E. ; NARTSHUK, E. ; PETERSEN, F. ; WEBER, G. ; BÄCHLI, G. ; GELLER-GRIMM, F. ; VAN DE WEYER, G. ; TSCHORSNIG, H. ; DE JONG, H. ; VAN ZUIJLEN, J. ; VAÑHARA, J. ; ROHÁČEK, J. ; ZIEGLER, J. ; MAJER, J. ; HŮRKA, K. ; HOLSTON, K. ; ROGNES, K. ; GREVE-JENSEN, L. ; MUNARI, L. ; DE MEYER, M. ;

POLLET, M. ; SPEIGHT, M. ; EBEJER, M. ; MARTINEZ, M. ; CARLES-TOLRÁ, M. ; FÖLDVÁRI, M. ; CHVÁLA, M. ; BARTÁK, M. ; EVENHUIS, N. ; CHANDLER, P. ; CERRETTI, P. ; MEIER, R. ; ROZKOSNY, R. ; PRESCHER, S. ; GAIMARI, S. ; ZATWARNICKI, T. ; ZEEGERS, T. ; DIKOW, T. ; KORNEYEV, V. ; RICHTER, V. ; MICHELSEN, V. ; TANASIYTSYUK, V. ; MATHIS, W. ; HUBENOV, Z. ; DE JONG, Y. 2015. *Fauna Europaea: Diptera - Brachycera*. *Biodiversity Data Journal* 3: e4187. DOI: 10.3897/BDJ.3.e4187.

PIERRE, B. 2008. *Caractérisation écologique d'un petit cours d'eau de marais : le Gouterot*. Mémoire M2 qtebv, Université de Franche-Comté. 52 p. + annexes.

POTIER, Y. & GROSVERNIER, P. 2018. *Mesures de restauration hydrologiques en faveur de la tourbière de la Grande Seigne, Cahier des plans et schémas des principes d'exécution*. SMMAHD. 33 p.

REDON, M. 2009. *Trois méthodes d'évaluation pour l'expertise biodiversité d'un petit bois privé : application, comparaisons, complémentarités*. Mémoire de Master 2 « Expertise faune-flore, inventaires et indicateurs de biodiversité », MNHN. 26 p. + annexes.

RESCH, J-N. & LANGLADE, J. 2017. *L'utilisation des données Lidar pour la restauration de milieux naturels*. *L'azuré*, n°24. p 4-7.

SARTHOU, J.P. 1996. *Contribution à l'étude systématique, biogéographique et agroécocénotique des syrphidae (insecta, diptera) du sud-ouest de la France*. Thèses de doctorat, Institut national polytechnique de Toulouse. 251 p.

SARTHOU, J-P. & SPEIGHT, M.C.D. 2005. *Les diptères Syrphidae, peuple de tous les espaces*. *Insectes*, n°137. p 3-8.

SARTHOU, V. & SARTHOU, J.P. 2010. *Évaluation écologique d'écosystèmes forestiers de Réserves Naturelles de Haute-Savoie à l'aide des Diptères Syrphidés*. *Syrph the Net, the database of European Syrphidae*. *Syrph the Net publications*, vol. 62. 131 p.

SOMMAGGIO, D. 1999. *Syrphidae : can they be used as environmental bioindicators ?*. Agriculture, Ecosystems and Environment, n°74. p 343-356.

SPEIGHT, M.C.D. 1986. *Criteria for the selection of insects to be used as bioindicators in nature conservation research*. Proc. 3rd Eur. Cong. Ent. Amsterdam, n°3. p 485-488.

SPEIGHT, M.C.D. 1989. *Les invertébrés saproxyliques et leur protection*. Conseil de l'Europe. Collection Sauvegarde de la Nature, n° 42. 77 p.

SPEIGHT, M.C.D. 2016. *Species accounts of European Syrphidae 2016*. Syrph the Net, the database of European Syrphidae (Diptera). Syrph the Net publications, vol. 93. 288 pp.

SPEIGHT, M.C.D. 2017. *The Syrph the Net database of European Syrphidae (Diptera), past, present and future*. Syrph the Net, the database of European Syrphidae (Diptera). Syrph the Net publications, vol. 96. 19 p.

SPEIGHT, M.C.D. & CASTELLA, E. 2020. *StN Database: Content and Glossary of terms, 2020*. Syrph the Net, the database of European Syrphidae (Diptera). Syrph the Net publications, vol. 107. 98 p.

STEINER, G-M. 2005. Moortypen. Stapfia, 85. p 5-2.

TELEOS-SUISSE. 2014. *Restauration du Gouterot, volume 1. Du diagnostic physique a la restauration*. SMMAH. 11 p.

TELEOS-SUISSE. 2014. *Restauration du Gouterot, volume 2. Expertise hydraulique*. SMMAH. 75p.

TISSOT, B. ; CLAUDE, J. ; SPEIGHT, M. 2019. *Découverte de Xylota caeruleventris (Zetterstedt, 1838), nouvelle espèce de Syrphes pour la France (Diptera Syrphidae)*. L'entomologiste, tome 75, n°3. p 177-180.

Life tourbières du Jura, la Web-émission

Afin de restituer les 7 années d'actions de ce programme, l'équipe du Life tourbières du Jura a présenté son bilan lors d'une web-émission. Divisée en 3 parties d'1h30 chacune, cette émission a permis d'exposer de manière dynamique, avec une vingtaine d'intervenants en plateau et en visio, la philosophie d'intervention du programme, les études préalables, les travaux réalisés, les résultats obtenus et les actions de valorisation mises en place.

Cet enregistrement digital se divise en 3 parties :

- Emission 1 : Un programme ambitieux à l'écoute des tourbières
- Emission 2 : Les travaux - quelques cas concrets
- Emission 3 : Les réponses des écosystèmes & un patrimoine (re)découvert

La Web-émission est disponible en replay sur le site www.life-tourbieres-jura.fr.



Ce recueil a pour but de partager l'expérience acquise sur les sept années du programme Life « Réhabilitation fonctionnelle des tourbières du massif du Jura ». Il se divise en trois parties :

- une présentation générale du programme, des particularités des tourbières jurassiennes, puis des différentes approches et outils utilisés pour concevoir les travaux ;
- une sélection de 12 exemples concrets de travaux de réhabilitation réalisés, illustrant la diversité des problématiques rencontrées ;
- un retour sur les différentes techniques utilisées, de la restauration au suivi en passant par l'ouverture au public.



Bénéficiaire coordinateur



Bénéficiaires associés



Avec le soutien financier de



Conservatoire d'espaces naturels de Franche-Comté
Maison de l'environnement de Bourgogne-Franche-Comté
7 rue Voirin
25 000 Besançon - France
+33 (0)3 81 53 04 20 / www.life-tourbieres-jura.fr



Dépot légal : novembre 2021
ISBN : 978-2-9581074-1-3