



Les tourbières du Bief du Nanchez ©Corvus-monitoring / LIFE Tourbières

Caractérisation et cartographie des complexes tourbeux de la Réserve Naturelle Régionale des tourbières du Bief du Nanchez, Haut-Jura

Mémoire de Master 2 Gestion et évaluation des environnements montagnards

Dossier élaboré par : Gabriel Riethmuller

Encadré par : Séverine Goertz, Manuel Lembke et Daniel Gilbert

Enseignant référent : Gérard Briane

Université Toulouse Jean-Jaurès : Master GEMO

Date : 03/03/2025 au 30/05/2025



Réserve Naturelle
TOURBIÈRES DU BIEF DU NANCHEZ



Attestation sur l'honneur

Je soussigné

Nom, prénom : Riethmuller, Gabriel

Master 2 GAED

Parcours : GEMO

Année universitaire : 2024 / 2025

Certifie sur l'honneur que le document joint à la présente déclaration :

- Est un travail original, c'est-à-dire que :
 - o toute idée ou formulation tirée d'un ouvrage, article ou mémoire, en version imprimée ou électronique, mentionne explicitement et précisément leur origine
 - o toute source (site internet, recueil de discours, etc.) est précisément citée
 - o les citations intégrales sont signalées entre guillemets ou sous la forme d'un paragraphe clairement identifié lorsqu'il s'agit de citations longues
- N'a pas été rédigé, même partiellement, par une intelligence artificielle
- N'a pas été structuré, même partiellement, par une intelligence artificielle
- Ne s'appuie pas sur une synthèse réalisée par une intelligence artificielle (synthèse bibliographique par exemple)
- Ne présente pas d'illustration, carte, image, etc. générée par une intelligence artificielle

Par ailleurs, je déclare avoir utilisé une intelligence artificielle pour : [cocher la ou les cases si nécessaire]

- Corriger l'orthographe et le style de mon mémoire
- Traduire des passages de publications en langue étrangère. *Dans ce cas, les passages utilisés dans le mémoire sont clairement identifiés et précisent quel logiciel d'IA a été mobilisé*

Fait à Lajoux

Le 22/04/2025

Signature

Riethmuller Gabriel

Résumé

Ce présent mémoire de stage de Master 2 "Gestion et évaluation des environnements montagnards" s'inscrit dans un contexte d'amélioration des connaissances de la RNR des tourbières du bief du Nanchez, afin d'aider le PNR du Haut-Jura à orienter sa gestion du site dans le cadre de la rédaction du premier plan de gestion. Ce mémoire explore plusieurs paramètres tels que la profondeur de tourbe, la surface des complexes, leur topographie, la direction des écoulements, la qualité de tourbe et le potentiel stock de carbone, pour aboutir à une estimation de l'état de conservation des sites. L'étude de ces paramètres est basée sur deux protocoles de terrain. Le premier correspond au protocole de sondage pédologique destiné à définir la superficie des complexes tourbeux à partir d'un critère de 40cm de tourbe minimum et d'estimer le volume de tourbe par interpolation des points de sondage. Le deuxième correspond au protocole de prélèvements destiné à l'analyse de la qualité de la tourbe en laboratoire et à l'estimation du stock de carbone des tourbières. À cela, se sont ajoutées plusieurs analyses cartographiques de manière à visualiser les profils topographiques des sites et les directions des écoulements potentiels. L'ensemble de ces paramètres couplés aux données de végétations issues de l'expertise écologique de Rémi Collaud, a permis d'aboutir à une estimation de l'état de conservation de 4 sites sur les 5 composant la Réserve.

Abstract

This Master 2 "Gestion et évaluation des environnements montagnards" internship dissertation is part of a project to improve knowledge of the RNR des tourbières du bief du Nanchez, in order to help the PNR du Haut-Jura guide its management of the site as part of the drafting of the first management plan. This dissertation explores several parameters, such as peat depth, complex surface area, topography, flow direction, peat quality and potential carbon stock, in order to estimate the conservation status of the sites. The study of these parameters is based on two field protocols. The first is a soil sampling protocol designed to define the surface area of peat complexes based on a criterion of a minimum of 40cm of peat, and to estimate the volume of peat by interpolating the sampling points. The second is a sampling protocol for laboratory analysis of peat quality and estimation of peatland carbon stock. In addition, several cartographic analyses were carried out to visualize the topographical profiles of the sites and the directions of potential flows. All these parameters, coupled with vegetation data from Rémi Collaud's ecological expertise, enabled us to estimate the state of conservation of 4 of the 5 sites making up the Reserve.

Remerciements

Je tiens à exprimer ma gratitude à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce mémoire de Master 2.

Tout d'abord, j'aimerais remercier l'ensemble des employés du Parc, pour leur accueil dans la structure et leur bienveillance tout au long de ma période de stage.

Je souhaite également remercier **Séverine GOERTZ**, conservatrice de la Réserve et **Manuel LEMBKE**, chef du service MNAF, pour m'avoir encadré pendant ces trois mois de stage. Je vous remercie, pour l'accueil que vous m'avez accordé au sein du service, vos conseils et votre disponibilité pour les nombreuses relectures du rapport.

Je remercie aussi **Pierre DURLET**, chargé de mission milieux naturels, Natura 2000, zones humides et avifaune et **Daniel GILBERT**, Enseignant chercheur au laboratoire Chrono Environnement, pour votre partage de connaissances en écologie des tourbières, vos relectures et vos conseils avisés, qui ont aidé dans la rédaction de mon mémoire.

J'aimerais remercier **Marie-Laure TOUSSAINT**, ingénieure d'étude au laboratoire Chrono Environnement, pour l'accueil que vous m'avez accordé au laboratoire de Montbéliard, votre bienveillance, vos conseils et l'apprentissage que vous m'avez fourni. Merci également d'avoir pris le temps de finir les dernières pesées qui n'avaient pas pu être terminées à temps.

Je tiens également à remercier **Gérard BRIANE**, enseignant chercheur au laboratoire GEODE qui a été mon référent pédagogique lors de ce stage, pour sa disponibilité, ses relectures et ses remarques. Son accompagnement a permis de structurer mes idées et de progresser sereinement tout au long de mon stage.

Enfin, je tiens à remercier **Arnaud CHAMBRE**, stagiaire au Parc pour m'avoir accompagné sur le terrain et m'avoir permis de finir le protocole de sondages pédologiques.

A toutes et tous, merci pour votre aide, votre soutien et votre contribution à ce mémoire.

Sommaire

Résumé	I
Remerciements	II
Liste des sigles	p.1
Introduction	p.2
Partie I : Contexte du stage	p.3
1. Présentation du PNR du Haut-Jura	p.3
2. Contexte de l'étude et missions réalisées	p.7
Partie II : Cadre théorique de l'étude	p.9
1. Définition et fonctionnement des tourbières	p.9
2. Répartition des tourbières	p.12
3. Les tourbières : un enjeu climatique	p.14
4. Les tourbières en régression	p.16
Partie III : Présentation du site d'étude	p.17
1. Description générale de la RNR	p.17
2. Activités culturelles et socio-économiques	p.18
3. Environnement physique de la RNR	p.21
4. Patrimoine naturel	p.26
Partie IV : Matériel et méthode	p.32
1. Protocole de mesure des profondeurs maximales de tourbe et estimation du volume	p.33
2. Protocole d'analyse des caractéristiques de la tourbe	p.38
3. Modélisation des écoulements de surface et de profondeur (Mission annexe)	p.42
Partie V : Résultats	p.43
Partie VI : Discussion	p.66
Conclusion	p.70
Bibliographie	p.73
Annexes	III - XVI

Liste des sigles

ACCA : Association communale de chasse agréée

ADAHJ : Association de développement et d'aménagement du Haut-Jura

CEN : Conservatoire d'espaces naturels

Corg : Carbone organique

Da : Densité apparente

GEMAPI : Gestion des milieux aquatiques et prévention des inondations

MO : Matière organique

PDG : Plan de gestion

PNRHJ : Parc naturel régional du Haut-Jura

RNR : Réserve Naturelle Régionale

RNV : Réserve Naturelle Volontaire

UNEP : Programme des nations unies pour l'environnement

Introduction

Les tourbières sont des écosystèmes particuliers qui jouent un rôle essentiel dans la régulation du climat et la préservation de la biodiversité. En effet, ces zones humides, dont les conditions anaérobies favorisent l'accumulation de tourbe, constituent d'importants réservoirs de carbone terrestre et abritent une faune et une flore très spécifique (UNEP, 2022). Toutefois, ces milieux sont aujourd'hui menacés par les pressions croissantes liées aux activités humaines et au changement climatique (Manneville, 1999). La dégradation des tourbières conduit au relargage de leur stock de carbone et contribue grandement à l'augmentation de gaz à effets de serre. L'étude et la gestion de ces écosystèmes deviennent de ce fait, un enjeu majeur dans le contexte de réchauffement climatique auquel nous faisons face. En France, elles représentent environ 100 000 hectares et se concentrent majoritairement dans les milieux montagnards.

Ce présent mémoire s'inscrit dans ce contexte global en s'intéressant à la caractérisation et la cartographie des complexes tourbeux de la Réserve Naturelle Régionale des tourbières du bief du Nanchez, située au sein du Parc naturel régional du Haut-Jura (PNRHJ). Créé en 1986, le PNRHJ a pour mission de protéger et valoriser les milieux naturels tout en accompagnant les acteurs locaux vers un développement durable. La RNR a quant à elle été officiellement créée en 2021 après avoir été une Réserve Naturelle Volontaire de 1992 à 2002. Ce site, géré par le PNRHJ, représente un lieu d'étude particulièrement intéressant pour comprendre le fonctionnement des tourbières qui le compose et leur rôle en tant que stock de carbone. En effet, les complexes tourbeux de la Réserve, caractérisés par des habitats de haut marais et d'un marais de transition, ont un fonctionnement qui n'a jusqu'alors pas été étudié.

Le stage est réalisé au sein du service Milieux naturels, Agriculture et Forêt du PNRHJ. Il a pour objectif principal l'amélioration de la connaissance des tourbières de la Réserve en les délimitant, en caractérisant leur profil surfacique et de profondeur et finalement en évaluant leur capacité de stockage du carbone. Sur la Réserve, une première délimitation cartographique des tourbières a été réalisée par le bureau d'étude Collaud expertises écologiques, dans le cadre de la cartographie des habitats. Les délimitations des zones tourbeuses ont cependant été tracées selon des critères botaniques et phytosociologiques, qui peuvent minimiser la surface réelle des zones tourbeuses. En effet, la définition des tourbières s'appuie sur des critères pédologiques dont le facteur principal correspond à l'épaisseur de l'horizon tourbeux (Pinault, 2025). Il convient donc de préciser la délimitation des zones tourbeuses tracées par Rémi Collaud en 2022. La problématique de ce mémoire est la suivante : **Quelle est l'étendue, la profondeur et l'état de conservation des complexes tourbeux de la RNR des tourbières du bief du Nanchez, et quelles en sont les implications en termes de stockage de carbone ?**

Pour y répondre, ce mémoire s'organise en plusieurs parties dont la première présente le cadre contextuel du stage, la deuxième, son cadre théorique, la troisième présente le site d'étude, la quatrième le matériel et méthodes utilisées, la cinquième les résultats, enfin une partie de discussion et de conclusion.

Partie I : Contexte du stage



1. Présentation du PNR du Haut-Jura

1.1 Historique

Le Parc naturel régional du Haut-Jura a vu le jour le **21 avril 1986**. La création du PNR a été initiée en 1974 par la création de l'Association de Développement et d'Aménagement du Haut-Jura (ADAHJ), qui a elle-même évolué en 1978 en tant que Syndicat Intercommunal de Développement et d'Aménagement du Haut-Jura (SIDAHJ), regroupant 35 communes. À cette époque, la priorité était de lutter contre la désertification des campagnes et de répondre à la désindustrialisation du territoire.

Depuis sa création, le Parc a élaboré plusieurs chartes pour orienter ses actions :

(1986-1998) Première Charte : Orientée sur le soutien au développement économique harmonieux, la valorisation de l'image régionale du Haut-Jura, la conservation des patrimoines naturels et culturels et l'assistance technique aux collectivités et particuliers.

(1998-2010) Deuxième Charte : Présentée en 5 vocations principales, celles-ci mettaient l'accent sur la protection des milieux naturels et de la ressource en eau, le soutien aux activités rurales, la promotion de savoir-faire locaux ainsi que le développement d'un tourisme durable et d'une cohérence territoriale.

(2010-2025) Troisième Charte : Cette troisième Charte correspond à la Charte actuelle, qui poursuit les objectifs de la précédente en intégrant les enjeux liés au changement climatique et au développement durable.

Les 15 ans de la troisième Charte arrivent à leur terme et la quatrième charte est en cours d'écriture. Le PNR a dès 2022 engagé sa révision, consistant à élaborer de manière concertée, un nouveau projet pour le territoire jurassien. Cette nouvelle Charte 2026-2041 place l'atténuation et l'adaptation au centre de ses priorités pour faire face aux enjeux du changement climatique.

1.2 Localisation du PNR du Haut-Jura

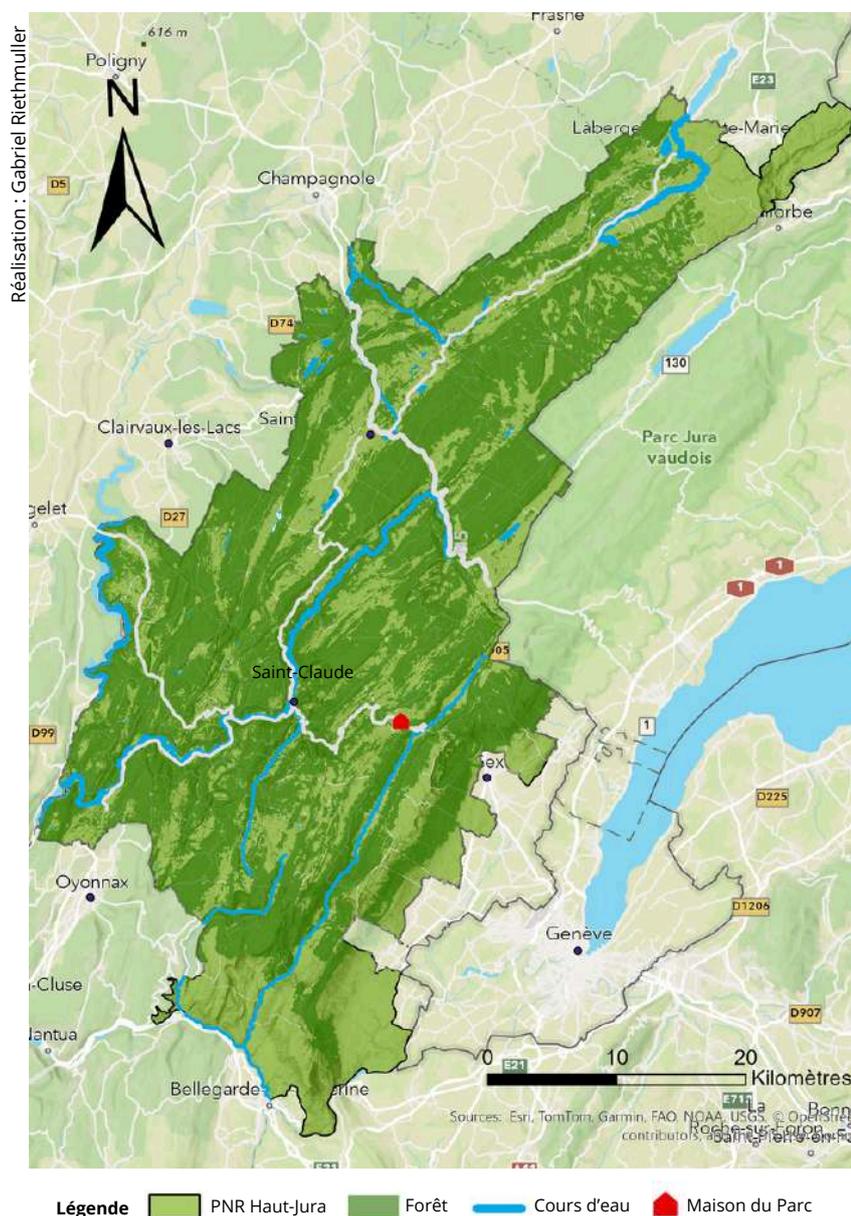


Figure 1 : Carte du PNR du Haut-Jura

Depuis sa création, le territoire du Parc a grandement évolué. En 1986, il s'étendait seulement sur 37 communes, soit 35 communes jurassiennes, une commune du Doubs et une commune de l'Ain.

Suite à la révision de la Charte 2026-2041, 24 nouvelles communes pourraient intégrer le périmètre du Parc soit 14 communes du Doubs, 8 du Jura et 2 de l'Ain (*Annexe 1 p.IV*).

Le PNR du Haut-Jura s'étend sur 1778,76 km² et comprend 2 régions et 3 départements (*Figure 1*) :

- Région Bourgogne-Franche-Comté avec le **Jura** et le **Doubs**
- Région Auvergne-Rhône-Alpes avec **l'Ain**

Le territoire du Parc regroupe actuellement 109 communes et 10 communautés de commune, qui accueillent au total 77 928 habitants (recensement 2021).

La maison du Parc se situe sur la Commune de Lajoux (*Figure 1*).

1.3 Missions & Budget

Un PNR est défini par le réseau des PNR de France comme “un territoire rural habité, reconnu pour sa forte valeur patrimoniale et paysagère”. Il s’organise autour d’un projet concerté, rédigé sous forme d’une Charte valable sur une durée de 15 ans (depuis 2016).

Les missions du Parc s’articulent autour de 5 axes définis par le Code de l’environnement (article R333-1).

- Protéger les paysages et le patrimoine naturel et culturel
- Contribuer à l’aménagement du territoire
- Contribuer au développement économique et social, culturel et à la qualité de vie
- Contribuer à assurer l’accueil, l’éducation et l’information du public
- Réaliser des actions expérimentales et contribuer à des programmes de recherche

En plus de ces missions, le Parc naturel régional du Haut-Jura a la compétence GEMAPI (gestion des milieux aquatiques et prévention des inondations) sur le bassin versant de la Haute Vallée de l’Ain, de l’Orbe et la Valserine. Cette compétence est soit une délégation, soit un transfert de compétence des communes concernées par ce territoire.

Concernant le budget, le Parc ne prélève pas d’impôts mais bénéficie de cotisation de ses membres. Les principaux organismes financeurs sont les services d’État, les régions, l’Union européenne et l’Agence de l’eau (Figure 2). Les principales dépenses sont elles liées au personnel et aux actions d’investissement.

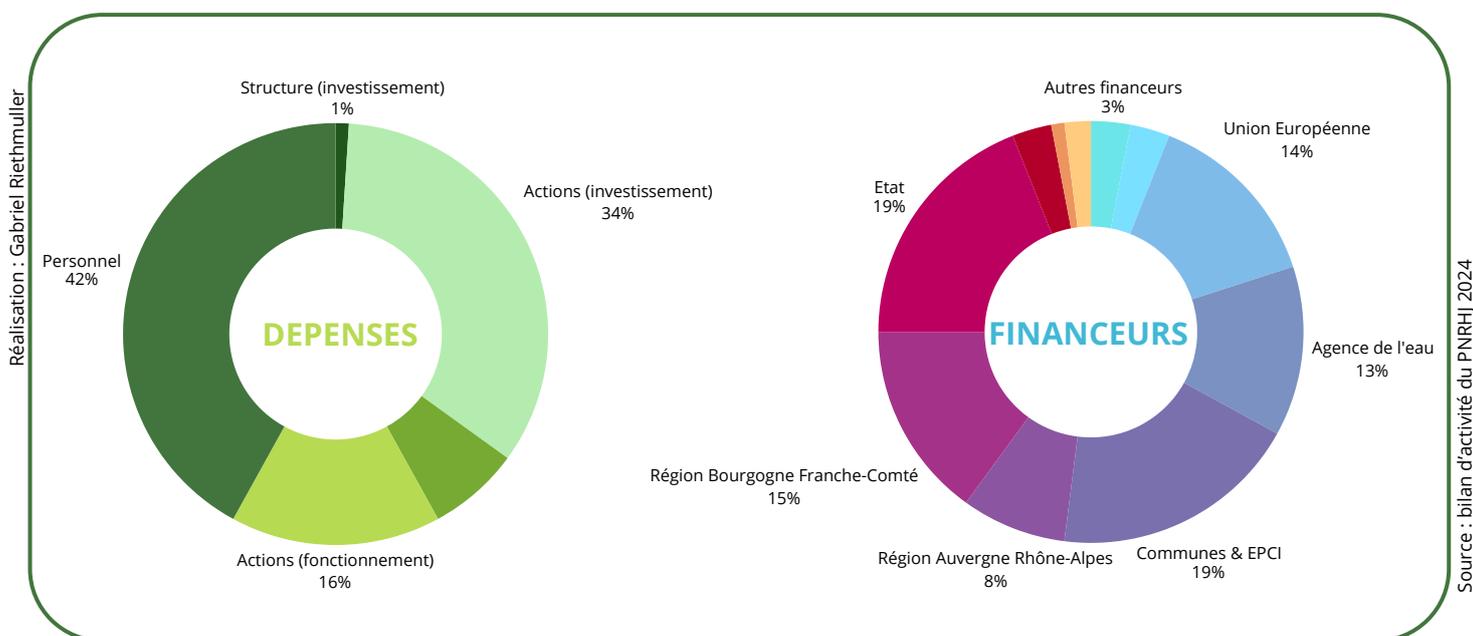


Figure 2 : Répartition budgétaire du PNRHJ en 2024

Réalisation : Gabriel Riethmuller

Source : bilan d'activité du PNRHJ 2024

1.4 Les services du Parc

Le PNR du Haut-Jura compte environ 45 salariés qui se répartissent au sein de quatre services aux missions différentes (*Figure 3*) dont l'organigramme est en (*Annexe 2 p.V*). Durant ce stage, j'ai intégré le service "Milieux naturels, agriculture et forêt".

Administration générale

Principales missions

- Gestion de programmes européens
- Gestion des marchés publics
- Comptabilité
- Gestion documentaire
- Logistique

Développement territorial et Pays du Haut-Jura

Principales actions 2024

- Structuration d'une filière pierre locale
- Révision du SCOT
- Sensibilisation sur les sites naturels à enjeux
- Intervention dans la formation de professionnels de la montagne
- Accompagnement des acteurs du territoire vers la transition énergétique (Ambition climat 2030)

Grand cycle de l'eau

Principales actions 2024

- Études sur la biodiversité du bassin de la Bienne
- Travaux de restauration de la Bienne
- Mise en défend de cours d'eau
- Animations scolaires
- Sensibilisation et accompagnement des entreprises pour limiter leurs émissions de rejets polluants.

Milieux naturels, agriculture et forêt

Principales actions 2024

- Animation des sites Natura 2000
- Mobilisation pour les mesures agro-environnementales
- Accompagnement des éleveurs
- Conciliation entre élevage et retour du loup
- Conservation d'espèces patrimoniales
- Programme LIFE climat tourbières du Jura
- Mise en place d'une stratégie territoriale pour la filière bois

Figure 3 : Missions et actions des différents services du PNRHJ.

2. Contexte de l'étude et missions réalisées

2.1 Contexte de l'étude

Les tourbières du bief du Nanchez constituent un ensemble d'écosystèmes tourbeux situés dans le Parc naturel régional du Haut-Jura (PNRHJ). Elles sont devenues une aire protégée sous le statut de Réserve Naturelle Volontaire (RNV) dès 1992, ce qui témoigne de leur intérêt écologique ([PNR du Haut Jura](#)). La suppression du statut de RNV en 2002 a conduit à un processus de reclassement, initié en 2017 par le PNRHJ et la commune de Nanchez, aboutissant à la création de la Réserve Naturelle Régionale (RNR) en décembre 2021. Depuis, le PNRHJ a été désigné gestionnaire par la Région Bourgogne-Franche-Comté, avec pour mission principale l'élaboration et la mise en œuvre d'un plan de gestion (PDG). En effet, le Code de l'environnement impose la désignation d'un gestionnaire pour assurer la surveillance et mettre en place la gestion et l'animation du site selon l'article (L.332-8) ([OFB, 2017](#)). La validation du PDG est prévue en 2025. Le plan de gestion de la Réserve est un document obligatoire qui vient définir les enjeux de conservation et les actions nécessaires sur les dix prochaines années pour assurer la pérennité du site. Ce document doit être approuvé par délibération du Conseil Régional, après consultation du Comité Consultatif et du Conseil Scientifique de la Réserve, qui est assuré par le Conseil Scientifique Régional du Patrimoine Naturel (CSRPN). La composition du CSRPN est fixe et commune à l'ensemble des RNR de Bourgogne-Franche-Comté.

L'amélioration des connaissances sur le fonctionnement et l'état de conservation des tourbières de la RNR est de ce fait primordiale pour orienter les méthodes de gestion de manière efficace. Actuellement, la délimitation des complexes tourbeux repose principalement sur des critères floristiques et phytosociologiques, basés sur la présence d'espèces indicatrices de milieux tourbeux. Or, une définition plus précise des tourbières implique une approche pédologique qui repose, elle, sur la présence d'une couche minimum de tourbe ([Lourenco et al., 2022](#)). Cette approche pourrait conduire à une réévaluation des surfaces tourbeuses de la Réserve en élargissant leurs délimitations. Outre la réévaluation des surfaces tourbeuses, les sondages pédologiques permettent d'améliorer les connaissances sur leur fonctionnement et d'estimer le rôle de stock de carbone que jouent ces milieux.

Dans ce cadre général, l'étude dont fait l'objet ce rapport vise à adapter et appliquer un protocole de caractérisation pédologique et cartographique, inspiré de travaux précédemment menés sur d'autres tourbières du Jura ([Taysse, 2024 & Barberot et al., 2025](#)). L'objectif est de combiner des relevés de terrain et des analyses en laboratoire, de manière à préciser la cartographie des complexes tourbeux de la RNR et estimer la quantité de carbone qu'ils stockent. La méthodologie appliquée se base sur les travaux de thèse de Lise Pinault, doctorante au laboratoire Chrono-environnement à Besançon et les analyses ont été effectués dans ce même laboratoire. L'amélioration de ces connaissances permet ainsi aux gestionnaires de la réserve d'optimiser les stratégies de gestion et de conservation de ces milieux.

2.2 Missions réalisées

Ce stage au PNR du Haut-Jura s'est déroulé au sein du service Milieux naturels, Agriculture et Forêt (MNAF). Placé sous l'encadrement de Séverine GOERTZ, conservatrice de la RNR et de Manuel LEMBKE, chef du service MNAF, le stage a comporté plusieurs missions dont le planning prévisionnel est détaillé en (*Annexe 3 p.VI*) :

- **Recherche documentaire et analyse comparative des protocoles**

Une phase préliminaire de synthèse bibliographique a été réalisée de manière à évaluer les méthodes de caractérisation des tourbières et d'évaluation du stock de carbone. Cette analyse doit servir à justifier le choix des protocoles appliqués.

- **Mise en œuvre des protocoles sur 5 complexes tourbeux**

La deuxième phase qui correspond aux relevés de terrain a permis de délimiter et de déterminer la profondeur ainsi que le volume des complexes tourbeux. De plus, des échantillons de tourbe ont été prélevés pour analyses en laboratoire lors de la troisième phase.

- **Estimation des volumes de tourbe et cartographie des complexes tourbeux**

Les données de terrain ont finalement été traitées à l'aide d'outils SIG afin de modéliser la distribution spatiale des sols tourbeux et de déterminer les volumes de tourbe présents.

- **Analyses en laboratoire**

La troisième phase s'est déroulée dans les laboratoires de Chrono-environnement à Montbéliard, dans le but de procéder à l'analyse des échantillons prélevés (pesée, étuvage, mesures physico-chimiques) afin de déterminer différents paramètres de la tourbe, comme sa densité apparente, son taux de matière organique et sa teneur en carbone, paramètres qui permettent par la suite de calculer le stock de carbone contenu dans les complexes tourbeux.

- **Calcul du Stock de carbone**

A partir des données issues des analyses en laboratoire et des volumes de tourbe calculés, le stock de carbone de chaque complexe tourbeux a été déterminé.

- **Estimation de l'état de conservation**

L'ensemble des paramètres mesurés durant ce stage couplés aux données de végétation de Rémi Collaud, a permis d'aboutir à une estimation de l'état de conservation des sites d'étude

- **Mission annexe :**

La mission annexe de ce stage correspond à l'élaboration de cartographies des écoulements de surface et de profondeur pour chacune des tourbières de manière à comprendre leur fonctionnement hydrologique.

Partie II. Cadre théorique et bibliographique de l'étude

1. Définition et fonctionnement des tourbières

Les tourbières sont des écosystèmes complexes qui se caractérisent par l'accumulation de matière organique (tourbe) notamment en raison de la saturation en eau du milieu. Elles sont définies par le Museum National d'Histoire Naturelle (MNHN) comme **“des zones humides colonisées par la végétation dans un milieu saturé en eau”**. Dans la littérature scientifique, la définition d'une tourbière est conditionnée par la présence d'un horizon tourbeux d'une épaisseur comprise entre 10 et 50 cm selon les auteurs. Les travaux de Mauro Lourenco montrent que la profondeur de tourbe la plus utilisée à l'international pour définir une tourbière est de 40 cm (Lourenco et al., 2022 ; Pinault, 2025). Cette définition est souvent associée à des critères de surface dont la surface minimum utilisée dans la méthodologie d'inventaire des tourbières de la région Bourgogne Franche-Comté est de 2 ares (Conservatoire d'espaces naturels de Franche-Comté, 2024).

Dans ces milieux la décomposition de la biomasse végétale incomplète conduit à la formation et l'accumulation de tourbe. Ce processus de formation appelé turfigenèse est rendu possible par des conditions anaérobies, basiques ou acides, qui ralentissent la minéralisation de la matière organique. Dans ces milieux, l'eau est le facteur le plus important du processus. En effet, le taux de diffusion des gaz dans l'eau est très limité conduisant à une faible disponibilité de l'oxygène (Joosten & Clarke, 2003). En absence d'oxygène les organismes décomposeurs sont très rares, ce qui diminue le taux de décomposition et amène à l'accumulation de matière organique riche en carbone.

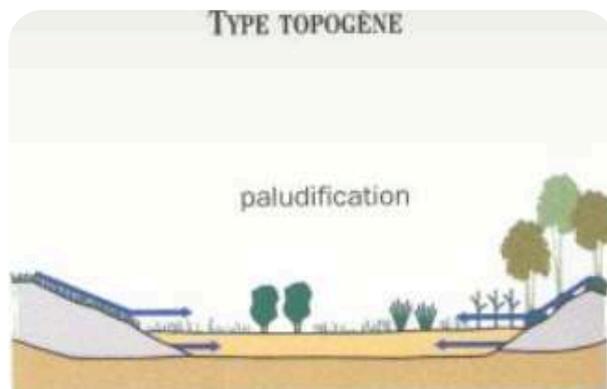
En s'accumulant sur des centaines d'années pour les plus récentes et généralement sur des milliers d'années, la tourbe peut atteindre plus de 10m d'épaisseur. Le taux d'accumulation est très variable suivant les régions et les périodes. La moyenne globale est tout de même estimée à 1mm par an, soit un pas de temps de 1000 ans pour former 1 seul mètre de tourbe (Manneville, 2020).

Ces écosystèmes jouent un rôle écologique majeur, notamment dans la régulation hydrologique en stockant l'eau en période humide et en assurant un soutien d'étiage pour les périodes plus sèches (Holden, 2005). Les tourbières représentent également un important réservoir de carbone terrestre avec une capacité de stockage supérieure à celle des forêts tropicales. En effet, les tourbières contiennent environ 30% du carbone mondial des sols, pour 3% de la surface terrestre (Fréssillon, 2022).

Les écosystèmes tourbeux se déclinent en plusieurs types selon leur alimentation en eau, en nutriments et leur pH. On distingue les tourbières ombrotrophes, qui dépendent essentiellement des précipitations, des tourbières minérotrophes, qui dépendent des eaux souterraines et/ou des ruissellements de surface (Holden, 2005). Il est à noter que les tourbières ombrotrophes sont généralement des tourbières acides et oligotrophes, tandis que les tourbières minérotrophes ont tendance à être plus riches en bases dans le Jura, mais peuvent être plus acide en fonction de la nature du substrat.

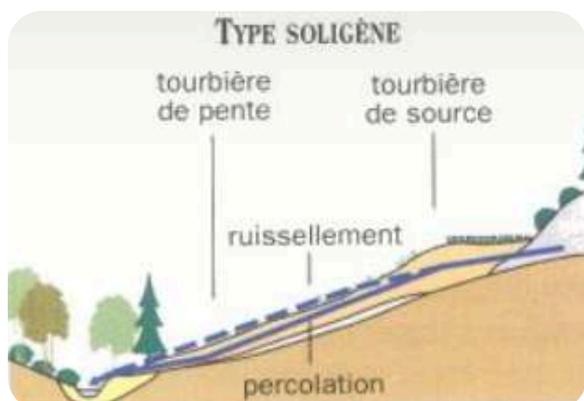
Parmi les tourbières minérotrophes, il est possible de distinguer encore plusieurs types selon l'origine des écoulements apportés (Figure 4) :

Tourbières topogènes : issues des eaux de ruissellement ou provenant d'une nappe affleurante s'accumulant dans une dépression topographique. Très fréquente dans le Jura (ex : Tourbières du bassin du Russey) (Moncorgé, 2016)



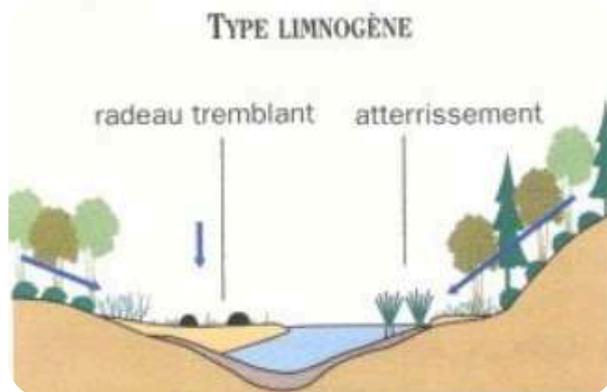
Source : Manneville et al., 1999

Tourbières soligènes : issues d'un ruissellement lent et continu le long d'une faible pente. Peu présentes dans le Jura (ex : Le Crossat à Remoray) (Moncorgé, 2016)



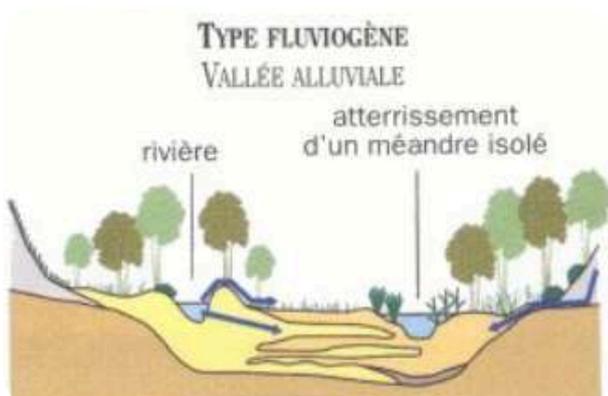
Source : Manneville et al., 1999

Tourbières limnogènes : issues de la colonisation d'un plan d'eau par des plantes venues des berges vers le centre, formant un radeau de surface. Moyennement présentes dans le Jura (ex : lac-de-Rouges-Truites) (Moncorgé, 2016)



Source : Manneville et al., 1999

Tourbières fluviogènes : issues de l'inondation périodique d'une vallée. Très peu présentes, voire inexistantes dans le massif du Jura.



Source : Manneville et al., 1999

Figure 4 : Types de tourbières minérotrophes (Manneville, 1999).

De plus, le pH des tourbières est également déterminant dans la classification des tourbières. Les communautés végétales retrouvées sur les tourbières alcalines ou acides sont totalement différentes. Elles n'abritent de ce fait pas la même faune et ne sont pas égales en termes de stockage de carbone.

Le pH permet ainsi de distinguer différents types d'habitats tourbeux. Parmi eux, on retrouve :

- **Les "hauts-marais"** ou tourbières hautes : sont des tourbières acides ($3.5 < \text{pH} < 5$) et caractérisées généralement par la présence de sphaignes (ex : *Sphagnum magellanicum*). Ce sont généralement des tourbières ombrotrophes, alimentées par des eaux de précipitations. Leur surface peut s'élever au-dessus du niveau de la nappe minérotrophe (tourbières bombées).
- **Les "bas-marais"** ou tourbières alcalines ou bas marais acide : se caractérisent par la présence de laïches (ex : *Carex echinata Murray*). Ils sont formés généralement par le comblement d'un plan d'eau. Ce sont des tourbières de type minérotrophes.
- Les **"marais de transition"** : il s'agit d'un stade de transition d'un bas-marais vers un haut-marais conduisant à l'atterrissement des pièces d'eau. Les marais de transition sont généralement alimentés par des eaux de précipitations et des eaux souterraines. Il s'agit de tourbières de type minéro-ombrotrophe qui peuvent abriter une grande diversité floristique plutôt associée aux milieux alcalins ou acides selon le stade d'avancée de la transition (ex : *Eriophorum gracile*).

Sphagnum magellanicum



Carex echinata Murray



Eriophorum gracile



Source : RNR du Bief du Nanchez



Source : INPN



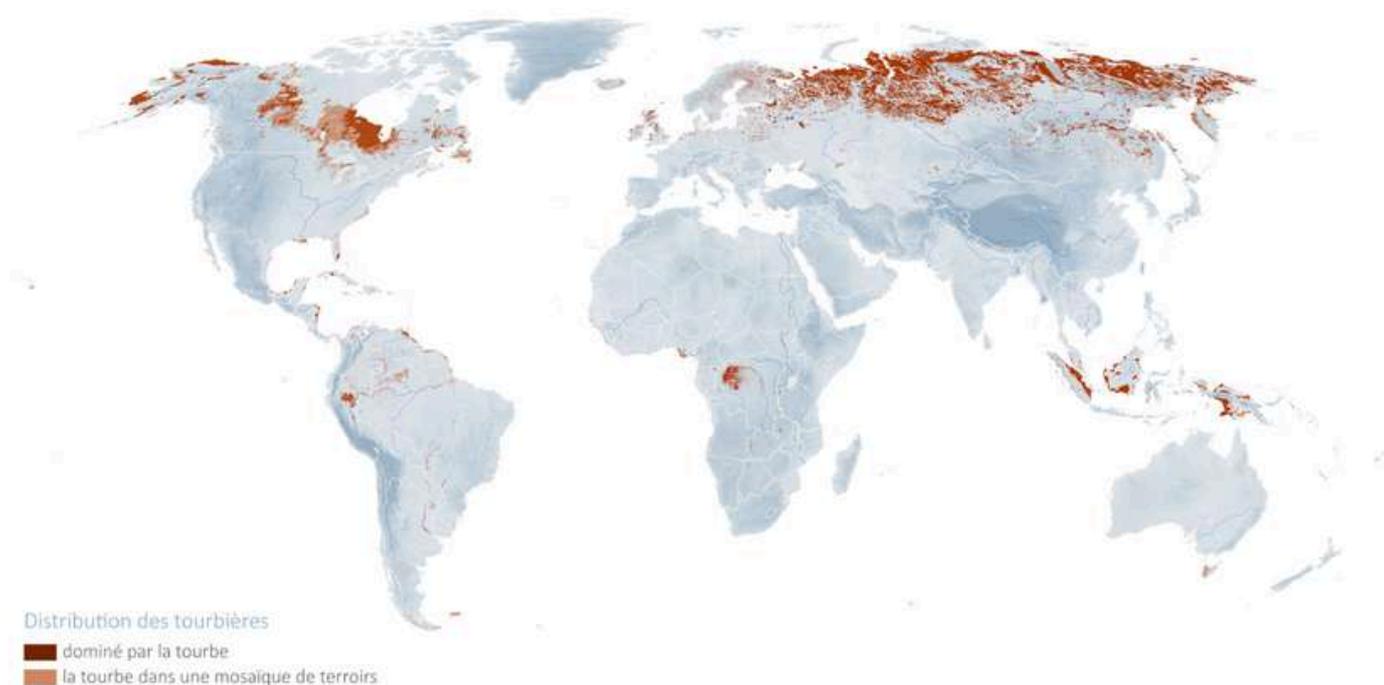
Source : CEN Franche-Comté



2. Répartition des tourbières

2.1 Niveau mondial

Les tourbières sont les zones humides les plus répandues dans le monde (UNEP, 2022) et représentent 50 à 70% des zones humides référencées (Joosten & Clarke, 2003). Elles couvrent plus de 5 millions de km² à travers le monde, représentant environ 3% de la surface terrestre (Figure 5). La grande majorité des tourbières se trouve dans l'hémisphère nord notamment dans les zones boréales. Leur expansion dans les paysages nordiques a suivi le recul des calottes glaciaires après le dernier maximum glaciaire (Loisel et al., 2016). On retrouve tout de même des tourbières en zone tropicale, notamment en Asie du Sud-Est, Afrique centrale et Amérique du Sud.



Source : Données de l'Évaluation Mondiale des Tourbières issues de la Base de Données Globale sur les Tourbières compilées par le Greifswald Mire Centre.

Figure 5 : Répartition mondiale des tourbières

2.2 Niveau national

Au niveau national, les tourbières se retrouvent majoritairement dans les milieux montagnards du Jura, des Vosges, des Alpes, des Pyrénées, du Massif central, des Monts d'Arrée, du Morvan et des Ardennes (Figure 6). Un grand nombre des tourbières du Nord-Ouest ont été drainées ou exploitées. Leur superficie totale est en cours d'investigation, mais celle-ci est estimée entre 60 000 et 100 000 hectares (Fédération des conservatoires d'espaces naturels).



Source : Pôle relais tourbière

Figure 6 : Répartition nationale des tourbières

2.3 Niveau régional

Les tourbières de la Région Bourgogne Franche-Comté se concentrent en grande partie dans le massif du Jura (Figure 7). On y compte 286 tourbières actuellement recensées, ce qui représente 92% de la superficie total des tourbières de la région, soit 2930 hectares (Moncorgé et Gisbert, 2016). Dans la partie haute du Jura, des études palynologiques ont montrées que le début de l'accumulation tourbeuse ne remonterait pas avant 9300 cal BP (André & André, 2004). Leur formation est la plupart du temps issue du retrait glaciaire de la dernière glaciation du Würm. Cependant, entre la fonte des glaciers (environ 17500 ans BP) et le début de la turfigénèse (9300 cal BP), environ 8000 ans se sont écoulés, soit presque autant de temps qu'entre aujourd'hui et la formation des tourbières.

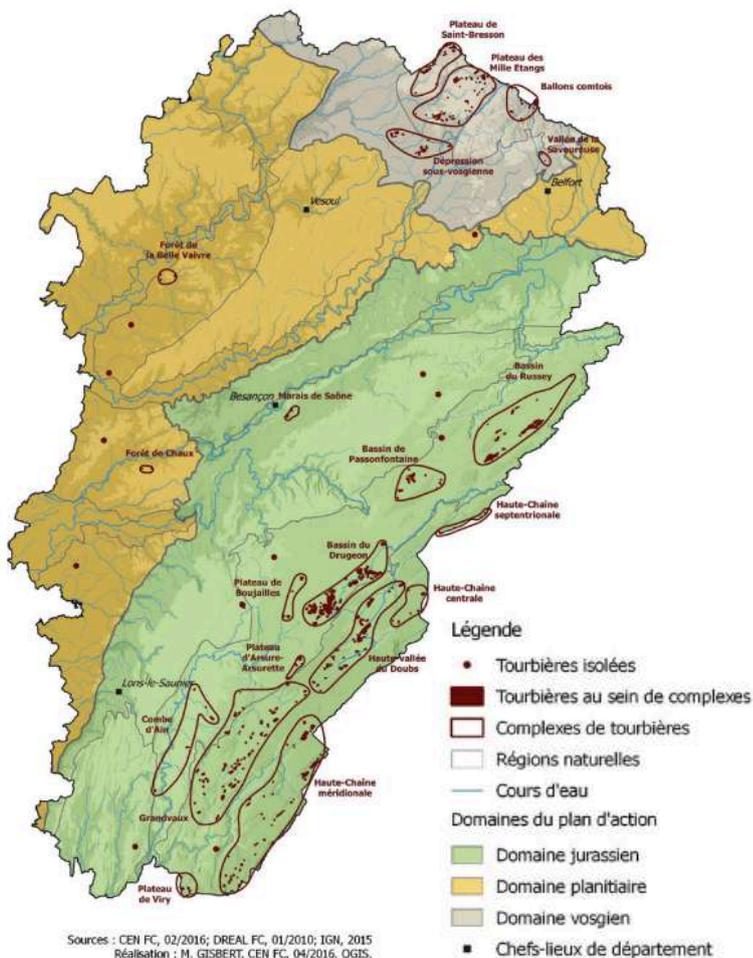


Figure 7 : Répartition des tourbières dans la Région Bourgogne Franche-Comté

3. Les tourbières : un enjeu climatique

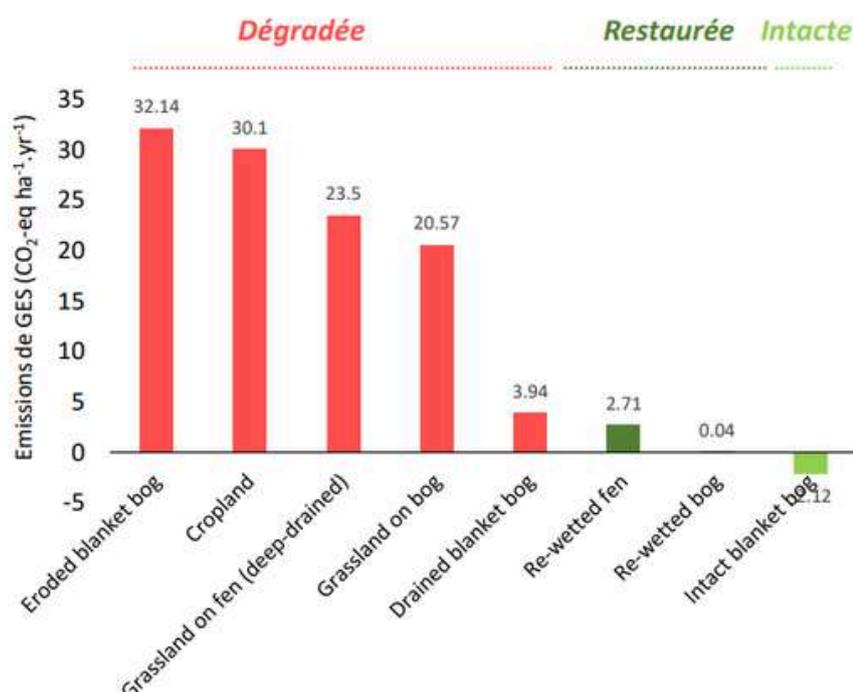
3.1 Les tourbières et le stockage du carbone

3.1.1 Échelle internationale et nationale

Comme il a été fait mention plus tôt dans ce rapport, les tourbières représentent d'importants stocks de carbone en stockant approximativement 30% du carbone terrestre mondial, soit entre 300 et 500 Gt de carbone (Pinault, Gilbert, Martin, 2021) héritage des 10 derniers milliers d'années. **Stock de carbone Oui, mais à quelles conditions ?**

Les tourbières seraient en effet les meilleurs emmagasineuses de carbone de tous les écosystèmes terrestres du monde et surtout devant les forêts tropicales, mais à condition d'être en bon état de conservation et non dégradées. Ce qui explique cette accumulation de carbone, c'est la saturation en eau de ces écosystèmes, qui minimise les processus de dégradation aérobie. Sous l'effet d'un drainage ou d'un assèchement, la minéralisation de la matière organique augmente, conduisant à l'augmentation du rejet de dioxyde de carbone et de méthane (Moncorgé et Gisbert, 2016).

Une tourbière dégradée peut de ce fait rapidement devenir une source d'émissions de GES. Une étude menée sur les tourbières de Rivière-du-Loup au Québec montre des différences d'émission de CO₂ en fonction de l'état de la tourbière (Bourgault, 2023). Les zones "naturelles", soit les tourbières en bon état de conservation constituent des puits de carbone, c'est à dire qu'elles stockent plus de carbone qu'elles n'en émettent, alors que les tourbières dégradées représentent des émissions de gaz à effet de serre (GES) d'environ 2100 tonnes de CO₂ équivalent par an. Des observations similaires sont constatées dans des tourbières européennes (Bonn et al., 2014) (Figure 8).



Source : Pinault, 2021
Données : Bonn et al, 2014

Figure 8 : Emissions (CO₂-eq ha⁻¹.yr⁻¹) pour chaque type d'atteinte à la tourbière, en zone tempérée

Ces flux de GES montrent cependant une certaine variabilité saisonnière. Plus localement, sur la tourbière de Guette dans le Cher, les travaux de Benoît D'angelo ont montré une saisonnalité dans la répartition des flux de carbone avec des flux de CO₂ sortant plus élevés au printemps et début d'été. Cette variation serait liée à une baisse du niveau de la nappe et de l'activité biologique des végétaux (D'angelo, 2015). A l'inverse, des niveaux de nappe hauts favorisent les émissions de méthane. Ces flux sont aussi variables spatialement. De même, selon les groupes de végétation, les flux de carbone ne sont pas identiques. Toujours d'après les travaux de Benoît D'angelo, les flux de carbone sortants sont les moins élevés en cas de présence de Bryophytes, mais cela dépend du type de tourbière.

3.1.2 Échelle régionale du massif du Jura

À l'échelle du massif du Jura, deux études réalisées par des étudiants dans le cadre de stage de Master ont estimé le stock de carbone des tourbières du Forbonnet à Frasne dans le Doubs (Taysse, 2024) et des Cerneux-Gourinots dans le Doubs (Barberot, Binetruy, Durain, Verstraete, 2025). Les estimations pour la tourbière du Forbonnet sont de **205 942 tonnes** de carbone pour une surface de 191,2 hectares, soit environ **1077 tonnes** par hectare. Pour celle des Cerneux-Gourinots l'estimation du stock de carbone est de **70 850 tonnes** de carbone pour une surface de 62,8 hectares, soit **1128 tonnes** par hectare. Cet écart n'est probablement pas significativement différent si l'on tient compte des marges d'erreur des estimations issues d'interpolations assez imprécises.

Les travaux de thèse de Estelle Bortuoluzzi dressent un bilan carbone d'une tourbière aux conditions relativement semblable aux tourbières de la RNR du bief du Nanchez. En effet, ses travaux ont été réalisés sur la tourbière bombée "sur les Seignes" (27 ha) sur le second plateau du Jura, à 867m d'altitude. Cette petite surface d'entité tourbeuse se rapproche plus de la taille de la RNR. Dans cette étude, sont comparés des stations de tourbe nues à des stations de tourbe végétalisées. Il en résulte que les stations de tourbe nues sont des sources (émettrices) de carbone mais qui restent assez faible. À l'inverse, les stations de tourbe végétalisées constituent des puits de carbone (Bortuoluzzi, 2006).

3.2 Les autres services écosystémiques des milieux tourbeux

Outre leur rôle de stock de carbone, les tourbières présentent un intérêt majeur dans la régulation des flux hydrologique, la préservation de la biodiversité et la ressource en archives paléo-écologiques (Manneville, 1999).

Intérêts hydrologiques :

Les tourbières peuvent jouer un rôle dans la régulation des crues en agissant comme zone tampon. Cette accumulation d'eau permet également d'assurer un soutien d'étiage des cours d'eau en période estivale. La tourbe et certains végétaux très actifs sont d'excellents filtres et permettent l'épuration et l'amélioration de la qualité de l'eau.

Intérêts biologiques :

Les tourbières abritent une diversité rare et très spécifique, souvent relictuelle, témoin des périodes glaciaires du pléistocène.

Intérêts paléo-écologiques :

Les tourbières représentent d'importantes archives naturelles. La tourbe préserve de la dégradation de nombreux débris de micro-invertébrés, pollen, spores, charbons qui sont d'importance capitale pour la recherche scientifique. Le prélèvement de tourbe et l'identification de ces matériaux permettent de retracer l'histoire paléo-écologique des sites et de comprendre ainsi l'évolution des paysages passés face aux variations climatiques.

4. Les tourbières en régressions

Aujourd'hui, les tourbières font l'objet d'une attention particulière des scientifiques et des acteurs de la gestion d'espaces naturels, qui se justifie par leur massive dégradation. Dans le Jura, l'extraction de la tourbe pour le chauffage (jusqu'en 1970) et pour une utilisation horticole (de nos jours) est une source de régression des tourbières très importante (Manneville, 1999). En France 300 000 m³ de tourbe étaient extraits annuellement (Zones humides, 2015), avant la proposition de loi n°3291, qui interdit son exploitation depuis le 1er Janvier 2022. De plus, l'agriculture intensive et notamment la culture du maïs a été très destructrice pour ces milieux, car beaucoup ont pu être drainées à des fins agricoles (ou également sylviculture). Les tourbières à proximité d'exploitations agricoles qui ont eu la chance de ne pas avoir été drainées, ont souvent été dégradées par le lessivage des intrants chimiques et organiques qui ont conduit à leur eutrophisation.

Dans ce contexte global, où les tourbières apportent un grand nombre de services écosystémiques, il devient important de connaître leur état de conservation et leur stock de carbone, de manière à pouvoir estimer leur potentiel d'émission et orienter la conservation et la gestion sur des espaces prioritaires.

Ce rapport tente donc de répondre à la problématique suivante : **Quelle est l'étendue, la profondeur et l'état de conservation des complexes tourbeux de la RNR des tourbières du bief du Nanchez, et quelles en sont les implications en termes de stockage de carbone ?**

Partie III : Présentation du site d'étude

1. Description générale de la RNR

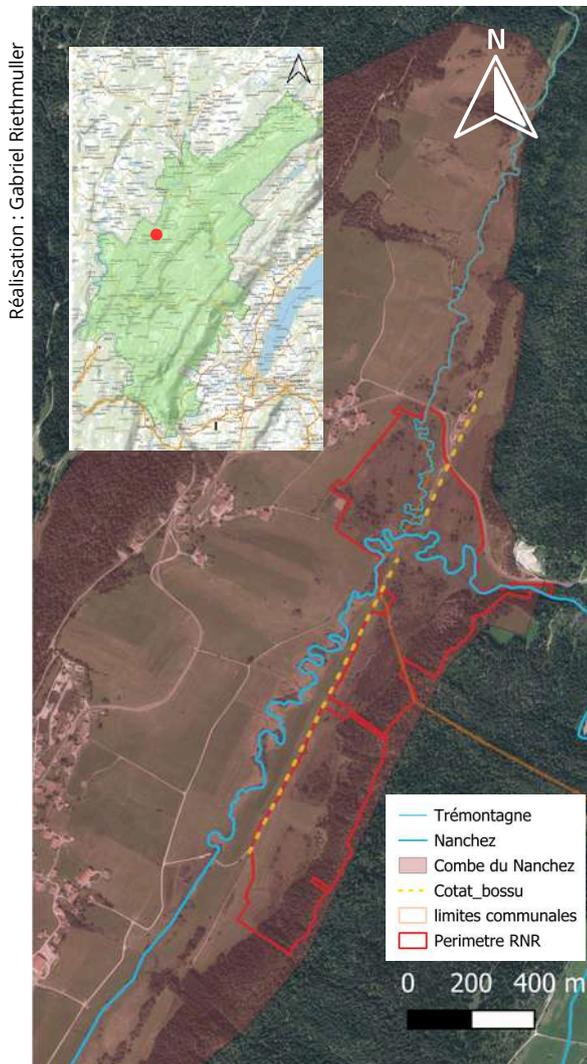


Figure 9 : Carte de localisation de la Réserve

1.1 Localisation de la RNR

Le site étudié est la Réserve Naturelle Régionale (RNR) des tourbières du bief du Nanchez, qui se situe dans le sud du département du Jura (39) en Région Bourgogne Franche-Comté. D'une superficie de 49 hectares, elle s'étend sur deux communes : pour la majeure partie sur celle de Nanchez (67%) puis sur celle de Grande-Rivière Château (33%) (Figure 9). L'ensemble de la Réserve est propriété des communes de Nanchez et de Grande-Rivière Château, à l'exception de deux parcelles privées (Annexe 4 p.VII).

Géographiquement, la Réserve se trouve dans la combe du Nanchez, une dépression structurale marquant la limite du Grandvaux. Cette combe orientée NE-SW, est encadrée par deux reliefs boisés : les forêts de Prénovel et des Piards à l'ouest et le bois de la Joux derrière à l'est. L'altitude moyenne de la combe est de 960 mètres, tandis que la Réserve elle-même se situe entre 865 et 974 mètres d'altitude. (Annexe 5 p.VIII).

1.2 Historique de création

L'origine de la protection de cet espace remonte à 1992 avec la création de la Réserve Naturelle volontaire (RNV) du bief du Nanchez pour 26.16 hectares (Annexe 6 p.IX). Ce statut a été une première reconnaissance de la valeur écologique et paysagère du site, bien connu des naturalistes de par ses écosystèmes tourbeux, riches en biodiversité.

La réforme des RNV en 2002 a conduit à leur remplacement progressif par les Réserves Naturelles Régionales (RNR). Le processus de reclassement du site a été engagé en 2017 par le PNR du Haut-Jura et la commune de Nanchez. Cette démarche a finalement abouti à la création officielle de la RNR des tourbières du bief du Nanchez en 2021 par délibération du Conseil Régional de Bourgogne-Franche-Comté avec une évolution importante de la superficie classée, de 26 à 49 hectares.

1.3 Fonctionnement de la RNR

Comme il a été fait mention précédemment, le PNRHJ a été désigné comme gestionnaire de la Réserve par arrêté de la Présidente du Conseil Régional de Bourgogne Franche-Comté le 27 janvier 2022. Suite à l'institution d'un comité consultatif composé de 28 membres et présidé par Monsieur Frédéric PONCET, conseiller régional, une réunion est réalisée une fois par an pour être au fait des actions menées par la conservatrice, Madame Séverine Goertz et permet de valider des décisions.

La gestion de la Réserve fait appel à de nombreux partenaires techniques, institutionnels et financiers pour assurer la réalisation des objectifs de gestion.

2. Activités culturelles et soci-économiques

2.1 Historique des activités

L'histoire du site est marquée par une exploitation ancienne de la tourbe, une ressource qui a longtemps constitué un besoin essentiel pour le chauffage domestique. Dès le XIXème siècle, des extraction artisanales étaient pratiquées par les habitants locaux. Cette exploitation s'est intensifiée jusqu'au milieu du XXe siècle et a laissé des traces visibles, notamment des fosses d'extraction et des drainages ayant modifié l'hydrologie locale et asséché certaines zones visibles sur la carte de l'État Major (*Figure 10*). D'autres activités agricoles et pastorales pourraient avoir eu lieu sur le site. Dans les villages voisins (Prénoyel et Grande-Rivière) des activités de production végétale et d'élevage bovins et porcins ont été décrites, ces activités peuvent avoir eu lieu sur la Réserve.

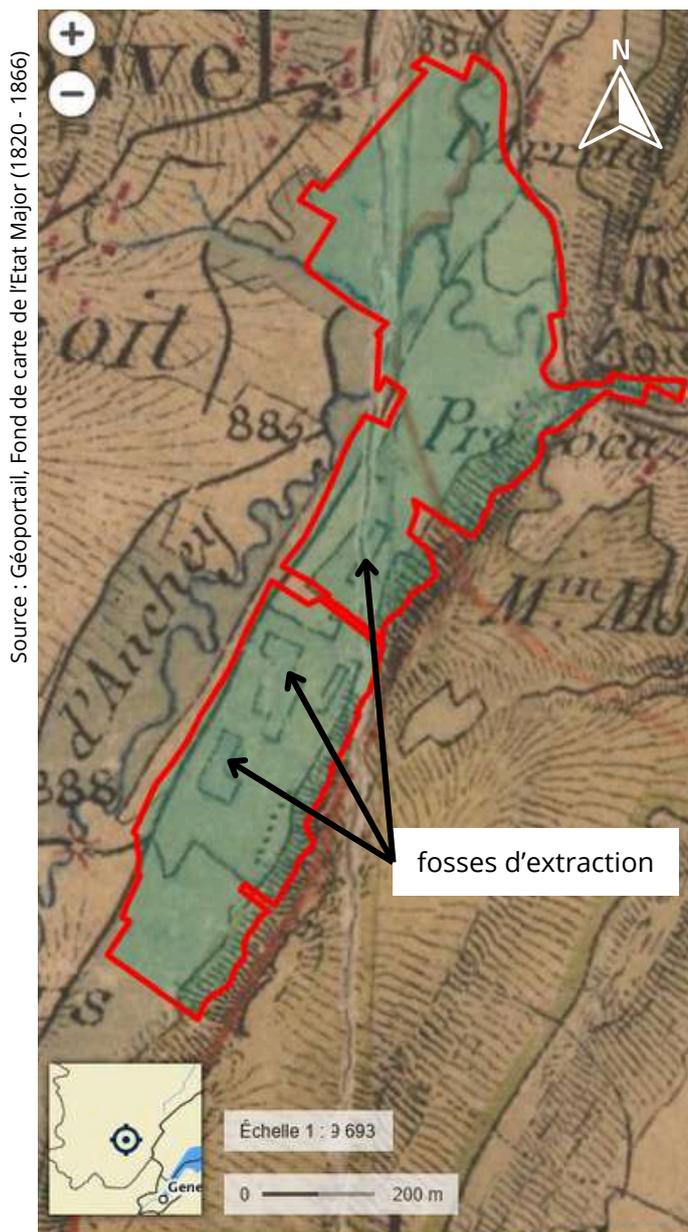


Figure 10 : Cartographie des zones d'extraction de tourbe

2.2 Activités actuelles

Aujourd'hui, les activités du site sont essentiellement orientées vers la conservation écologique. Le programme LIFE "Tourbières du Jura", mis en place pour réhabiliter le fonctionnement hydrologique des tourbières du Jura Franc-comtois a permis la réalisation de travaux, commencés en 1999 (action du PNRHJ) et repris en 2016, (Programme LIFE) visant à limiter l'impact d'anciens aménagements. Parmi les travaux réalisés dans le cadre du LIFE "Tourbières du Jura", on retrouve :

- l'obturation de certains fossés de drainage
- le reméandrement des cours d'eau

Ces travaux ont permis de favoriser la réhumectation (humidification) des sols tourbeux de la RNR. Par ailleurs, certaines parcelles (hors tourbières) font actuellement l'objet d'une gestion agropastorale adaptée, notamment par la mise en place de pâturage équin extensif, de manière à limiter la fermeture des milieux et d'entretenir la diversité des habitats (*Figure 11*).

Le pâturage équin est réalisé par la structure "Rando ânes Jura", qui propose des randonnées à dos d'âne dans les alentours de la Réserve. La structure compte 21 ânes qui sont autorisés par la commune de Nanchez à pâturer sur plusieurs parcelles communales dans le périmètre de la Réserve.

Deux exploitants agricoles sont également présents dans la Réserve :

- Le GAEC Nicolet qui fauche une parcelle en milieu-fin d'été (parcelle n°5)
- Le GAEC des Janiers qui fauche des parcelles au sud du site en début d'été jusqu'à mi-juillet et fait pâturer ses bovins sur la parcelle n°3, en dehors de la Réserve mais en contact avec celle-ci.

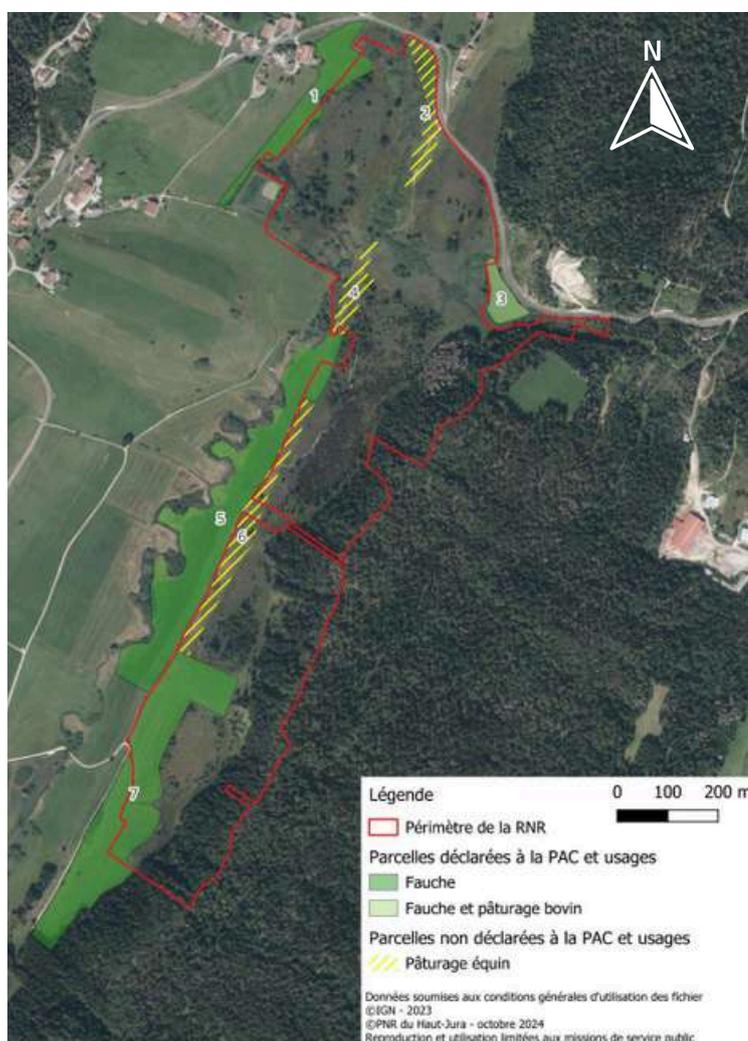


Figure 11 : Cartographie des activités agricoles sur la Réserve

2.3 Réglementation

Le statut de Réserve Naturelle Régionale implique la présence d'une réglementation, notamment relative à l'accueil du public. Sont interdits sur la Réserve : la cueillette, la divagation et le bivouac,... La réglementation concernant les activités agricoles et de chasse interdites dans la Réserve : la réalisation de travaux de drainage ou de comblement, la plantation d'OGM, le retournement des prairies. Concernant la chasse, les secteurs nord-ouest de la Réserve sont inclus dans la Réserve de chasse de l'association communale de chasse agréée (ACCA).



Le site de la Réserve inclut également d'autres zonages d'inventaires et de protection (Figure 12) tels que :

- **Site Natura 2000** de la combe du Nanchez (FR4301315). Ce site est une Zone spéciale de conservation (ZSC) issue de la Directive "habitats, faune, flore".
- **Znieff de type 1** : Combe du Nanchez (430002238). Les Znieff (Zone naturelle d'intérêt faunistique et floristique) de type 1 sont par définition "des espaces homogènes écologiquement, définis par la présence d'espèces, d'associations d'espèces ou d'habitats rares, remarquables ou caractéristiques du patrimoine naturel régional" (INPN, s.d). Cependant, ces zones ne présentent pas de mesures réglementaires de protection (zonage d'inventaire).

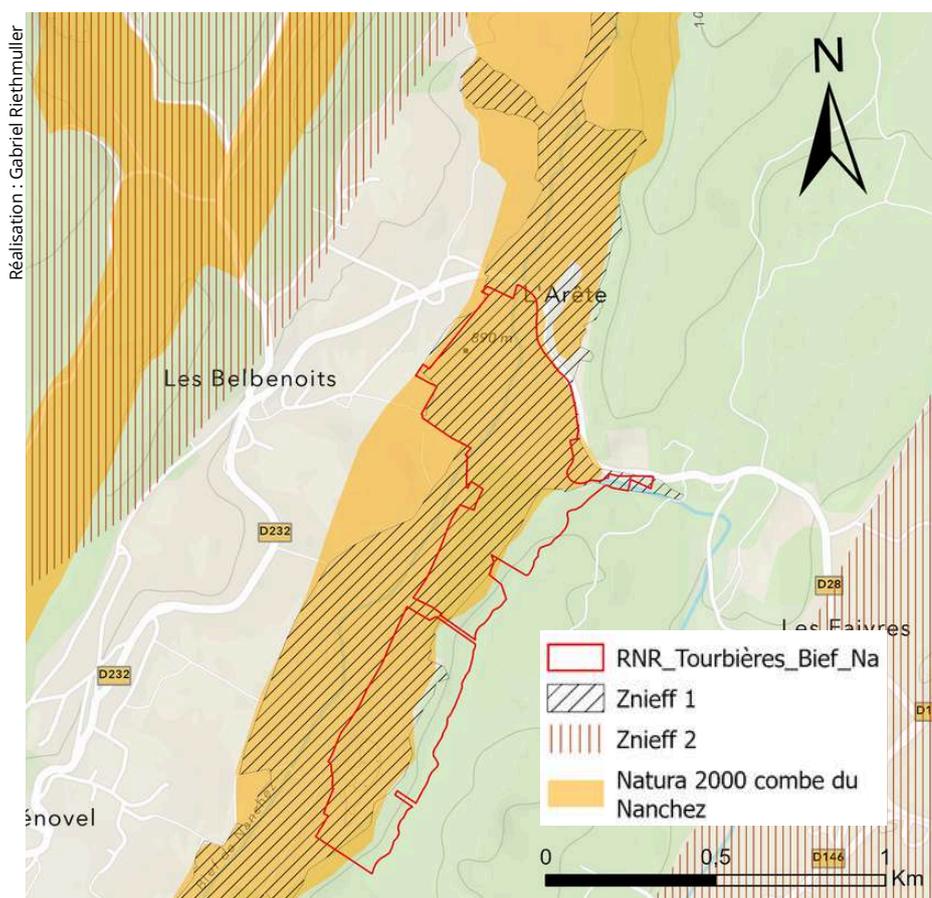


Figure 12 : Types d'espaces classés en faveur du patrimoine naturel

3. Environnement physique de la RNR

3.1 Géologie et géomorphologie

La Réserve est située sur le second plateau du massif du Jura, dont la formation géologique résulte d'une longue histoire sédimentaire et tectonique. Durant l'Ère Secondaire, un environnement marin fluctuant entre des niveaux profonds et peu profonds a favorisé le dépôt de sédiments carbonatés, donnant naissance aux calcaires et aux marnes du Jurassique et du Crétacé (PNRHJ, 2025).

Ce sont les contrecoups de l'orogénèse alpine, débuté à l'Ère Tertiaire, qui a induit le plissement et la fracturation des couches sédimentaires, façonnant la structure actuelle du Jura sous forme d'anticlinaux et de synclinaux. L'érosion et les cycles glaciaires du Quaternaire ont ensuite sculpté le paysage, contribuant à la formation de combes comme celle du Nanchez (Figure 13) et des dépôts glaciaires qui caractérisent le site (Figure 14).

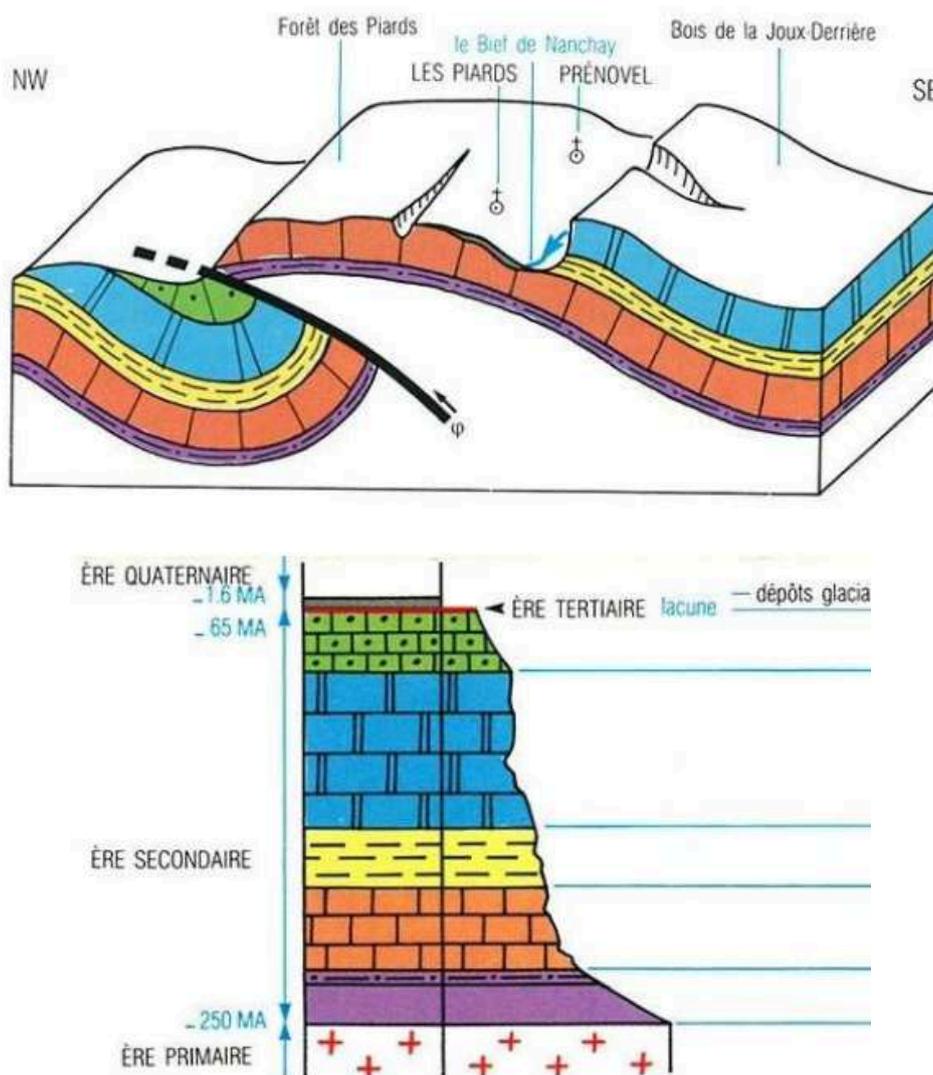


Figure 13 : Coupe géologique de la combe du Nanchez

Source : Géoportail, Fond de carte géologique

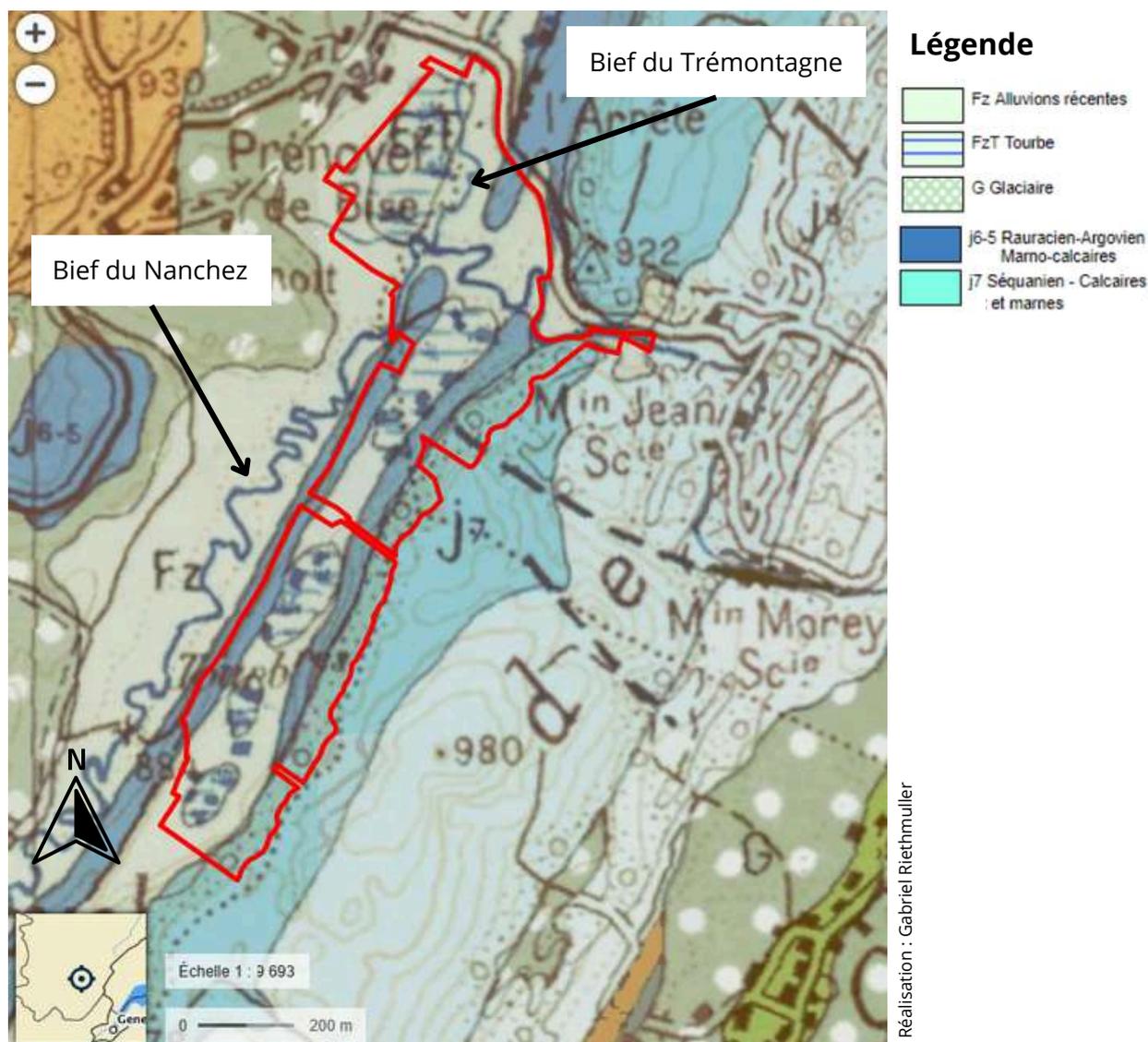


Figure 14 : Carte géologique de la RNR du bief du Nanchez

Dans la partie nord de la Réserve, les biefs du Nanchez et du Trémontagne s'écoulent sur des marnes Argoviennes surmontées d'alluvions (Fz) d'origine glaciaire. La présence du cordon calco-marneux isole le cours d'eau du Nanchez des zones tourbeuses en partie sud de la RNR.

D'un point de vue pédologique, les sols observés sur la Réserve reflètent cette histoire géologique. Ils comprennent des lithosols calcaires, des sols colluviaux, , ainsi que des formations plus hydromorphes dans les zones humides, allant des sols paratourbeux aux tourbes épaisses.

3.2 Hydrologie

La Réserve se trouve dans le sous bassin versant de la Bienne, couvrant 21km². Le réseau hydrographique comprend principalement le bief du Nanchez (8,8 km) et son affluent le Trémontagne (3,8 km), qui traversent la Réserve. Après la confluence entre les biefs du Trémontagne et du Nanchez, le contexte karstique du site engendre des pertes d'eau vers des dolines réparties sur les flancs nord-est de la Réserve. Ces pertes finissent par alimenter la Bienne.

Les complexes tourbeux du site peuvent jouer un rôle dans la régulation des flux hydriques, en stockant et en redistribuant progressivement l'eau. Cependant, les anciens aménagements de canalisation des biefs réalisés pour augmenter les surfaces agricoles disponibles dans les années 1960-65 ont modifié ce fonctionnement, contribuant à l'assèchement de certaines zones humides de la RNR (*Tableau 1*). Suite à ces rectifications, les actions de restauration comme le reméandrement des biefs (*Figure 15*) et l'obstruction de fossés réalisés dans le cadre du programme LIFE "Tourbières du Jura" visaient à rétablir un régime hydrologique plus naturel et à limiter l'impact des périodes d'étiage sévères.

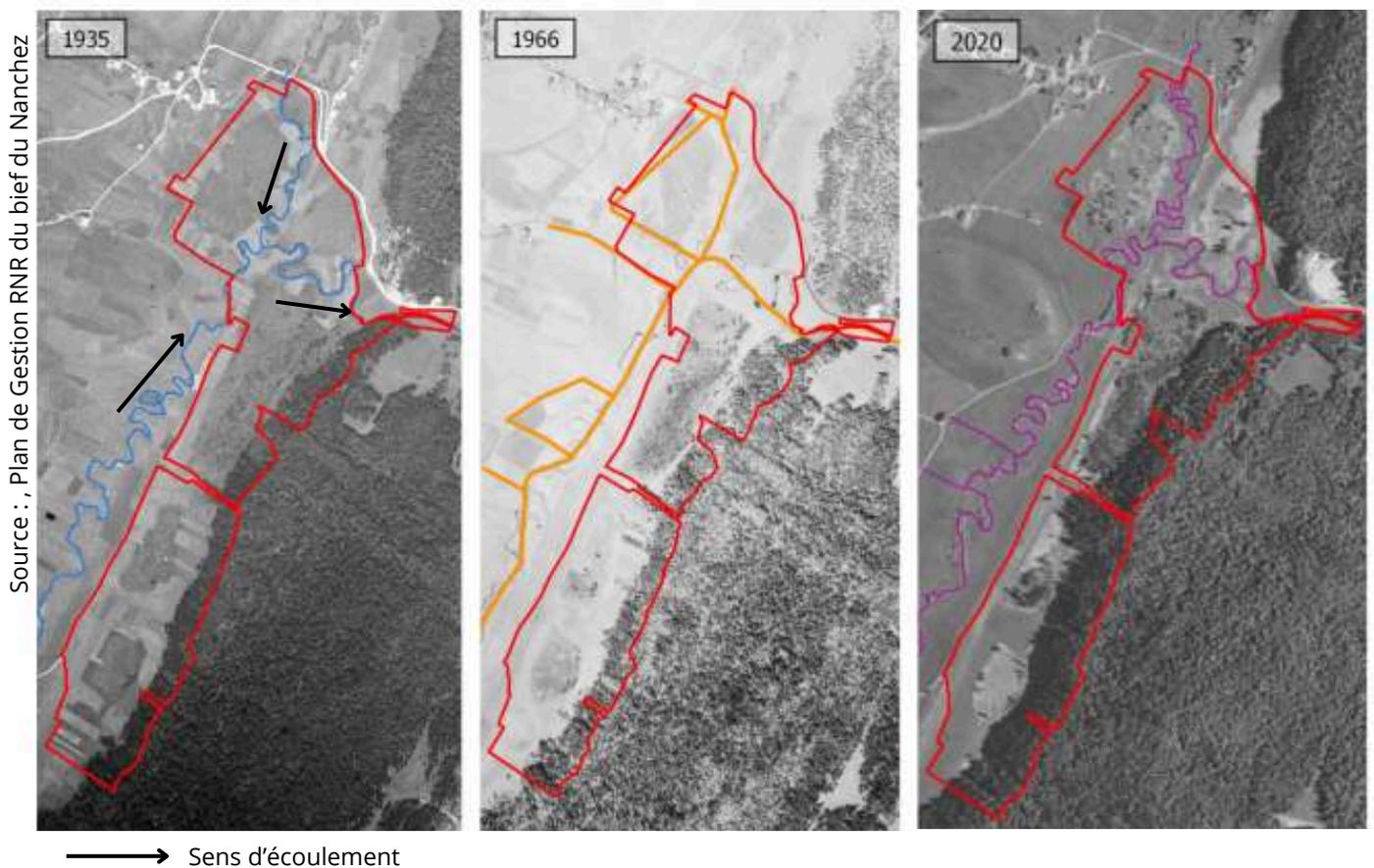


Figure 15 : Évolution du cours d'eau du Nanchez et du Trémontagne avant et après la chenalisation

Tableau 1 : Résumé des travaux sur les biefs du Nanchez et du Trémontagne entre 1960 et 2016

Date	Nature des travaux	conducteur de travaux	objectif / impact
1960-1965	Curage et rectification du lit du Nanchez et du Trémontagne	DDA et communes	drainage significatif des tourbières attenantes
1999	Reméandrage partiel	DDA PNRHJ	Retrouver un tracé méandrique en plan
2016	Reprise des travaux de reméandrage	PNRHJ (Programme LIFE)	Rééquilibrage des cours d'eau avec leur nappe alluviale et réhumectation des tourbières

3.3 Climat

Située entre 880 et 950m d'altitude, la Réserve est soumise à un climat montagnard, à influence continentale. Ce climat se caractérise par une forte pluviométrie répartie sur l'année et un enneigement hivernal. Les amplitudes thermiques annuelles sont importantes, bien qu'elles soient relativement basses, influencées par l'altitude et la situation en fond de Combe.

Bien qu'une station météo proche de la Réserve ait été installée, les données relevées sont récentes et incomplètes. Les données météorologiques issues de la station de Saint-Claude (référence 1991 - 2020), située à environ 500m d'altitude indiquent une température annuelle moyenne de 10,3 °C, avec une température extrême de 41°C enregistrée en juillet 2019 et - 23,7°C au mois de janvier 1997 (Figure 16). En moyenne, la Réserve connaît 99 jours de gel par an.

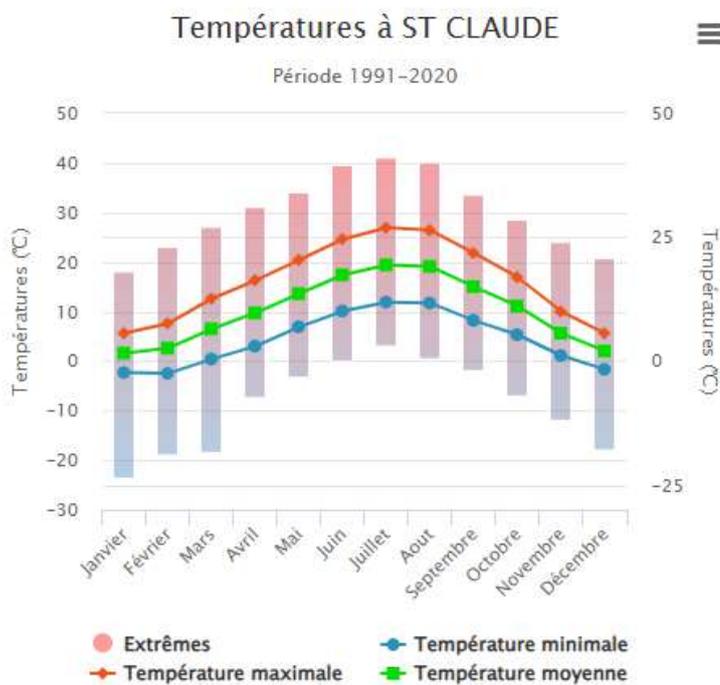


Figure 16 : Températures à St-Claude entre 1991 et 2020

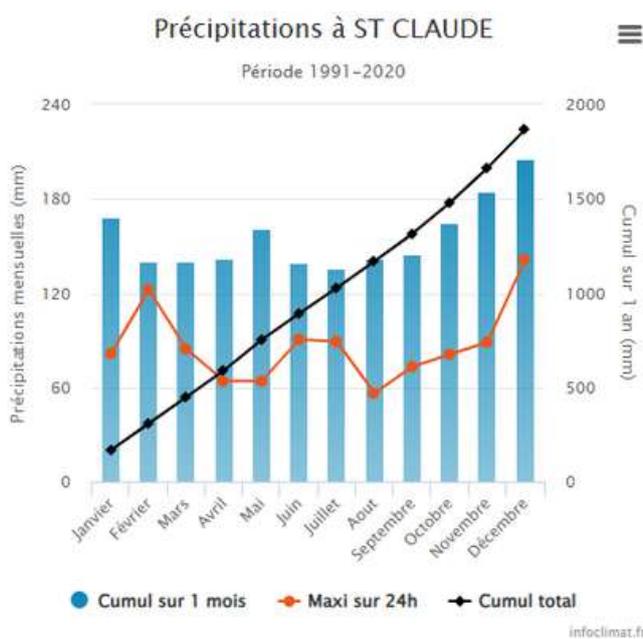


Figure 17 : Précipitations à St-Claude entre 1991 et 2020

Concernant les précipitations, le cumul annuel moyen de précipitations pour la période 1991-2020 est de 1869,2 mm. Les quantités d'eau sont relativement bien réparties sur l'année avec des valeurs moyennes entre 140 et 205 mm (Figure 17).

4. Patrimoine naturel

Les tourbières du bief du Nanchez se déclinent en 5 complexes tourbeux identifiés sur la base de relevés floristiques et des habitats associés (Collaud, 2022) (Figure 18). Outre les tourbières, la Réserve se caractérise par une mosaïque d'habitats de pelouses, mégaphorbiaies, roselières et peuplements forestiers qui ne sont pas présentés en détail dans ce rapport.

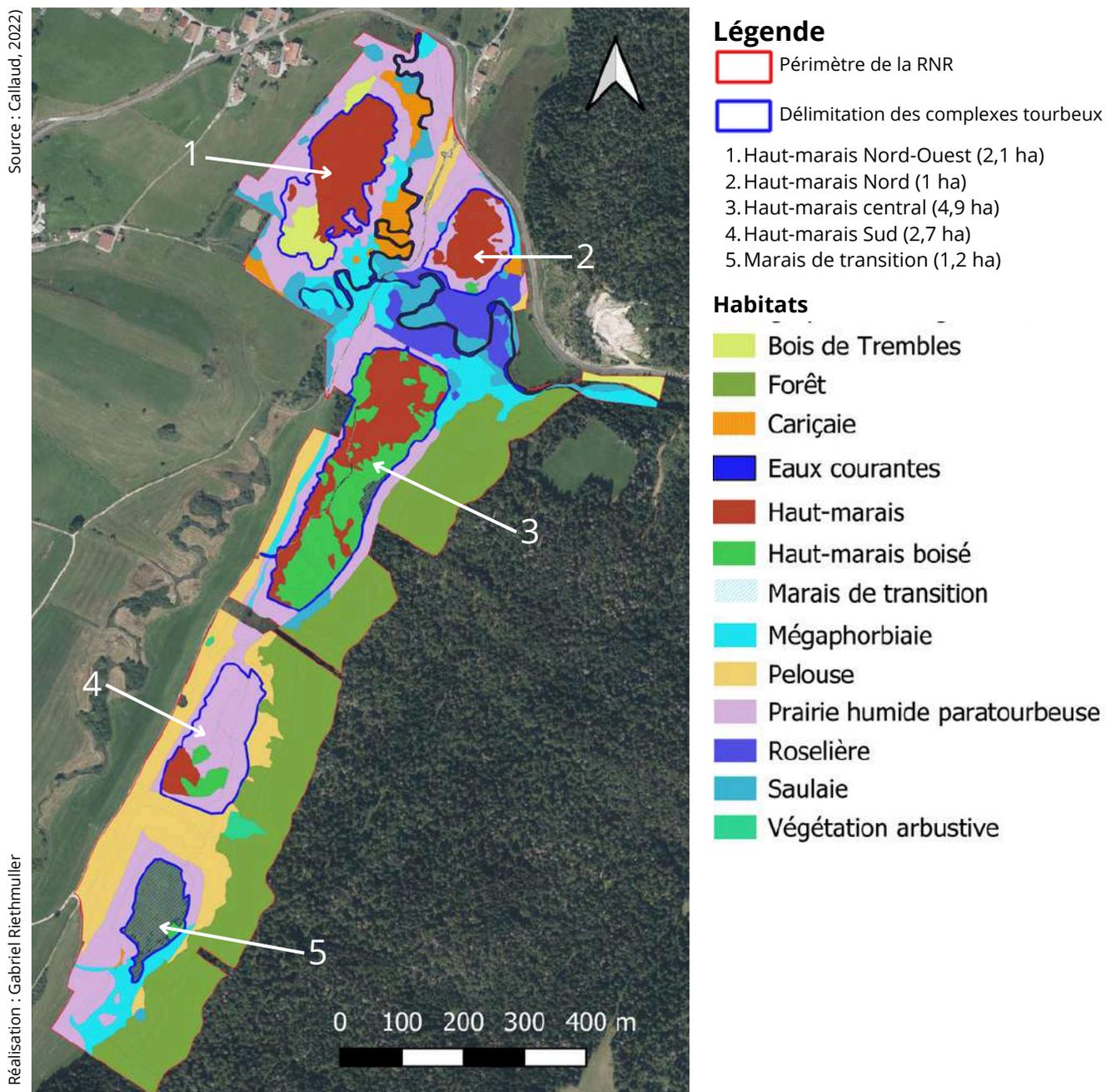


Figure 18 : Carte des habitats de la RNR des tourbières du Bief du Nanchez

4.1 Haut-marais Nord-Ouest



Surface : 2,9 ha

Végétation principale

*Eriophoro vaginati-Trichophoretum
cespitosi Eriophoro vaginati-
Trichophoretum uliginosi*

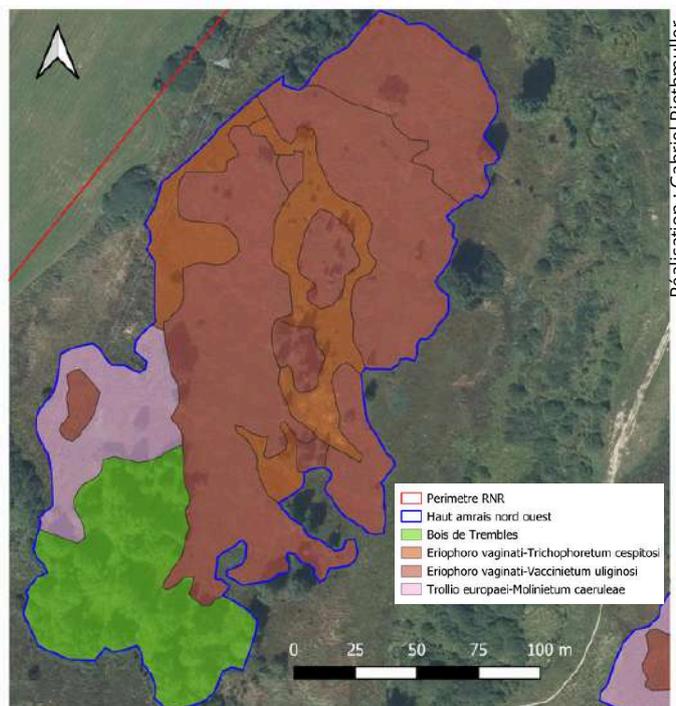
Habitats d'intérêt communautaire

7120-1 : Végétation dégradée des
tourbières hautes actives, susceptible
de restauration

7110-1 : Végétation des tourbières
hautes actives

Flore protégée ou menacée

Aucune recensée en 2021



Atteintes / État de conservation

Tourbière atteinte par un abaissement de la nappe qui a provoqué l'accélération du vieillissement de la tourbière. Globalement, la tourbière est en mauvais état de conservation. Il est attendu sur cette tourbière que les opérations de réhabilitation (programme LIFE tourbières du Jura) permettent le maintien des végétations relictuelles.

Source : Collaud expertises écologiques

4.2 Haut-marais Nord



Surface : 1,6 ha

Végétation principale

Eriophoro vaginati-Trichophoretum cespitosi
Eriophoro vaginati-Trichophoretum uliginosi

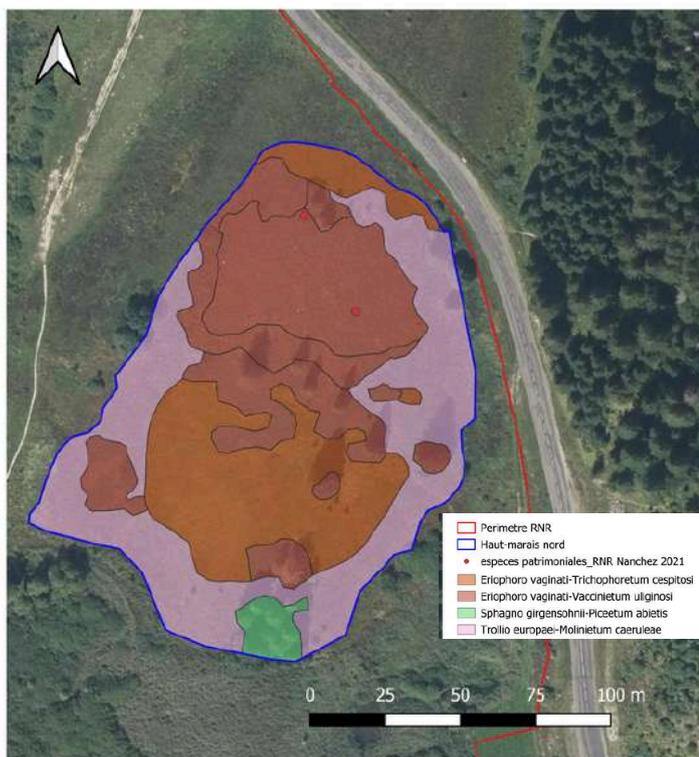
Habitats d'intérêt communautaire

7120-1 : Végétation dégradée des tourbières hautes actives, susceptible de restauration

7110-1 : Végétation des tourbières hautes actives

Flore protégée ou menacée

Andromeda polifolia (protection nationale), > 100 pieds



Atteintes / État de conservation

Tourbière partiellement atteinte par un abaissement de la nappe. De manière générale, la tourbière est en mauvais état de conservation. Le programme LIFE n'est pas intervenu sur ce site, ainsi, peu d'effets du reméandrement sont à attendre.

Source : Collaud expertises écologiques

4.3 Haut-marais Central



Surface : 4,9 ha

Végétation principale

Pinetum rotundatae ; *Eriophoro vaginati-Trichophoretum cespitosi* ; *Eriophoro vaginati-Trichophoretum angustifolii* ; *Sphagnetum magellanicum*

Habitats d'intérêt communautaire

7110-1 : Végétation des tourbières hautes actives

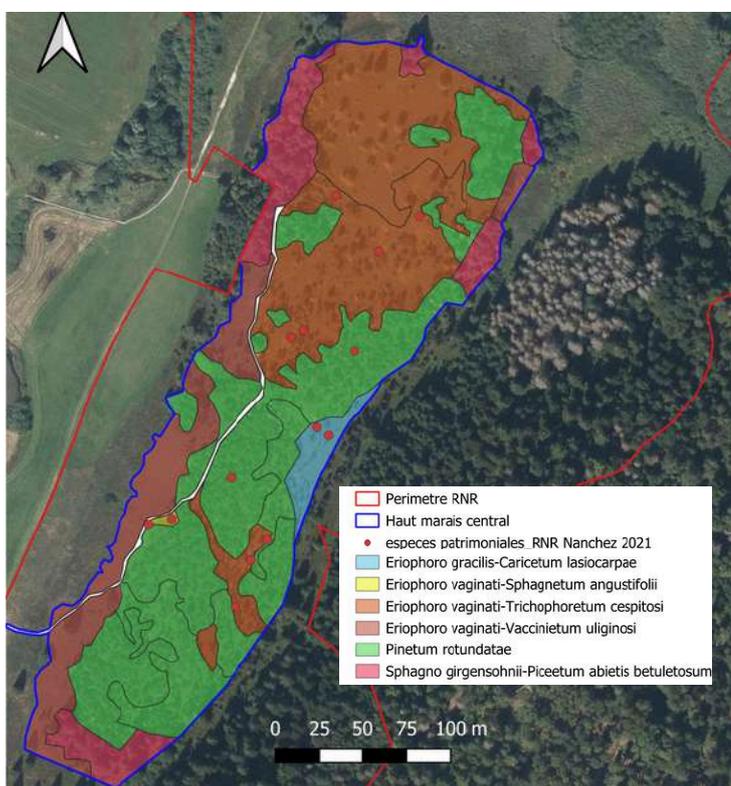
7140-1 : Tourbières de transition et tremblantes

Flore protégée ou menacée

Andromeda polifolia (protection nationale), très abondante ;

Drosera rotundifolia (protection nationale), assez abondante ;

Rhynchospora alba (protection régionale)



Réalisation : Gabriel Riethmuller

Atteintes / État de conservation

Aucune atteinte identifiée. De manière générale, la tourbière est en bon état de conservation

Source : Collaud expertises écologiques

4.4 Haut-marais Sud



Surface : 2,3 ha

Végétation principale

Trollio europaei-Molinietum caeruleae swertietosum perennis ; *Sphagno girgensohnii-Piceetum abietis* ; *Eriophoro vaginati-Trichophoretum uliginosi*

Habitats d'intérêt communautaire

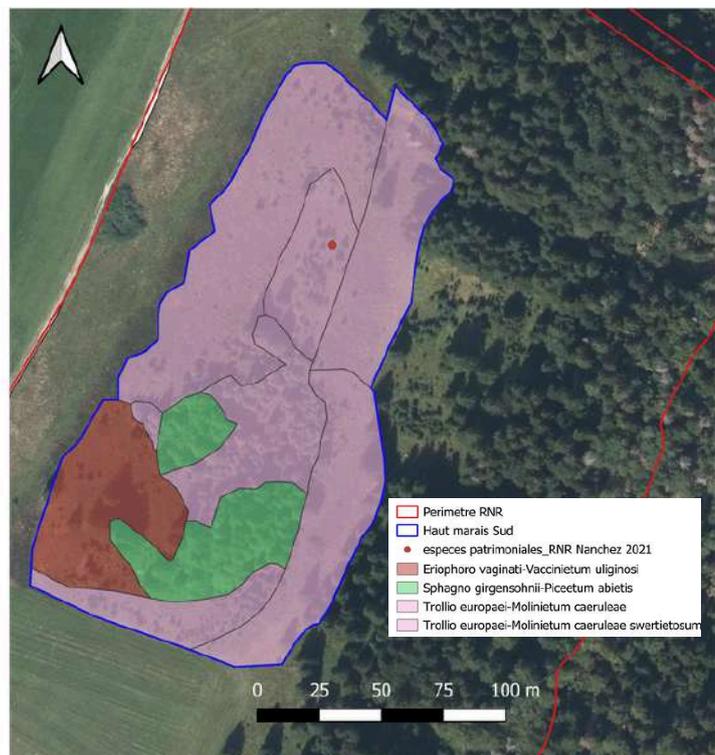
6410-3 : Prés humides oligotrophiques sur sols paratourbeux basiques, submontagnards à montagnards continentaux

7120-1 : Végétation dégradée des tourbières hautes actives, susceptible de restauration

91D0-4 : Pessières de contact des tourbières bombées

Flore protégée ou menacée

Dianthus superbus (protection nationale)



Atteintes / État de conservation

Tourbière probablement atteinte du fait de son exploitation passée. Des fossés de drainage sont potentiellement encore présents sur le site. La tourbière est en mauvais état de conservation.

Source : Collaud expertises écologiques

4.5 Marais de transition



© Rémi Collaud

Surface : 1,2 ha

Végétation principale

Eriophoro gracilis-*Caricetum lasiocarpae* ;
Sphagno warnstorffii-*Caricetum dioicae* ;
Trollio europaei-*Molinietum caeruleae*
swertietosum perennis ; *Sphagnetum*
magellanicum

Habitats d'intérêts européen

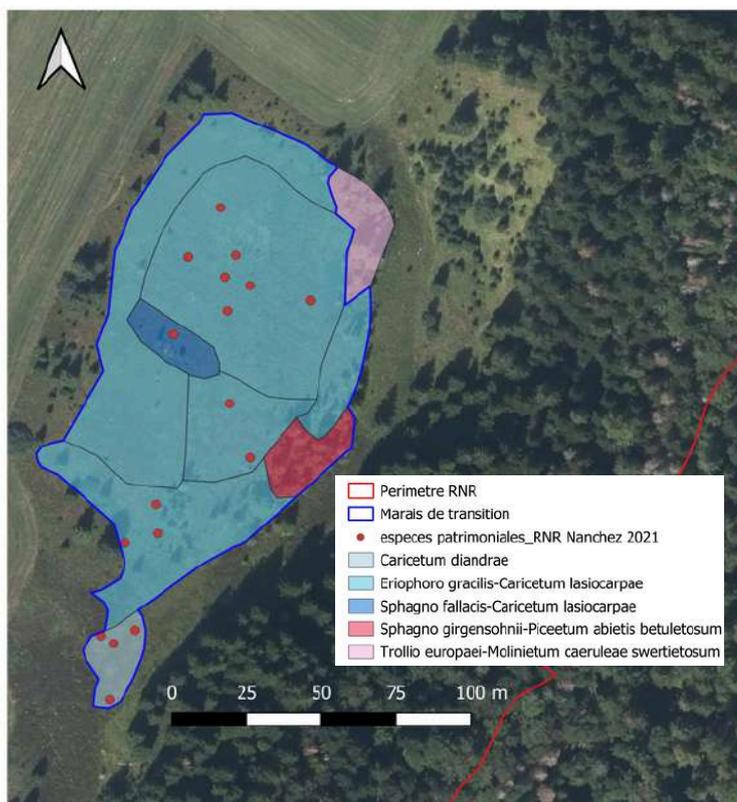
7140-1 : Tourbières de transition et tremblantes

6410-3 : Prés humides oligotrophiques sur sols paratourbeux basiques, submontagnards à montagnards continentaux

7110-1 : Végétation des tourbières hautes actives

Flore protégée ou menacée

5 espèces avec un niveau de protection national, dont la plus abondante est : *Drosera rotundifolia* et 2 espèces au niveau de protection régional, dont la plus abondante est : *Paludella squarrosa*



Atteintes / État de conservation

Aucune atteinte identifiée, malgré quelques restes de fosses et de petits drains. Cette tourbière est en très bon état de conservation. La rareté de ces habitats en fait un site d'intérêt majeur.

Source : Collaud expertises écologiques

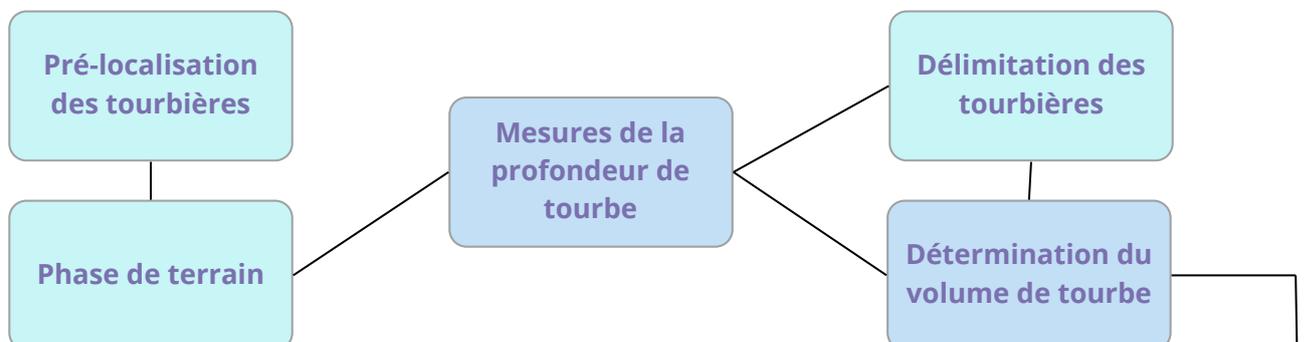
Partie IV : Matériel et Méthode

Pour répondre à la problématique suivante : **“Quelle est l’étendue, la profondeur et l’état de conservation des complexes tourbeux de la RNR des tourbières du bief du Nanchez, et quelles en sont les implications en termes de stockage de carbone ?”**, la méthodologie appliquée se base sur les travaux de thèse de Lise Pinault, doctorante au laboratoire Chrono-environnement. En effet, dans ces travaux Lise Pinault a réalisé un chapitre présenté sous la forme d’un guide méthodologique pour l’inventaire des tourbières de France et l’estimation de leur stock de carbone (Pinault, 2025). En plus des travaux de Lise Pinault, la méthodologie appliquée se base sur des travaux réalisés dans le cadre de stages (Taysse, 2024 & Barberot, Binetruy, Durain, Verstraete, 2025).

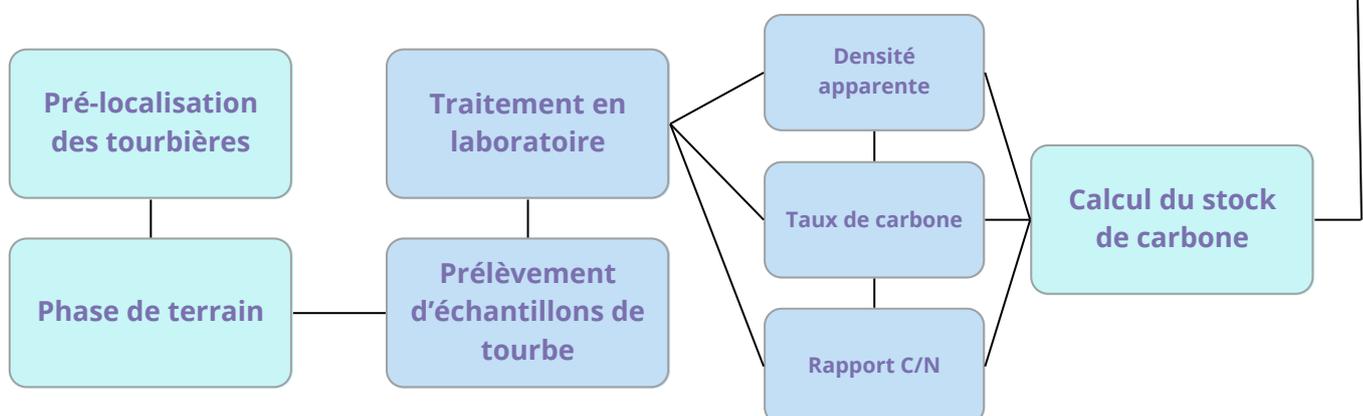
Cette méthodologie s’articule autour de 2 protocoles :

- **Le protocole de délimitation et d’estimation du volume des tourbières**

Pour connaître le volume des tourbières, il est impératif de connaître leur superficie en les délimitant. Les différentes phases du protocole sont schématisées ci-après :



- **Le protocole d’analyse des caractéristiques de la tourbe et calcul du stock de carbone**



1. Protocole de mesure des profondeurs maximales de tourbe et estimation du volume

1.1 Identification des zones potentiellement tourbeuses

L'identification des tourbières a été réalisée par Rémi Collaud dans le cadre de la cartographie des habitats (cf partie III). Cette identification s'est faite uniquement sur la base d'inventaires botaniques et phytosociologiques. Pour cela, les habitats caractéristiques des tourbières ont été ciblés, il s'agit plus particulièrement : des habitats de "Haut-Marais" ; "Haut-marais actif" ; "Lande de haut marais" ; "Haut marais boisé" ; "Marais de transition neutrocline" ; "Marais de transition neutroalcaline" et "Marais de transition acidiline". D'autres habitats, potentiellement tourbeux ont également été intégrés aux zones étudiées, il s'agit plus particulièrement d'habitats paratourbeux comme des "Cariçaiies" et des "Prairies paratourbeuses" (Figure 19). Une cartographie 3D de la localisation des sites a été réalisée (Annexe 7 p.X)

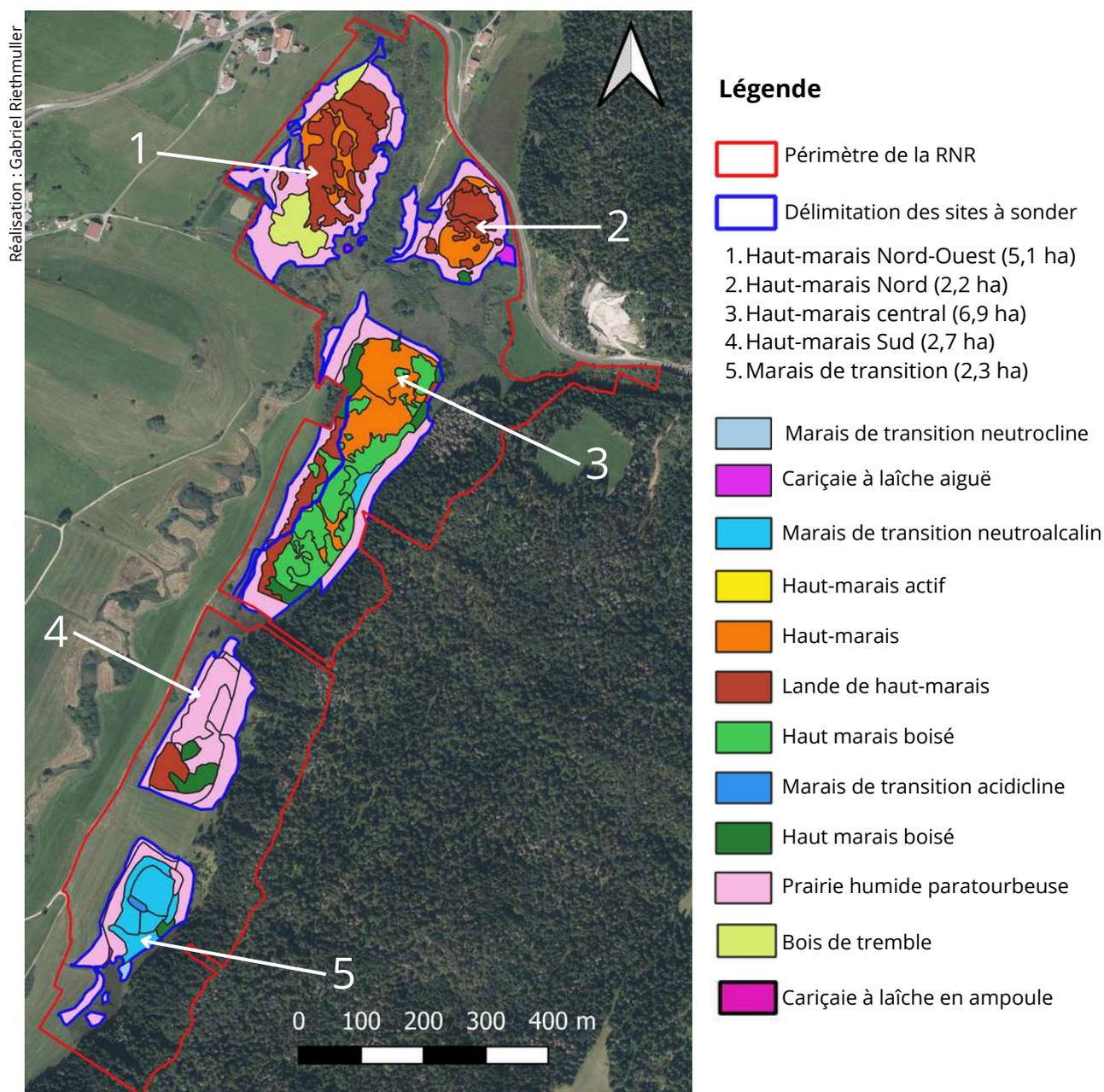


Figure 19 : Cartographie des site à sonder

1.2 Plan d'échantillonnage

Avant de mesurer les profondeurs de tourbe sur le terrain, il est nécessaire de réaliser un plan d'échantillonnage pour les zones ciblées précédemment, de manière à déterminer le nombre et la localisation des points de mesure. Une étude similaire réalisée par des étudiants de l'université de Montbéliard (Barberot, Binetruy, Durain, Verstraete, 2025) s'est basée sur un maillage de point fourni par le CEN Franche-Comté avec un espacement de 75 mètres entre chaque point (Annexe 8 p.XI). Ce maillage de points était destiné à l'étude d'une tourbière de 62 hectares. Cependant, les 5 complexes tourbeux de la Réserve ont des surfaces beaucoup plus restreintes. Il convient donc d'adapter l'espacement du maillage de manière à avoir suffisamment de points de mesure sur nos 5 sites. En effet, plus le maillage est serré, plus la précision des résultats est élevée. Il faut également tenir compte du temps que représente la mesure de ces points sur le terrain. Un maillage très serré oblige à sonder un grand nombre de points et de ce fait à passer beaucoup plus de temps sur le terrain. Il faut trouver le bon ratio entre précision / temps.

Dans un premier temps, un maillage de points espacés de 25 mètres les uns des autres a été proposé pour les 5 complexes tourbeux (Annexe 9 p.XII). Ce maillage de 25m semblait pertinent et adapté à la surface des tourbières de la Réserve en permettant d'avoir un niveau de précision fin. Cependant, un maillage de 50 mètres était plus adapté pour faire face à la contrainte de temps de ce stage. En effet, il a été décidé d'effectuer le protocole sur l'ensemble des complexes tourbeux plutôt que d'en privilégier certains, mais avec un niveau de précision plus élevé. De plus ce niveau de précision est suffisant pour répondre à la problématique.

Le maillage de point retenu est donc le maillage de points espacés de 50m (Figure 19). Celui-ci présente certaines limites en termes de délimitation du complexe tourbeux mais servira de base pour un prochain protocole, plus adapté à la délimitation fine des tourbières en cas de besoin. Le plan d'échantillonnage a été réalisé via le logiciel open source QGIS (version 3.40.4), avec l'outil "créer une grille" (Annexe 10 p.XIII). Le maillage qui en résulte (Figure 20) déborde volontairement des zones identifiées pour s'assurer que les points extérieurs aient une profondeur de tourbe insuffisante (<40cm).

Sur le terrain, la localisation exacte de certains points peut être modifiée pour des raisons d'accessibilité et des points peuvent être ajoutés pour préciser certaines zones où la limite de tourbe ne serait pas atteinte. Au total, 189 points de sondages sont réalisés (Annexe 11 p.XIV).

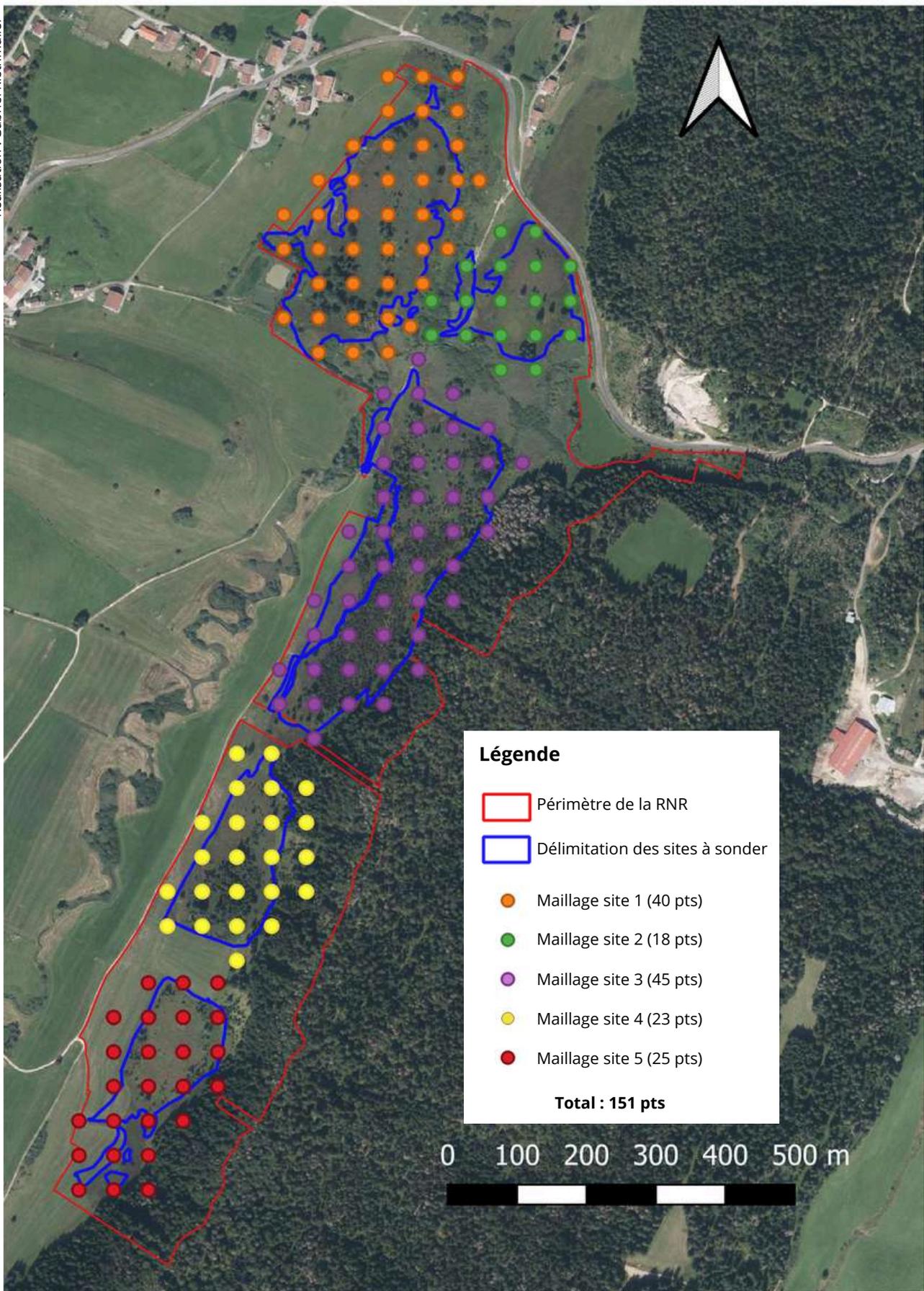


Figure 20 : Cartographie du maillage de point retenu (50m) sur l'ensemble des 5 complexes tourbeux

Sur le terrain, la localisation des points de mesure a été rendu possible par l'application QField 3.40.4 (Figure 21). Cette application permet bénéficier sur smartphone des maillages de points créés sur QGIS (version 3.40.4) et de rentrer les données acquises lors des sondages pédologiques (profondeur et altitude). Couplées à l'utilisation d'un ROVER RTK Sparkfun, la géolocalisation et les données d'altitude des points ont pu être précise au cm près.



Figure 21 : Utilisation de QFIELD

1.3 Méthode de sondage

Le sondage pédologique est effectué à l'aide d'une gouge de 1 mètre *Eijkelkamp* (Figure 22), plus simple à enfoncer dans la tourbe qu'un carottier russe. La gouge est donc privilégiée pour des raisons de facilité et de rapidité. L'outil est enfoncé dans le sol jusqu'au bout. La carotte qui en ressort est ensuite analysée visuellement. Si celle-ci est composée uniquement de tourbe, elle est mise de côté et l'opération est répétée en ajoutant une rallonge à la gouge jusqu'à l'apparition du substrat géologique argileux. Une fois la limite entre la tourbe et le substrat argileux atteinte, la profondeur de tourbe est mesurée avec un décimètre. Chaque carotte de tourbe est également prise en photo et nommée selon l'identifiant du point de mesure et la date du prélèvement.

Matériel utilisé

- Smartphone
- Application QField
- Rover RTK
- Gouge de 1 mètre
- Rallonges
- Décimètre



Figure 22 : Utilisation de la Gouge sur le terrain

1.4 Cartographie et modélisation SIG

L'ensemble des productions cartographiques du protocole ont été réalisées sur le logiciel open source QGIS (version 3.40.4). À partir des données récoltées sur le terrain, une base de données a été créée, contenant les informations relatives à chaque point de mesure (*Tableau 2*).

Tableau 2 : Données acquises sur le terrain

id	Tourbe	Profondeur ▲	Latitude	Longitude	Altitude
60	Oui	1,610	6606645,11600	918964,25790	884,90002
61	Oui	1,560	6606595,30000	918964,48840	884,45001
62	Oui	1,500	6606545,09900	918964,15640	883,90997

À partir de ces données, une carte de modélisation du fond des tourbières est créée, en réalisant une interpolation des mesures de profondeurs sur la surface de chaque complexe tourbeux. Pour cela, l'outil "Interpolation TIN" de la boîte à outil de QGIS (version 3.40.4) est utilisé. Après obtention du Raster d'interpolation, l'outil "courbe de niveau en polygone" permet de classer les niveaux de profondeur interpolés en courbes de niveau représentant une surface.

1.5 Calcul du volume de la tourbière

Le volume de tourbe est estimé à partir des courbes de niveau modélisées précédemment. Chaque classe de profondeur est associée à une surface calculée avec l'outil "calculatrice de champs" de QGIS (version 3.40.4). Dans un premier temps, le volume de chaque classe de profondeur est calculé par la formule : $V = S \times P$ où S correspond à la surface et P à la profondeur (*Figure 23*). Enfin, le volume total se calcule par la simple somme des volumes calculés par tranche de profondeur.

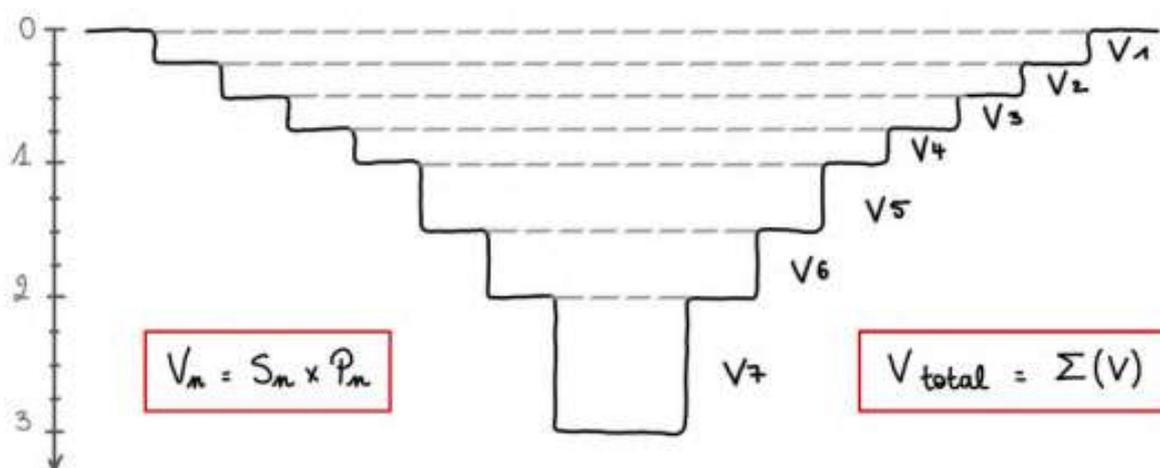


Figure 23 : Schéma du calcul des volumes

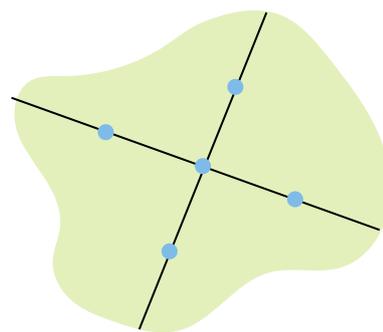
Source : Barberot, Binetruy, Durain, Verstraete, 2025

2. Protocole d'analyse des caractéristiques de la tourbe

2.1 Plan d'échantillonnage

La méthode d'échantillonnage utilisée pour l'analyse de tourbe est une méthode de sondages par doubles transects perpendiculaires décrite dans les travaux de thèse de Lise Pinault (Pinault, 2025). Cette technique marche aussi bien pour les sites de petite taille que de très grande taille, mais est moins précise que d'autres méthodes (maillage ou transect).

Pour la réaliser, il faut dans un premier temps tracer sur SIG un segment parallèle à la plus grande longueur de la tourbière et un autre perpendiculaire dans la plus grande largeur. Un point de prélèvement sera localisé à l'intersection des deux droites et 4 autres à mi-parcours entre le point central et l'extrémité des droites (Figure 24).



Tourbière — Transect ● Point de prélèvement

Figure 24 : Schéma du plan d'échantillonnage



Figure 25 : Localisation des points de prélèvements destinés à l'analyse de tourbe.

Une première cartographie, localisant les points de prélèvements selon cette méthode est réalisée (Annexe 12 p.XV). Pour des raisons de temps, la méthodologie appliquée a été modifiée. Seul un point de prélèvement par site est effectué au niveau des zones les plus profondes des complexes tourbeux.

La localisation des points de prélèvements (Figure 25) est effectuée après obtention des résultats cartographiques de profondeur (Figure 28).

Légende	
	Périmètre RNR
	Points de prélèvement
	Zone de forte profondeur
	Limite des tourbières

2.2 Méthode de prélèvement

Les échantillons de tourbes, destinés à l'analyse en laboratoire ont été prélevés au carottier russe (Figure 26). L'usage de cet outil permet d'obtenir des échantillons non perturbés et de bonne qualité. Sur le terrain, chaque point de sondage nécessite plusieurs prélèvements de 10cm, tous les 25cm dans le premier mètre de tourbe (Pinault, 2025) (Figure 27). Il y aura donc un prélèvement entre -25 et -35cm, -50 et -60cm, -75 et -85cm, -100 et -110cm. Après le premier mètre de tourbe, les prélèvements s'effectuent tous les 40cm, soit un prélèvement entre -150 et -160cm.

Si besoin, passé les deux mètres, un seul échantillon par mètre supplémentaire est prélevé. Le nombre de prélèvements dans le premier mètre est plus important en raison des variations de composition qui sont plus élevées en surface qu'en profondeur.

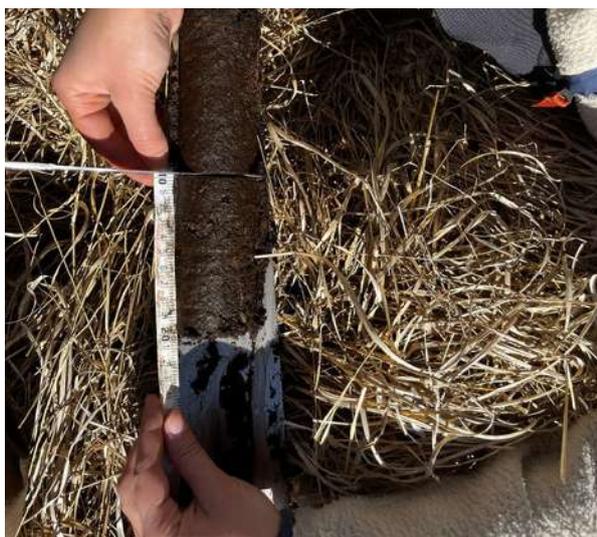


Figure 27 : Prélèvement d'une carotte de 10 cm



Figure 26 : Utilisation du carottier russe sur le terrain

Après extraction, chaque prélèvement est placé soigneusement dans un sac de congélation et étiqueté avec la date, le nom du site, le numéro du point de prélèvement et la profondeur de l'échantillon.

Les carottes sont ensuite conservées au réfrigérateur à une température de 4°C jusqu'aux analyses.

Matériel utilisé

- Smartphone
- Application QField
- Rover RTK
- Carottier russe
- Rallonges
- 50 sacs de congélation
- Marqueur

2.3 Analyses en laboratoire

Les analyses sont réalisées au Laboratoire Chrono-Environnement à Montbéliard. Plusieurs paramètres sont mesurés dans les échantillons : la densité apparente (D_a), les taux de matière organique (MO) et de cendres (Ashes) et le taux de carbone organique déduit de la perte au feu (Corg). Ces paramètres servent à estimer les stocks de carbone des tourbières et leur potentiel émissif. Les échantillons de tourbe sont d'abord séchés à l'étuve à 60°C 48 à 72h (Pinault, 2025), avec plusieurs pesées pour contrôler le séchage jusqu'à l'obtention d'une masse stable. Les masses sont toujours mesurées à l'aide d'une balance de précision à 0.01 mg.

2.3.1 Calcul de la densité apparente

Une fois les échantillons séchés, leur densité apparente est déterminée selon la formule suivante : $D_a = M_s/V_t$ où M_s correspond à la masse sèche de l'échantillon et V_t au volume total du prélèvement soit 106 cm³ pour des carottes de 10cm prélevées au carottier russe.

Résumé des étapes

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none">• Disposer les échantillons dans des coupelles résistantes à la chaleur dont la masse a préalablement été pesée.• Peser la masse de la coupelle avec l'échantillon humide• Disposer l'échantillon dans l'étuve à 60°C pendant 48 à 72h jusqu'à stabilité de la masse. | <ul style="list-style-type: none">• Peser les coupelles contenant la tourbe séchée• Calcul de la masse sèche solide en enlevant le poids de la coupelle• Calcul de la densité apparente avec la formule : $D_a = \frac{M_s}{V_t}$ |
|---|---|

2.3.2 Taux de matière et carbone organique par perte au feu

Le taux de cendres (Ashes), le taux de matière organique (MO) et taux de carbone organique (Corg) sont trois mesures utilisées dans le calcul du stock de carbone (Pinault, 2025). Les taux de cendres et de matière organique sont obtenus par perte au feu, une technique de combustion à très haute température. Le protocole consiste à prélever 2 grammes de la matière sèche précédemment obtenue et de la passer à 550°C pendant 5h dans un four à mouffles. Les échantillons de 2 gr (M_s) sont préalablement broyés puis tamisés à 2mm pour enlever les fibres grossières qui peuvent biaiser l'évaluation de la perte au feu.

Après tamisage, les échantillons sont disposés dans des creusets dont la masse est connue et sont pesés avant le passage à four au moufle. Après combustion, les creusets sont à nouveau pesés. La masse des cendres (M_c) correspond à la masse après passage au four moins la masse du creuset seul.

Le taux de cendres (*Ashes*) est lui obtenu par la formule : **$Ashes = M_c/M_s \times 100$**

Le taux de matière organique (MO) correspond à l'inverse de la mesure du taux de cendre soit : **$MO = 100 - Ashes$**

Le taux de carbone organique (C_{org}) est déduit de la mesure de MO avec un facteur de conversion de 1,92 (Pinault, 2025), soit : **$C_{org} = MO / 1,92$**

Résumé des étapes

- Broyer les échantillons dans un mortier. Celui-ci doit être nettoyé entre chaque échantillon pour éviter les contaminations.
- Tamiser les échantillons à 2mm
- Transférer 2 gr d'échantillon tamisé dans un creuset dont la masse vide est connue.
- Bruler les échantillons au four a moufle pendant 5h à 550°C.
- Peser les échantillons brûlés

- Calcul de la masse des cendres en enlevant la masse du creuset seul
- Calcul du taux de cendre avec la formule :

$$Ashes (\%) = \frac{M_c}{M_s} \times 100$$

- Calcul du taux de matière organique avec la formule :

$$MO = 100 - Ashes$$

- Calcul du taux de carbone organique avec la formule :

$$C_{org} = \frac{100 - Ashes}{1,92}$$

2.3.3 Estimation du stock de carbone

L'estimation du stock de carbone de chaque site est obtenue à partir des données précédemment mesurées (*Corg*, *Da* et l'épaisseur de tourbe moyenne) par la formule suivante :

$$\text{Stock } c = Ep \times S \times Da \times Corg$$

Stock c : stock de carbone du site (kg)

Ep : moyenne des épaisseurs de tourbe du site (m)

S : surface du site (m²)

Da : moyenne des densités apparentes (kg m³)

Corg : moyenne des taux de carbone (kg/kg)

3. Modélisation des écoulements de surface et de profondeur (Mission Annexe)

La modélisation des écoulements de surface et de profondeur a été réalisée sur le logiciel open source QGIS (version 3.40.4).

Pour les écoulements de surface, la méthodologie appliquée sur le logiciel a été dans un premier temps de combler les vides du MNT de la RGE alti 1m de l'IGN en utilisant la fonction "Fill sinks" de la boîte à outils "Saga Next Gen". Une fois les vides comblés, il a été possible de lancer le programme "Channel Network & Drainage Bassins" en utilisant en MNT d'entrée le nouveau MNT comblé. Cette fonction permet de tracer tous les écoulements théoriques de la zone d'étude en fonction de la topographie du site. Une fois les écoulements obtenus, ceux-ci ont été retracés de manière plus schématique pour des questions de lisibilité cartographique. Les points d'exutoires ont pu être localisés à la sortie des sites où les altitudes sont les moins élevées.

Pour les écoulements de profondeur, la même méthode a été appliquée, mais en utilisant un autre MNT de départ. Les interpolations de profondeur de tourbe issues des données de terrain ont été soustraites au MNT de l'IGN de manière à enlever l'épaisseur de tourbe au nouveau MNT. Ce nouveau MNT correspond donc aux altitudes du substratum sous la tourbe. Une fois cela effectué, la même méthode que pour les écoulements de surface a été réalisée, en utilisant le MNT de profondeur récemment créé.

Partie V : Résultats

1. Profondeur des complexes tourbeux de la RNR

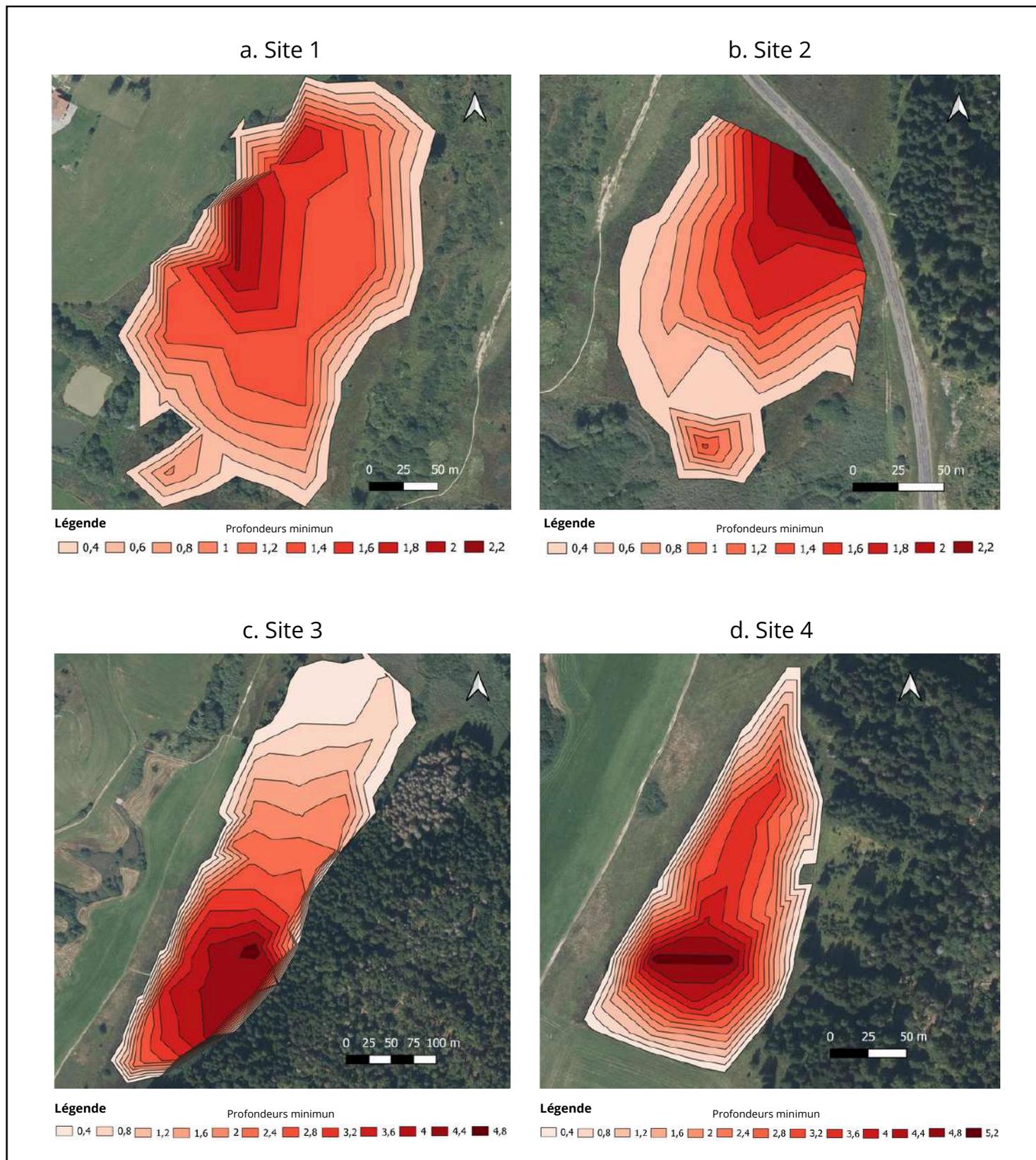


Figure 28 : Cartographie des profondeurs de tourbe sur 4 complexes tourbeux de la RNR des tourbières du bief du Nanchez, obtenue par la technique d'interpolation "Interpolation TIN", représenté en courbes de niveaux.

1.1 Haut-marais Nord-Ouest (site 1)

Les résultats obtenus après interpolations des points de mesures de profondeur sur la tourbière Nord-Ouest mettent en évidence des profondeurs hétérogènes, avec une zone d'accumulation de tourbe plus importante située au centre-ouest (*Figure 28*). La profondeur de tourbe moyenne pour ce site est de 1,30 mètre, avec une profondeur maximale atteignant les 2,25 mètres et une profondeur minimum de 0,4m (limite pédologique retenue des tourbières).

1.2 Haut-marais Nord (site 2)

Le site Nord (site 2) présente des profondeurs hétérogènes avec une zone d'accumulation plus importante à l'extrémité Nord-Nord-Est du site. La localisation en bordure de tourbière de la zone de profondeur maximale (2,23 mètres de tourbe) pourrait s'expliquer par la présence de la route qui serait venue couper l'entité tourbeuse en deux. En effet de l'autre côté de la route (hors Réserve), la végétation semble relativement semblable (touradons de molinie). L'entité tourbeuse de ce site pourrait donc continuer hors Réserve, mais aucun sondage de profondeur n'a été réalisé de ce côté, faute de temps.

D'autre part, les résultats mettent en évidence une seconde zone d'accumulation, isolée de la première au Sud du site sur une zone de végétation boisée (Épicéa et bouleau). Cette seconde zone est cependant moins profonde que la zone Nord-Nord-Est avec une profondeur de 1,4 mètre de tourbe.

Pour ce site, la profondeur moyenne de tourbe est relativement semblable à celle du site 1 avec 1,21 mètres.

1.3 Haut-marais Centrale (site 3)

Cette troisième tourbière, coincée entre deux reliefs que sont le Cotat Bossus à l'Ouest et la forêt des Piards à l'Est est plus profonde que les deux précédentes, avec une profondeur maximale atteignant les 4,91 mètres. Cette zone d'accumulation se situe au Sud-Est du site. Au niveau de la partie nord du site, les profondeurs de tourbe sont moins importantes et plus progressives que dans la partie sud. En effet, la partie Sud présente une évolution des profondeurs très rapide des bords vers le centre. La tourbière centrale, plus grande et plus profonde a une profondeur de tourbe moyenne de 2,37 mètres.

1.4 Haut marais Sud (site 4)

Le quatrième complexe tourbeux de la Réserve, lui aussi confiné entre les deux reliefs précédemment cités, est celui qui comporte les plus importantes profondeurs de tourbes mesurées. En effet la zone d'accumulation centrale, localisée dans la partie Sud atteint plus de 5,3 mètres de tourbe. C'est ici le seul site où la profondeur maximale n'a pas été atteinte lors des mesures de terrain en raison d'un manque de moyens humain. Pour ce site, les profondeurs de tourbes progressent également très rapidement entre les bordures et la zone centrale. Ici, la profondeur moyenne de tourbe est de 2,75 mètres, soit la tourbière avec la moyenne la plus élevée. Cette valeur est une valeur minimum étant donné que la profondeur maximale réelle n'a pas été atteinte.

1.5 Marais de transition (site 5)

Aucune mesure de profondeur n'ont été effectuées sur ce site en raison d'un programme de réintroduction de la saxifrage œil-de-bouc dont il fait l'objet. Outre le programme de réintroduction, la contrainte de temps du stage n'a pas permis la réalisation des points de mesures sur le Marais de transition.

1.6 Localisation des zones profondes

En mettant en superposition les zones de forte profondeur et le MNT de surface des tourbières, on s'aperçoit qu'elles sont quasi systématiquement localisées aux niveaux des plus hautes altitudes des complexes tourbeux (*Figure 29*).

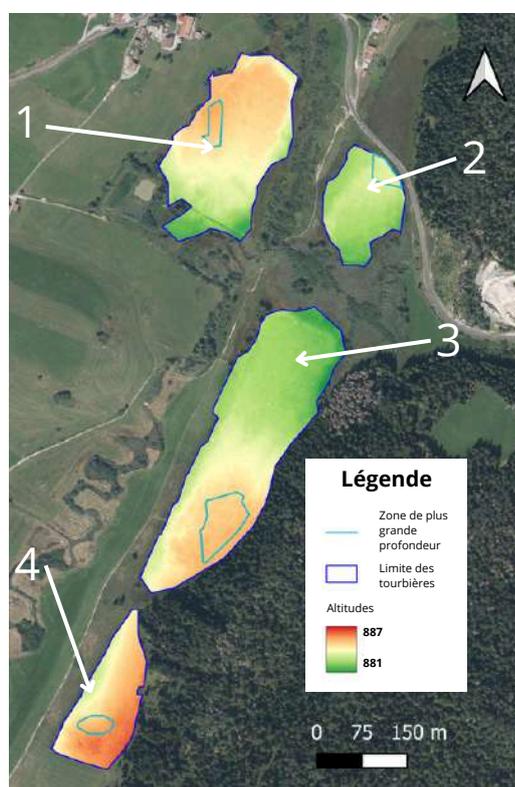


Figure 29 : Cartographie des zones de profondeurs maximales

Cette morphologie est assez caractéristique des haut-marais ombrotrophes en dôme (bombé). En effet dans les haut-marais bombés, la tourbe s'accumule souvent au centre jusqu'à former une bosse plus élevée que les marges (UCL, 2014). La zone plus haute en altitude est donc souvent la plus profonde, car c'est là que l'accumulation peut être maximale. Toutefois, cela peut être assez différent en fonction de l'alimentation en eau des tourbières.

Pour le site 4, la zone la plus profonde n'est pas exactement située au niveau d'altitude la plus élevée du complexe, mais un peu en contre bas. Cela pourrait s'expliquer par une topographie interne ayant conduit à l'accumulation maximale de la tourbe dans cette zone ou liée à l'exploitation de la tourbe ayant modifié la topographie de surface.

2. Délimitation des tourbières selon la profondeur de tourbe

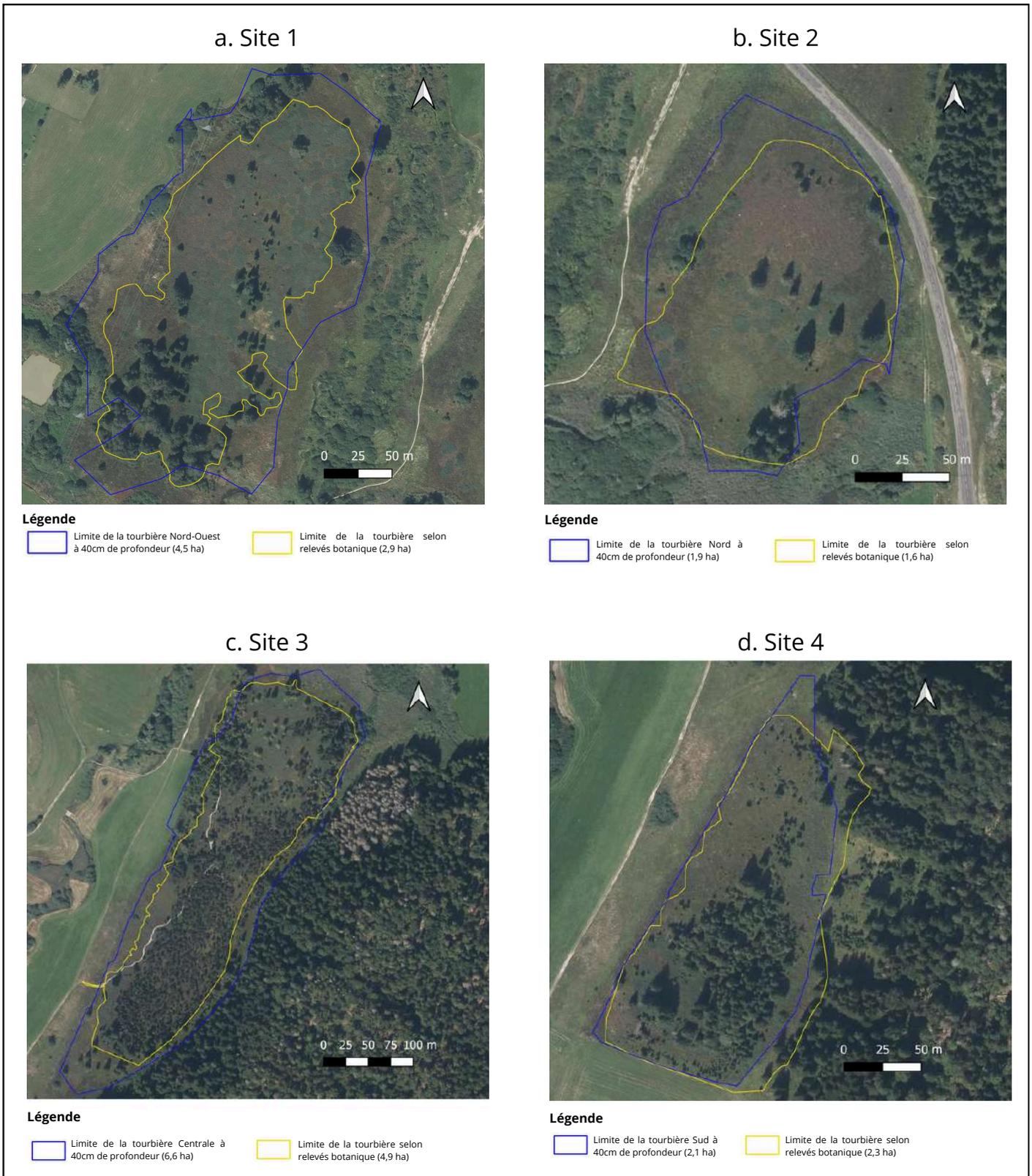


Figure 30 : Cartographie de la limite des tourbières selon les critères pédologiques de 40cm de profondeur (a. site Nord-Ouest ; b. Site Nord; c. Site Central; d. Site Sud).

Les cartographies de profondeur de tourbe interpolées ont permis de retracer les contours des entités tourbeuses selon le critère pédologique de 40cm de profondeur minimum (*Figure 30*). La limite des 40cm a été obtenue à partir des courbes de niveau, issues de l'interpolation des points de profondeurs.

Pour les trois premiers sites, le critère pédologique a conduit à l'augmentation des surfaces :

- Site 1 : Végétation (2,9 ha) → pédologie 40cm (4,5 ha) + 55%
- Site 2 : Végétation (1,6 ha) → pédologie 40cm (1,9 ha) + 18%
- Site 3 : Végétation (4,9 ha) → pédologie 40cm (6,6 ha) + 34%

Pour le quatrième site, la surface a été réduite selon les critères pédologique :

- Site 4 : Végétation (2,3 ha) → pédologie 40cm (2,1 ha) - 9%

3. Topographie du substratum interne des tourbières

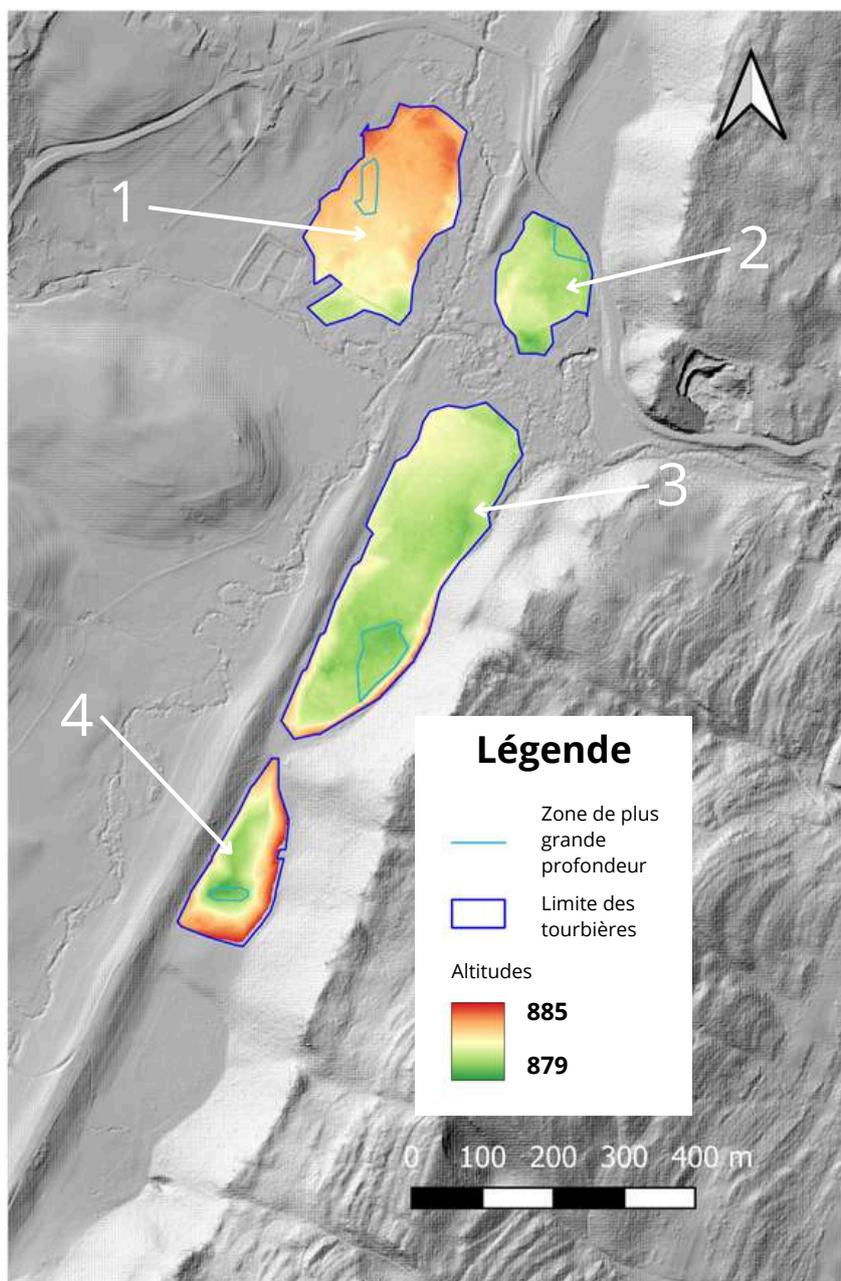


Figure 31 : Cartographie de la topographie du substratum interne des tourbières

Cette cartographie de la topographie du substratum sous la tourbière (Figure 31) a été obtenue après soustraction du raster d'interpolation des profondeurs au MNT de la RGE alti de l'IGN avec la calculatrice Raster de QGIS (version 3.40.4). La soustraction de l'épaisseur de tourbe au MNT révèle la topographie interne des tourbières.

À l'exception du haut-marais Nord-Ouest (site 1) les zones d'accumulation tourbeuses (profondeurs maximales) semblent localisées dans des dépressions topographique du substratum. L'accumulation d'eau dans ces dépressions aurait favorisé le processus de turfigénèse.

À l'inverse, la zone d'accumulation la plus importante du site 1 ne se trouve pas au niveau du point le plus bas du substratum, mais sur une zone plus-tôt surélevée. Cette observation est plus visible sur le schéma de coupe (Figure 32).

Le site 2 et 3 ont une topographie interne plutôt homogène où l'on retrouve quelques légères dépressions du substratum assez marquées dans le Sud-Est et Sud Ouest du site 3.

Le site 4 est le site où l'effet "cuvette" est le plus marqué. En effet, la topographie interne du site révèle un contraste fort entre les marges de la tourbière et son centre.

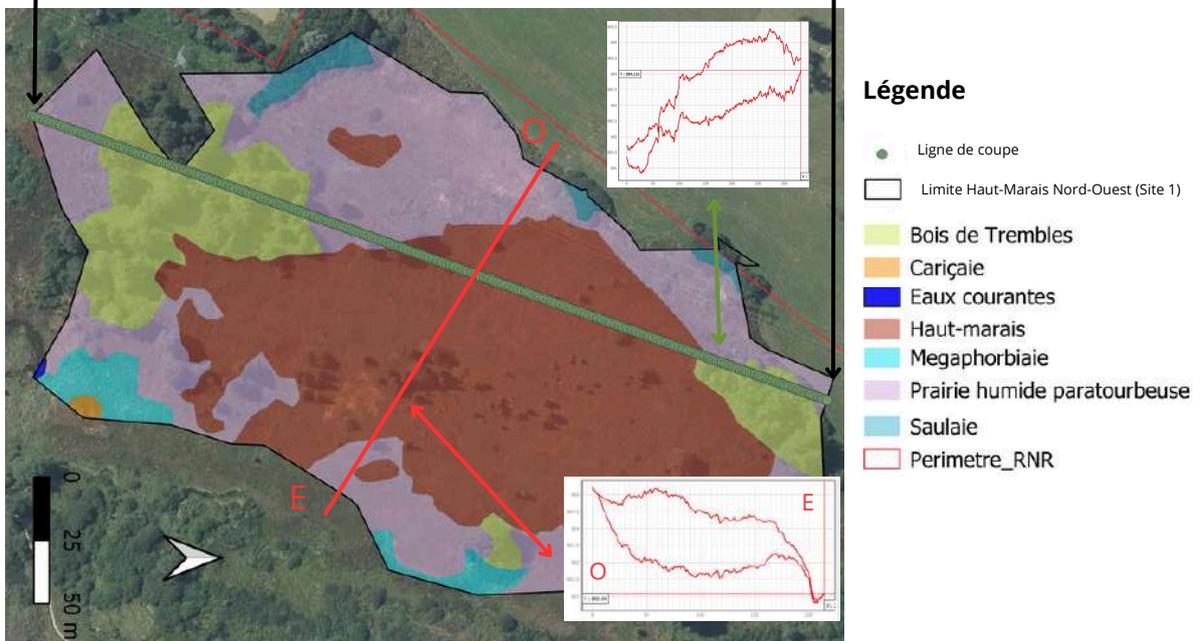
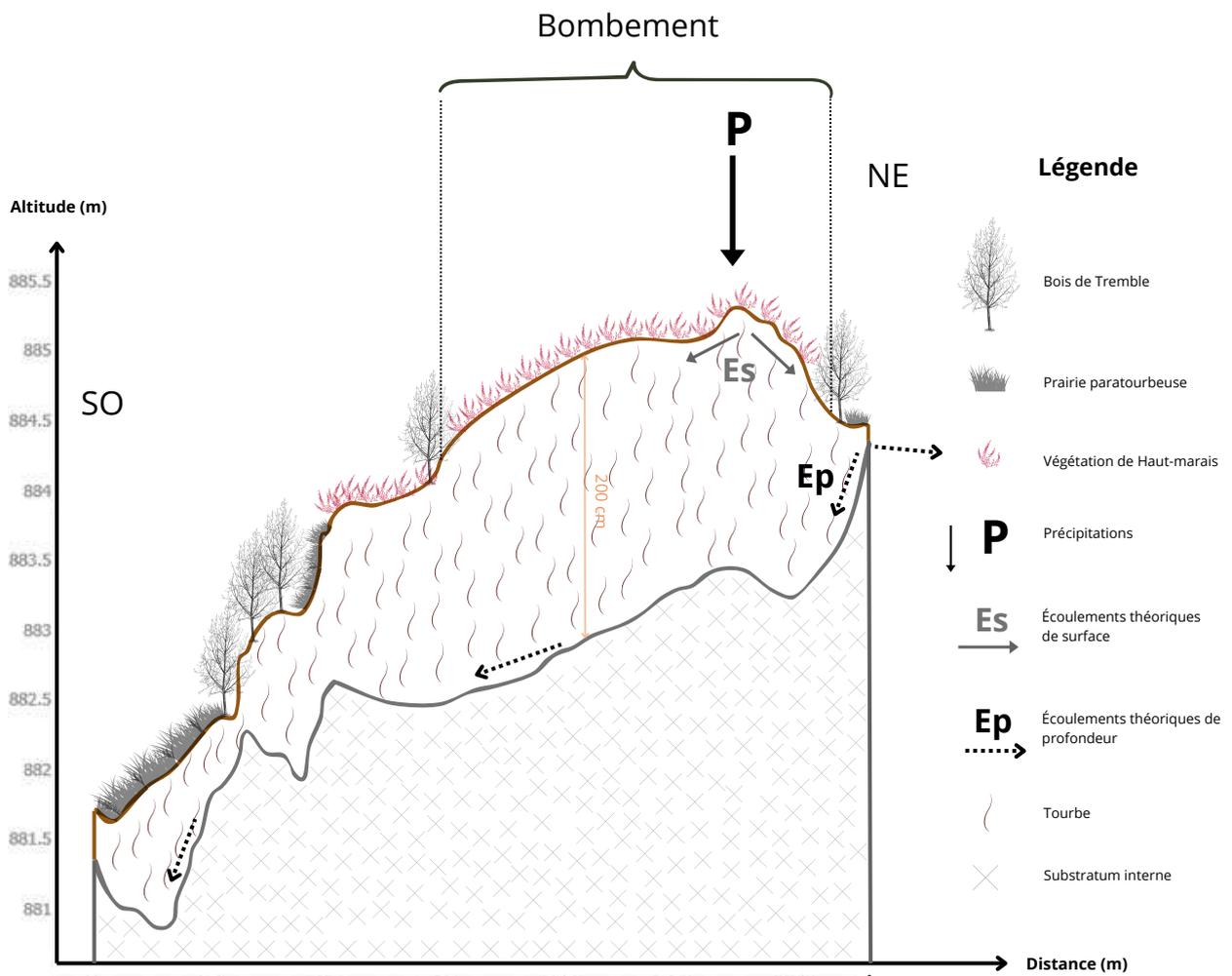


Figure 32 : Schéma du profil de surface et de profondeur du Haut-marais Nord-Ouest (Site 1) : orientation Sud Ouest - Nord Est

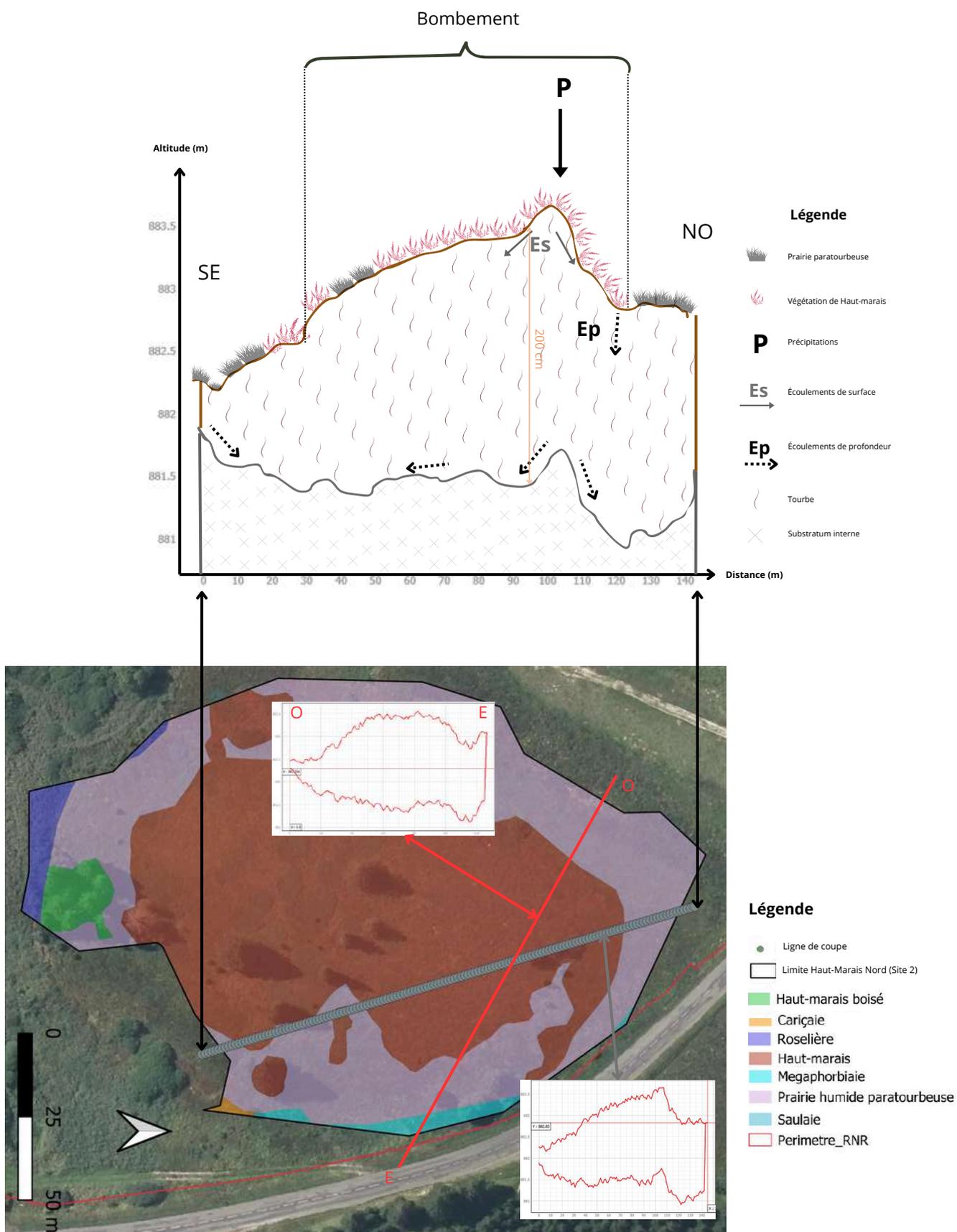


Figure 33 : Schéma du profil de surface et de profondeur du Haut-marais Nord (Site 2) : orientation Sud-Est - Nord-Ouest

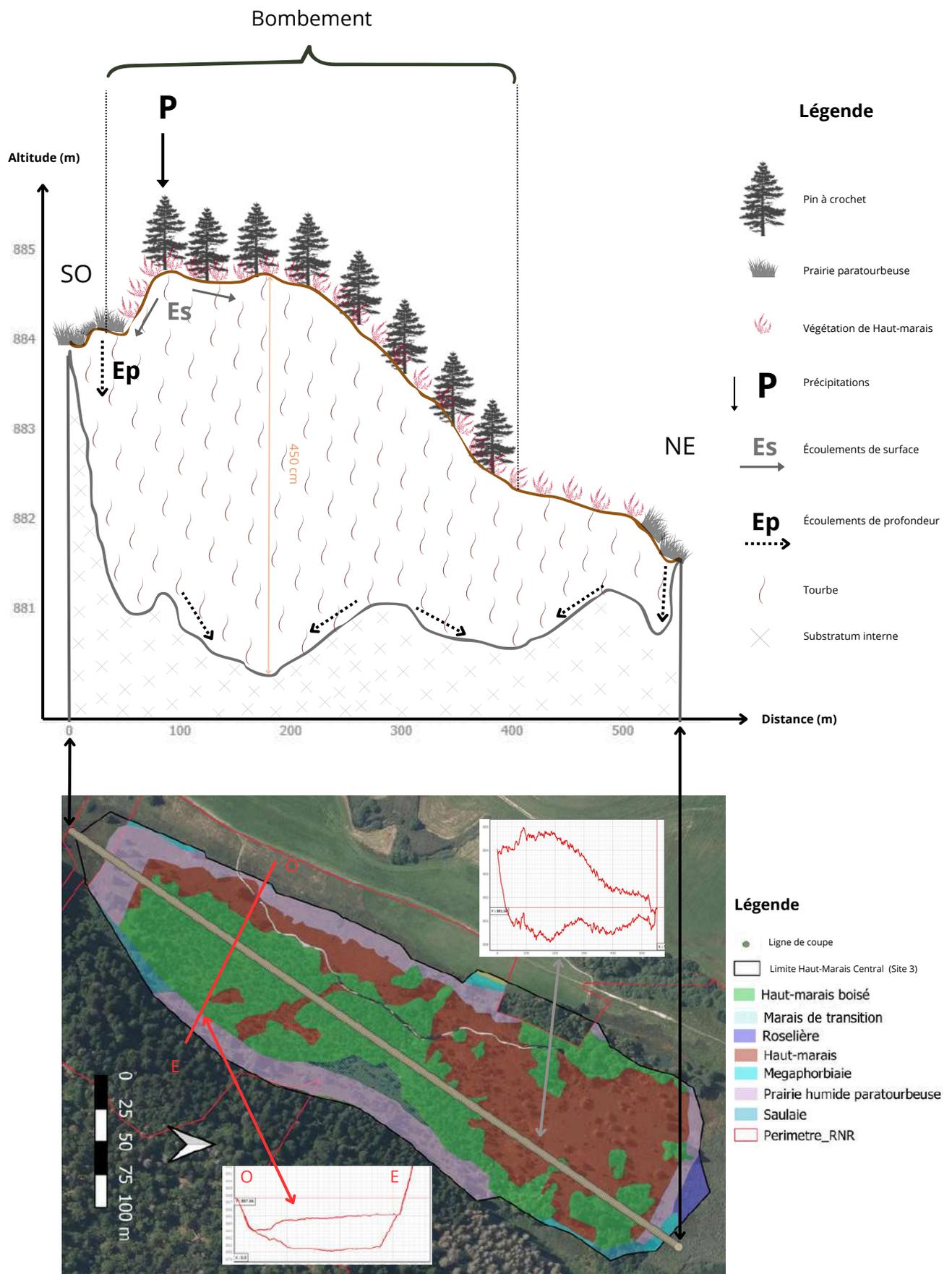


Figure 34 : Schéma du profil de surface et de profondeur du Haut-marais Central (Site 3) : orientation Sud Ouest - Nord Est

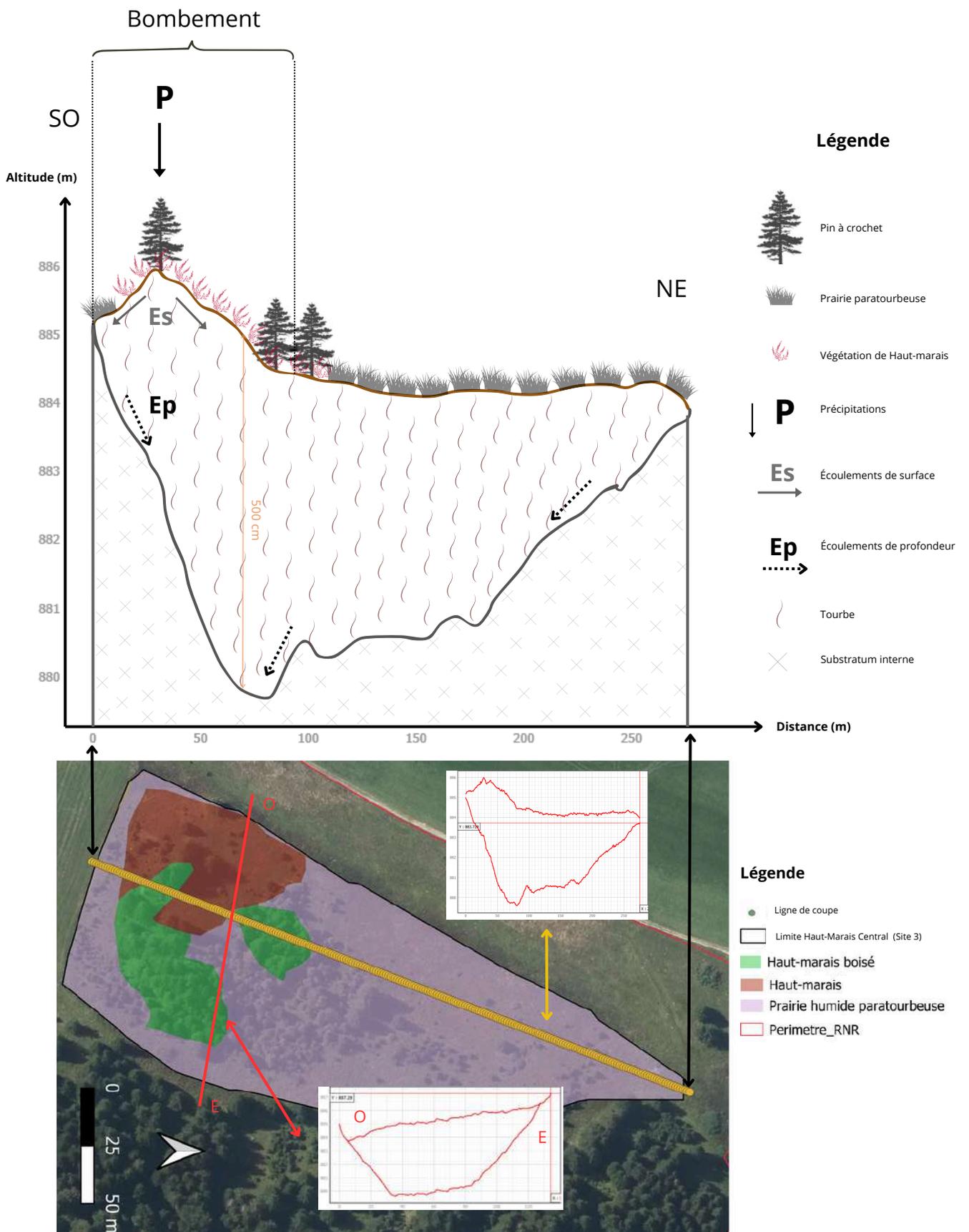


Figure 35 : Schéma du profil de surface et de profondeur du Haut-marais Sud (Site 4) : orientation Sud Ouest - Nord Est

3.1 Haut-marais Nord-Ouest (site 1)

Le profil topographique de ce site (*Figure 32*) révèle que la tourbière repose sur un substratum présentant une pente orientée Nord-Est-Sud-Ouest. Cette pente est exagérée sur la figure et est en réalité beaucoup moins prononcée. L'épaisseur maximale de tourbe d'environ 2,25 mètres est localisée sur une portion du substratum qui n'est pas en dépression (point le plus bas du substratum) mais situé sur un léger replat ou rupture de pente. D'autre part, le profil transversal du substratum(Est-Ouest) présente quant à lui une forme un peu plus marquée de cuvette vers la zone de profondeur maximale. Les écoulements internes pourraient donc converger vers le replat de la zone profonde avant de s'écouler vers le sud en direction du boisement de tremble.

Quant à la topographie de surface, la zone de profondeur maximale révèle un léger bombement où la végétation est composée de callune, de scirpe cespiteux et de linaigrette vaginée, typique des tourbières bombées. Le profil de surface révèle également des dépressions au niveau du boisement de tremble qui sont très certainement liées à l'emplacement d'un ancien fossé de drainage.

3.2 Haut-marais Nord (site 2)

Le profil du Haut marais Nord (*Figure 33*) révèle une topographie du substratum relativement homogène avec une zone de replat correspondant à la zone d'accumulation de la tourbe la plus importante (environ 2.23 mètres). Le profil transversal Est-Ouest révèle également une topographie du substratum relativement homogène avec une légère dépression ou replat au niveau des profondeurs les plus élevées (2m).

Le profil de surface révèle un bombement au niveau de ce replat du substratum où la végétation principale est composée callune, de scirpe cespiteux et de linaigrette vaginée, typique des tourbières bombées.

3.3 Haut-marais Central (site 3)

Le profil du Haut marais Central (*Figure 34*) révèle une topographie du substratum assez homogène sur sa partie Nord-Est. En revanche, il est possible d'observer une dépression du substratum dans la partie Sud-Ouest. Cette dépression correspond très bien avec la zone de plus forte accumulation de tourbe et met en évidence le bombement de la topographie de surface à cet endroit. Le profil transversal Est-Ouest illustre bien la topographie en forme de cuvette entre le Cotat bossus à l'Ouest et la partie forestière à l'Est.

Les zones ou les profondeurs de tourbe sont les plus élevées correspondent à des peuplements de pins à crochets et de végétation typique de haut marais actif, avec la présence de Sphaignes.

3.4 Haut-marais Sud (site 4)

Le profil du Haut-marais Sud (*Figure 35*) met en évidence une topographie de surface de la tourbière très homogène et plane sur une grande partie de la tourbière du Nord-Est vers le Sud-Ouest. Il est tout de même possible d'observer un petit bombement de surface dans la partie Sud Sud-Ouest, légèrement désaxé de la zone de dépression du substratum. Le profil du substratum forme une cuvette ou les pentes convergent vers le centre-Sud du site. Le profil transversal (Est-Ouest) illustre bien la topographie du substratum en forme de cuvette prononcée entre le Cotat bossu à l'ouest et le massif forestier à l'ouest. La dépression entre ces deux flancs topographiques est comblée par la tourbe.

Concernant la végétation, les zones de profondeur maximales sont localisées sur des végétations typiques de haut marais avec la présence de sphaignes et de peuplement de pin à crochets. D'autre part, la végétation associée à la topographie de surface plane est plus typique des marais de transition avec la présence de prairies paratourbeuses et de certaines espèces comme la linaigrette gracile.

4. Volume des tourbières

D'après les cartographies de profondeur, le volume de tourbe de chaque site a pu être déterminé. Un tableau Excel a été réalisé, renseignant les tranches de profondeur et la surface qu'elle représentent pour en calculer le volume et la profondeur moyenne (*Tableau 3*). Ici, seul le tableau de valeurs du site 1 est présenté, les autres sont présentés en (*Annexe 13 p.XVI*).

Tableau 3 : Calcul du volume de tourbe du site 1

Tranche de tourbe	Surface de la tranche (m ²)	épaisseur de tourbe	Surface de l'épaisseur (m ²)	Volume (m ³)
0 - 0,6	6082,893	0,6	44838,523	26903,1138
0,6 - 0,8	5664,864	0,2	38755,63	7751,126
0,8 - 1	5135,623	0,2	33090,766	6618,1532
1 - 1,2	4373,251	0,2	27955,143	5591,0286
1,2 - 1,4	4532,877	0,2	23581,892	4716,3784
1,4 - 1,6	10498,913	0,2	19049,015	3809,803
1,6 - 1,8	4255,5	0,2	8550,102	1710,0204
1,8 - 2	2676,174	0,2	4294,602	858,9204
2 - 2,2	1425,126	0,2	1618,428	323,6856
>2,2	193,302	0,05	298,646	14,9323
Total	44838,523	2,25		58297,1617
volume par hectare				13001,73105
Surface de la tourbière (m ²)	44838,523			
Profondeur moyenne	1,30			

Les estimations de volume de tourbes, arrondies à l'unité, sont les suivantes :

- Site 1 : **58 297 m³** soit 13 002 m³ par hectare
- Site 2 : **22 458 m³** soit 12 104 m³ par hectare
- Site 3 : **156 536 m³** soit 23 657 m³ par hectare
- Site 4 : **58 663 m³** soit 27 455 par hectare

Le volume total englobant les 4 sites d'études est de **295 954 m³** soit 19 599 m³ par hectare. Ce volume global est sous estimé puisque les profondeurs maximums du site 4 n'ont pas été atteintes. Le résultat obtenu est donc une estimation du volume minimum de tourbe. En comparaison, les résultats obtenus par les étudiants de Montbéliards sur la tourbière des Cerneux-Gourinots dans le Doubs ([Barberot, Binetruy, Durain, Verstraete, 2025](#)) sont de **1 033 321 m³** soit 16 454 m³ par hectare. L'écart entre ces deux sites semble peu important quand on le rapporte à l'hectare, mais représente tout de même environ 16% de différence. Les tourbières de la RNR du bief du Nanchez ont un volume de tourbe par hectare plus important que la tourbière des Cerneux-Gourinots.

5. Identification des cuvettes

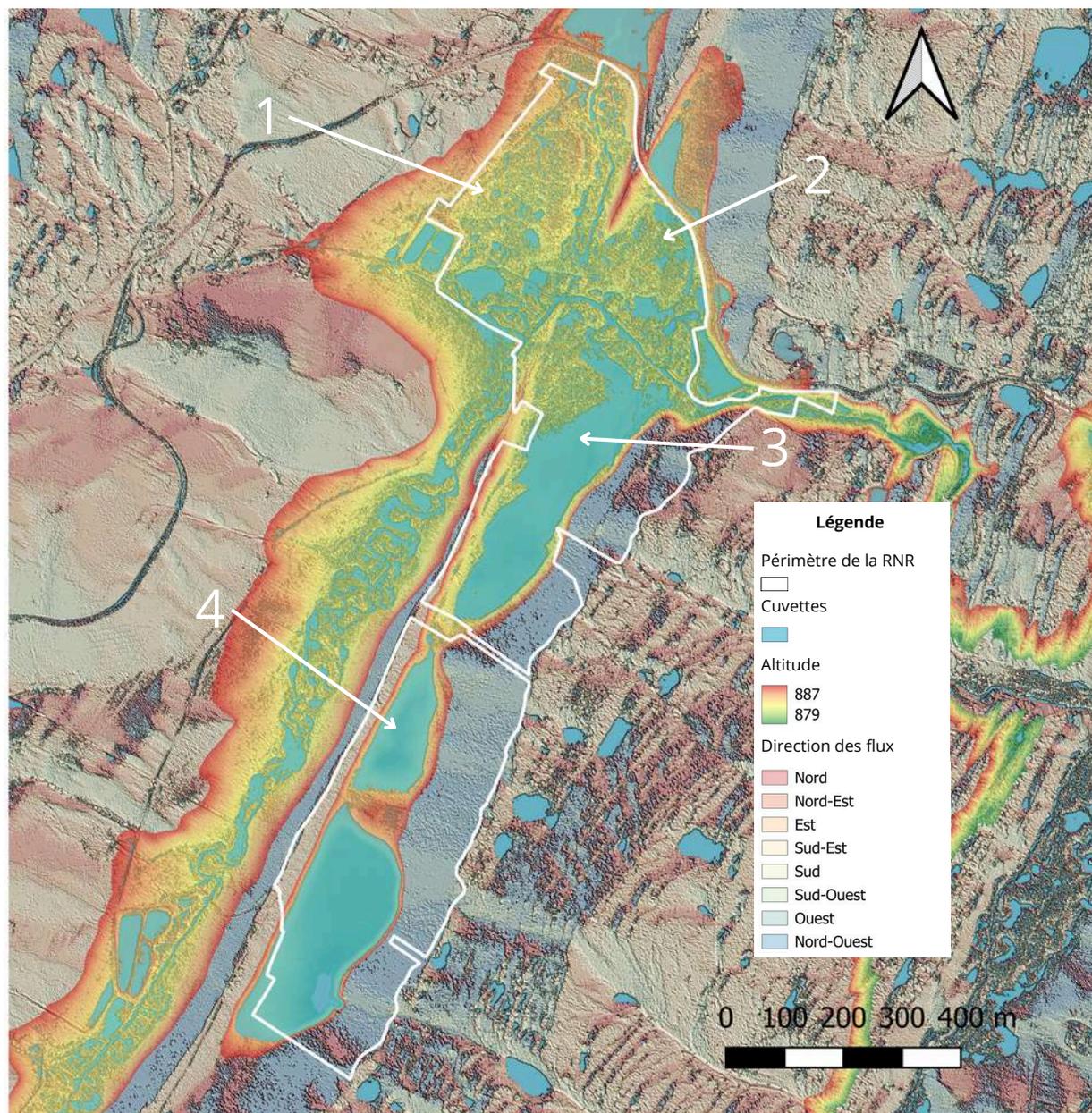


Figure 36 : Cartographie des cuvettes d'accumulation d'eau selon la topographie du substratum

À partir du MNT de la topographie du substratum des tourbières, il est possible de localiser les zones de "cuvettes" qui peuvent accumuler de l'eau (Figure 36). Pour identifier les cuvette l'outil "Channel network and drainage bassin" a été utilisé. Cet outil permet d'obtenir une couche de direction des flux (Flow direction) notée sur une échelle de 0 à 7 (0 pour le Nord, 1 pour le Nord-Est,... 7 pour le Nord-Ouest). Chaque pixel est donc attribué à une de ces valeurs de direction, en fonction de la topographie du site. Les pixels dont la valeur de direction n'est pas comprise en 0 et 7 sont notés 255: ce sont les cuvettes. "Une cuvette est un pixel ou un ensemble de pixels limitrophes dont la direction de flux ne peut pas se voir attribuer l'une des huit valeurs valides dans un raster de direction de flux" (Fonction Flow Direction).

La topographie interne des sites 3 et 4 forme d'importantes cuvettes où l'eau a pu s'accumuler. Pour les sites 1 et 2 les cuvettes sont plus petites et morcelées.

6. Modélisation des écoulements théoriques

6.1. Haut marais Nord-Ouest

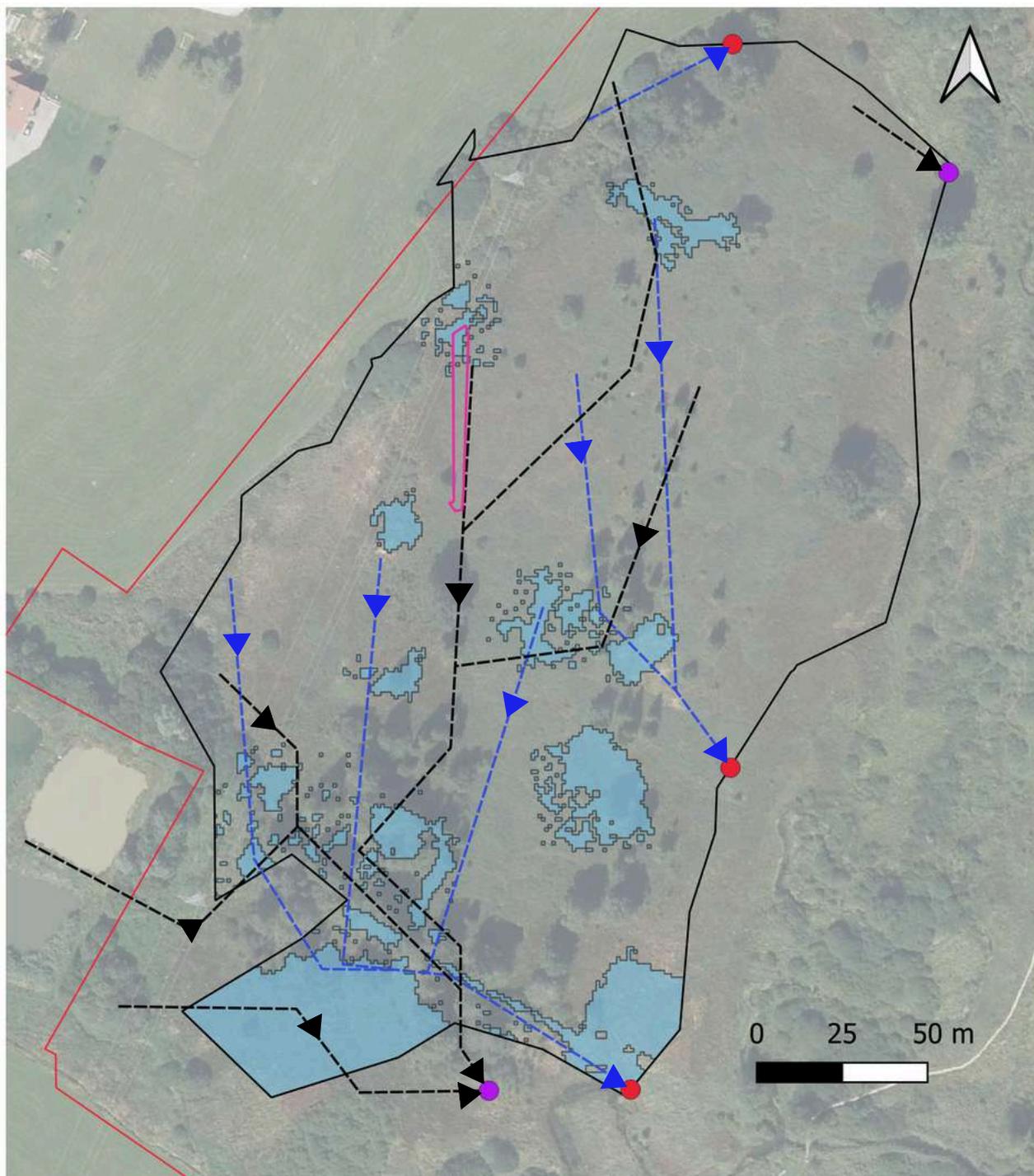


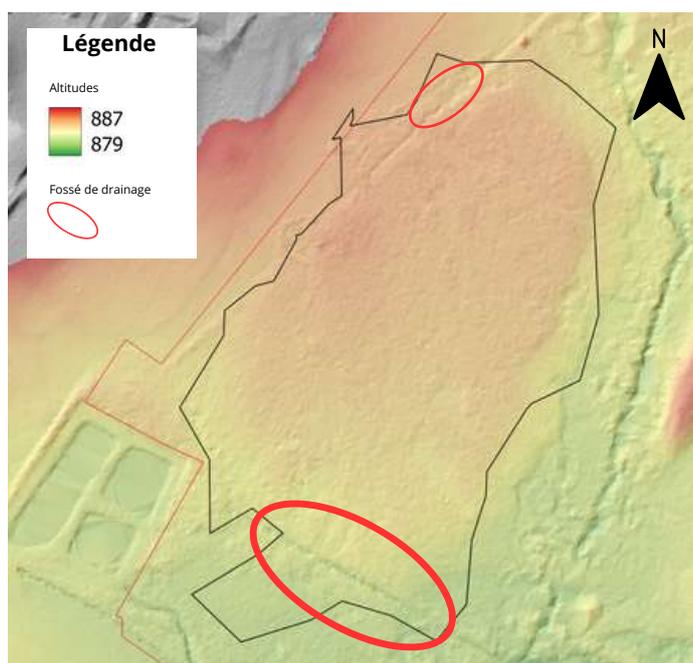
Figure 37 : Cartographie des écoulements de surface et de profondeur sur le Site 1

Légende

- | | |
|---|---|
|  Zone profonde (>2,2m) |  Limite de la tourbière (Site 1) |
|  Exutoires écoulements de profondeur |  Cuvettes du substratum |
|  Exutoires écoulements de surface |  Limite RNR |
|  Direction écoulements de profondeur | |
|  Direction écoulements de surface | |

La cartographie ci-dessus (*Figure 37*) montre la direction des écoulements théoriques de surface et de profondeur du site 1, obtenus par la fonction "Channel network & drainage bassins" dans le logiciel open source QGIS (version 3.40.4).

Les écoulements de surface semblent pour la majorité converger vers un point d'exutoire situé au Sud-Est du site en suivant une fine cuvette longiforme correspondant sûrement à un fossé de drainage particulièrement visible sur le MNT (*Figure 38*).



Les autres principaux écoulements de surface semblent s'écouler du Nord-Ouest vers le centre Est de la tourbière. D'autres écoulements minoritaires semblent suivre une direction inverse, orientée Sud-Ouest vers le Nord. Ces écoulements de surface semblent également suivre un fossé de drainage visible sur le MNT (*Figure 38*).

Figure 38 : Localisation des fossés de drainage visibles sur le MNT

Pour ce qui est des écoulements de profondeur, la grande majorité des écoulements, qu'ils viennent du Nord ou de l'Ouest convergent vers un point d'exutoire localisé tout au Sud du complexe tourbeux. Ces écoulements de profondeur semblent connecter entre elles les cuvettes du substratum. D'autres écoulements plus marginaux semblent cependant s'écouler du Nord-Ouest vers le Nord-Est, rejoignant certainement le bief du Trémontagne.

6.2. Haut marais Nord

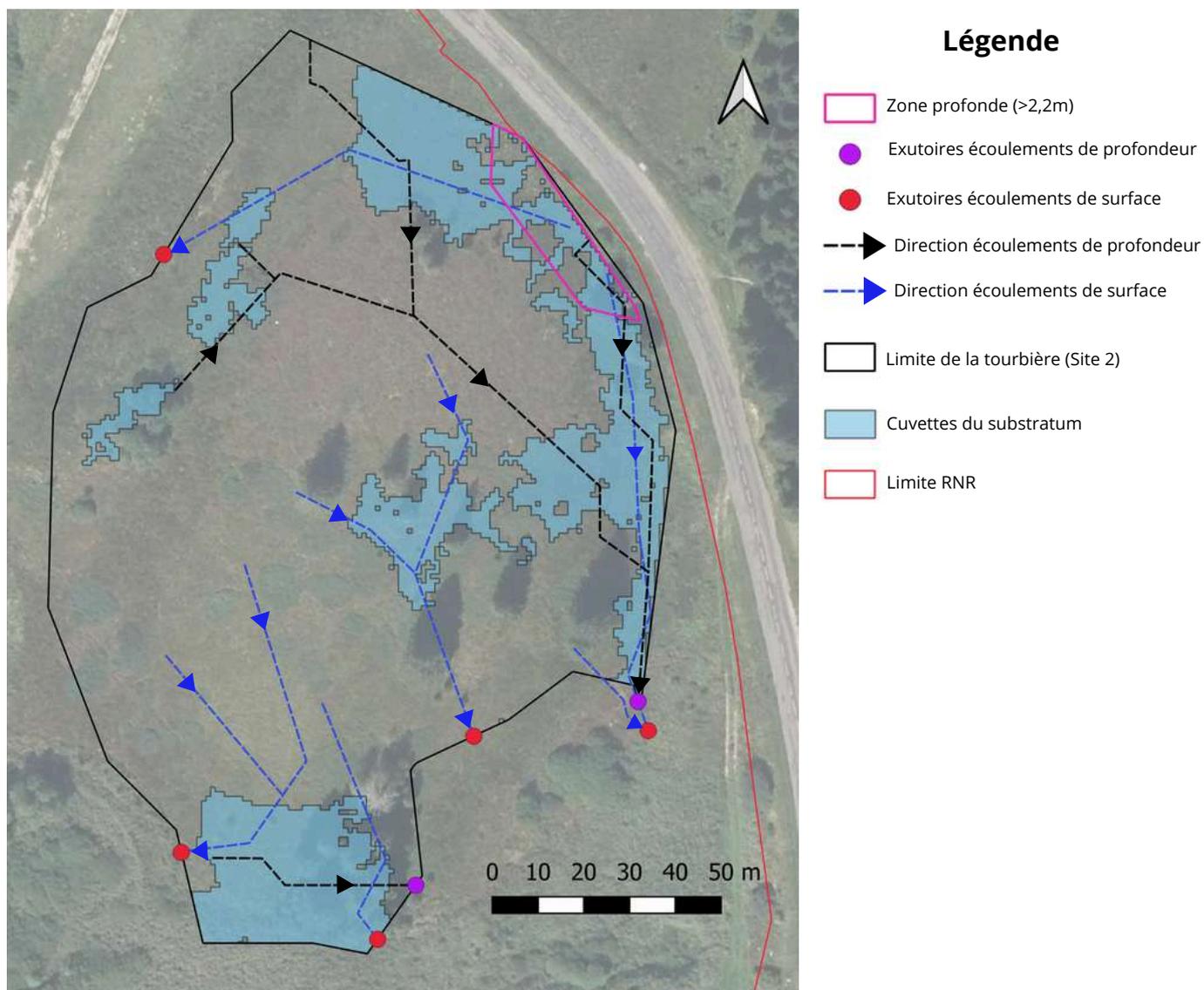


Figure 39 : Cartographie des écoulements de surface et de profondeur sur le Site 2

La cartographie ci-dessus (Figure 39) montre la direction des écoulements théoriques de surface et de profondeur du site 2, obtenus par la fonction "Channel network & drainage bassins" dans le logiciel QGIS (version 3.40.4).

Les écoulements de surface de ce site sont plus hétérogènes dans leur direction de sortie du complexe tourbeux. La majorité des exutoires sont localisés au Sud du site. Ces écoulements de surface rejoignent certainement directement le bief du Nanchez localisé au Sud du site. D'autres écoulements une direction Nord-Est Nord-Ouest rejoignant plutôt le bief du Trémontagne.

Pour ce qui est des écoulements de profondeur, une fois encore ceux-ci semblent pour la grande majorité converger vers un point d'exutoire localisé au Sud-Est du site en connectant la majorité des cuvettes du substratum. D'autres écoulements plus marginaux semblent d'autre part s'écouler du Sud-Ouest vers le Sud-Est en passant par une cuvette du substratum isolée des autres.

6.3. Haut marais Central

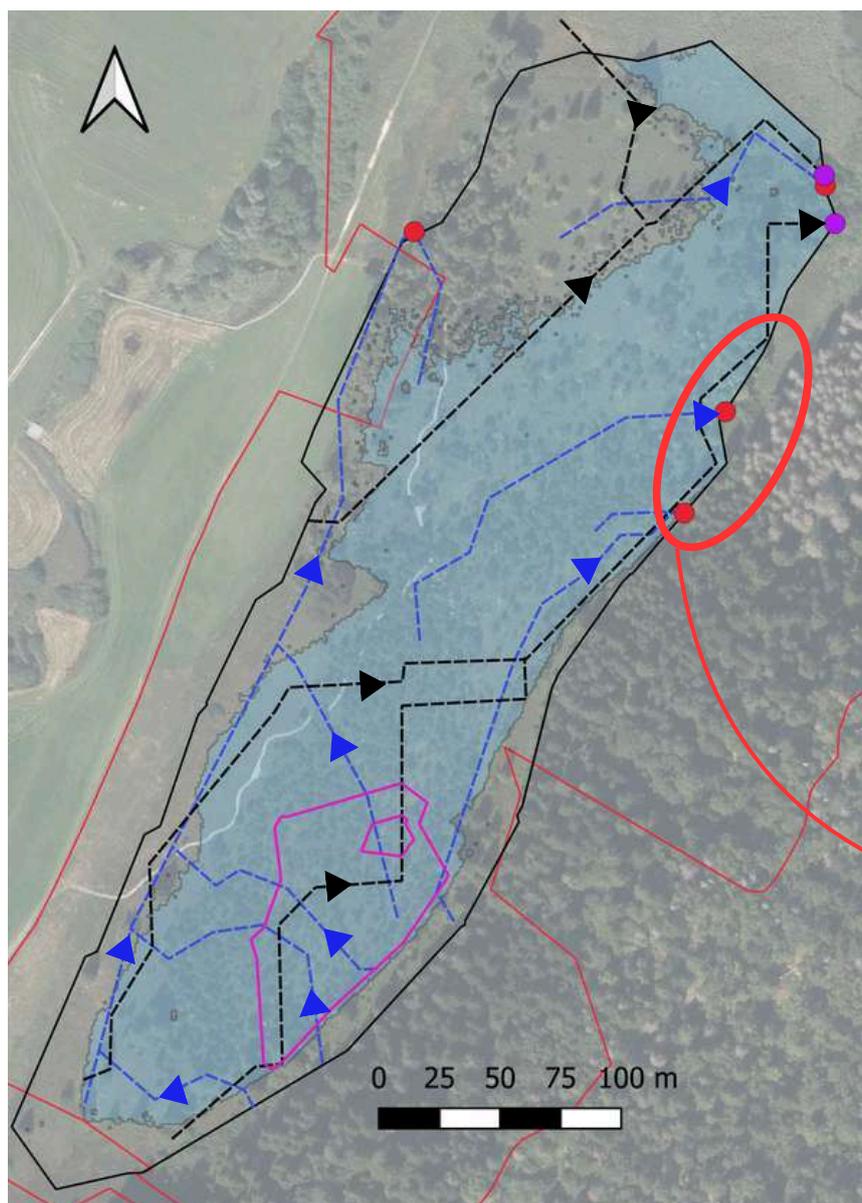


Figure 40 : Cartographie des écoulements de surface et de profondeur sur le Site 3

Légende

- Zone profonde (>4,5m)
- Exutoires écoulements de profondeur
- Exutoires écoulements de surface
- ▶ Direction écoulements de profondeur
- ▶ Direction écoulements de surface
- Limite de la tourbière (Site 3)
- Cuvettes du substratum
- Limite RNR

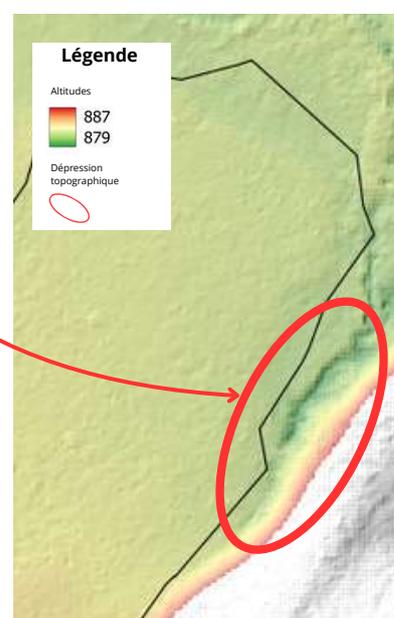


Figure 41 : localisation d'une dépression topographique sur le site 3

La cartographie ci-dessus (Figure 40) montre la direction des écoulements théoriques de surface et de profondeur du site 3, obtenus par la fonction "Channel network & drainage bassins" dans le logiciel QGIS (version 3.40.4).

Les écoulements de surface sont tous localisés dans la moitié Nord du site. Une grande partie des écoulements de surface venant du Sud du site convergent vers le point d'exutoire situé au Nord-Ouest. Pour les autres écoulements de surfaces venant du centre et du Sud-Est du site, ceux-ci convergent vers deux points d'exutoires localisés dans la partie Nord-Est du site pour rejoindre une dépression longeant la forêt, visible sur le MNT (Figure 41).

Les écoulements de profondeur vont quant à eux tous en direction Nord-Est vers deux points d'exutoires très proches. Les écoulements de profondeurs passent à l'intérieur de l'importante cuvette du substratum qui caractérise le site.

6.3. Haut marais Sud

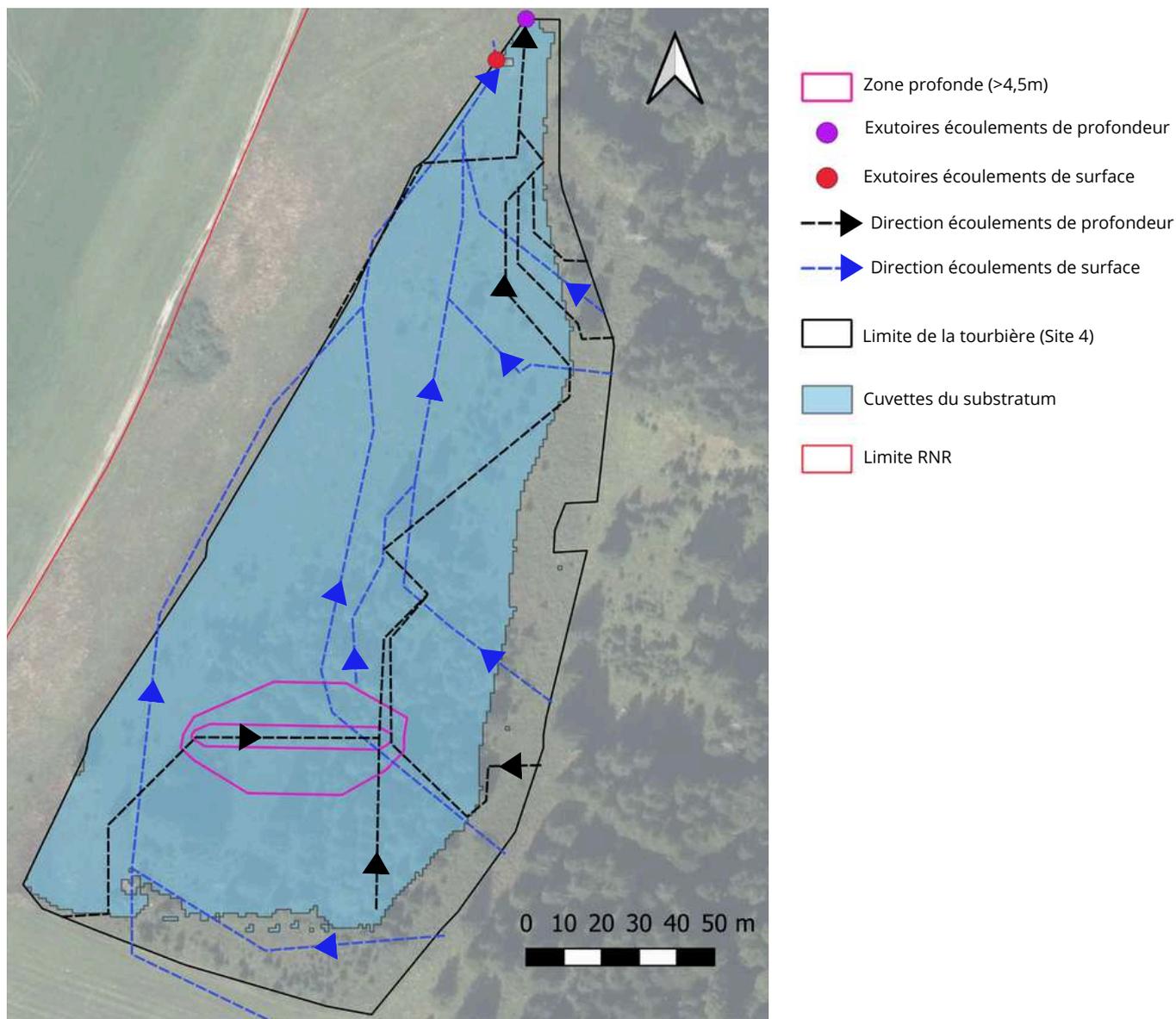


Figure 42 : Cartographie des écoulements de surface et de profondeur sur le Site 4

La cartographie ci-dessus (Figure 42) montre la direction des écoulements théoriques de surface et de profondeur du site 4, obtenus par la fonction "Channel network & drainage bassins" dans le logiciel QGIS (version 3.40.4).

Les écoulements de surface convergent tous au niveau d'un point d'exutoire situé tout au Nord-Ouest du site.

Il en va de même pour les écoulements de profondeur. Ceux-ci convergent vers un point d'exutoire très proche de celui des écoulements de surface au Nord du site. Les écoulements de profondeur venant du sud passent par la zone de profondeur maximum, avant de partir en direction de l'exutoire.

7. Analyses de la tourbe et estimation des stocks de carbone

Après application du protocole d'analyse en laboratoire, plusieurs paramètres de la tourbe ont pu être déterminés, comme la densité apparente **Da (g/cm³)**, le taux de cendres **Ashes (%)**, le taux de Matière organique **MO (%)** et le taux de carbone organique **Corg (%)**. Le tableaux suivant (*Tableau 4*) présente les résultats obtenus pour le site 1. Les tableaux renseignant les valeurs des autres sites sont en (*Annexe 14 p.XVII*).

Tableau 4 : Données issues des analyses et calcul du stock de carbone

Site 1								
Profondeur	Mesures				Calculs			
	Volume (cm ³)	Masse sèche (g)	masse prélevée	masse cendres	Da (g/cm ³)	Ashes (%)	MO (%)	Corg (%)
25-35	106	14.62	2.11924	0.0714	0.137924528	3.370547932	96.62945207	50.32783962
50-60	106	18.24	2.48969	0.1450	0.172075472	5.824821564	94.17517844	49.0495721
75-85	106	15.7	1.90416	0.4377	0.148113208	22.98441307	77.01558693	40.11228486
100-110	106	18.91	2.62782	0.5807	0.178396226	22.09778448	77.90221552	40.57407059
150-160	106	22.97	2.21233	0.9774	0.216698113	44.18102182	55.81897818	29.07238447
200-210	106	17.79	1.99562	0.5919	0.167830189	29.66145859	70.33854141	36.63465698
Moyenne					0,170172956	21,35334124	78,64665876	40,96180144
Da (kg/m ³)					170,172956			
Corg (kg/kg)								0,409618014
Surface du site (m ²)	44838,523					Stock C	4063656,484	
Profondeur moyenne	1,3001579					tonnes	4063,656484	
						TC/Ha	906,2868738	

7.1 Estimation des stocks de carbone

A partir des résultats obtenus, il a été possible d'estimer la quantité de carbone stockée dans chacun des sites avec la formule : $Stock\ c = Ep \times S \times Da \times Corg$ où Ep = épaisseur de tourbe moyenne (m) ; S = surface du site (m²) ; Da = Densité apparente moyenne (kg/m³) et $Corg$ le taux de carbone organique moyen (kg/kg).

Voici le stock de carbone estimé en tonnes pour chacun des sites :

- Site 1 : **4 063,67** tonnes de carbone, soit **906,29** T/ha ou **67,7 kg/m³**
- Site 2 : **1 671,42** tonnes de carbone, soit **900,77** T/ha ou **74.4 kg/m³**
- Site 3 : **9 204,43** tonnes de carbone, soit **1 391,06** T/ha ou **58,8 kg/m³**
- Site 4 : **3 961,31** tonnes de carbone, soit **1 853,86** T/ha ou **67,5 kg/m³**

En cumulé, l'estimation du stock de carbone pour les 4 sites de la Réserve est de : **18 900, 83** tonnes de carbone soit **1258, 82** tonnes par hectare. La profondeur de tourbe moyenne cumulée pour les 4 sites est de 1,9075 mètre. En rapportant la quantité de carbone stocké à l'hectare par cette profondeur moyenne cumulée, on obtient une valeur de **659,93** tonnes de carbone par hectare et par mètre de tourbe. Cette valeur semble tout à fait plausible étant donné que les travaux de Roßkopf *et al.* ont permis d'estimer un stock de carbone des tourbières d'environ 700 tonnes par hectare et par mètre de tourbe (Roßkopf *et al.*, 2015).

7.2 Estimation des potentiels émissifs de CO2

Les résultats des quantités de carbone estimées ont ensuite permis de déterminer le potentielle émissif de chaque site (c'est à dire la quantité maximale de CO2 émise si l'ensemble de la tourbe venait à disparaître après minéralisation complète) en utilisant la formule suivante : Stock C x 3.67 où 3,67 correspond au facteur de conversion entre le C et le CO2.

Voici le potentiel émissif estimé pour chaque site :

- Site 1 : $4063,66 \times 3,67 = \mathbf{14\ 913,6322}$ tonnes de CO2
- Site 2 : $1671,42 \times 3,67 = \mathbf{6\ 134,1114}$ tonnes de CO2
- Site 3 : $9204,43 \times 3,67 = \mathbf{33\ 780,2581}$ tonnes de CO2
- Site 4 : $3961,31 \times 3,67 = \mathbf{14\ 538,0077}$ tonnes de CO2

En cumulé, le potentiel émissif de la Réserve pour les 4 sites étudiés est de **69 366,0094** tonnes de CO2.

7.3 Analyses de la dégradation des tourbières

D'après l'ouvrage de Hervé Cubizolle intitulé les tourbières et la tourbe (Cubizolle, 2017), la densité apparente de la tourbe apparaît comme un bon indicateur de l'état de décomposition. On retrouve trois grand types d'horizon tourbeux ou "histiques" dont la densité apparente permet de les distinguer. Chaque type d'horizon histique est également associé à un état de décomposition (Tableau 5).

Tableau 5 : Types d'horizons histiques associés à leur densité apparente et état de décomposition

Horizon	Densité apparente	Etat
Fibrique	inférieur à 0,075 g/cm ³	très humide, peu décomposée, tourbe en croissance
Mésique	entre 0.075 et 0.195 g/cm ³	humide, assez peu décomposée, tourbe stabilisée
Saprique	supérieur à 0.195 g/cm ³	assèchement temporaire possible, tourbe en décomposition

Le graphique (Figure 43) suivant montre l'évolution de la densité apparente en fonction de la profondeur pour les 4 sites étudiés.

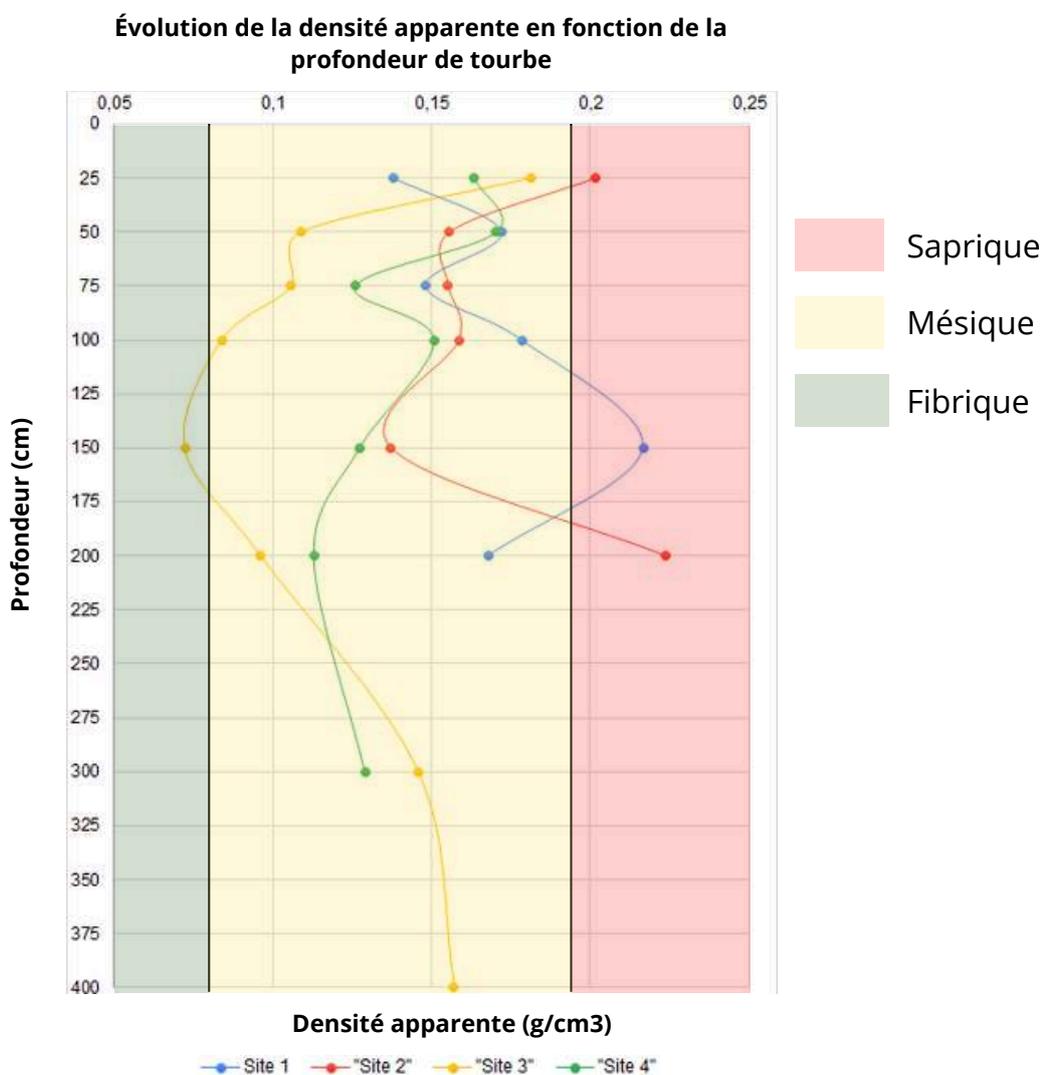


Figure 43 : Évolution de D_a en fonction de la profondeur de tourbe

D'après les travaux de Clymo (Clymo, 1984), la densité apparente (D_a) devrait augmenter avec la profondeur en raison de la compaction de celle-ci liée à l'accumulation de tourbe au dessus. Cependant, les travaux de Fred Warrall (Warrall et al, 2024) ont tenté de vérifier cette hypothèse, mais n'ont pas trouvé d'augmentation significative de la D_a en fonction de la profondeur. Au contraire, les résultats obtenus ont montré une D_a maximale à 20-25cm de profondeur et une D_a minimale entre 70 et 75 cm. Pour les sites 2 et 3 cette tendance semble se vérifier avec une densité apparente maximale située entre 25 et 35 cm de profondeur. Pour le Site 1 et le site 4 la densité apparente minimale obtenue se trouve au niveau des profondeurs situées entre 75 et 85 cm. Malgré les différences de trajectoires, des courbes entre les sites, une tendance semble observable, avec dans un premier temps une diminution de la densité apparente (fluctuante) et dans un second temps une nouvelle augmentation au niveau de la plus grande profondeur (très marquée sur le site 2). Cela se vérifie sur le site 2, 3 et 4. Seul le site 1 semble suivre une tendance inverse avec dans un premier temps une augmentation et dans un second temps une diminution de la densité.

La majorité des mesures de densité apparente sont comprises dans une fourchette entre 0.1 et 0.2 g/cm³ (Figure 44). Si l'on se réfère au tableau précédent (Tableau 2), cette majorité est une tourbe de type mésique, c'est à dire une tourbe humide assez peu décomposée et stabilisée. Seule la tourbe du site 3 présente une densité apparente assez faible pour être caractérisé de tourbe fibrique, soit très humide et très peu décomposée, au niveau de profondeur entre 150 et 160 cm. Les niveaux de profondeur avant et après 150 cm de profondeur sont très proches du seuil des tourbes fibriques mais pas suffisamment faible pour en être caractérisé ainsi. D'autre part, le site 1 et 2 présentent des densités supérieurs à 0.2 g/cm³ soit des valeurs correspondant à une tourbe saprique pouvant avoir été partiellement asséchée et décomposée.

La distribution de l'échantillon étudié ne suivant pas une loi normale, le test statistique ANOVA n'est pas recommandé pour analyser la significativité des différences de D_a en fonction des sites et de la profondeur. Un test non paramétrique comme celui de Kruskal Wallis est plus adapté à cet échantillon (Engels, 2020). Le test Kruskal Wallis a été réalisé via le logiciel Rstudio (version 4.4.1) (Annexe 15 p. XVIII) pour tester la significativité de différence de densité en fonction de la profondeur et en fonction des sites. Les résultats obtenus ne montrent pas de différence de densité significative en fonction de la profondeur avec une valeur de **p_value = 0.72 > 0.05**. D'autre part, la densité est significativement différente entre les sites avec une valeur **p_value = 0,032 < 0.05**.

En comparant les moyennes de densité apparente entre les sites (Annexe 14 p.XVII), ce sont les sites 1 et 2 qui ont les valeurs les plus élevées avec des moyennes de 0.17 g/cm³.

Bien que le test Kruskal-Wallis ne montre pas de différences significatives de la D_a en fonction de la profondeur, le nombre d'échantillons statistiques très réduit ne permet pas d'en être assuré. La comparaison visuelle permet tout de même d'identifier des densités apparentes plus élevées en surface qu'en profondeur pour les sites 2, 3 et 4, qui pourrait s'expliquer par l'effet d'un drainage ou autres perturbations anthropiques conduisant à l'assèchement partiel des couches superficielles et favorisant ainsi la décomposition de la matière organique.

Évolution du taux de matière organique en fonction de la profondeur

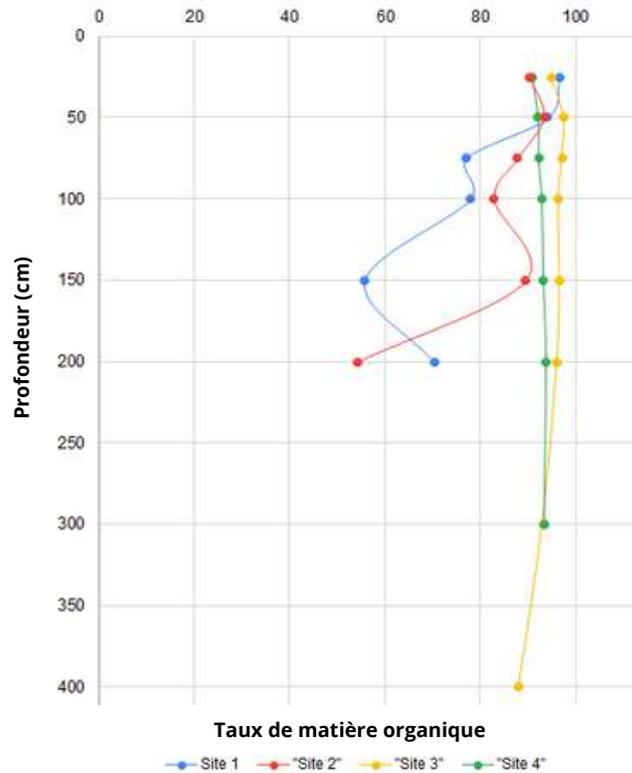


Figure 44 : Évolution du taux de MO en fonction de la profondeur de tourbe

Les taux de matière organique mesurés sont assez élevés et très homogènes sur l'ensemble de la colonne de tourbe pour le site 3 et le site 4, qui sont les deux sites les plus profonds. Pour le site 1, le taux de matière organique semble diminuer avec la profondeur, avant de raugmenter au point le plus profond. Pour le site 2, ce taux semble également diminuer avec la profondeur. Les fluctuations du taux de matière organique observées pour le site 1 et le site 2 vont en accord avec les profils de densités apparente observés. En effet, le point du site 1 où le taux de matière organique est le plus faible (55%) correspond bien à la profondeur où la densité apparente de la tourbe est la plus élevée (0.22g/cm³). Cela semble logique étant donné qu'une diminution de matière organique est liée à un plus fort taux de décomposition augmentant ainsi la densité de la tourbe. Il en va de même pour le site 2 où le point le plus profond correspond à un point où le taux de matière organique est faible (54%) et où la densité apparente est élevée (0.22 g/cm³).

Le même test statistique utilisé pour la différence de D_a en fonction de la profondeur et les sites à été réalisé pour le taux de MO. Les résultats obtenus ne montrent pas de différence de MO% en fonction de la profondeur avec une valeur de **p_value = 0.99 > 0.05**. D'autre part, la MO% est significativement différente entre les sites avec une valeur **p_value = 0,00044 < 0.05** (Annexe 15 p.XVIII).

En comparant les moyennes de densité apparente entre les sites (Annexe 14 p.XVII), ce sont les sites 1 et 2 qui ont les valeurs les moins élevées avec des moyennes de 78 et 83%.

Partie VI : Discussion

Cette VIème partie reprend l'ensemble des résultats obtenus dans le cadre de ce stage en les analysant . Chaque partie soulève des hypothèses tentant de justifier les résultats obtenus et aborde les limites méthodologiques et les piste d'améliorations possibles.

1. Profondeur et volume des complexes tourbeux

Les profondeurs maximales de tourbe varient significativement entre les sites, atteignant **plus de 5 mètres** pour le site 4 contre seulement **2,2 mètres** pour le site 1 et 2. Ces différences de profondeur peuvent s'expliquer par la topographie bien différente des sites. Les profils de surface et du substratum des site 3 et 4 (les plus profonds) forment d'importantes cuvettes qui favorisent la rétention d'eau et l'accumulation de matière organique, tandis que les profils des site 1 et 2 le sont moins. En effet, cette topographie concave favorise une hydrosaturation permanente, condition nécessaire au processus de turfigénèse (Joosten & Clarke, 2003).

Le volume de tourbe cumulé pour les 4 sites d'étude est estimé à **19 599 m³/ha**, soit 16% supérieur à celui de la tourbière des Cerneux-Gourinots dans le Doubs qui a un volume de **16 454 m³/ha**. Ces deux sites sont comparés en m³ par hectare étant donné leur échelle de surface très différente, avec des complexes tourbeux ne dépassant pas les 6 ha pour ceux de la RNR des tourbières du bief du Nanchez contre un complexe tourbeux d'une soixantaine d'hectares pour les Cerneux-Gourinots. Toutefois, ce volume reste une estimation basée sur une interpolation de type "TIN" dont l'incertitude n'est pas négligeable. Pour ce genre d'interpolation, plus le nombre de points de mesure est dense plus le modèle est précis dans son estimation. L'espacement de 50 mètres entre les points de sondage, bien qu'adapté au temps imparti pour ce stage, constitue une limite dans la précision surtout pour des sites de petites surfaces comme ceux de la RNR. Un maillage plus serré (ex : 25m) aurait permis une meilleure précision des données interpolées. De plus, sur le site 4, la profondeur maximale n'a pas été atteinte en raison d'un manque de moyens humains et d'une longueur limitée des sondes utilisées. En effet, les travaux de sondages réalisés sur le terrain sont réalisables seuls lorsque les profondeurs sont modestes (entre 2 à 4 mètres). Au delà de 4 mètres, le poids d'une personne seule devient limité pour enfoncer la sonde dans le sol et la force nécessaire pour la sortir est également non négligeable. Bien que certains points de plus 4m ont pu être réalisés seuls, il serait préférable d'être au moins 2 personnes pour éviter les risques de blessures. D'autre part, l'utilisation d'outils de sondage plus profonds ou de méthodes géophysiques (géoradar) permettrait de compléter ces estimations et de réduire les incertitudes.

2. Écarts entre délimitation botanique et pédologique

Les résultats obtenus concernant la délimitation des complexes tourbeux montrent des différences nettes entre les délimitations floristiques et celles issues des sondages pédologiques. Pour les sites 1, 2 et 3 la délimitation des sites selon les critères pédologiques ont conduits à une augmentation de la surface des complexes tourbeux, tandis que celle du site 4 a conduit à une diminution de sa surface par rapport aux relevés floristiques. Pour les sites ayant vu leur surface augmenter, cela peut s'expliquer par la présence d'horizon tourbeux d'au moins 40cm (Lourenco, 2022) sur des secteurs paratourbeux exclus lors des délimitations selon la végétation. Ces zones paratourbeuses ou prairies paratourbeuses sont des zones caractérisées par une faible épaisseur de tourbe et dominée par une végétation tel que la Molinie bleuâtre, les laîches et les Joncs par exemple (ANA, s.d).

D'autre part, la diminution de la surface du site 4 peut s'expliquer par le fait que ce site est en grande majorité constitué d'une végétation paratourbeuse. Bien que nous ayons pu voir que les zones paratourbeuses pouvaient être constitué d'un histosol d'au moins 40cm, cela n'est pas systématique et ne comprend par l'entièreté de ces zones. Cela s'est vérifié dans les sondages pédologiques où certaines zones paratourbeuses étaient bien sur des profondeurs de tourbes suffisantes et d'autres non. Les différences observées entre la délimitation des sites selon l'approche botanique et l'approche pédologique montrent l'importance de les combiner pour limiter les sous ou surestimations des surfaces des complexes.

Néanmoins, la méthode de sondages pédologiques utilisée repose sur un maillage relativement espacé, ce qui a sûrement entraîné des imprécisions dans les limites réelles des complexes. Pour une délimitation plus fine, il pourrait être intéressant d'effectuer de nouveaux sondages en suivant la limite pédologique identifiée ici pour s'assurer que la profondeur de tourbe se situe bien autour des 40cm.

3. Modélisation des écoulements théoriques

Ces analyses ont permis d'identifier des écoulements potentiels de surface et de profondeur convergeant vers des exutoires identifiés avec les profils topographiques. Sur certains sites, les écoulements pourraient favoriser une vidange partielle de la nappe, notamment là où la présence de drains (artificiels ou non) est identifiée. Toutefois, comme son nom l'indique, les résultats obtenus concernant ces écoulements sont très théoriques et basés sur la précision du MNT et des résultats d'interpolation des profondeurs. Ces résultats ne permettent donc pas de caractériser de manière précise l'hydrologie réelle du site, d'autant plus qu'aucune donnée piézométrique ne soit disponible. La pose de piézomètres pourrait être très intéressante pour comprendre l'évolution des niveaux de nappe et leur variabilité saisonnière. Pour répondre efficacement à cela, il serait pertinent d'installer au moins deux piézomètres par site selon un gradient topographique : 1 en zone haute (généralement le bombement) , 1 en zone plus basses (marges). Ou une zone profonde et moins profonde, permettant de comparer deux situations distinct et identifier les secteurs souffrants d'assèchement prolongés.

4. Densité apparente (Da) et typologie des tourbes

Les densités apparentes mesurées s'échelonnent entre 0.07 et 0.22 g/cm³, avec des profils variables selon les sites. L'importante majorité des valeurs mesurées indiquent des tourbes de type mésiques (0.075 < Da < 0.195 g/cm³) (Cubizolle, 2019). Certains sites montrent des valeurs pouvant être associées à des tourbes plutôt sapriques (en décomposition, Da > 0.195 g/cm³) notamment dans les couches superficielles du site 2 et les couches profondes du site 1 et 2. A l'inverse, le site 3 présente des valeurs de densité apparente correspondant à des valeurs de tourbes fibriques très peu décomposées.

Contrairement à l'hypothèse théorique d'une augmentation de la densité apparente en fonction de la profondeur (Clymo, 1984), les résultats montrent une densité maximale souvent située dans la couche la plus superficielle (25-35 cm), comme il a pu être observé dans d'autres études (Warrall, 2024). Cela peut suggérer un phénomène d'assèchement ou de dégradation partiel de l'acrotelm (couche tourbeuse périodiquement en condition aérobique), probablement lié aux modifications hydrologiques (drains) et autres types de perturbation, comme la construction de la route qui a scindé le site 2 ou les extractions passées localisées sur le site 3 et 4. En effet, il a été démontré que la présence de drainage ou d'exploitation provoque une augmentation de la densité apparente dans les couches superficielles de la tourbe (Word et al., 2021). Les moyennes de Da mesurées sont plus importantes pour les sites 1 et 2 que 3 et 4, montrant donc des signes de dégradation plus importants.

Ces signes de dégradation sont observables par orthophoto avec en effet, la présence de la route qui aurait scindé le site 2 en 2 parties, dont la partie Nord, est exclue de la Réserve. Les travaux d'aménagement de la route auraient pu conduire à un tassement des horizons superficiels traduisant les mesures de Da plus élevées à 25-35cm. Dans ce sens, les travaux plus récents de reméandrement du Nanchez et du Trémontagne ont pu impacter localement la densité des horizons superficiels des sites 1 et 2. D'autre part, le MNT révèle des traces de drains sur le site 1 pouvant affecter l'hydrologie de ce site et conduire à une dégradation de la tourbe. Une cartographie LIDAR consultable dans le plan de gestion de la Réserve révèle d'autres drains non visibles sur le MNT justifiant encore une fois les nombreux impacts passés de ce site. Le comblement de certains drains a pu être réalisé lors des travaux du programme LIFE, une réhumectation des sites est donc attendue.

Pour ce qui est des sites 3 et 4, ceux-ci sont localisés dans des secteurs ayant subi des extractions passées (carte Etat Major). Ces extractions bien qu'anciennes peuvent avoir altéré la qualité de la tourbe et son fonctionnement hydrologique. Les densités apparentes relatives à ces sites révèlent une tourbe mésique pour le site 4 et une tourbe partiellement fibrique très peu décomposée pour le site 3 finalement peu impactée.

Ces résultats mettent en lumière l'intérêt de la densité apparente comme indicateur d'état de la tourbe. Toutefois, la méthode appliquée repose sur le prélèvement d'échantillons sur un point unique des sites d'études, là où la profondeur de tourbe mesurée est la plus importante. Il pourrait être intéressant de reproduire plusieurs prélèvements en suivant le protocole initial (Pinault, 2025).

5. Taux de matière organique (MO)

Les taux de matière organique montrent une variabilité entre les sites et les profondeurs. Les sites les plus profonds (3 et 4) présentent des taux élevés et homogènes, reflétant des conditions hydriques plutôt stables (*Tableau 5*) et un bon état de conservation du catotelm (couches de tourbes sous l'acrotelm constamment saturé en eau). À l'inverse, les sites 1 et 2 montrent des taux de MO beaucoup plus variable et plus faibles que les autres sites. Cela pourrait traduire une décomposition plus importante de la matière organique en raison d'un possible drainage ou fluctuation du niveau de nappe.

Les limites de ces résultats sont les mêmes que pour celles des densités apparentes, à savoir un nombre réduit de prélèvements ne représentant pas l'ensemble des complexes d'étude. Cette limite s'applique particulièrement pour le site 4 où le point de prélèvement a été réalisé sur un secteur jugé en bon état de conservation par Rémi Collaud ([Collaud, 2022](#)), alors que ce secteur n'est pas représentatif du site avec une majorité de zones dégradées où la végétation est de type paratourbeuse.

6. Estimation des stocks de carbone et potentiels émissifs

Le stock total estimé (site 1, 2, 3 et 4 cumulés) est de **18 900 tC**, soit 1259 tC/ha. Le stock par mètre de tourbe par hectare s'élève à 660 tC/ha/m, une valeur cohérente, en la comparant à la valeur proposée par [Roßkopf \(2015\)](#) qui est de 700 tC/ha/m pour les tourbières européennes. Comparé aux stocks estimés pour les tourbières du Forbonnet et des Cerneux-Gourinots dans le Doubs, le stock de carbone par hectare est plus important pour les complexes tourbeux de la RNR des tourbières du bief du Nanchez. En effet, pour la tourbière du Forbonnet le stock de carbone estimé est de **1078 tC/ha** ([Taysse, 2024](#)). Pour celles des Cerneux-Gourinots, **1142 tC/ha** ([Barberot et al., 2025](#)). Les valeurs obtenues pour les complexes tourbeux de la RNR du Nanchez semblent cohérente étant donné que les profondeurs moyennes de tourbe sont plus élevées sur le site 3 et 4 que les profondeurs moyennes observées sur les tourbières du Forbonnet et des Cerneux-Gourinots. Cependant, l'estimation du stock de carbone total de la réserve est sous-estimée étant donné qu'un site complet n'a pas été étudié. Il faudrait ajouter à ce résultat l'estimation du stock de carbone du marais de transition (Site 5).

Le potentiel émissif total estimé, de 69 366 tCO₂ illustre la vulnérabilité climatique de ces milieux si ceux-ci venaient à être endommagés. **Mais quel est le risque réel ?** Celui-ci peut se mesurer en estimant le volume potentiellement dégradable. Difficile d'y répondre avec les éléments de ce rapport, mais l'exemple de la tourbière dégradée de Malpas (altitude similaire) présente un taux de minéralisation de 1.25cm/an. En rapportant le potentiel émissif en kg/m³, il est possible de savoir quelle quantité de CO₂ est émise selon le volume affecté.

Cependant, ces estimations reposent sur des valeurs de carbone organique estimées à partir des volumes interpolés, eux-mêmes basés sur un maillage relativement espacé. La propagation d'erreurs liées à ces hypothèses n'a pas été quantifiée, mais mérite d'être prise en compte dans une perspective de suivi long terme ou de comparaison inter sites.

Conclusion

1. Etat de conservation des tourbières de la RNR

Rendre compte de l'état de dégradation des tourbières de la RNR nécessite de mettre en lien l'ensemble des paramètres évalués et mesurés lors de ce stage. Si l'estimation des volumes de tourbe et des stocks de carbone représentent une première approche quantitative, c'est en les mettant en relation avec les conditions topographiques, les dynamiques d'écoulements, la qualité de la tourbe, les perturbations identifiées et l'état des végétations que peut se dégager une conclusion sur l'état de fonctionnement et de conservation de ces sites. La profondeur de tourbe est souvent interprétée comme un indicateur de maturité et de capacité de stockage de carbone (Gorham, 1991), mais elle ne suffit pas à elle seule à évaluer l'état d'une tourbière. En effet, le site 4 par exemple, bien que présentant des profondeurs supérieures à 5m, montre également des signes de dégradation avec des végétations en grande partie de type paratourbeuse, suggérant des conditions de saturation en eau non permanentes dans les couches superficielles. A contrario, le site 3, plus grand en surface et dont la profondeur est similaire au site 4 (4,9m) présente une structure interne relativement homogène avec une tourbe de type fibrique faiblement décomposée par endroits et des écoulements de profondeurs convergeant vers une cuvette bien marquée et un état des végétations relativement bon.

Les profils de densité apparente et de taux de matière organique renforcent ce constat. Là où la densité reste relativement faible pour ce site ($<0.15 \text{ g/cm}^3$) et la matière organique élevée ($>90 \%$), la tourbe conserve une structure assez fibreuse, marqueur d'une accumulation sous saturation en eau permanente, condition essentielle pour qu'une tourbière croisse et joue son rôle de stock de carbone (Joosten, 2002). A l'inverse, les densités élevées observées sur le site 1 et 2, atteignant 0.22 g/cm^3 à 150 cm de profondeur pour le site 1 et 0.21 g/cm^3 à 25 et 200 cm de profondeur pour le site 2, traduisent une décomposition avancée de la matière organique, souvent liée à une baisse prolongée du niveau de saturation en eau (par drainage ou fragmentation) et à une minéralisation accélérée (Agroscope, s.d). Ces valeurs presque toujours couplées à des taux de MO $< 60\%$, confirment cet état de décomposition avancé. D'après les travaux de Holden (Holden, 2005), les tourbières drainées auraient plus de macropores et de tuyaux d'écoulement à l'intérieur de la tourbe. Autour de ces tuyaux il existerait une forme de décomposition aérobie et anaérobie, qui pourrait expliquer la densité élevée et le taux de matière organique faible dans le catotelm du site 1 à 150 cm de profondeur.

La topographie des sites et les écoulements identifiés, même simplifiés viennent ajouter un élément de plus au diagnostic d'état. Pour le site 2, le relief de surface est perturbé par la présence de la route, qui sectionne le continuum tourbeux. Ce type de fragmentation est identifié comme un des facteurs principaux de rupture des écoulements, favorisant l'assèchement latéral et l'érosion interne (Holden, 2005).

Le site 1 présente une topographie légèrement en pente vers le Sud, avec une dépression au niveau de zones de grandes profondeurs peu marqué (replat). Les écoulements associés à cette topographie semblent dispersés où la majorité s'écoulent vers le Sud rejoignant un fossé de drainage et d'autres vers l'Est. Les écoulements de surfaces en direction Est correspondent à l'orientation de fossés de drainages localisés par LIDAR dans le plan de gestion de la Réserve (PNRHJ, 2025). A l'inverse, les sites 3 et 4 bénéficient de bassins de rétention bien identifiés en forme de cuvette soutenant une hydrosaturation homogène et durable. La topographie en cuvette et les flux convergeant, pourraient favoriser la croissance de la tourbe et le maintien de l'hydrosaturation (Belyea & Baird, 2006).

En intégrant l'ensemble de ces caractéristiques (topographie, écoulements, qualité de tourbe et pressions anthropiques), un diagnostic site par site peut être établi. Les sites 1 et 2, cumulant profondeur plus modestes, densité partiellement élevée, MO organique partiellement dégradée, écoulements dispersés et perturbés par le drainage ou la fragmentation physique et état des végétations moyen à mauvais (Collaud, 2022) sont dans un mauvais état de conservation (Tableau 6). A l'inverse, le site 3, offre de nombreuses caractéristiques d'un bon état de conservation, bien qu'il semble avoir subi des extractions anciennes (carte Etat Major). En effet, ce site bénéficie d'une topographie favorable à l'hydrosaturation permanente, des végétations en bon état de conservation, une densité apparente relativement basse et des taux de matières organique supérieurs à 90%. Le site 4, enfin, se situe dans une position intermédiaire. Il présente un potentiel important lié à sa profondeur et sa capacité de stockage, mais présente des signes de dégradations avec des végétations hétérogènes souvent paratourbeuses plus adaptés à des niveaux d'engorgement non permanents. De plus, ce site a fait les frais d'une exploitation ancienne tout comme le site 3 et des drains pourraient être présents d'après les travaux de Rémi Collaud.

Tableau 6 : Estimation de l'état de conservation site par site

Site	Profondeur moyenne	Type de tourbe	MO moyenne	Perturbations	Etat des végétations	Etat de conservation
Site1	1,3 m	mésique / saprique	78%	Drains	moyen / mauvais	mauvais
Site 2	1,4 m	mésique / saprique	83%	Route	moyen / mauvais	mauvais
Site 3	2,37 m	fibrique / mésique	95%	Extractions anciennes	bon	bon
Site 4	2,75 m	mésique	92%	Extractions anciennes / Drains	moyen / mauvais	moyen

A l'issue de ce diagnostic, plusieurs études complémentaires pourraient permettre de préciser l'état de conservation des sites de la Réserve. Dans un premier temps, il pourrait être intéressant de réaliser un inventaire complet des perturbations liées à chaque site d'étude. Le site 4 par exemple à possiblement encore des traces de drains qui n'ont pas été identifiés avec le MNT utilisé. Il conviendrait d'utiliser le LIDAR sur ce site. Concernant le fonctionnement hydrologique des sites, il conviendrait de mettre en place un réseau piézométrique de manière à suivre les fluctuations des niveaux d'eau et comprendre les mécanismes d'assèchement et de saturation.

L'état de la tourbe apparaît comme un critère très important dans la justification de l'état de conservation des sites et de leur conductivité hydraulique (non abordée dans ce rapport). Il serait bien de répéter plusieurs prélèvements de manière à spatialiser les qualités tourbe et identifier les zones les plus sensibles.

2. Conclusion générale

Pour conclure, le stage de Master 2 dont fait l'objet ce mémoire s'est inscrit dans un contexte d'amélioration des connaissances des complexes tourbeux de la RNR des tourbières du bief du Nanchez de manière à ce que le PNRHJ puisse orienter la gestion des sites, en fonction de leur état de conservation. D'après l'analyse des résultats effectuée, 2 sites seraient en mauvais état de conservation, 1 en état moyen, 1 en bon état et un dernier qui n'a pas été diagnostiqué en raison d'un programme de réintroduction botanique. Le stock de carbone total estimé est de **18 900 tC** soit un équivalent de **69 366 tCO₂** qui pourraient être émises si les tourbières venaient à être complètement détruites.

Ce stage de 3 mois, bien que relativement court, m'a permis de mobiliser concrètement certaines compétences acquises dans le cadre du Master 2 "Gestion et évaluation des environnements montagnards" et d'en développer davantage, notamment en géomatique et en analyse environnementale (*Tableau 7*). Celui-ci m'a également permis de développer une rigueur scientifique et une bonne autonomie de travail que ce soit sur le terrain, dans les productions cartographiques ou dans l'analyse des résultats. Il a été une expérience professionnelle très enrichissante en me permettant de découvrir les écosystèmes tourbeux qui jusqu'alors m'étaient pratiquement inconnus. Les lectures bibliographiques et les périodes de terrain m'ont permis de mieux comprendre leur fonctionnement et d'avoir un regard plus admiratif de ces milieux. D'autre part, ce stage m'a permis de manipuler des outils tels que la gouge et le carottier russe, qui peuvent servir dans bien d'autres disciplines environnementales.

Tableau 7 : Récapitulatif des compétences acquises lors de ce stage

Apports du stage	Liens avec la formation	Apports pour la structure
<p>1.-Connaissances générales</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fonctionnement des tourbières • Techniques de mesures de profondeur et de prélèvement • Analyses physico-chimiques en laboratoire 	<ul style="list-style-type: none"> • Amélioration des connaissances sur des écosystèmes tourbeux en contexte montagnard 	<ul style="list-style-type: none"> • Amélioration des connaissances sur les tourbières du site d'étude • Estimation des volume et stocks de carbone de la tourbe • Estimation de l'état de conservation des sites
<p>2.-Compétences cartographiques</p> <ul style="list-style-type: none"> • Manipulation d'outils d'interpolation • Utilisation de MNT • Analyses topographiques • Traçage d'écoulements 	<ul style="list-style-type: none"> • Amélioration des compétences cartographiques en explorant divers outils sur le logiciel QGIS • Amélioration des capacités d'analyses environnementales 	<ul style="list-style-type: none"> • Élaboration de nombreux supports cartographiques
<p>3.-Démarche de recherche scientifique :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Recherches bibliographiques • Réalisation de protocoles de terrain • Analyse des données échantillonnées • Interprétation et regard critique sur les résultats obtenus 	<ul style="list-style-type: none"> • Application d'une démarche de recherche dans son ensemble • Problématique liée aux environnements montagnards 	<ul style="list-style-type: none"> • Application des protocoles de terrain en autonomie

Bibliographie

- Agroscope. (s. d). Qualité de la tourbe. <https://www.agroscope.admin.ch/agroscope/fr/home/themes/environnement-ressources/climat-hygiene-lair/sources-et-puits-de-CO2-dans-les-sols-agricoles/sols-organiques/qualite-tourbe.html?>
- ANA-CEN Ariège. (s. d.). <https://ariegenature.fr/zones-humides/#:~:text=Ces%20prairies%20dites%20paratourbeuses%20%28qui%20poussent%20sur%20une,%C3%A0%20ces%20conditions%20d%E2%80%99engorgement%2C%20d%E2%80%99acidit%C3%A9%20et%20de%20fra%C3%AEcheur.>
- André, G., André M. (2004). La Grande tourbière de Pontarlier (Doubs), approche historique et botanique, partie 1. Les Nouvelles Archives de la Flore jurassienne, 2, 2004. Société Botanique de Franche-Comté, pp. 65 – 101.
- Barberot, A., Binetruy, H., Durain, L., & Verstraete, L. (2025). Caractérisation et cartographie d'une tourbière du massif du Jura : tourbière des Cerneux-Gourinots. Université Marie et Louis Pasteur - UFR STGI - M1 Gestion de L'environnement - Parcours Ingénierie de L'environnement et des Territoires.
- Belyea, L., & Baird, A. (2006). BEYOND "THE LIMITS TO PEAT BOG GROWTH" : CROSS-SCALE FEEDBACK IN PEATLAND DEVELOPMENT. Ecological Monographs, 76(3), 299-322. <https://www.jstor.org/stable/27646045>
- Bonn, A., Reed, M. S., Evans, C. D., Joosten, H., Bain, C., Farmer, J., Emmer, I., Couwenberg, J., Moxey, A., Artz, R., Tanneberger, F., Von Unger, M., Smyth, M., & Birnie, D. (2014). Investing in nature : Developing ecosystem service markets for peatland restoration. Ecosystem Services, 9, 54-65. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2014.06.011>
- Bortoluzzi, E. (2006). Bilan de carbone d'une tourbière anciennement exploitée du Massif du Jura à différents stades de régénération. [Thèse de doctorat, Université de Franche Comté]. <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=02408e330d4d7841ecfd10012842641fed5beab3>
- Bourgault, S. (2023). Émissions de gaz à effet de serre liées à l'aménagement des tourbières, RIVIÈRE-DU-LOUP, BAS SAINT-LAURENT. Département de phytologie, Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation, Université Laval, Ville de Québec, Québec. https://www.gret-perg.ulaval.ca/fileadmin/Fichiers/centre_recherche/Bourgault_Essai_maitrise_2023.pdf
- Clymo, R.S. (1984) The Limits to Peat Bog Growth. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences, 303, 605-654.
- Collaud R., 2022. Etude et cartographie des végétation de la réserve naturelle régionale des tourbières du bief du Nanchez, PNR du Haut-Jura, Région Bourgogne Franche-Comté, 81 p. + annexes
- Conservatoire d'espaces naturels de Franche-Comté. (2024). Mise à jour de l'inventaire des tourbières de Franche-Comté. Rapport méthodologique.
- Cubizolle, H. (2019). Les tourbières et la tourbe : Géographie, hydro-écologie, usages et gestion conservatoire. Tec & doc.
- D'Angelo, B. (2015). Variabilité spatio-temporelle des émissions de GES dans une tourbière à Sphaignes : effets sur le bilan carbone. <https://theses.hal.science/tel-01304452v1>
- Engels, P. G. & G. (2020). Science des données biologiques. <https://wp.sciviews.org/sdd-umons-2018/test-de-kruskal-wallis.html>

Fédération des conservatoires d'espaces naturels. (2024). Où les trouver ? - Pôle-Relais Tourbières. Pôle-Relais Tourbières. <https://www.pole-tourbieres.org/ou-les-trouver/>

Fonction Flow Direction (Direction de flux)—ArcGIS Online | Documentation. (s. d.). <https://doc.arcgis.com/fr/arcgis-online/analyze/flow-direction-raster-function.htm>

Frésillon, C. (2021). Tourbières : une bombe climatique à retardement. CNRS le Journal. <https://lejournal.cnrs.fr/diaporamas/tourbieres-une-bombe-climatique-a-retardement>

Gorham, E. (1991). Northern Peatlands : Role in the Carbon Cycle and Probable Responses to Climatic Warming. *Ecological Applications*, 1(2), 182-195. <https://doi.org/10.2307/1941811>

Holden, J. (2005). Peatland hydrology and carbon release : why small-scale process matters. *Philosophical Transactions Of The Royal Society A Mathematical Physical And Engineering Sciences*, 363(1837), 2891-2913. <https://doi.org/10.1098/rsta.2005.1671>

Inventaire National du Patrimoine Naturel. (s. d.). INPN - L'Inventaire ZNIEFF. MNHN. <https://inpn.mnhn.fr/programme/inventaire-znieff/presentation>

Joosten, H., & Clarke, D. (2003). Wise use of mires : Background and principles. Dans Research Gate. https://www.researchgate.net/publication/293563126_Wise_use_of_mires_Background_and_principles

Loisel, J., Van Bellen, S., Pelletier, L., Talbot, J., Hugelius, G., Karran, D., Yu, Z., Nichols, J., & Holmquist, J. (2016). Insights and issues with estimating northern peatland carbon stocks and fluxes since the Last Glacial Maximum. *Earth-Science Reviews*, 165, 59-80. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.12.001>

Lourenco, M., Fitchett, J. M., & Woodborne, S. (2022). Peat definitions : A critical review. *Progress In Physical Geography Earth And Environment*, 47(4), 506-520. <https://doi.org/10.1177/03091333221118353>

Manneville, O. (2020). Tourbières et marais, des zones humides remarquables. *Encyclopédie de L'environnement*, 10. <https://www.encyclopedie-environnement.org/vivant/tourbieres-marais-zones-humides-remarquables/>

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, 153 p. + annexes.

OFB. (2017). Cadre juridique pour les Réserves naturelles | Guide d'élaboration des plans de gestion des espaces naturels. (s. d.). <http://ct88.espaces-naturels.fr/node/1946>

Pinault, L., Gilbert, D., & Martin, E. (2021). Contribution des tourbières françaises à l'objectif national de neutralité carbone en 2050. *Chrono Environnement*.

Pinault, L. (2025). HandBook pour inventorier les tourbières et la tourbe (Matériel & méthodes) [Chapitre de thèse]. Université Marie et Louis Pasteur Besançon.

PNRHJ. (2025). La Réserve des tourbières du Bief du Nanchez - Parc naturel régional du Haut Jura. Parc Naturel Régional du Haut Jura. <https://www.parc-haut-jura.fr/agir-pour-le-territoire/preserver-les-equilibres-ecologiques-des-milieus-naturels-et-leur-biodiversite/animer-les-sites-naturels/reserve-tourbieres-du-bief-du-nanchez/>

PNRHJ. (2025). Plan de gestion de la Réserve naturelle régionale des tourbières du bief du Nanchez (Tome 1)

Roßkopf, N., Fell, H., & Zeitz, J. (2015). Organic soils in Germany, their distribution and carbon stocks. *CATENA*, 133, 157-170. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.05.004>

Taysse, N. (2024). Caractérisation 3D de la géométrie du complexe tourbeux du Forbonnet à Frasne (25).

UCL. (2014). Comment évolue une tourbière ?. https://sites.uclouvain.be/tourbiere/tourbiere/6._Evolution.html

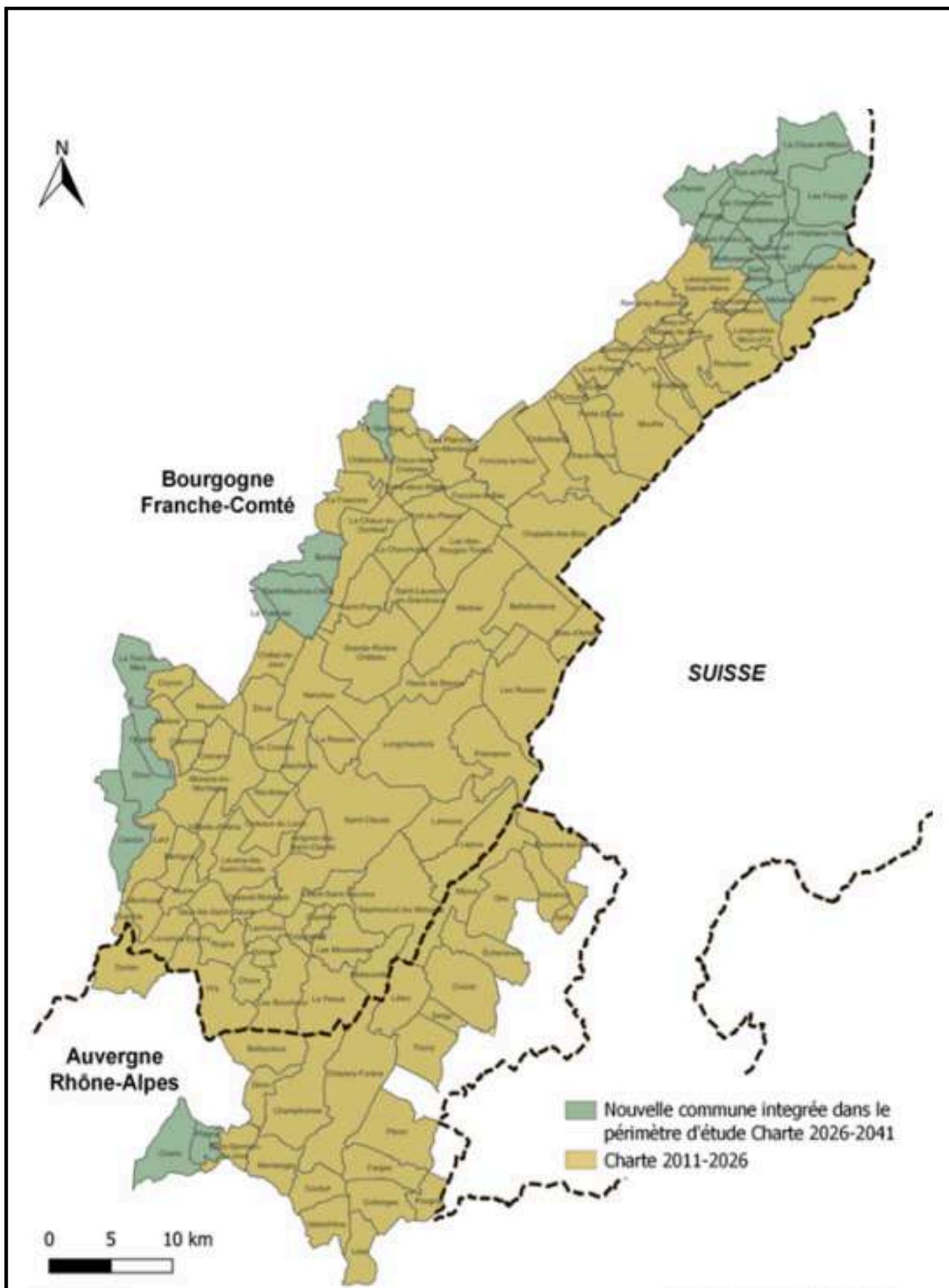
UNEP. (2022). Global Peatlands Assessment : The State of the World's Peatlands. Dans [unep.org](https://globalpeatlands.org/sites/default/files/2022-12/peatland_assessment.pdf). https://globalpeatlands.org/sites/default/files/2022-12/peatland_assessment.pdf

Word, C. S., McLaughlin, D. L., Strahm, B. D., Stewart, R. D., Varner, J. M., Wurster, F. C., Amestoy, T. J., & Link, N. T. (2022). Peatland drainage alters soil structure and water retention properties : Implications for ecosystem function and management. *Hydrological Processes*, 36(3). <https://doi.org/10.1002/hyp.14533>

Worrall, F., Clay, G. D., Heckman, K., Ritson, J., Evans, M., & Small, J. (2024). The formation of peat—Decreasing density with depth in UK peats. *Soil Use And Management*, 40(4). <https://doi.org/10.1111/sum.13155>

Zones Humides. (2015). L'exploitation de la tourbe. <https://www.zones-humides.org/l-exploitation-de-la-tourbe>

Annexes



Organigramme du PNR du Haut-Jura

Administration générale



Directrice :
Béatrice Neel

- Directrice adjointe : **Margaux Lebecque**
- Assistante de direction et ressources humaines : **Christiane Frigant-Murtin**
- Assistante administration générale : **Véronique Tinguely**
- Responsable financier : **Sylvie Barbier**
- Comptable : **Sophie Redempt**
- Juriste et gestionnaire des marchés publics : **Başak Unaltekin**
- Gestionnaire finances et marchés publics : **Aline Dalloz**
- Responsable administratif juridique financier : **Rachel Ferrazzi**
- Gestionnaires des programmes européens : **Julie Chaboud**
- Gestionnaire de documents, assistante de prévention et DPO : **Patricia Louvrier**
- Chargé de mission SIG, informatique et évaluation : **Aymeric Dutremble**
- Chargée de communication : **Sophie Léret**
- Logisticien : **Yacine Boustata**

Développement territorial et Pays du Haut-Jura



Chef de service :
Matthieu Peroz

- Chargé de mission économie de proximité : **Benoît Pasquier**
- Chargée de mission énergie et climat : **Carole Zakin**
- Accueil Maison du Parc : **Caroline Bergamosco**
- Chargé de mission stratégie touristique : **Corentin Tardivel**
- Chargé de mission éco-tourisme : **Florian Marguet**
- Chargé de mission activités de pleine nature : **Julien Ruelle**
- Chargé de mission Urbanisme durable : **Maxime Bachetti**
- Chargée de mission aménagement et paysages : **Sophie Lheureux**

Grand cycle de l'eau



Chef de service :
Julien Moronval

- Chargé de mission Grand Cycle de l'Eau – bassin Valouse : **Alexis Milhan**
- Chargé de mission Qualité de l'eau : **Bertrand DEVILLERS**
- Chargé de mission Grand Cycle de l'Eau – bassin Ain médian : **Brice Grandpierre**
- Chargé de projet Valserine : **Quentin Ducreux**
- Chargé de mission Blenne et Saine : **Romain Bellier**
- Technicienne rivière : **Sabrina Le Roy**

Maison du Parc, culture et éducation du territoire



coordinatrice
Maison du Parc :
Mathilde Feuillas

- Chargée de mission culture, patrimoine et éducation au territoire : **Marie-Pierre Reynet**
- Administration générale : **Sophie Léret**
- Accueil Maison du Parc et assistante du service développement territorial et Pays du Haut-Jura : **Caroline Bergamosco**

Milieux naturels, agriculture et forêt



Chef de service :
Manuel Lembke

- Assistance du service Milieux Naturels Agriculture Forêt : **Carine Moro**
- Chargé de mission milieux naturels, Natura 2000, entomofaune et botanique : **Jean-Baptiste Strobel**
- Chargé de mission milieux naturels, Natura 2000, grands prédateurs et herpétofaune : **Julien Barlet**
- Chargée de mission milieux naturels, Natura 2000, agro-pastoralisme : **Juliette Gabillard**
- Chargée de mission milieux naturels, Natura 2000, forêt et tétraoninés : **Lisa Maffre**
- Chargée de mission agriculture : **Marie Lemoine**
- Chargé de mission milieux naturels, Natura 2000, zones humides et avifaune : **Pierre Durllet**
- Conservatrice de la Réserve Naturelle Régionale des tourbières du Bief du Nanchez et Chargé de mission milieux naturels, Natura 2000, mammifères : **Séverine Goertz**

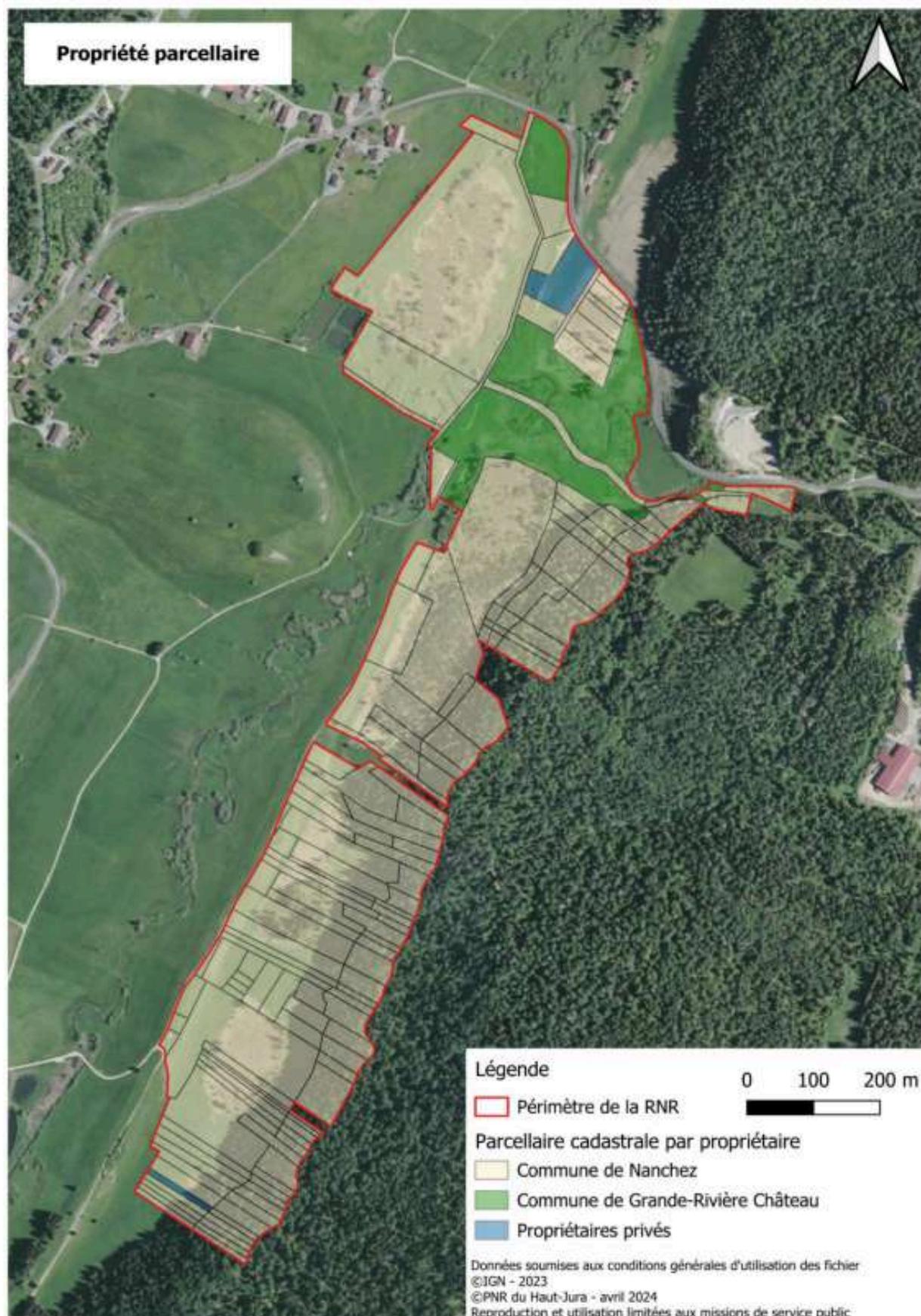
Stagiaires

- Vieilles forêts : **Arnaud Chambre**
- Tourbières RNR bief du Nanchez : **Gabriel Riethmuller**

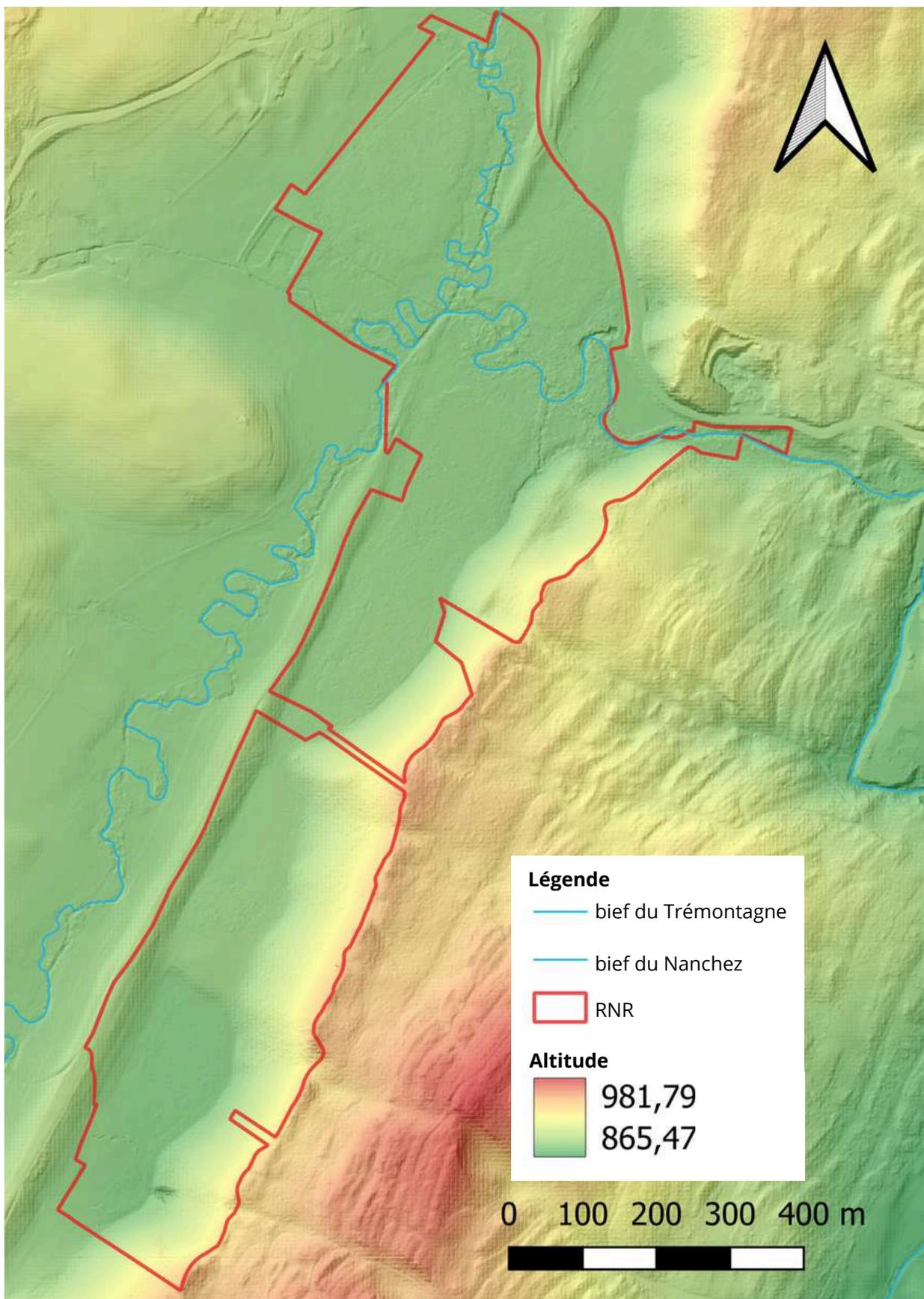
Planning opérationnel du stage sur l'amélioration des connaissances de la Réserve Naturelle Régionale des tourbières du Bief du Nanchez															
Missions															
Bibliographie et adaptation du protocole															
Phase de terrain															
Analyses en laboratoire															
Cartographie et analyses statistiques															

03/0310/0317/0324/0331/0307/0414/0421/0421/0428/0405/0512/0519/0526/0530/05

Mars
 Avril
 Mai

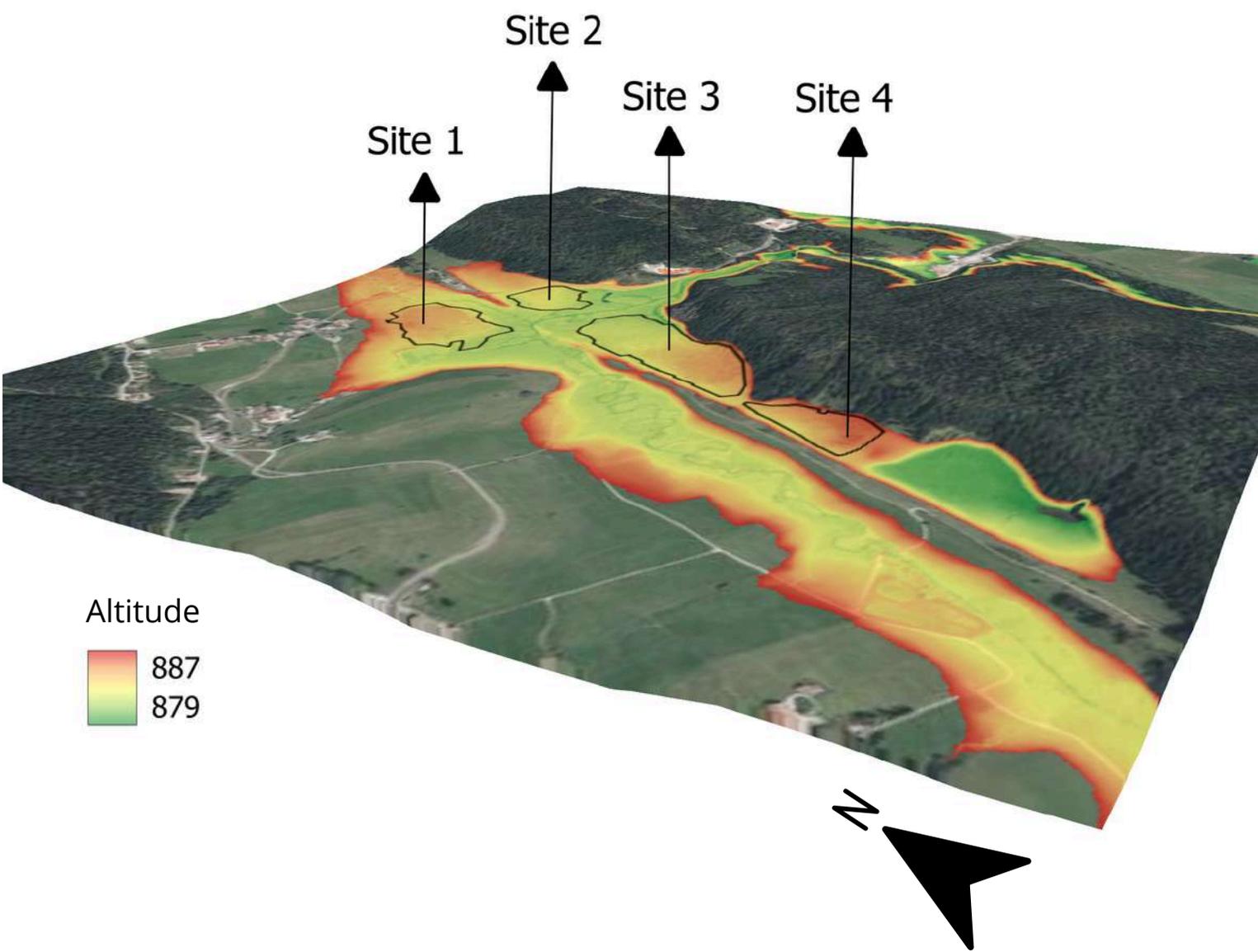


Source : Plan de gestion de la RNR des tourbières du bief du Nanchez, 2025



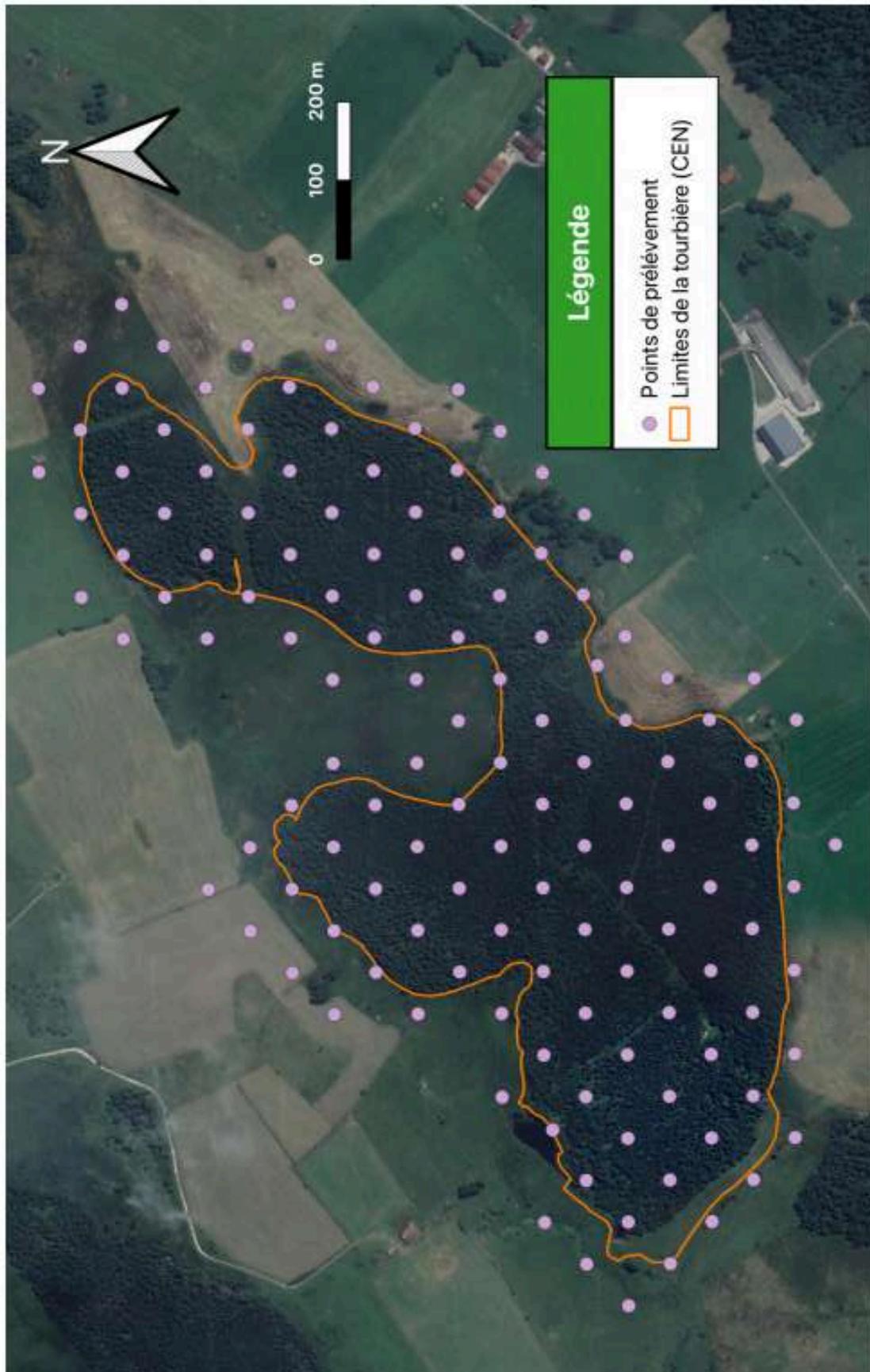
Source : MNT RGE Alti, IGN





Annexe 8

Cartographie d'un maillage de point réalisé par le CEN FC pour les travaux de cartographie des étudiants de l'Université de Montbéliard

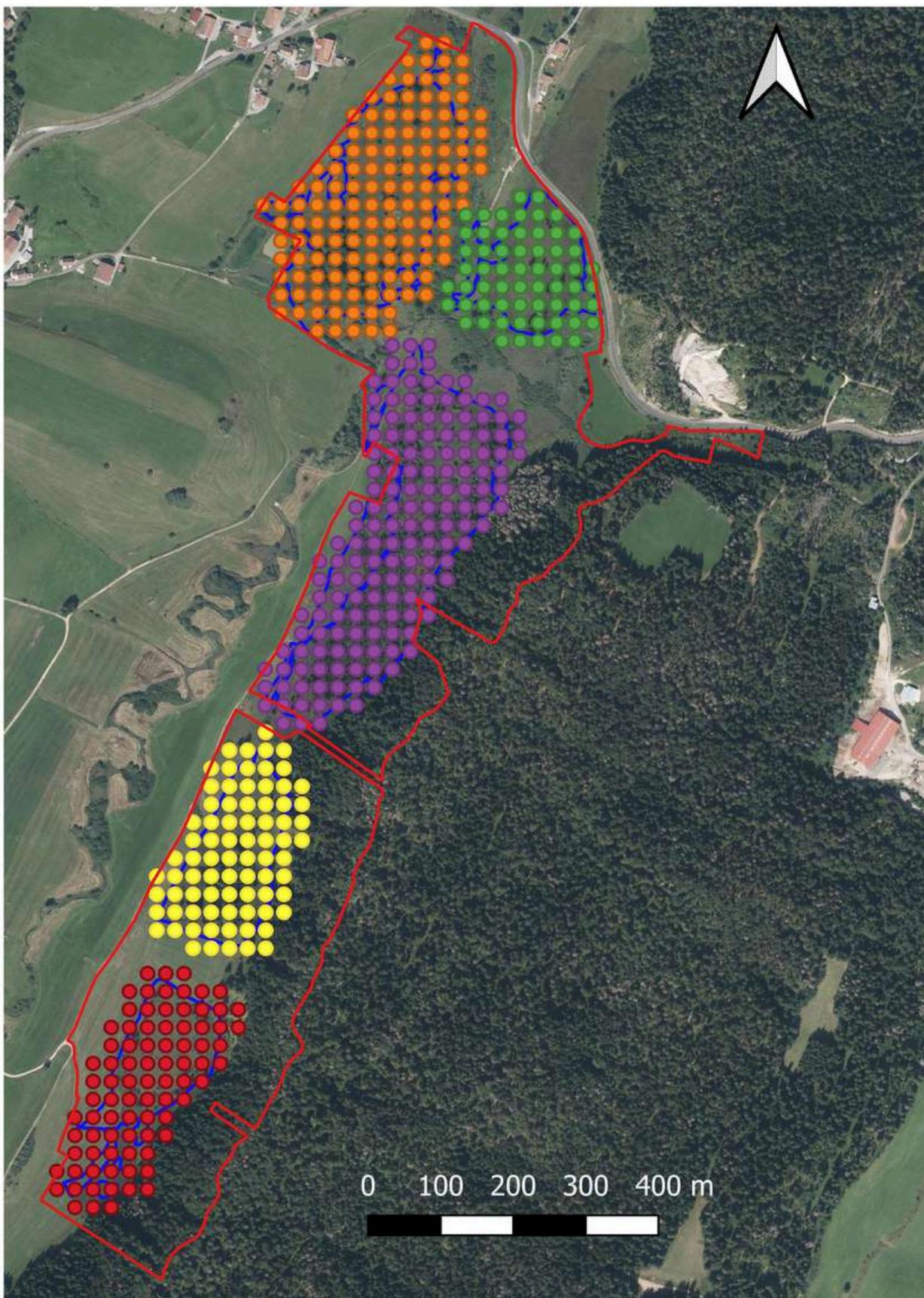


Source : CEN FC

Annexe 9

Proposition d'un plan d'échantillonnage avec maillage de points espacés de 25m.

Réalisation : Gabriel Riethmuller



Création de vecteurs - Créer une grille

Créer une grille

Cet algorithme crée une couche vectorielle avec une grille couvrant une étendue donnée. Les éléments de la grille peuvent être des points, des lignes ou des polygones. La taille et/ou le placement de chaque élément dans la grille est défini à l'aide d'un espacement horizontal et vertical. Le SCR de la couche de sortie doit être défini. L'étendue de la grille et les valeurs d'espacement doivent être exprimées dans les coordonnées et les unités de ce SCR. Le point en haut à gauche (Xmin, Ymax) est utilisé comme point de référence. Cela signifie que, à ce point, la mise en place d'un élément est garantie. À moins que la largeur et la hauteur de l'étendue sélectionnée ne soit un multiple de l'espacement sélectionné, cela n'est pas vrai pour les autres points qui définissent cette étendue.

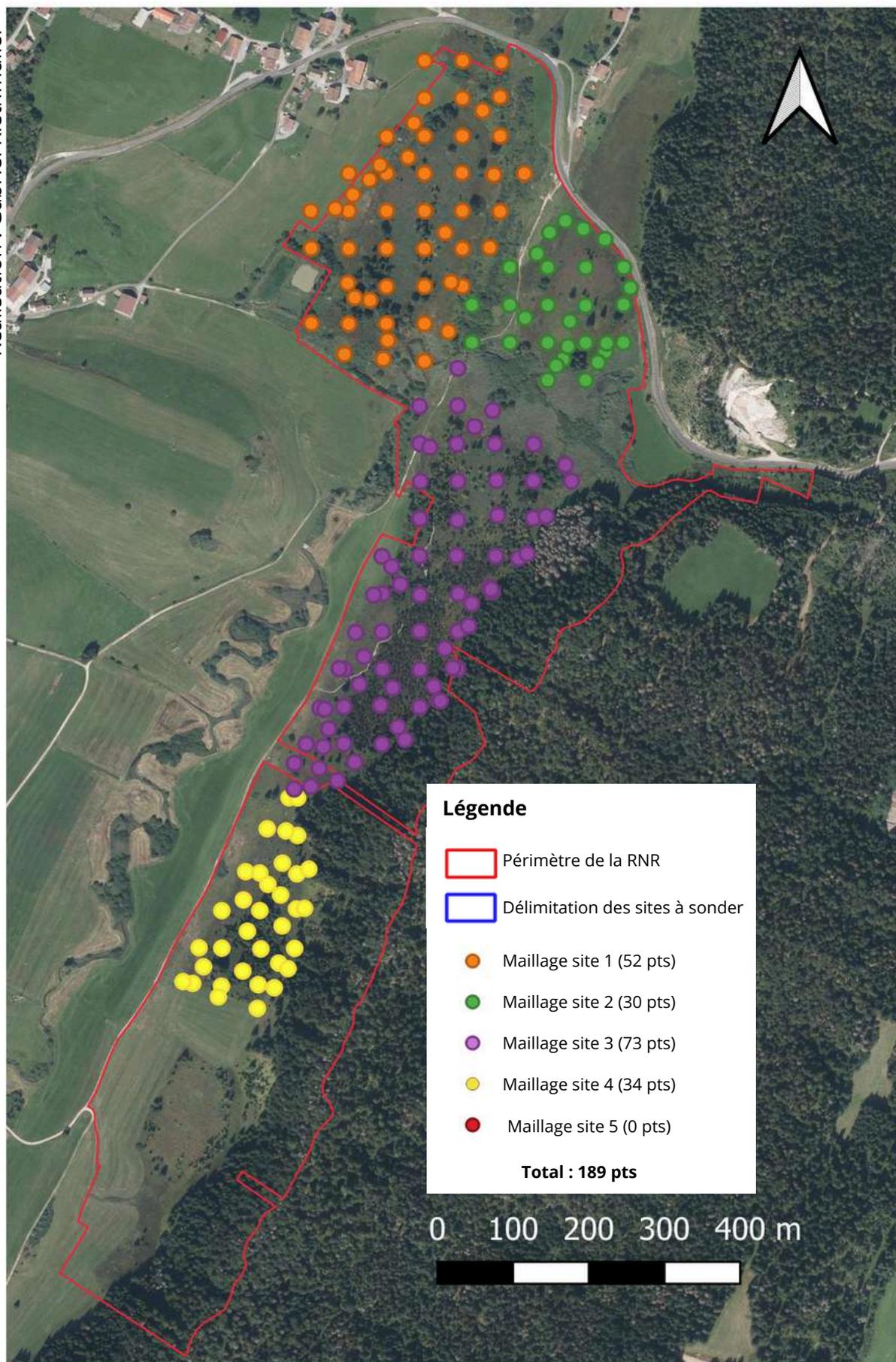
Paramètre définissant l'espacement des points du maillage (exemple ici à 25 mètres)

0%

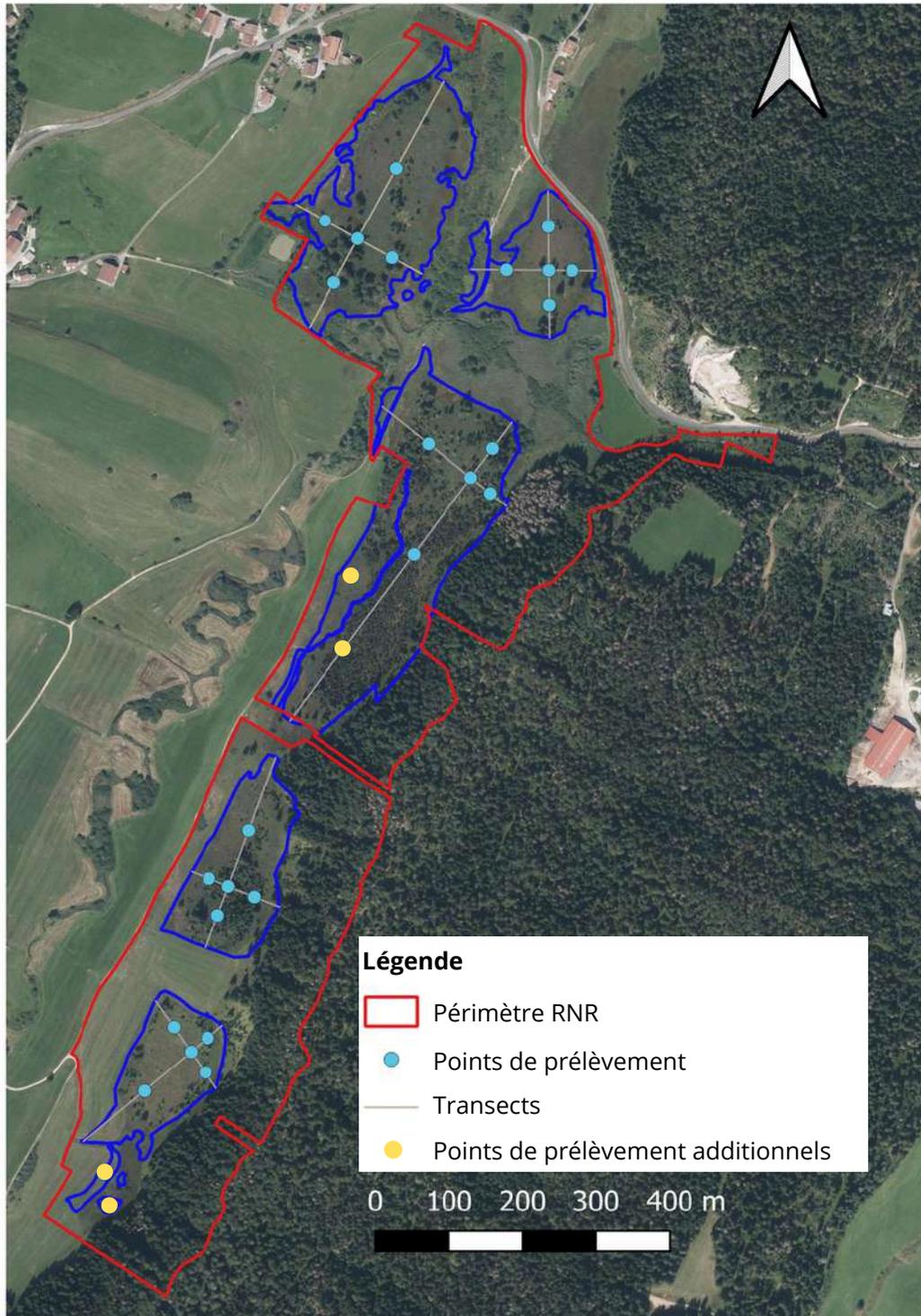
Avancé Exécuter comme processus de lot... Exécuter Fermer Aide

Annuler

Réalisation : Gabriel Riethmuller



Réalisation : Gabriel Riethmuller



Annexe 13

Tableaux Excel pour le calcul des volumes de tourbe site par site

Site 2

Tranche de tourbe	Surface de la tranche (m ²)	épaisseur de tourbe	Surface de l'épaisseur (m ²)	Volume (m3)
0 - 0,6	4276,313	0,6	18555,451	11133,2706
0,6 - 0,8	3188,424	0,2	14279,138	2855,8276
0,8 - 1	1985,096	0,2	11090,714	2218,1428
1 - 1,2	1688,834	0,2	9105,618	1821,1236
1,2 - 1,4	1449,742	0,2	7416,784	1483,3568
1,4 - 1,6	1335,512	0,2	5967,042	1193,4084
1,6 - 1,8	2027,357	0,2	4631,53	926,306
1,8 - 2	1101,898	0,2	2604,173	520,8346
2 - 2,2	1030,935	0,2	1502,275	300,455
>2,2	471,34	0,06	95,9794	5,758764
Total	18555,451	2,26		22458,48416
volume par hectare				12103,73709
Surface de la tourbière (m ²)	18555,451			
Profondeur moyenne	1,2			

Site 3

Tranche de tourbe	Surface de la tranche (m ²)	épaisseur de tourbe	Surface de l'épaisseur (m ²)	Volume (m3)
0 - 0,8	12294,308	0,8	66168,099	52934,4792
0,8 - 1,2	8923,027	0,4	53873,791	21549,5164
1,2 - 1,6	6525,494	0,4	44950,764	17980,3056
1,6 - 2	5544,717	0,4	38425,27	15370,108
2 - 2,4	6067,298	0,4	32880,553	13152,2212
2,4 - 2,8	5260,15	0,4	26813,255	10725,302
2,8 - 3,2	4341,759	0,4	21553,105	8621,242
3,2 - 3,6	3649,367	0,4	17211,346	6884,5384
3,6 - 4	3826,903	0,4	13561,979	5424,7916
4 - 4,4	4258,698	0,4	9735,076	3894,0304
4,4 - 4,8	5229,81	0,4	5476,378	2190,5512
>4,8	246,568	0,1	246,568	24,6568
Total	66168,099	4,9		156536,5348
volume par hectare				23657,43786
Surface de la tourbière (m ²)	66168,099			
Profondeur moyenne	2,4			

Site 4

Tranche de tourbe	Surface de la tranche (m ²)	épaisseur de tourbe	Surface de l'épaisseur (m ²)	Volume (m3)
0 - 0,8	2138,611	0,8	21367,847	17094,2776
0,8 - 1,2	2063,256	0,4	19229,236	7691,6944
1,2 - 1,6	1987,355	0,4	17165,98	6866,392
1,6 - 2	1801,205	0,4	15178,625	6071,45
2 - 2,4	1657,208	0,4	13377,42	5350,968
2,4 - 2,8	1692,983	0,4	11720,212	4688,0848
2,8 - 3,2	1903,562	0,4	10027,229	4010,8916
3,2 - 3,6	2362,965	0,4	8123,667	3249,4668
3,6 - 4	2420,781	0,4	5760,702	2304,2808
4 - 4,4	1066,678	0,4	3339,921	1335,9684
4,4 - 4,8	888,783	0,4	2273,243	909,2972
4,8 - 5,2	1081,587	0,4	1384,46	553,784
>5,2	302,873	0,1	302,873	30,2873
Total	21367,847	5,3		58663,4744
volume par hectare				27455,17593
Surface de la tourbière (m ²)	21367,847			
Profondeur moyenne	2,7			

Annexe 14

Tableaux Excel des analyses au laboratoire

Site 2								
Profondeur	Mesures				Calculs			
	Volume (cm3)	masse sèche (g)	masse prélevée	masse cendres	Da (g/cm3)	Ashes (%)	MO (%)	Corg (%)
25-35	106	21,38	2,65695	0,2542	0,201698113	9,566608329	90,43339167	47,10072483
50-60	106	16,49	2,42416	0,1609	0,155566038	6,638175698	93,3618243	48,62595016
75-85	106	16,45	2,05926	0,2504	0,155188679	12,16116469	87,83883531	45,74939339
100-110	106	16,8	2,57056	0,4379	0,158490566	17,0359766	82,9640234	43,21042886
150-160	106	14,53	2,2685	0,2367	0,137075472	10,43288517	89,56711483	46,64953898
200-210	106	23,73	2,2199	1,0134	0,223867925	45,65070499	54,34929501	28,30692449
Moyenne					0,171981132	16,91425258	83,08574742	43,27382678
Da (kg/m3)					171,9811321			
Corg (kg/kg)								0,432738268
Surface (m²)	18555,451					Stock C	1671423,675	
Profondeur moyenne	1,2103443					tonnes	1671,423675	
						T/Ha	900,7723258	

Site 3								
Profondeur	Mesures				Calculs			
	Volume (cm3)	masse sèche (g)	masse prélevée	masse cendres	Da (g/cm3)	Ashes (%)	MO (%)	Corg (%)
25-35	106	19,2	7,0118	0,35171	0,181132075	5,015973074	94,98402693	49,47084736
50-60	106	11,53	6,5216	0,15681	0,108773585	2,404471295	97,5955287	50,83100453
75-85	106	11,21	5,0661	0,14506	0,105754717	2,863346558	97,13665344	50,592007
100-110	106	8,89	5,5436	0,19712	0,083867925	3,555812108	96,44418789	50,23134786
150-160	106	7,66	5,0891	0,17226	0,072264151	3,384881413	96,61511859	50,32037426
200-210	106	10,18	5,1125	0,19708	0,096037736	3,854865526	96,14513447	50,07559087
300-310	106	15,44	4,40503	0,30536	0,145660377	6,932075377	93,06792462	48,47287741
400-410	106	16,65	4,11767	0,48884	0,157075472	11,87176243	88,12823757	45,90012374
Moyenne					0,118820755	4,985398473	95,01460153	49,48677163
Da (kg/m3)					118,8207547			
Corg kg/kg								0,494867716
Surface du site (m²)	66168,099					Stock C	9204435,029	
Profondeur moyenne	2,3657402					tonnes	9204,435029	
						TC/Ha	1391,06838	

Site 4								
Profondeur	Mesures				Calculs			
	Volume (cm3)	masse sèche	masse prélevée	masse cendres	Da (g/cm3)	Ashes (%)	MO (%)	Corg (%)
25-35	106	17,3	3,35993	0,30997	0,163207547	9,225489817	90,77451018	47,27839072
50-60	106	18,05	4,05611	0,3192	0,170283019	7,869609059	92,13039094	47,98457862
75-85	106	13,35	3,73579	0,29039	0,125943396	7,773188536	92,22681146	48,03479764
100-110	106	15,97	4,54273	0,32053	0,150660377	7,0558893	92,9441107	48,40839099
150-160	106	13,49	3,80855	0,25463	0,127264151	6,685746544	93,31425346	48,60117368
200-210	106	11,97	4,69033	0,28687	0,112924528	6,116200779	93,88379922	48,89781209
300-310	106	13,67	3,91865	0,25567	0,128962264	6,524440815	93,47555918	48,68518708
Moyenne					0,139892183	7,321509264	92,67849074	48,27004726
Da (kg/m3)					139,8921833			
Corg (kg/kg)								0,482700473
Surface du site (m²)	21367,847					Stock C	3961311,174	
Profondeur moyenne	2,7454088					tonnes	3961,311174	
						TC/Ha	1853,865377	

Script général dans Rstudio

```
data <- read.csv("C:/Users/Gabriel/Downloads/Analyse tourbe RNR Nanchez - Feuille 5.csv")
str(data)
data$densite_g_cm3 <- gsub(",", ".", as.character(data$densite_g_cm3))
data$MO <- gsub(",", ".", as.character(data$MO))
data$densite_g_cm3 <- as.numeric(data$densite_g_cm3)
data$MO <- as.numeric(data$MO)
data$site <- as.factor(data$site)
View(data)

# Tests de différence de la densité apparente et du taux de matière organique en fonction du site
kruskal.test(densite_g_cm3 ~ site, data = data) # différence significative de la Da en fonction du Site
kruskal.test(MO ~ site, data = data) # différence significative de la MO en fonction du Site

# Tests de différence de la densité apparente et du taux de matière organique en fonction de la profondeur
kruskal.test(densite_g_cm3 ~ profondeur_cm, data = data) # différence non significative de la Da en fonction de la profondeur
kruskal.test(MO ~ profondeur_cm, data = data) # différence non significative du taux de MO en fonction de la profondeur
```

Résultats Densité en fonction du site

```
Kruskal-wallis rank sum test
```

```
data: densite_g_cm3 by site
Kruskal-wallis chi-squared = 8.7566, df = 3, p-value =
0.03271
```

Résultats MO en fonction du site

```
Kruskal-wallis rank sum test
```

```
data: MO by site
Kruskal-wallis chi-squared = 17.999, df = 3, p-value =
0.00044
```

Résultats Densité en fonction de la profondeur

```
Kruskal-wallis rank sum test
```

```
data: densite_g_cm3 by profondeur_cm
Kruskal-wallis chi-squared = 4.5159, df = 7, p-value =
0.7188
```

Résultats MO en fonction de la profondeur

```
Kruskal-wallis rank sum test
```

```
data: MO by profondeur_cm
Kruskal-wallis chi-squared = 0.6627, df = 7, p-value =
0.9986
```

Liste des figures

Figure 1 : Carte du PNR du Haut-Jura	p.4
Figure 2 : Répartition budgétaire du PNRHJ en 2024.....	p.5
Figure 3 : Missions et actions des différents services du PNRHJ.....	p.6
Figure 4 : Types de tourbières minérotrophes (Manneville, 1999).....	p.10
Figure 5 : Répartition mondiale des tourbières	p.12
Figure 6 : Répartition nationale des tourbières	p.13
Figure 7 : Répartition des tourbières dans la région Bourgogne Franche-Comté	p.13
Figure 8 : Emissions (CO ₂ -eq ha ⁻¹ .yr ⁻¹) pour chaque type de tourbière en zone tempérée.....	p.14
Figure 9 : Carte de localisation de la RNR du bief du Nanchez	p.17
Figure 10 : Cartographie des zones d'extraction de tourbe	p.18
Figure 11 : Cartographie des activités agricoles sur la Réserve	p.19
Figure 12 : Cartographie des types d'espaces classés en faveur du patrimoine naturel.....	p.20
Figure 13 : Coupe géologique de la combe du Nanchez	p.21
Figure 14 : Carte géologique de la RNR du bief du Nanchez	p.22
Figure 15 : Évolution du cours d'eau du Nanchez et du Trémontagne avant et après la chenalisation.....	p.23
Figure 16 : Températures à St-Claude entre 1991 et 2020	p.25
Figure 17 : Précipitations à St-Claude entre 1991 et 2020	p.25
Figure 18 : Carte des végétations de la RNR des tourbières du Bief du Nanchez	p.26
Figure 19 : Cartographie des sites à sonder	p.33

Figure 20 : Cartographie du maillage de point retenu (50m) sur l'ensemble des 5 complexes tourbeux	p.35
Figure 21 : Utilisation de Qfield	p.36
Figure 22 : Utilisation de la gouge sur le terrain	p.36
Figure 23 : Schéma du calcul des volumes.....	p.37
Figure 24 : Schéma du plan d'échantillonnage des prélèvements	p.38
Figure 25 : Cartographie des points de prélèvements	p.38
Figure 26 : Utilisation du Carottier Russe	p.39
Figure 27 : Prélèvement d'une carotte de 10cm	p.39
Figure 28 : Cartographie des profondeurs de tourbe sur 4 complexes tourbeux de la RNR des tourbières du bief du Nanchez, obtenue par la technique d'interpolation "Interpolation TIN", représenté en courbes de niveaux	p.43
Figure 29 : Cartographie des profondeurs maximales	p.45
Figure 30 : Cartographie de la limite des tourbières selon les critères pédologiques de 40cm de profondeur (a. site Nord-Ouest ; b. Site Nord; c. Site Central; d. Site Sud)	p.46
Figure 31 : Cartographie de la topographie du substratum interne des tourbières.....	p.48
Figure 32 : Schéma du profil de surface et de profondeur du Haut-marais Nord-Ouest (Site 1) : orientation Sud Ouest - Nord Est.....	p.49
Figure 33 : Schéma du profil de surface et de profondeur du Haut-marais Nord (Site 2) : orientation Sud-Est - Nord-Ouest	p.50
Figure 34 : Schéma du profil de surface et de profondeur du Haut-marais Central (Site 3) : orientation Sud Ouest - Nord Est	p.51
Figure 35 : Schéma du profil de surface et de profondeur du Haut-marais Sud (Site 4) : orientation Sud Ouest - Nord Est	p.52

Figure 36 : Cartographie des cuvettes d'accumulation d'eau selon la topographie du substratum	p.56
Figure 37 : Cartographie des écoulements de surface et de profondeur sur le Site 1	p.57
Figure 38 : Localisation des fossés de drainage visibles sur le MNT.....	p.58
Figure 39 : Cartographie des écoulements de surface et de profondeur sur le Site 2	p.59
Figure 40 : Cartographie des écoulements de surface et de profondeur sur le Site 3	p.60
Figure 41 : localisation d'une dépression topographique sur le site 3	p.60
Figure 42 : Cartographie des écoulements de surface et de profondeur sur le Site 4	p.61
Figure 43 : Évolution de D_a en fonction de la profondeur de tourbe	p.64
Figure 44 : Évolution du taux de MO en fonction de la profondeur de tourbe	p.65

Liste des tableaux

Tableau 1 : Résumé des travaux sur les biefs du Nanchez et du Trémontagne entre 1960 et 2016	p.24
Tableau 2 : Données acquises sur le terrain	p.37
Tableau 3 : Calcul du volume de tourbe du site 1	p.55
Tableau 4 : Données issues des analyses et calcul du stock de carbone	p.62
Tableau 5 : Types d'horizons histiques associés à leur densité apparente et état de décomposition	p.63
Tableau 6 : Estimation de l'état de conservation site par site	p.72
Tableau 7 : Récapitulatif des compétences acquises lors de ce stage.....	p.74

Liste des annexes

Annexe 1 : Carte des nouvelles communes intégrant potentiellement le périmètre du PNRHJ	p.IV
Annexe 2 : Organigramme du PNRHJ	p.V
Annexe 3 : Planning opérationnel du stage	p.VI
Annexe 4 : Propriété parcellaire de la réserve	p.VII
Annexe 5 : Carte topographique de la RNR des tourbières du bief du Nanchez	p.VIII
Annexe 6 : Carte de l'évolution des secteurs classés, de la Réserve Naturelle Volontaire, à la Réserve Naturelle Régionale	p.IX
Annexe 7 : Cartographie 3D des sites d'étude	p.X
Annexe 8 : Cartographie d'un maillage de point réalisé par le CEN FC pour les travaux de cartographie des étudiants de l'Université de Montbéliard	p.XI
Annexe 9 : Proposition d'un plan d'échantillonnage avec maillage de points espacés de 25m	p.XII
Annexe 10 : Utilisation de l'outil "Créer une grille" dans QGIS (version 3.40.4) permettant la réalisation d'un maillage de points	p.XIII
Annexe 11 : Points de sondages réellement réalisés sur le terrain	p.XIV
Annexe 12 : Méthodologie à appliquer pour la localisation des points de prélèvements destinés à l'analyse de la tourbe	p.XV
Annexe 13 : Tableaux Excel pour le calcul des volumes de tourbe site par site	p.XVI
Annexe 14 : Tableaux Excel des analyses en laboratoire	p.XVII
Annexe 15 : Test Kruskal-Wallis dans Rstudio (version 4.4.1)	p.XVIII

Table des matières

Résumé	I
Abstract	II
Liste des sigles	p.1
Introduction	p.2
Partie I : Contexte du stage	p.3
1. Présentation du PNR du Haut-Jura	p.3
1.1 Historique	p.3
1.2 Localisation du PNR du Haut-Jura	p.4
1.3 Missions & Budget	p.5
1.4 Les services du Parc	p.6
2. Contexte de l'étude et missions réalisées	p.7
2.1 Contexte de l'étude	p.7
2.2 Missions réalisées	p.8
Partie II : Cadre théorique de l'étude	p.9
1. Définition et fonctionnement des tourbières	p.9
2. Répartition des tourbières	p.12
2.1 Niveau mondial	p.12
2.2 Niveau national	p.13
2.3 Niveau régional	p.13
3. Les tourbières : un enjeu climatique	p.14
3.1 Les tourbières et le stockage du carbone	p.14
3.1.1 Echelle internationale et nationale	p.14
3.1.2 Echelle du massif du Jura	p.15
3.2 Les autres services écosystémiques des milieux tourbeux	p.15
4. Les tourbières en régression	p.16
Partie III : Présentation du site d'étude	p.17
1. Description générale de la RNR	p.17
1.1 Localisation de la RNR	p.17
1.2 Historique de création	p.17
1.3 Fonctionnement de la RNR	p.18

2. Activités culturelles et socio-économiques.....	p.18
2.1 Historique des activités	p.18
2.2 Activités actuelles	p.19
2.3 Réglementation	p.20
3. Environnement physique de la RNR	p.21
3.1 Géologie et géomorphologie	p.21
3.2 Hydrologie	p.23
3.3 Climat	p.25
4. Patrimoine naturel	p.26
4.1 Haut-marais Nord-Ouest	p.27
4.2 Haut-marais Nord	p.28
4.3 Haut-marais Central	p.29
4.4 Haut-marais Sud	p.30
4.5 Marais de transition.....	p.31

Partie IV : Matériel et méthode

1. Protocole de mesure des profondeurs maximales de tourbe et estimation du volume	p.33
1.1 Identification des zones potentiellement tourbeuses	p.33
1.2 Plan d'échantillonnage	p.34
1.3 Méthode de sondage	p.36
1.4 Cartographie et modélisation SIG	p.37
1.5 Calcul du volume de la tourbière.....	p.37
2. Protocole d'analyse des caractéristiques de la tourbe	p.38
2.1 Plan d'échantillonnage	p.38
2.2 Méthode de prélèvement	p.39
2.3 Analyses en laboratoire	p.40
2.3.1 Calcul de la densité apparente	p.40
2.3.2 Taux de matière et carbone organique par perte au feu	p.40
2.3.3 Estimation du stock de carbone	p.42
3. Modélisation des écoulements de surface et de profondeur (mission Annexe).....	p.42

Partie V : Résultats

1. Profondeur des complexes tourbeux de la RNR	p.43
1.1 Haut-marais Nord-Ouest (site 1).....	p.44
1.2 Haut-marais Nord (site 2)	p.44
1.3 Haut-marais Central (site 3)	p.44
1.4 Haut-marais Sud (site 4).....	p.45
1.5 Marais de transition (site 5)	p.45

1.6 Localisation des zones profondes.....	p.45
2. Délimitation des tourbières selon la profondeur de tourbe.....	p.46
3. Topographie du substratum interne des tourbières	p.48
3.1 Haut-marais Nord-Ouest (site 1)	p.53
3.2 Haut-marais Nord (site 2)	p.53
3.3 Haut-marais Central (site 3).....	p.54
3.4 Haut-marais Sud (site 4)	p.54
4. Volume des tourbières	p.55
5. Identification des cuvettes	p.56
6. Modélisation des écoulements théoriques	p.57
6.1 Haut-marais Nord-Ouest (site 1)	p.57
6.2 Haut-marais Nord (site 2)	p.59
6.3 Haut-marais Central (site 3).....	p.60
6.4 Haut-marais Sud (site 4)	p.61
7. Analyses de la tourbe et estimation du stock de carbone.....	p.62
7.1 Estimation du stock de carbone	p.62
7.2 Estimation des potentiels émissifs de CO ₂	p.63
7.3 Analyses de la dégradation des tourbières	p.63
Partie VI : Discussion	p.67
1. Profondeur et volume des complexes tourbeux	p.67
2. Écarts entre délimitation botanique et pédologique	p.68
3. Modélisation des écoulements théoriques	p.68
4. Densité apparente (Da) et typologie des tourbes	p.69
5. Taux de matière organique	p.70
6. Estimation des stocks de carbone et potentiels émissifs	p.70
Conclusion	p.71
Bibliographie	p.75
Annexes	p.III
Liste des figures	p. XIX
Liste des tableaux	p. XXII
Liste des Annexes	p. XXIII