

État initial et Étude de faisabilité d'un projet de restauration de tourbière du pays de Bray humide

Projet de la Stratégie nationale pour la biodiversité



Domaine d'approfondissement
Gestion des milieux naturels

Crédits photographiques : Mathieu CORSON

AgroParisTech
- ENGREF

ENGEES

Centre régional de la
propriété forestière
de Normandie

État initial et Étude de faisabilité
d'un projet de restauration de tourbière
du pays de Bray humide

Projet de la Stratégie nationale pour la biodiversité

Domaine d'approfondissement
Gestion des milieux naturels

Résumé

Ce stage de fin d'étude s'insère dans un projet plus large de restauration de tourbières dégradées encore susceptibles de régénération dans le site Natura 2000 « Pays de Bray humide », en Normandie. Il comprend deux phases : la première concerne l'étude du site et l'établissement de son état initial, la seconde consiste à préparer une éventuelle phase de travaux de restauration.

C'est la première fois qu'une telle expérience est tentée par le centre régional de la propriété forestière de Normandie, qui espère ainsi mettre au point un protocole de restauration de ces milieux dégradés, extensible aux autres tourbières dégradées du site Natura 2000 dont il est l'animateur pour les secteurs forestiers. En effet, on ne compte pas moins d'une centaine d'hectares de « tourbière haute active dégradée encore susceptible de régénération naturelle » (code EUR 27 : 7120) sur l'ensemble du pays de Bray humide.

A partir d'études historiques, piézométriques, physico-chimiques, pédologiques et floristiques l'état initial de trois sites d'étude a pu être établi. Il s'agit bien de tourbières dégradées par un drainage qui a entraîné l'assèchement et donc la minéralisation de la tourbe, ce qui a permis à des espèces à large amplitude écologique comme le bouleau et la molinie de s'installer et de supplanter les espèces typiques des landes et des tourbières.

Sur la base de cet état initial, l'un des trois sites a été choisi pour y étudier la faisabilité de travaux de restauration. Ces travaux consistent principalement à libérer la niche écologique par des travaux d'abattage des ligneux et de décapage des zones à molinie, puis à rétablir des conditions d'hydromorphie suffisante pour voir y revenir le cortège floristique typique des tourbières hautes actives.

(279 mots)

Summary

This internship is included in a bigger restoration project of degraded but open to regeneration peat lands in the Natura 2000 site called "Pays de Bray humide", in Normandy. It is divided in two main parts: the first one has to draw up the initial state of this system and the second one will plan hypothetical restoration works.

It is the first time that such experience is tried by the Centre régional de la propriété forestière de Normandie (C.R.P.F. N.), which hopes so to work out a restoration procedure for this type of damaged environment. This procedure may so be used for the other degraded peat bogs in the Natura 2000 site. Many peat bogs could be concerned by this project because there is at least 100 hectares of "Degraded raised bogs still capable of natural regeneration" (EUR27 code : 7120) in the "Pays de Bray humide".

The initial state is calculated by historical, piezometer, pH and conductivity, pedological and floristic analysis on three sites. Drying out caused by drainage is the reason of degradation for these peat bogs: the mineralization due to drying out permits wide ecological amplitude species like *Betula pubescens* or *Molinia caerulea* to settle and to supplant typical species of moors and bogs.

Based on this initial state, one of the tree sites was elected to study the possibilities of restoration works. These consist of releasing the ecological niche by felling trees and stripping zones where *Molinia caerulea* is to flourish and then of restoring sufficient water engorgement to see again typical species of active raised bogs.

(260 words)

Remerciements

Avant toute chose, je tiens à remercier vivement M. Xavier Morvan, directeur du centre régional de la propriété forestière de Normandie (C.R.P.F. N.), sans qui ce stage n'aurait pas été possible. Il a su mettre à profit ma double compétence Eau et Gestion des milieux naturels en me proposant ce stage à l'interface entre ces deux milieux, donnant ainsi cohérence et expérience à mon projet professionnel. Il m'a aussi donné un cadre structurant et des moyens pour mettre en œuvre ce projet qui m'a beaucoup apporté d'un point de vue technique, opérationnel et humain.

Merci aussi à l'équipe du C.R.P.F. N. et en particulier à M. Stéphane NAMAN, mon maître de stage, qui m'a apporté son expertise technique approfondie en écologie.

Je tiens aussi à remercier tout spécialement Mlle Elodie BRUNET, étudiante en Master 1 d'écologie à l'université de Rouen, ma co-stagiaire sur ce projet, qui s'est occupé de toute la partie technique en pédologie et en inventaire floristique. Merci pour son aide lors des tournées de terrain, pour sa disponibilité et pour son soutien.

Un merci tout particulier à M. Philippe DURAND, mon tuteur AgroParisTech, qui m'a aidé à cadrer correctement mon sujet de stage, qui m'a fourni des contacts dans le milieu et a joué le rôle de relais efficace avec l'administration de l'école.

Je remercie donc ces quatre personnes pour leur aide durant ce stage et notamment pour la relecture de ce mémoire.

Enfin, pour leur aide précieuse au cours de ce stage, je remercie :

— MM. Pascal GHIETTE et Philippe FRANKARD, attachés scientifiques de la région wallonne pour le projet « LIFE-Nature Haute-Fagnes », pour le temps qu'ils nous ont accordé lors de la tournée de terrain en Belgique et leur transfert de connaissance en matière de restauration de tourbière.

— Maïté LOUTE, coordinatrice du projet « LIFE-Nature Haute-Fagnes », pour son aide et la préparation de la tournée de terrain en Belgique.

— Thomas ESCRHUELA, stagiaire au C.R.P.F. N. en géomatique, pour son aide et ses explications lors de la prise en main du théodolite.

— Jean-Michel CHARTIER, responsable informatique à l'Institut pour le développement forestier, pour son aide lors de l'acquisition des données Météo-France.

— Christophe KERVALLA, de la direction départementale des territoires de Seine-Maritime, pour ses précieux renseignements sur la législation Loi sur l'eau.

— M. le Maire de Mésangueville, pour son écoute et son intérêt pour notre projet et pour son aide dans la recherche de renseignements sur l'histoire de la forêt de Bray.

— Les archivistes des archives départementales de Seine-Maritime pour leur disponibilité et leur aide dans nos recherches historiques sur les tourbières du pays de Bray.

Table des matières

Remerciements	p.1
Table des figures	p.5
Table des annexes	p.7
Index des sigles	p.8
Avant-propos	p.9
Introduction	p.10
1. La problématique zones humides dans le Pays de Bray	p.11
1.1. Présentation du contexte : le Pays de Bray, une région à part	p.11
1.1.1. Contexte géologique	p.11
1.1.2. Contexte historique et social	p.11
1.1.3. Le site Natura 2000 « Pays de Bray humide »	p.11
1.2. Réhabiliter des landes pour restaurer des tourbières dégradées : un projet de la stratégie nationale pour la biodiversité 2011-2020	p.12
1.2.1. Appel à projet « Prise en compte de la biodiversité dans les stratégies locales de développement forestier »	p.12
1.2.2. Principe de solidarité écologique (Bournérias, 1973)	p.12
1.2.3. Sites d'études choisis	p.13
1.3. Historique des perturbations subies par les tourbières	p.14
1.3.1. L'extraction de tourbe	p.14
1.3.2. L'enrésinement	p.15
1.3.3. L'incendie	p.16
1.4. Le drainage : Cause principale des dégradations observées	p.16
1.4.1. Chronologie du drainage sur le site	p.16
1.4.2. Effet du drainage sur les tourbières	p.17
1.4.3. Cartographie des drains sur le site	p.17
1.4.4. Densité du réseau de drains	p.18
2. Etude et diagnostic de deux tourbières dégradées du Pays de Bray humide	p.19
2.1. Diagnostic hydrologique	p.19
2.1.1. Profils en long des trois séries	p.19
2.1.2. Données de pluviométrie	p.21
2.1.3. Mesures piézométriques	p.22
2.1.4. Mesures de pH et de conductivité de l'eau du sol	p.29
2.1.5. Analyses de l'eau d'alimentation et de sortie des tourbières	p.34
2.2. Diagnostic pédologique	p.37
2.2.1. Indice de régénéralité	p.37
2.2.2. Teneur en cendres et teneur en eau	p.40
2.2.3. Mesure du pH du sol	p.41
2.3. Diagnostic écologique	p.42
2.3.1. Cryptopotentialités	p.42
2.3.2. Etude de la végétation en place	p.45

2.4.	Synthèse globale : Cartographie des travaux	p.51
2.4.1.	Synthèse des critères de choix entre les trois dispositifs	p.51
2.4.2.	Cartographie de la zone de travaux	p.52
3.	Cahier des charges opérationnel pour la phase de travaux de restauration	p.54
3.1.	Le projet LIFE « Hautes Fagnes » : un exemple de restauration de systèmes tourbeux à grande échelle	p.54
3.1.1.	Présentation du projet	p.54
3.1.2.	Résultats obtenus en terme de restauration écologique	p.54
3.2.	Travaux envisagés pour la restauration	p.56
3.2.1.	Restauration hydraulique : pose de seuils et de digues	p.56
3.2.2.	Coupe ou arrachage des ligneux	p.58
3.2.3.	Débardage et devenir des rémanents	p.59
3.2.4.	Décapage des zones à molinie et fougère aigle	p.60
3.3.	Modalités des travaux de restauration	p.61
3.3.1.	Planning prévisionnel	p.61
3.3.2.	Estimation des coûts – Financement du projet de restauration	p.62
3.3.3.	Procédures Loi sur l'eau	p.63
3.4.	Modalités de suivi	p.64
	Conclusion	p.65
	Références bibliographiques	p.66
	Liste des contacts	p.68
	Annexes	p.70

Table des figures et des tableaux

Figure 1 : Carte de situation du pays de Bray.	11
Figure 2 : Coupe géologique du pays de Bray.	11
Figure 3 : Principe de solidarité écologique, énoncé par Bournérias	12
Figure 4 : Carte de situation des séquences.....	13
Figure 5 : Cartographie de la série 1	13
Figure 6 : Cartographie de la série 2	13
Figure 7 : Croquis des travaux d'extraction de tourbe 1876.....	14
Figure 8 : Orthophotographies de la tourbière de la forêt de Bray en 1951 et 2008	15
Figure 9 : Buttes à <i>Polytrichum commune</i>	16
Figure 10 : Réseau de drainage sur la tourbière de la forêt de Bray.....	17
Figure 11 : Utilisation du théodolite.....	19
Figure 12 : Profil en long de la série 1	19
Figure 13 : Profil en long de la série 2	20
Figure 14 : Profil en long de la série 3	20
Figure 15 : Pluviométrie sur la station de Forges-les-Eaux.....	21
Figure 16 : Tube utilisé pour la fabrication des piézomètres	22
Figure 17 : Photographie du piézomètre PIEZO_01 (série 1).....	22
Figure 18 : Variations du niveau d'eau sur la série 1.....	23
Figure 19 : Profil topographique et niveaux d'eau - Série 1	24
Figure 20 : Variations du niveau d'eau sur la série 2	25
Figure 21 : Profil topographique et niveaux d'eau - Série 2.....	26
Figure 22 : Variations du niveau d'eau sur la série 3.....	27
Figure 23 : Profil topographique et niveaux d'eau - Série 3	28
Figure 24 : Conductimètre VWR CO310.....	29
Figure 25 : pHmètre VWR pH110	29
Figure 26 : Répartition des pH sur la série 1	30
Figure 27 : Répartition des pH sur la série 2.....	30
Figure 28 : Répartition des pH sur la série 3.....	31
Figure 29 : Répartition des pH sur les points de mesure au sol dans la tourbière de la forêt de Bray ..	31
Figure 30 : Répartition des pH sur les points de mesure au sol dans la tourbière du Bois Léon.....	31
Figure 31 : Répartition des conductivités sur la série 1.....	32
Figure 32 : Répartition des conductivités sur la série 2.....	32
Figure 33 : Répartition des conductivité sur les points de mesure au sol sur la forêt de Bray	32
Figure 34 : Répartition des conductivités sur la série 3.....	33
Figure 35 : Répartition des conductivités sur les points de mesures au sol dans la forêt de Bray	33
Figure 36 : Échantillonnage pour les analyses d'eau sur la tourbière de la forêt de Bray	34
Figure 37 : Échantillonnage pour les analyses d'eau sur la tourbière du Bois Léon	34
Figure 38 : Points de mesure pédologique des séries 1, 2 et 3	37
Figure 39 : Photographie de la tarière à tourbe	37
Figure 40 : Cartographie des milieux sur la tourbière de la forêt de Bray	46
Figure 41 : Cartographie des milieux sur la tourbière du bois Léon	47

Figure 42 : <i>Sphagnum</i> sp.....	48
Figure 43 : <i>Pohlia nutans</i>	48
Figure 44 : <i>Carex echinata</i>	48
Figure 45 : <i>Erica tetralix</i>	48
Figure 46 : <i>Vaccinium oxycoccos</i>	48
Figure 47 : <i>Eriophorum vaginatum</i>	48
Figure 48 : Réservoirs de graines sur le massif de la forêt de Bray	49
Figure 49 : Cartographie des travaux de restauration.....	52
Figure 50 : Digue construite en 2009	55
Figure 51 : Résultat de l'annelation de bouleau en bordure de tourbière haute active (Fagne wallone) 55	55
Figure 52 : <i>Lycopodium clavatum</i> (Fagne des Deux-Séries).....	55
Figure 53 : Bouture de Linaigrette vaginée (<i>Eriophorum vaginatum</i>) en tourbière décapée sur 40 cm (Fagne des Deux-Séries)	56
Figure 54 : Ancrage des seuils dans la tourbe	56
Figure 55 : Profil en long du drain principal et positionnement des seuils	57
Figure 56 : Méthode d'installation des barrages-seuils en panneau de bois	57
Figure 57 : Expérience de cerclage de bouleaux sur la tourbière de la forêt de Bray	59
Figure 58 : Cloisonnement sur la zone de travaux	60
Tableau 1 : Linéaire de drains des séries 1 et 2.....	18
Tableau 2 : Densité du réseau de drainage	18
Tableau 3 : Résultats des analyses d'eau sur les deux tourbières..	35
Tableau 4 : Indice de régénéralité pour la tourbière de la forêt de Bray.	38
Tableau 5 : Indice de régénéralité pour la tourbière du Bois Léon.	39
Tableau 6 : Taux de cendres et teneurs en eau de la tourbière du bois Léon	40
Tableau 7 : Taux de cendres et teneurs en eau de la tourbière de la forêt de Bray	40
Tableau 8: Cryptopotentialités de la série 1.	42
Tableau 9 : Cryptopotentialités au niveau de PIEZO_06	43
Tableau 10 : Cryptopotentialités de la série 2	43
Tableau 11 : Cryptopotentialités au niveau de PIEZO_11	43
Tableau 12 : Cryptopotentialités de la série 3	43
Tableau 13 : Cryptopotentialités au niveau de points au sol	44
Tableau 14 : Cryptopotentialités au niveau du point PCH_07	44
Tableau 15 : Cryptopotentialités au niveau du point PCH_09	44
Tableau 16 : Tableau de synthèse pour le choix de l'une des 3 zones.....	51
Tableau 17 : Rétroplanning des travaux.....	62
Tableau 18 : Prix estimatifs des opérations de restauration	63

Table des annexes

<i>Annexe 1 – Réponse du Ministère de l'appel à projet SNB</i>	<i>p. 71</i>
<i>Annexe 2 – Arrêté d'autorisation d'exploitation (1876)</i>	<i>p. 72</i>
<i>Annexe 3 – Croquis de l'exploitation de tourbe (1836)</i>	<i>p. 75</i>
<i>Annexe 4 – Script R des box plots de pH</i>	<i>p. 76</i>
<i>Annexe 5 – Script R des box plots de conductivité</i>	<i>p. 77</i>
<i>Annexe 6 – Protocole d'analyse du fer</i>	<i>p. 78</i>
<i>Annexe 7 – Protocole d'analyse du PO43-</i>	<i>p. 81</i>
<i>Annexe 8 – Protocole d'analyse du NO2-</i>	<i>p. 82</i>
<i>Annexe 9 – Protocole d'analyse du NO3-</i>	<i>p. 83</i>
<i>Annexe 10 – Protocole Indice de régénéralité</i>	<i>p. 84</i>
<i>Annexe 11 – Protocole d'analyse du taux de cendres</i>	<i>p. 87</i>
<i>Annexe 12 – Résultats de régénéralité des tourbes</i>	<i>p. 88</i>
<i>Annexe 13 – Résultats de taux de cendre et teneur en eau</i>	<i>p. 89</i>
<i>Annexe 14 – Résultats de pH du sol</i>	<i>p. 90</i>
<i>Annexe 15 – Estimation des temps de travaux à l'hectare</i>	<i>p. 91</i>
<i>Annexe 16 – Devis du débardage à cheval</i>	<i>p. 92</i>
<i>Annexe 17 – Devis d'Environnement Forêts</i>	<i>p. 94</i>
<i>Annexe 18 – Règlementation Loi sur l'eau</i>	<i>p. 98</i>
<i>Annexe 19 – Accord de financement du SMAD</i>	<i>p. 100</i>

Table des sigles

C.R.P.F. N. :	Centre régional de la propriété forestière de Normandie
S.N.B. :	Stratégie nationale pour la biodiversité
S.L.D.F. :	Stratégie locales de développement forestier
LIFE :	L'instrument financier pour l'environnement
S.M.A.D. :	Syndicat mixte d'aménagement et de développement
Z.S.C. :	Zone spéciale de conservation
Docob :	Document d'objectif
C.F.T. :	Chartre forestière de territoire
F.F.N. :	Fond forestier national
I.G.N. :	Institut géographique national
G.P.S. :	Global positioning system
TC :	Titre calcique
TAC :	Titre alcalimétrique complet
E.N.G.E.E.S. :	Ecole nationale du génie de l'eau et de l'environnement de Strasbourg
EDTA :	Acide éthylènediaminetrétraacétique
AFNOR :	Association française de normalisation
NF :	Norme française
EN :	European norm
ISO :	Organisation internationale de normalisation
ECODIV :	Etude et compréhension de la biodiversité
IR :	Indice de régénéralité
SSSA :	Soil science society of America
C.B.N.BI :	Conservatoire botanique national de Bailleul

Avant-propos

Au sortir des plaines monotones des environs de Buchy, le regard se repose avec un rare plaisir sur cette riante et fraîche contrée, au relief si varié, où le ton dominant de la verdure est nuancé grâce à la multiplicité des plans de perspective, des teintes les plus harmonieusement fondues.

Au-delà se présente une succession de collines aux formes gracieuses couvertes de la base au sommet, par des prairies où paissent des bêtes à cornes. Chaque herbage est entouré d'une ceinture d'arbustes d'où se détachent quelques beaux arbres chênes hêtres ou frênes attestant que ces riches pâturages ont dû être conquis sur une forêt qui recouvrait autrefois toute la contrée.

Albert de Lapparent - 1879
Mémoire sur le Pays de Bray

Introduction

Les zones humides sont des milieux aujourd'hui menacés par le drainage agricole, la plantation de ligneux ou encore le remblaiement. Depuis le début du XX^{ème} siècle, suite à l'arrêt des pratiques de gestion extensive (pâturage et exploitation artisanale de tourbe), les tourbières souffrent comme les autres zones humides de leur abandon ou des essais de valorisation de ces milieux improductifs. Alors qu'en 1945 on comptait encore 120.000 hectares de tourbières en France, aujourd'hui on estime qu'il ne reste que 65.000 hectares (Dupieux, 1998) dont seulement 1.000 d'un grand intérêt patrimonial.

Une tourbière est une zone humide où la dégradation incomplète des débris de végétaux morts donne un sol particulier appelé tourbe. En raison du manque d'oxygène dû à l'engorgement permanent du sol, la décomposition par les micro-organismes est très lente, ce qui provoque l'accumulation de matière organique, de l'ordre de 0,5 à 1 mm/an. Les apports en eau constituent donc le facteur clé de la formation d'une tourbière. Ils se doivent d'être supérieurs ou égaux aux pertes (par ruissellement et évapotranspiration) pour assurer l'engorgement nécessaire à l'édification de tourbe (turfigenèse). On peut considérer que l'on est dans une tourbière haute active (fonctionnelle, sénescence ou dégradée) à partir du moment où la hauteur de tourbe est toujours supérieure à 1,5 m (Frankard, 2006)

Les tourbières ne représentent aujourd'hui plus que 0,2% du territoire français et une grande partie de cette superficie se concentre dans l'Est de la France, en Bretagne et dans le massif Central. Les tourbières normandes sont donc des territoires rares. La faune et la flore des tourbières sont très caractéristiques et très souvent menacées. Les espèces rencontrées dans les tourbières y sont en effet souvent inféodées du fait des caractères très contraignants : pH très acide ou au contraire basique, sol engorgé en eau en permanence, dégradation de la matière organique très lente due à une anoxie du sol ou la pauvreté en nutriments. Du fait de la raréfaction de ces milieux, certaines de ces espèces sont protégées nationalement (39 espèces végétales de tourbières possèdent ce statut) (Julve, 1996).

Ces milieux constituent pourtant des réserves paléocologiques : les pollens y sont conservés depuis plusieurs centaines voire milliers d'années (Frankard, 2004), permettant ainsi de reconstituer les climats régionaux passés. Elles ont de plus un rôle de régulation des crues dont elles stockent les eaux excédentaires qu'elles libèrent ensuite progressivement, constituant ainsi des soutiens d'étiage.

Devant ce constat, une partie des milieux de tourbières a été classée comme habitats prioritaires selon la directive européenne « Habitats » de 1992 : Tourbières hautes actives (code EUR27 : 7110*) et Tourbières boisées (91DO*). Le site classé Natura 2000 du « Pays de Bray humide » (FR 2300131) de 3.300 hectares comporte ces rares habitats de tourbières en mosaïque avec de la tourbières dégradées mais encore susceptibles de régénération naturelle (7120) ce qui en fait un espace d'intérêt patrimonial. Ces habitats représentent près de 110 hectares pour le site Natura 2000 et près de 1/3 de la superficie est décrit comme étant des tourbières dégradées mais restaurables.

Ce projet de restauration, porté par le centre régional de la propriété forestière de Normandie (C.R.P.F. N.), est une première sur le territoire du site Natura 2000 dont il est l'animateur pour les secteurs forestiers. Issu de l'appel à projet « Stratégie Nationale pour la Biodiversité » du ministère de l'Environnement, de l'Energie et du Développement durable, il va tenter d'initier une dynamique de restauration de ces milieux rares et menacés en commençant par l'étude de trois sites d'étude sur des propriétés forestières privées.

1. La problématique zones humides dans le Pays de Bray

1.1. Présentation du contexte : le Pays de Bray, une région à part

1.1.1. Contexte géologique

Ce projet de restauration de tourbière s'inscrit dans un contexte géophysique particulier : le pays de Bray.

Cette région, située à cheval entre la Haute-Normandie et la Picardie, forme une boutonnière d'environ 80 kilomètres de longueur qui part de Neufchâtel-en-Bray et se termine à Beauvais, en passant par Forges-les-Eaux où elle atteint sa largeur maximale d'une quinzaine de kilomètres (Figure 1).

Sa typicité repose sur son histoire géologique : il s'agit d'un ancien anticlinal NO-SE qui a été érodé et se présente donc actuellement en creux, laissant affleurer la couche argileuse imperméable du Crétacé inférieur et celle du Jurassique supérieur. De part et d'autre du pays de Bray se trouve le pays de Caux et la Picardie, vastes plateaux crayeux typiques de l'ouest du bassin parisien (voir Figure 2).

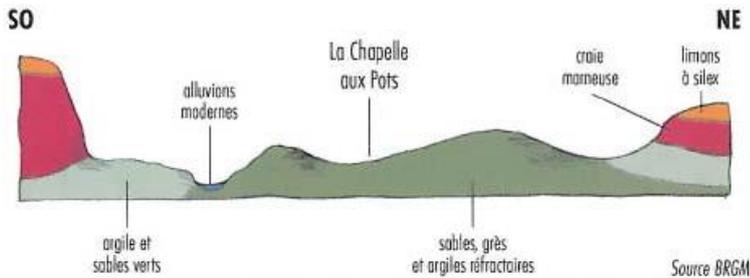


Figure 2 : Coupe géologique du pays de Bray. Source : Catalogue des stations forestières du Pays de Bray, F. De Brou, page 5

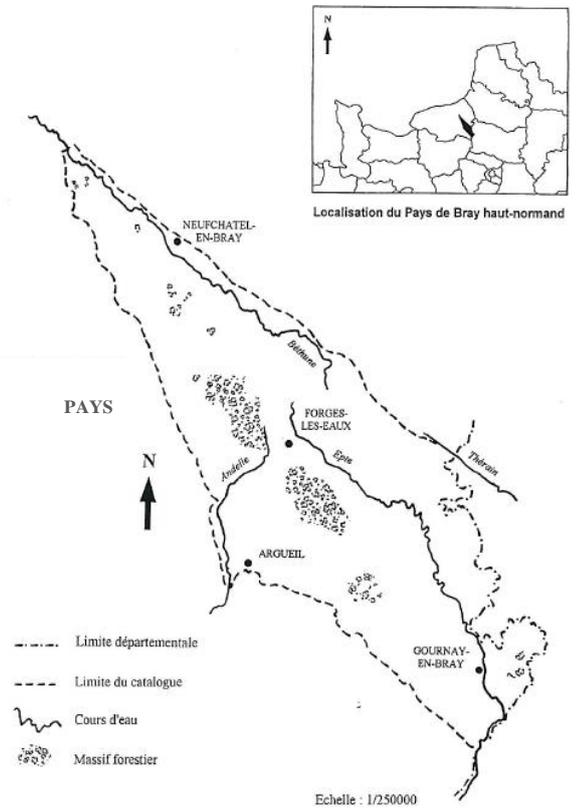


Figure 1 : Carte de situation du pays de Bray. Source : Catalogue des stations forestières du Pays de Bray, F. De Brou, page 6

1.1.2. Contexte historique et social

Le pays de Bray, dont le nom signifie « boue » en celte, a donc connu de par sa géologie si particulière, un développement agricole tout aussi particulier : sur ces terrains gorgés d'eau et son herbe toujours verte, la pratique de l'élevage a trouvé sa place alors que les plateaux calcaires alentours étaient dédiés à la céréaliculture. C'est aussi ici que prennent naissance de nombreux cours d'eau côtiers normands et affluents de la Seine (la Béthune, l'Epte, l'Andelle et le Thérain) d'où le Bray tire sa réputation de « château d'eau » de la Seine-Maritime.

Le climat brayon, assez représentatif du climat normand, est relativement doux et humide, avec une température moyenne de 10°C et des précipitations annuelles de l'ordre 750-850 mm/an. La position basse du Bray le protège des coups de vent violents.

1.1.3. Le site Natura 2000 « Pays de Bray humide »

Le bocage a longtemps cohabité avec les prairies humides, tourbières et autres zones humides. Ces milieux sont souvent menacés par l'intensification des pratiques agricoles (retournement de prairies, destruction de haies) et sylvicoles (notamment l'enrésinement), car ils sont généralement considérés comme peu productifs et insalubres, et donc potentiellement valorisables. Dans le pays de Bray, ils font l'objet d'une protection particulière depuis 2004 avec la création d'une zone spéciale de conservation (Z.S.C.), au titre de la directive Habitats Faune Flore. Le choix du site Natura 2000 n° FR 2300131 « Pays de Bray humide » repose sur « la présence de tourbières exceptionnelles pour la région, la présence de prairies humides oligotrophes et une importante population de tritons crêté » (Document d'objectif du site Natura 2000 FR2300131 « Pays de Bray humide »).

Le centre régional de la propriété forestière de Normandie (C.R.P.F. N.), délégation régionale du Centre national de la propriété forestière, a pour but d'orienter et de développer la gestion des bois et terrains à vocation forestière des particuliers. Il concourt à la gestion durable des forêts privées. animateur du site Natura 2000 Pays de Bray humide pour les secteurs forestiers et rédacteur de la charte forestière de territoire (C.F.T.) du pays de Bray, le C.R.P.F. N. a répondu à l'appel à projets « Prise en compte de la biodiversité dans les stratégies locales de développement forestier (S.L.D.F.) », lancé dans le cadre de la stratégie nationale pour la biodiversité (S.N.B.) en 2012.

1.2. Réhabiliter des landes pour restaurer des tourbières dégradées : un projet de la stratégie nationale pour la biodiversité 2011-2020

1.2.1. Appel à projet « Prise en compte de la biodiversité dans les stratégies locales de développement forestier »

Le C.R.P.F. N. est donc l'un des 26 lauréats de cet appel à projets S.N.B. / S.L.D.F. : son projet « Réhabiliter des landes pour restaurer des tourbières dégradées » a été retenu par le ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie le 27 août 2012 (voir Annexe 1).

Le projet part du constat que d'importantes surfaces de tourbières (65 ha sur 188 ha au total), quasiment exclusivement situées en forêt privée, sont cartographiées *dégradées mais encore susceptibles de régénération naturelle* (code EUR27 : 7120) dans le Document d'objectif (Docob) du site Natura 2000 Pays de Bray humide. Il se propose donc d'étudier la faisabilité d'un test de restauration sur une surface de 2 hectares selon le principe de solidarité écologique (voir partie 1.2.2). À l'issue de cette phase d'étude, une phase de travaux est envisagée. Si cette dernière aboutit et qu'elle est concluante, ce projet pourra servir à la restauration d'autres tourbières dégradées du pays de Bray.

De plus, les landes du Bray sont en constante régression : alors que la toponymie dans la région atteste de la présence ancienne de ces milieux, le Docob en recense seulement 2,7 ha en 2005 et son actualisation de 2012 n'en recense plus que 0,2 ha en milieu ouvert (le site couvre 3300 ha au total).

1.2.2. Principe de solidarité écologique (Bournérias, 1973)

Ce projet vise donc à restaurer le gradient lande sèche – lande humide – tourbière, selon le principe de solidarité écologique énoncé par Bournérias dès 1973 (Figure 3). En effet, pour pérenniser les actions de restauration de tourbières dégradées, il est nécessaire de sécuriser leur alimentation hydrique et trophique. La réhabilitation des landes qui jouxtent les tourbières dégradées répond donc au double objectif : pérennisation des travaux de restauration des tourbières dégradées et augmentation de la superficie de landes du pays de Bray humide. L'élaboration de cette méthode se veut novatrice et servir de guide à la restauration d'autres milieux tourbeux du Bray : l'idéal serait d'initier une dynamique en faveur de la contractualisation Natura 2000 sur le site « Pays de Bray humide ».

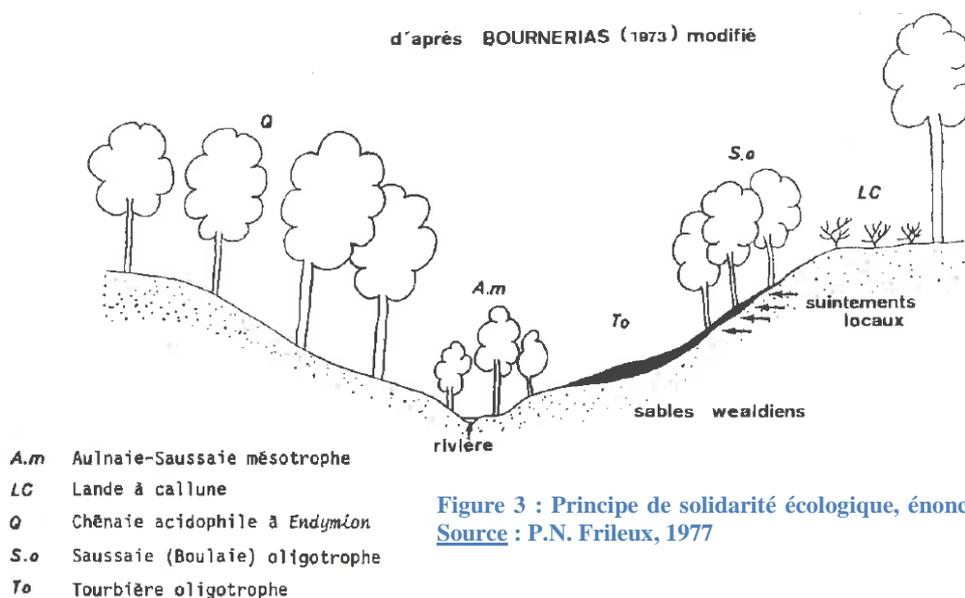


Figure 3 : Principe de solidarité écologique, énoncé par Bournérias.
Source : P.N. Frileux, 1977

Enfin, ce projet s'inscrit dans l'action B2 de la C.F.T. du pays de Bray : *Réalisation d'inventaires naturalistes en vue de la préservation des milieux naturels*. Ces inventaires concernent en priorité les milieux spécifiques non productifs où la mise en place d'une gestion conservatoire peut se faire sans perte de valeur économique des peuplements forestiers en place. C'est ici le cas puisque les tourbières du Bray, malgré des tentatives de drainage, n'ont pas pu être converties en peuplement forestier productif et ont été laissées à l'abandon, envahies peu à peu par des espèces banales à large amplitude comme le bouleau pubescent et la molinie.

1.2.3. Sites d'études choisis

Pour ce projet, trois séquences avec une topographie et une végétation compatible avec la restauration du gradient landes-tourbières ont été choisies. Les deux premières séquences sont situées sur une même propriété de la forêt de Bray, sur la commune de Mésangueville, aux deux extrémités d'une même tourbière. La troisième est située sur la commune de Roncherolles-en-Bray, dans un petit massif au Nord de Forges-les-Eaux : le bois Léon. Sur chacune de ces séquences, toute une batterie de mesures est réalisée depuis octobre 2012 afin d'établir un diagnostic hydrologique et écologique en vue de l'établissement de l'état initial de chacune de ces zones.

Afin de faciliter la compréhension, nous utiliserons les dénominations suivantes :

- « Série 1 » pour la séquence située au sud de la tourbière de la forêt de Bray,
- « Série 2 » pour la séquence située au nord de la tourbière de la forêt de Bray,
- « Série 3 » pour la séquence située au Bois Léon (cf. carte ci-contre).

La série 3 est différente des deux autres séries : elle est très reculée au sein de la propriété (et de la forêt), dans un fond de vallon étroit et n'a vraisemblablement jamais fait l'objet de convoitises et de travaux, alors que les deux premières séries sont situées au sein d'un massif de résineux (épicéas et douglas), dans un fond de vallon plutôt large et où les stigmates du drainage sont encore bien visibles.

Les deux premières séries seront donc souvent traitées de pair et la troisième série toujours un peu à part.

Figure 4 : Carte de situation des séquences de mesures

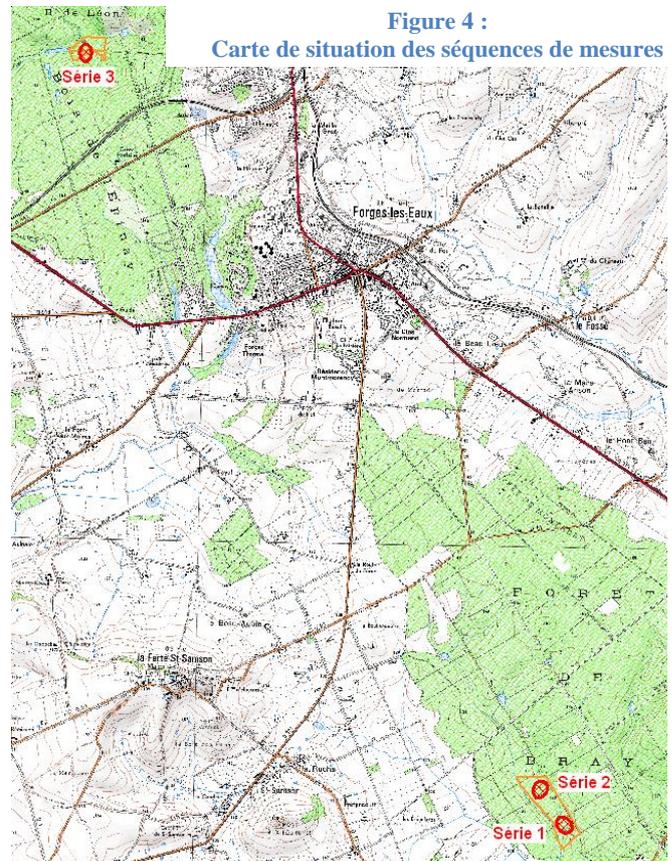
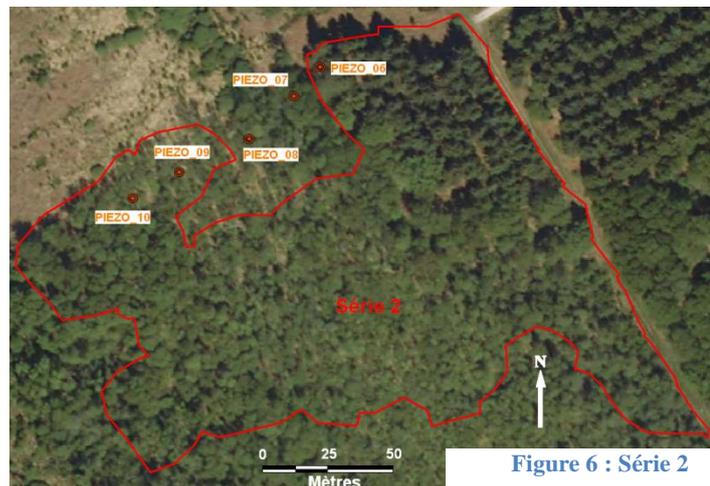


Figure 5 : Série 1



Figure 6 : Série 2



1.3. Historique des perturbations subies par les tourbières

Avant toute chose, une étude de l'historique sur ces zones est un passage obligé pour une bonne compréhension du contexte d'évolution de ces milieux. Ces recherches ont consisté en une analyse des orthophotographies de 1947, 1951 et 2008 (pour les séries 1 et 2) et de 1936 et 2008 (pour la série 3), une recherche aux archives départementales (procédures de demande d'autorisation d'exploitation de tourbe sur la commune de Mésangueville et cadastres napoléoniens), une recherche de contacts d'anciens habitants du village de Mésangueville pour recueillir leur témoignage et de bibliographie relativement ancienne (A. de Lapparent en 1879, P. Allorge en 1902 et P.N. Frileux en 1977).

1.3.1. L'extraction de tourbe

Les recherches aux archives départementales de Seine-Maritime nous ont permis de remonter le temps jusqu'en 1839 où une demande d'exploitation de tourbe sur la commune de Mésangueville a été déposée en préfecture. Ces documents attestent donc de la présence ancienne de ces milieux et de leur exploitation. Seulement, des références géographiques précises (parcelles cadastrales, indications géographiques) manquent, empêchant donc la localisation précise du site d'extraction.

L'extraction de tourbe faisait vivre à l'époque de nombreux habitants de la région (plus de cent personnes employées pour l'exploitation de la tourbière de Mésangueville en 1839) et permettait de fournir aux habitants et aux industries un combustible économique.

Une autre demande d'exploitation d'un gisement de tourbe a été déposée un peu plus tard, en 1876, toujours sur la commune de Mésangueville. Elle était accompagnée cette fois d'un croquis situant le gîte tourbeux et les travaux d'extraction prévus (voir Figure 7). A l'aide du cadastre de l'époque (cadastre napoléonien) et de ce croquis, nous avons donc constaté que cette demande concernait exactement la parcelle où sont situées les séries 1 et 2. Elle porte sur une surface de 6 ha (presque entièrement sur notre zone d'étude) et sur l'extraction d'un mètre de tourbe.

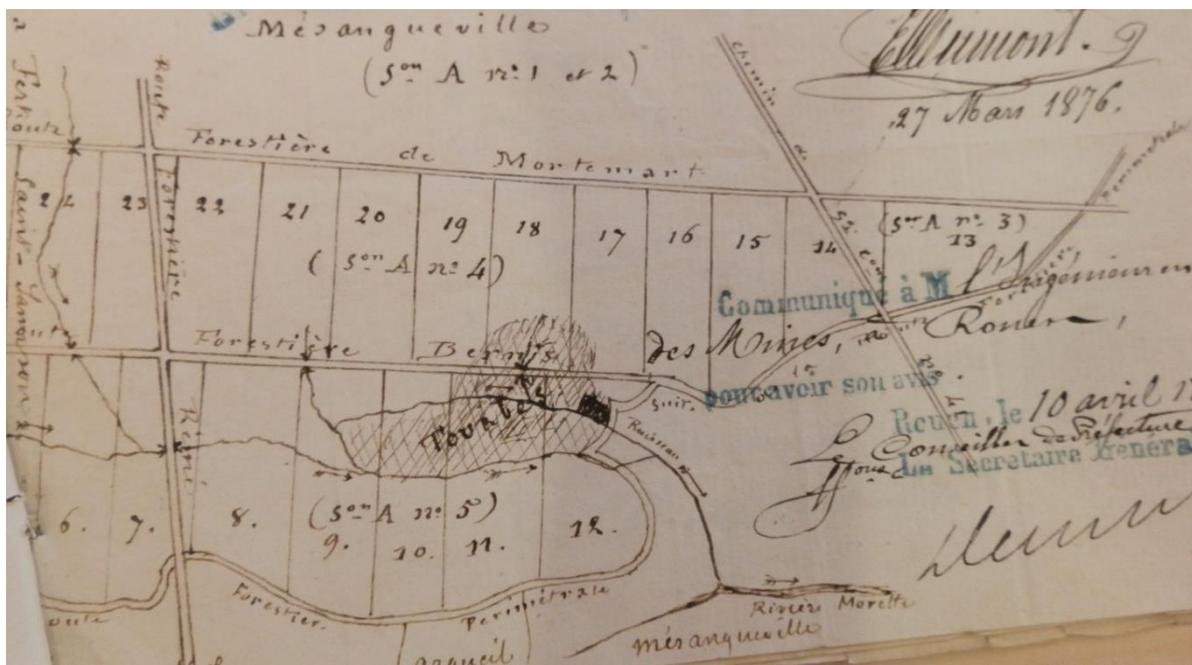


Figure 7 : Croquis des travaux d'extraction de tourbe 1876. [Source : Archives départementales de Seine-Maritime \(8S36\)](#)

Si l'on considère qu'une tourbière active produit entre 0,5 et 1 mm par an (d'après le référentiel pédologique de 2008), l'extraction d'un mètre de tourbe a donc prélevé entre 1000 et 2000 ans d'archives et a donc mis à nu une tourbe millénaire. La qualité de la tourbe en place est donc plus médiocre car beaucoup plus décomposée et vraisemblablement avec une banque de semences amoindrie. C'est sur ce socle qu'a tenté de se reconstituer le milieu. Si on reprend la vitesse d'accumulation précédente et en faisant l'hypothèse que l'exploitation n'a duré qu'une dizaine d'années, les 120 ans qui se sont écoulés depuis ont permis l'accumulation d'une dizaine de cm de tourbe. On devrait donc trouver une discontinuité dans les horizons à ce niveau (voir partie 2.2).

Les perturbations sur le milieu sont donc anciennes mais l'exploitation de tourbe n'est probablement pas l'unique cause de dégradation du système tourbeux. En effet, les nombreux fossés de drainage présents sur le site laissent à penser qu'une « valorisation » de ces milieux improductifs a été tentée, certainement à l'aide du Fonds Forestier National pour la plantation de résineux.

1.3.2. L'enrésinement

En effet, dans le catalogue des types de station forestière du Pays de Bray normand (F. de Brou, 2000), on apprend que « la création du Fonds Forestier National (F.F.N.) en 1946 poussa à l'enrésinement (le F.F.N. ne subventionnait en effet, dans les premières années, que les reboisements résineux). La forêt de Bray qui recelait sur ses meilleures terres de belles billes de chênes et de hêtres a vu ses ressources sylvicoles épuisées par des pratiques abusives et fut en grande partie enrésinée (essentiellement d'épicéas) ou laissée sans traitement ».

Ces données concordent avec les observations des peuplements de la zone : la tourbière est entourée de peuplements d'épicéas d'une cinquantaine d'années. Le Plan Simple de Gestion fait état de prêts du F.F.N. pour des reboisements résineux de 1960 à 1968 dans la forêt de Bray. Vu les conditions d'hydromorphie très prononcées de la zone, le drainage est une étape préalable nécessaire à la plantation, ce qui pourrait expliquer la présence des fossés observés sur notre zone d'étude.

Cet enrésinement (et la disparition des milieux ouverts) s'observe aussi clairement en comparant les photos aériennes de 1938, 1947 et 1951 avec la photo aérienne de 2008 (Figure 8). Effectivement, les « *landes parsemées d'arbres* » (Blainville S. et Pillat P., 1991) d'avant 1950, héritées des pratiques de pâturage en forêt du XIII^e siècle (avec l'acquisition du droit de pacage par les paysans), laissent actuellement la place à des forêts de résineux et des taillis de feuillus pour les trois séries.

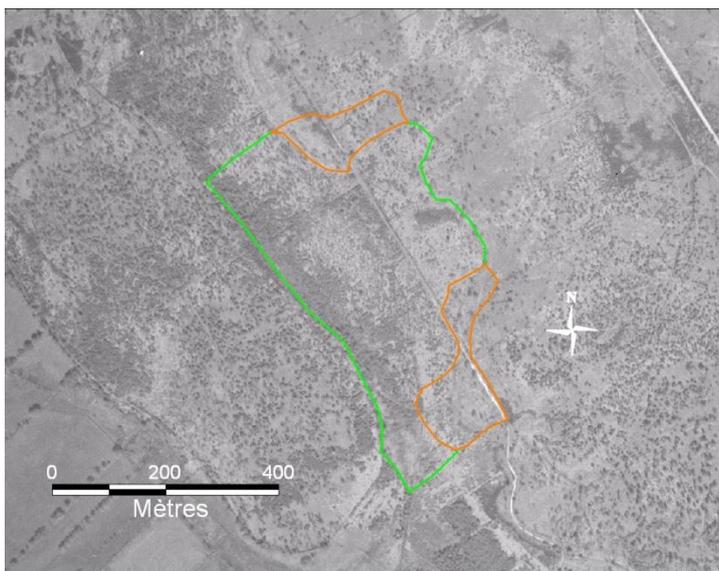


Figure 8: Orthophotographies de la tourbière de la forêt de Bray en 1951 (à gauche) et 2008 (en bas).
Source : Institut Géographique National



De plus, les « *landes parsemées d'arbres* » observés sur les photos aériennes anciennes ne sont pas les seuls indices du pâturage sur le site. En effet, un reste de clôture traverse de part en part la tourbière de la forêt de Bray (série 1 et 2) et la flore témoigne elle aussi du pacage, avec notamment la présence de Houlque molle (*Holcus mollis*) et de Flouve odorante (*Anthoxanthum odoratum*).

1.3.3. L'incendie

Enfin, une autre cause de perturbation de ces milieux est l'incendie. En interrogeant les habitants du village de Mésangueville, il apparaît que la forêt de Bray a subi deux incendies : l'un en 1940, l'autre en 1964 ou 1965. Ces renseignements, peu documentés, sont relativement imprécis mais méritent d'être retenus car l'incendie est connu pour perturber très sérieusement les écosystèmes tourbeux et para-tourbeux.



Figure 9 : Buttes à *Polytrichum commune*

En effet, la destruction de la végétation et les quantités de cendres produites constituent un apport massif de matières minérales fertiles et modifient de façon très importante les conditions trophiques de ces milieux pauvres. Ces renseignements sont corroborés par les observations de terrain : en quelques endroits, un groupement particulier apparaît, composé de buttes de *Polytrichum commune* (voir Figure 9). Cette formation dérive par incendie (ou en bordure des fossés d'extraction de tourbe) de la tourbière ou de la lande tourbeuse (Frileux, 1977). Elle est assimilée à une phase sénescence de la tourbière. La thèse de l'incendie est donc très probable, au vue du nombre et de la répartition assez étendue de ce groupement sur la forêt de Bray.

Ainsi, de nombreuses perturbations ont été identifiées sur la forêt de Bray (séries 1 et 2) qui peuvent expliquer la dégradation des écosystèmes tourbeux :

- Pâturage
- Exploitation de tourbe (1 m de tourbe extrait sur la zone d'étude)
- Tentative de valorisation sylvicole, avec le (sur)creusement de drains puis l'abandon de la gestion sur la zone tourbeuse
- Incendie(s) au cours du XX^e siècle

En revanche, peu de traces de perturbations ont été trouvées pour la série 3, seulement un drain entaillant d'un bout à l'autre la tourbière, quelques buttes à Polytrichum commun trace d'un probable incendie sur le bois Léon et l'absence de gestion sur la zone (envahissement par les bouleaux).

1.4. Le drainage : Cause principale des dégradations observées

1.4.1. Chronologie du drainage sur le site

La seule relique toujours vivante de ces perturbations est sans conteste le réseau de drains présent autour des séries 1 et 2. Ces fossés ont certainement été creusés en deux temps :

— un premier réseau au XIX^e siècle lors de l'exploitation de la tourbe. En effet, il était à l'époque recommandé de « commencer l'exploitation à partir du lit du ruisseau et continuer de proche en proche par entailles rectangulaires, sur toute l'épaisseur du terrain tourbeux » (Annexe 2, article 2 de l'arrêté d'autorisation d'exploitation de la tourbe du 15 juin 1876). La demande d'autorisation de 1836 contient quant à elle un schéma de l'exploitation où sont figurés deux « canaux de dessèchement » d'environ 2,5 m de profondeur, prouvant que la pratique du drainage profond était utilisée dans la région à cette époque (voir Annexe 3) ;

— un second réseau, superposé au premier, aménagé lors des travaux d'enrénement du massif grâce au F.F.N. dans les années 1960. Cette phase a certainement consisté à surcreuser et densifier le réseau existant, tout du moins aux abords de la tourbière.

1.4.2. Effet du drainage sur les tourbières

Ces drains, toujours présents et donc toujours actifs, ont un impact très localisé de quelques mètres de part et d'autre du fossé en raison de la faible conductivité hydraulique de la tourbe (d'après Dupieux (1998) et Porteret (2008)). L'impact d'un réseau de drainage est cependant beaucoup plus important du fait de l'addition des effets de chaque drain provoquant ainsi un abaissement généralisé de la nappe. Ainsi, plus le réseau de drainage sera dense et profond, plus les perturbations induites par celui-ci seront importantes.

En effet, lorsque le niveau de la nappe descend, la tourbe est exposée à l'air libre. L'oxydation déclenche alors le processus de minéralisation de la tourbe qui provoque la libération d'éléments minéraux fertiles, déstabilisant les conditions oligotrophes de ce milieu. Cela favorise l'installation d'espèces à large amplitude comme le bouleau et la molinie et stoppe l'édification de la tourbe.

Ces espèces très concurrentielles envahissent donc petit à petit le milieu au détriment des espèces spécialisées des tourbières et augmentent considérablement l'évapotranspiration, ce qui a pour effet d'abaisser encore le niveau de la nappe, ce qui amplifie et étend la dégradation du milieu. Il est donc nécessaire d'en réaliser un état des lieux afin d'évaluer l'ampleur des impacts sur le système tourbeux.

1.4.3. Cartographie des drains sur le site

Le relevé des fossés de drainage, à l'aide d'un GPS de précision, a permis de dresser une cartographie précise de ce réseau (Figure 10). Il est composé de différents types de drains :

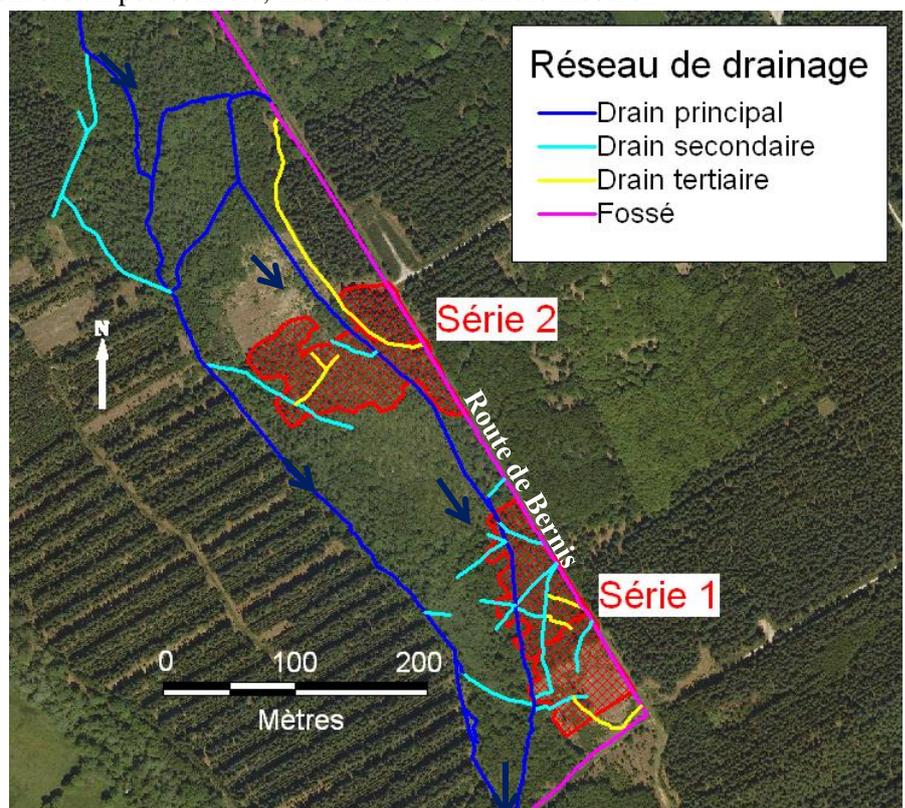
— deux drains principaux, de part et d'autre de la tourbière, relativement larges et profonds (environ 2 m de large et de 1 à 2 m de profondeur), presque toujours en eau courante. Ces drains sont probablement en place depuis longtemps, du fait de leur colonisation par des arbres et de la profondeur de vase accumulée. La distinction entre drain et cours d'eau n'est pas évidente, du fait de la position en haut de bassin versant de la tourbière (et donc de l'absence plus ou moins marquée de contours nets pour le cours d'eau). Les longs tracés linéaires qu'ils dessinent font néanmoins pencher la balance vers des fossés de drainage, probablement anciens (peut-être de l'époque de l'exploitation de tourbe).

— des drains secondaires qui alimentent ces drains principaux. Moins larges et moins profonds, ils ne sont pas en eau souvent. Repérés par la présence de joncs, ils sont presque totalement comblés de tourbe meuble. La conductivité hydraulique de cette tourbe étant plus forte que la tourbe alentours plus tassée, le drain joue peut-être encore un peu son rôle, mais dans une moindre mesure.

— des drains tertiaires, qui alimentent les drains secondaires. Encore moins larges et profonds que les précédents, ils ne drainent probablement plus beaucoup le milieu.

— des fossés, bordant la route forestière de Bernis. Ces fossés, très régulièrement en eau stagnante, sont profonds (1 à 2 m de profondeur) mais assez peu larges (1 m environ). Leur rôle est principalement la sécurisation de la route (évacuation des eaux pluviales) et non directement le drainage du site.

Figure 10 :
Réseau de drainage sur la tourbière
de la forêt de Bray (Séries 1 et 2)



1.4.4. Densité du réseau de drains

On peut constater sur la Figure 10 que le réseau de drainage apparaît plus dense sur la série 1 que sur la série 2.

Le bilan des linéaires de drain sur les séries 1 et 2 est présenté dans le tableau 1.

Tableau 1 :
Linéaire de drains des séries 1 et 2

	Longueur totale Série 1 (en m)	Longueur totale Série 2 (en m)
Drain principal	260	162
Drain secondaire	663	181
Drain tertiaire	197	232
Fossé	330	206
Total	1450	781

La série 1 est donc presque deux fois plus drainée que la série 2. Il s'agit surtout du drain principal qui longe la zone (100 m de plus que pour la série 2) et de très nombreux drains secondaires répartis sur toute la surface de la série 1. On peut donc penser que le niveau d'eau sur cette zone a subi une baisse généralisée et donc la tourbe doit y être plus dégradée du fait de la minéralisation. La plupart de ces drains secondaires sont cependant partiellement comblés, ce qui limite leur effet drainant.

A partir de ce linéaire, on peut calculer la densité de drains pour chacune des deux zones (tableau 2).

Tableau 2 : Densité du réseau de drainage
(en mètre de drain par hectare)

	Linéaire de drain (en m)	Surface (en ha)	Densité de drains (en m/ha)
Série 1	1450	2,25	645
Série 2	781	2,32	337

Etant donné que les surfaces des deux séries sont toutes deux d'environ 2 ha, la densité de drains est là encore presque deux fois plus importante pour la série 1 (645 m/ha contre 337 m/ha pour la série 2).

La différence entre les séries 1 et 2 peut s'expliquer par l'historique de la région (voir partie 1.3.1) : l'extraction de la tourbe a commencé par le sud de la tourbière, au niveau de la série 1, en progressant vers la série 2, située à l'extrémité opposée. Les activités d'extraction ont donc dû être plus anciennes et complètes sur la série 1, ce qui peut expliquer le quadrillage plus systématique de cette zone.

Pour la série 3, comme dit plus haut, le réseau de drainage se résume à un unique drain traversant la tourbière de part en part. Je ne pense pas que ce drain ait une réelle influence sur la tourbière, à part aux abords immédiats (voir explications dans la partie 1.4.2). La principale cause de colonisation par les ligneux de cette tourbière est l'absence de gestion de cette zone et le vieillissement de la tourbière. En effet, cette dernière est entourée de taillis de bouleaux et de saules. La colonisation est centripète, les bouleaux du bord asséchant le sol par évapotranspiration et permettant ainsi l'installation de nouveaux bouleaux un peu plus proche du centre de la tourbière. Petit à petit, c'est toute la surface de cette dernière qui est colonisée et voit le niveau de sa nappe baisser, favorisant encore le processus.

Ainsi, que ce soit à des fins d'exploitation de tourbe ou de sylviculture, le drainage apparaît comme la cause majeure de la dégradation du milieu pour les séries 1 et 2. En entraînant la baisse du plafond de la nappe, il permet l'oxydation et donc la minéralisation de la tourbe de surface, ce qui provoque la libération d'éléments minéraux fertiles et l'installation d'espèces végétales très concurrentielles qui accentuent encore l'abaissement de la nappe par évapotranspiration. Cette colonisation est encore augmentée par le changement des conditions stationnelles que sont la mésophilie (pour le bouleau) et la pyrophyllie (pour la molinie). Ainsi, il est nécessaire d'évaluer les impacts de ce drainage sur la zone pour orienter efficacement les travaux de restauration. C'est pourquoi une batterie de mesures a été réalisée au cours de ce stage, tant au niveau hydrologique (mesures piézométriques, conductimétriques, pHmétriques), que pédologique (granulométrie, indice de régénéralité des tourbes, taux de cendres) et écologique (cryptopotentialités et inventaires floristiques).

Synthèse : Densité du réseau de drainage	
Qualité :	Série 1 : 3
1 = Bonne	Série 2 : 2
2 = Moyenne	Série 3 : 1
3 = Mauvaise	

2. Etude et diagnostic de deux tourbières dégradées du Pays de Bray humide

2.1. Diagnostic hydrologique

Comme nous l'avons vu précédemment, en tout cas pour les séries 1 et 2, le drainage est la cause majeure des perturbations observées sur site. Ainsi, pour une restauration pérenne, il convient de traiter les causes avant les conséquences, d'où l'importance d'envisager une restauration hydraulique conjointement à la restauration écologique. C'est dans cette optique qu'a été menée une série de mesures hydrologiques et de qualité des eaux d'alimentation sur les 3 séries :

— Un dispositif de 5 piézomètres a été installé sur chacune des 3 séries, répartis suivant le gradient lande sèche, lande humide et tourbière. Une mesure de niveau d'eau, pH, conductivité et température a été effectuée une fois tous les 15 jours.

— Un relevé topographique a été effectué à l'aide d'un télémètre stadimétrique pour obtenir le profil en long de chaque série de piézomètres.

— Les cumuls de pluies de la station météorologique de Forges-les-Eaux ont été récupérés. Cette station se situe à 5 km au nord de la forêt de Bray et à 3 km au sud du bois Léon.

— Des échantillons d'eau ont été prélevés à l'entrée et à la sortie des deux tourbières (celle de la forêt de Bray et celle du Bois Léon) pour analyse en laboratoire.

2.1.1. Profils en long des trois séries

Le but de ces levés topographiques était de connaître les variations fines d'altitude entre chacun des 5 piézomètres de chaque série. A l'aide d'un télémètre stadimétrique (théodolite associé à une mire de géomètre), avec un pas d'une vingtaine de mètres, nous avons levé le profil topographique le long des piézomètres.

Le principe repose sur une démarche itérative : à partir d'un point de référence, on calcule la différence d'altitude entre celui-ci et le point suivant. Pour calculer cette différence, on place le théodolite à mi-distance des deux points et une fois la lunette à l'horizontale, on lit la cote sur la mire d'un côté (sur le premier point) puis de l'autre (sur le deuxième point), comme sur la Figure 11. En soustrayant la seconde cote à la première, on obtient l'altitude relative du deuxième point par rapport au premier, et par itération, par rapport au point de référence.

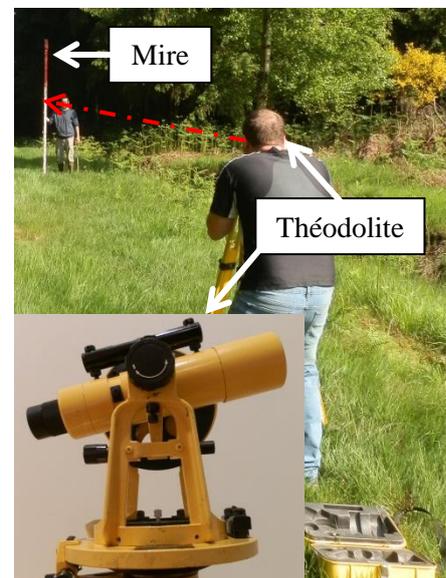


Figure 11 : Utilisation du théodolite

On obtient ainsi les profils en long de chaque série de piézomètres (Figures 12, 13 et 14).

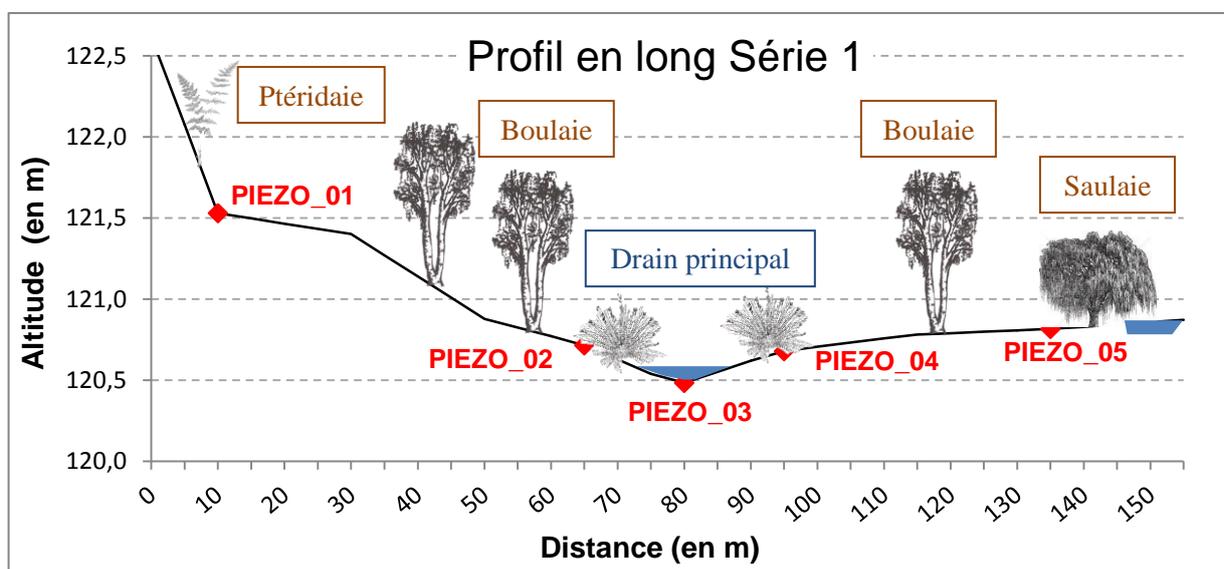


Figure 12 : Profil en long de la série 1

Pour la série 1, le piézomètre PIEZO_01 se trouve au niveau de la jonction de la lande sèche (présence de callune) et de la lande humide. Un pied de Bruyère à quatre angles (*Erica tetralix*) dans un grand coussin de sphaignes se trouve au niveau de PIEZO_02, ce qui marque bien le faciès tourbeux (lande tourbeuse ou tourbière). Le piézomètre PIEZO_03 est installé dans le drain principal au point le plus bas de la série. On remonte ensuite vers PIEZO_04, sur l'autre rive et on finit avec PIEZO_05 sous une saulaie dense, qui constitue la végétation rivulaire du deuxième drain principal.

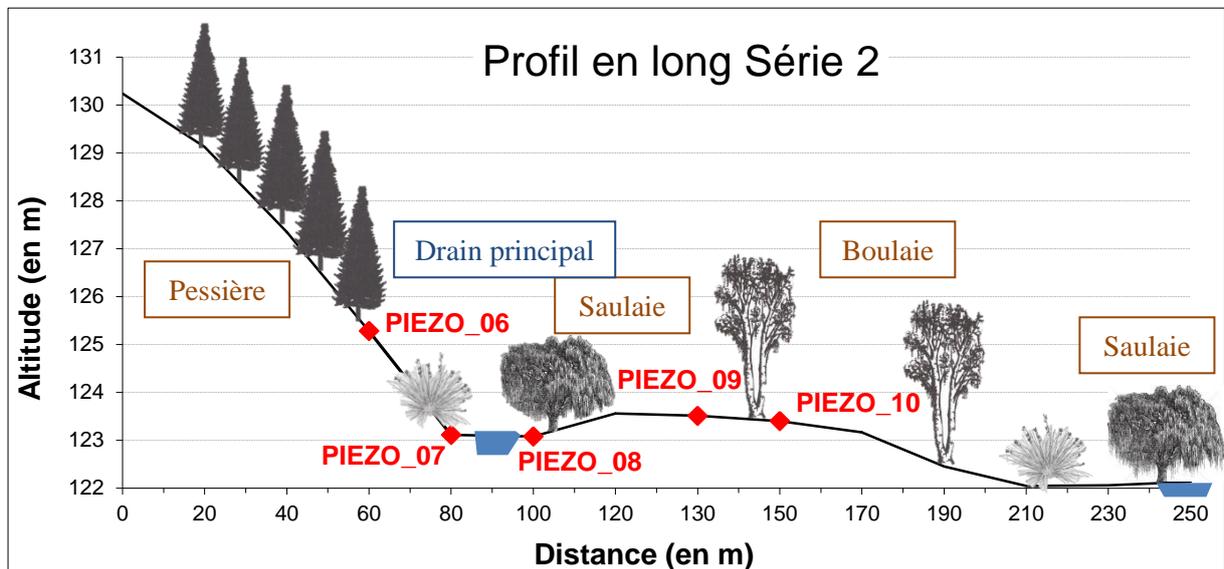


Figure 13 : Profil en long de la série 2

Pour la série 2, la séquence commence par un peuplement d'épicéas sur ce qui fut autrefois une lande (présence relictuelle de genêt à balais, fougère aigle et de callune). Le piézomètre PIEZO_06 se trouve à la lisière de ce peuplement, avant le fossé qui le sépare du reste de la tourbière. Son comportement représente donc celui de la pessière. Les piézomètres PIEZO_07 et PIEZO_08 sont situés de part et d'autre du drain principal (le même que pour la série 1 au niveau de PIEZO_03, plus en amont). PIEZO_08 se situe dans une saulaie qui borde le drain, dans un grand coussin de sphaignes. Les piézomètres PIEZO_09 et PIEZO_10 sont situés plus loin dans la tourbière, sur un point légèrement plus haut que le reste, dans une boulaie à molinie avec quelques coussins de sphaignes.

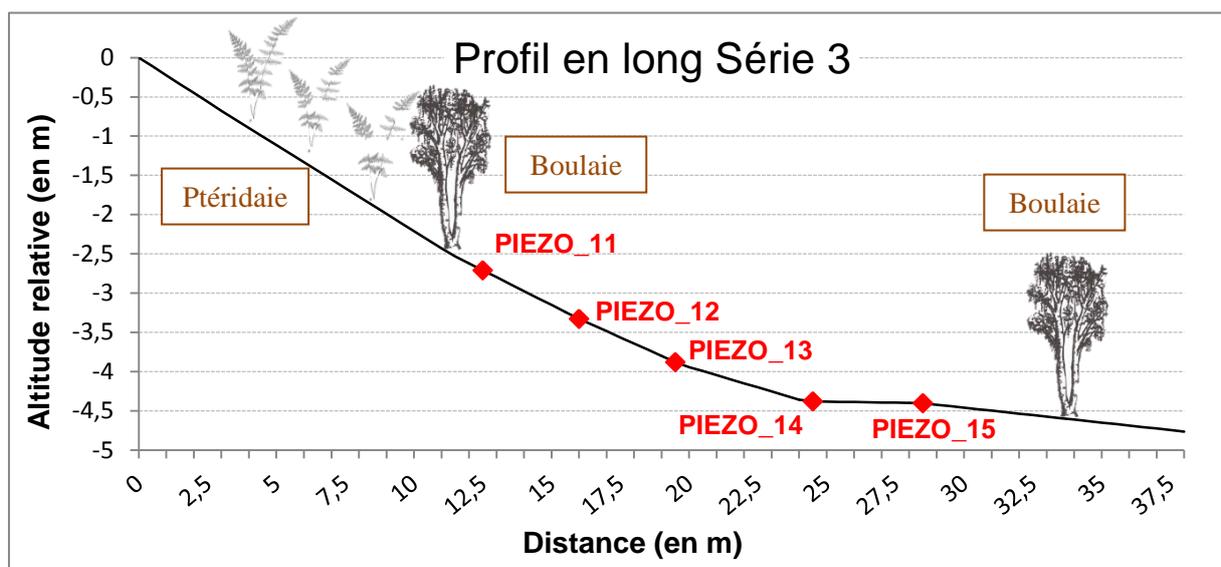


Figure 14 : Profil en long de la série 3

Enfin, pour la série 3, alors que les piézomètres des deux autres séries sont séparés de 20 à 50 mètres les uns des autres en raison de la pente relativement faible, ils sont ici espacés de quelques mètres seulement, à cause du relief particulièrement pentu de la zone. Ainsi, le continuum recherché pour la restauration commence au piézomètre PIEZO_11 (présence de *Calluna vulgaris* à proximité signant plutôt la lande sèche) et évolue progressivement vers des faciès tourbeux jusqu'à PIEZO_15, qui jouxte le drain principal et la tourbière à proprement parler.

Les imprécisions liées à cette mesure altimétrique (matériel ancien, réglage manuel des niveaux à bulle, sol peu portant) nécessitent une vérification des altitudes calculées. Pour cela, les deux profils en long des séries 1 et 2 ont été joints par deux profils parallèles : l'un le long de la route forestière de Bernis qui longe le côté droit de la tourbière et l'autre le long du drain principal. On peut donc calculer l'altitude d'un point par deux chemins différents (sur un quadrilatère, il y a toujours deux chemins différents pour joindre deux points distincts). On arrive ainsi à une erreur d'environ 0,25 m entre les deux chemins de 500 et 750 m de long (ce qui représente une erreur d'à peu près 0,4 mm/m). Cette erreur me semble convenable compte tenu de la précision désirée et du matériel utilisé.

On constate donc bien un gradient altitudinal au sein de chaque série, qui traduit ce gradient lande sèche, lande humide et tourbière recherché pour la restauration, confirmé par la végétation observée.

2.1.2. Données de pluviométrie

Afin d'interpréter les courbes de variation du niveau d'eau dans les différentes séries, il est utile de les comparer aux données météorologiques, et notamment aux données de pluviométrie. Nous avons donc récupéré ces données auprès de Météo-France pour la station de Forges-les-Eaux, utilisables pour les trois séries. Elles sont présentées sur la Figure 15 ci-après :

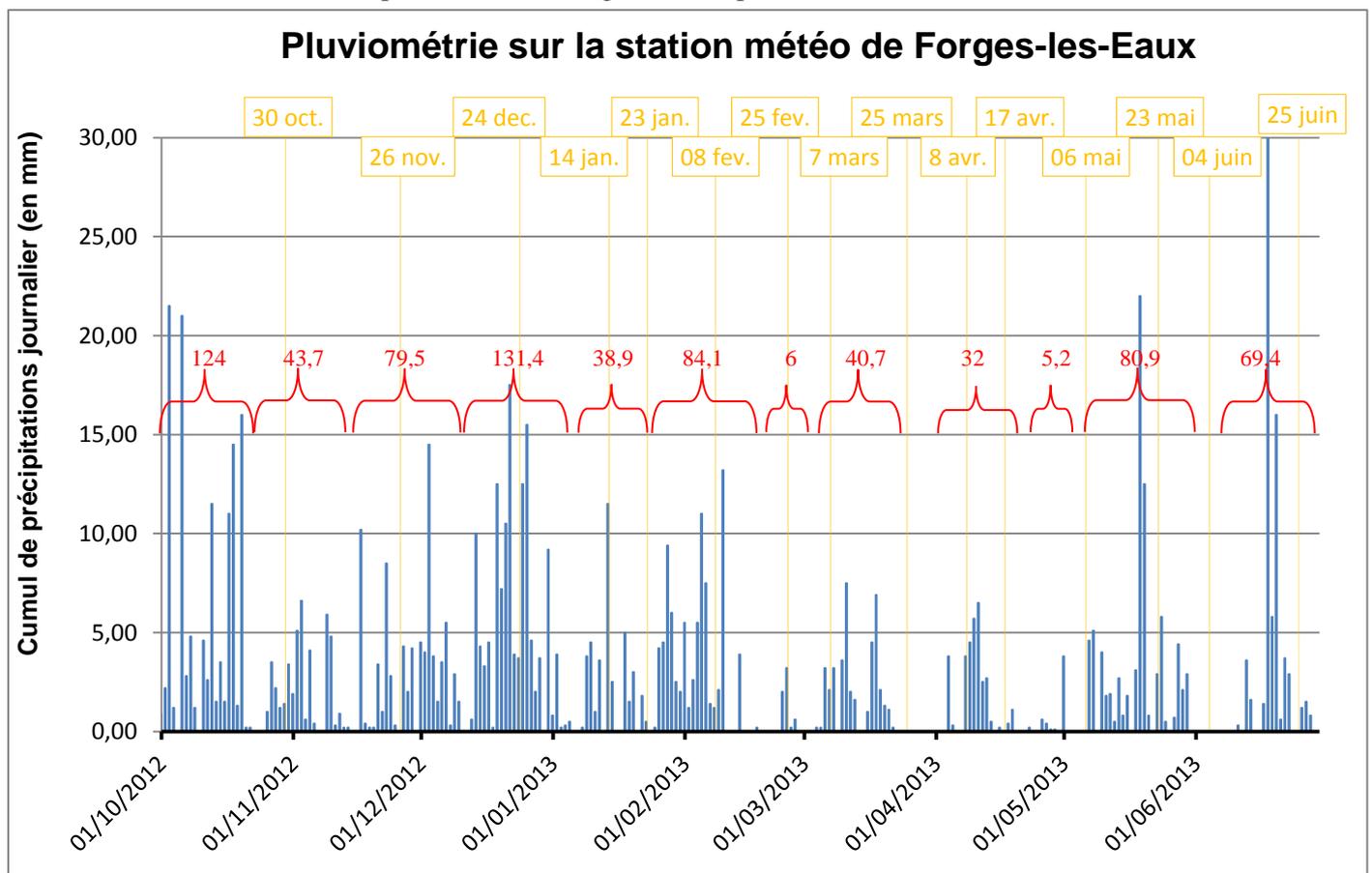


Figure 15 : Pluviométrie sur la station de Forges-les-Eaux
Source : Météo-France

Légende :

- Cumul de précipitation journalier (en mm)
- 30 oct. Date de relevé
- 84,1 Cumul des précipitations (en mm) par évènement pluvieux

Pour faciliter la compréhension de ce graphe, les cumuls journaliers de précipitations sont regroupés en évènements pluvieux. Ces évènements ont été définis arbitrairement : dès qu'une période de plus de 3-4 jours sans pluie apparaît, on change d'évènement pluvieux. En général, on observe une phase de croissance jusqu'à un maximum, puis à une phase de décroissance de l'intensité des pluies.

L'année écoulée est ainsi découpée en 12 évènements pluvieux, de durée et d'intensité variables. Effectivement, ils durent de quelques jours à pratiquement un mois (octobre, décembre ou février) et varient de quelques mm à plus d'une centaine. On peut constater la forte pluviosité en automne et en hiver (502,5 mm en tout), assez régulièrement répartie : 3,5 mm/jour en moyenne. Le mois de mars a été particulièrement sec avec une pluviométrie journalière moyenne de 1,3 mm. Le printemps a compté 3 évènements pluvieux majeurs, séparés de longues périodes sèches.

Ces évènements très ponctuels, parfois très intenses (comme en juin, avec une journée où il est tombé 30 mm de pluie), seront certainement de bons indicateurs pour observer le temps de réponse des piézomètres (et donc du niveau d'eau dans la tourbière) aux précipitations et ainsi proposer une caractérisation du mode d'alimentation en eau de la tourbière. En effet, on distingue différents types de tourbières en fonction de leur mode d'alimentation hydrique (Dupieux, 1998) :

- Les tourbières **ombrotrophes** sont alimentées uniquement par les précipitations, qui doivent de ce fait être abondantes et régulières. Elles sont toujours acides et oligotrophes (haut-marais).
- Les tourbières **minérotrophes** sont pourvues en eau par des écoulements latéraux qui ont été en contact avec le substrat géologique et se sont alors enrichies en substances minérales (bas-marais).
- Les tourbières **mixtes** possèdent ces deux types d'alimentation en eau.

Ainsi, les relevés du 6 mai, 23 mai et 4 juin, effectués tous trois lors du même évènement pluvieux important (3,4 mm/jour en moyenne, avec un pic les 19 et 20 mai de 22 et 12,5 mm respectivement) mais à des moments différents, pourront nous aider à trancher. En effet, le relevé du 6 mai constitue une sorte de référence à l'étiage (23 jours de quasi-sécheresse avant). Celui du 23 mai est quant à lui effectué juste après les pluies importantes et celui du 4 juin se situe à la fin de l'épisode pluvieux. De même, le relevé du 25 juin a été effectué 6 jours après le pic de précipitations du dernier épisode pluvieux. Il permettra donc de vérifier si les observations du 23 mai se confirment.

2.1.3. Mesures piézométriques

2.1.3.1. Dispositif expérimental

Ces mesures ont été réalisées sur des piézomètres composés d'un tube en PVC de 2 m de longueur et de 50 cm de diamètre, percés de trous espacés d'une dizaine de cm, répartis sur 3 rangées (Figure 16). Ces tubes, fermés aux deux extrémités par des bouchons à vis, ont été enfoncés autant que possible dans la tourbe (certains, comme PIEZO_01 ici en photo sur la Figure 17 jusqu'en haut et d'autres seulement à moitié). Un géotextile a été installé à l'extérieur du tube pour limiter l'entrée d'impuretés dans le piézomètre. Le protocole d'installation est détaillé par Dupieux (1998). La carte des piézomètres est présentée sur les Figures 5 et 6 (partie 1.2.3).

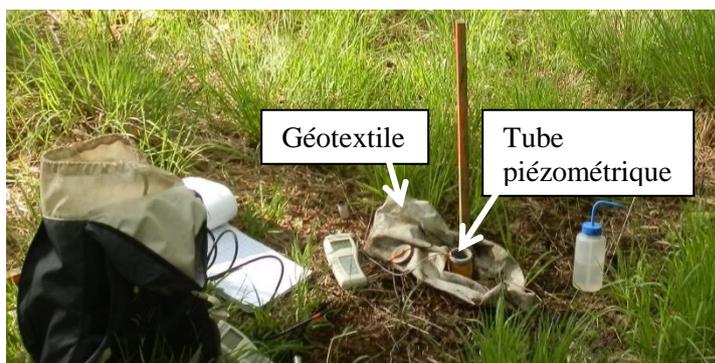


Figure 17 : Piézomètre PIEZO_01 (série 1)



Figure 16 :
Tube utilisé pour la fabrication des piézomètres

2.1.3.2. Résultats pour la série 1

Les variations du niveau de la nappe de la série 1 observées entre le 30 octobre 2012 et le 5 juillet 2013 sont représentées sur la Figure 18. Les erreurs représentées sur le graphe correspondent à l'imprécision de lecture ($\pm 0,5$ cm).

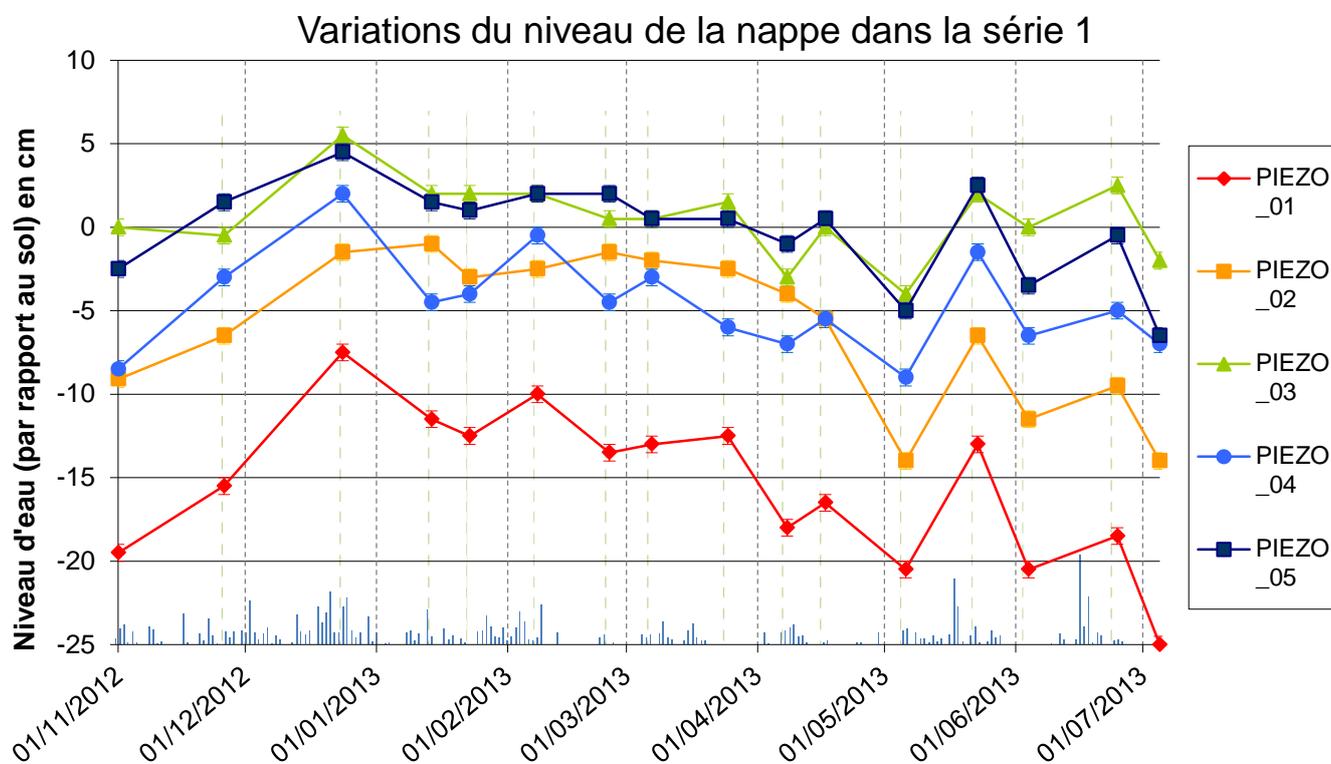


Figure 18 : Variations du niveau d'eau sur la série 1

On remarque les mêmes grandes variations sur les 5 piézomètres : montée globale du niveau d'eau jusqu'en décembre puis stabilisation de ce niveau de décembre à mars et enfin baisse par à-coups à partir d'avril avec un fort pic en mai, reflet du régime chaotique des pluies à partir d'avril. En raison du froid persistant au printemps, la végétation n'a démarré cette année que fin avril – début mai, ce qui explique que la sécheresse observée fin mars n'ait provoqué qu'une baisse modeste du niveau d'eau comparée à celle de fin avril pour PIEZO_02, 04 et 05, l'évapotranspiration étant alors très faible.

On observe qu'à altitude et distance au drain équivalentes, les piézomètres PIEZO_02 et PIEZO_04 ne se comportent pas de la même façon : les amplitudes des variations jusqu'en avril sont plus importantes pour PIEZO_04. Ceci s'explique par la végétation présente sur chacun de ces points : PIEZO_02 se trouve sur un coussin de sphaignes alors que PIEZO_04 se trouve dans une boulaie claire à molinie. En effet, les sphaignes ont la capacité de retenir 20 fois leur poids sec en eau (Sundberg (2000), p. 8) et de la relâcher progressivement au milieu, ce qui limite les battements de la nappe. Ainsi, la montée du niveau d'eau est ralentie à cause du stockage par les sphaignes (d'octobre à décembre) et la descente aussi par le relargage progressif d'eau (de décembre à avril). A partir de mai, c'est le reste de la végétation (bouleaux et molinie) qui prend le dessus. Effectivement, situé dans une zone plus ouverte, PIEZO_04 souffre moins du pompage dans la nappe par la végétation que PIEZO_02, dans une boulaie dense.

On constate aussi sur ce graphique que la nappe est affleurante sur les piézomètres PIEZO_03 et PIEZO_05. Cela s'explique facilement pour PIEZO_03, situé dans le drain principal toujours en eau. Pour PIEZO_05, c'est le deuxième drain qui « l'alimente » : moins canalisé que le premier, ce drain / cours d'eau déborde dans sa ripisylve en période de hautes eaux. Le couvert des saules le protège de l'évaporation, ce qui explique les variations similaires des deux piézomètres jusqu'en mai. A la reprise de la végétation, les saules pompent une partie de cette eau, induisant une différence de niveau entre les deux courbes à partir de juin (débourrage tardif cette année).

En comparant ces courbes avec les données de pluviométrie (voir partie 2.1.2), on voit que les cinq piézomètres réagissent de la même façon à l'évènement pluvieux de mai (relevés des 06 et 23 mai et du 04 juin) : partant d'un niveau relativement bas début mai (suite au manque de précipitation observé fin avril et début mai), les niveaux remontent tous de plus de 5 cm quatre jours après les fortes pluies du 19 et 20 mai puis diminuent de nouveau après l'évènement pluvieux, d'après la mesure du 4 juin. La mesure du 25 juin, 6 jours après un pic de précipitations (30 mm en une seule journée), montre que le niveau d'eau est revenu pratiquement à son niveau de fin mai.

Enfin, situé pratiquement un mètre au-dessus des autres piézomètres, PIEZO_01 a logiquement un niveau d'eau par rapport au sol plus faible que les autres piézomètres de la série 1 (de 10 à 20 cm de profondeur, voire même jusqu'à 66 cm lors des dernières mesures au cours de l'été). C'est cependant ici que le niveau d'eau est le plus haut en altitude réelle (voir Figure 19). On y observe les mêmes tendances que pour les autres piézomètres, mais avec des amplitudes plus marquées.

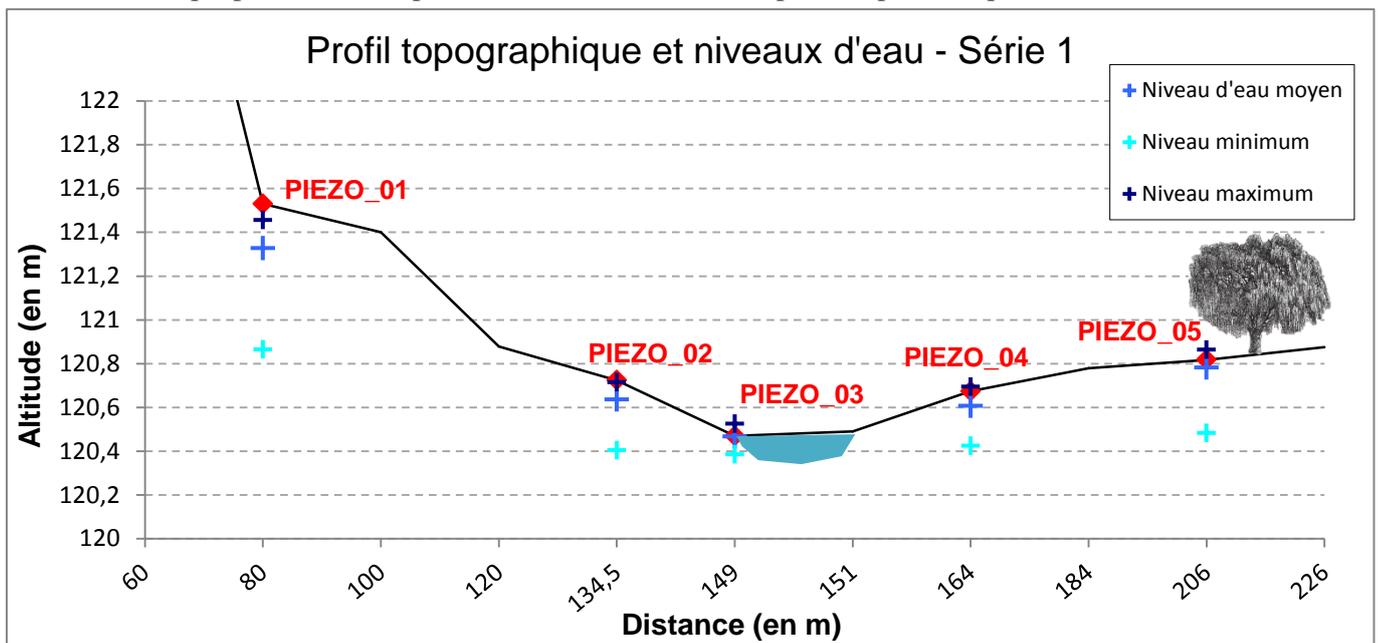


Figure 19 : Profil topographique et niveaux d'eau - Série 1

La Figure 19, obtenue en superposant le profil altimétrique de la série, la moyenne, le minimum et le maximum des 18 mesures piézométriques effectuées entre octobre 2012 et août 2013, nous permet de constater l'effet du drain sur la nappe : plus le drain est proche, plus la nappe est basse jusqu'à PIEZO_03 où elle est affleurante. Ce drain canalise donc l'eau provenant des pentes de la cuvette dans laquelle il se trouve et l'évacue vers la sortie. Cet effet est augmenté par la topographie elle-même, probablement héritée de l'historique de la parcelle (voir partie 1.3). En effet, PIEZO_03 est situé 1 m sous le niveau du sol de PIEZO_01 ... Ce mètre manquant est peut-être la trace de l'exploitation de tourbe sur le site, les documents retrouvés faisant état de l'extraction d'un mètre de tourbe. Ainsi, la logistique d'exploitation de la tourbe mise en place au XIX^e siècle (et notamment les fossés d'assèchement) serait toujours active, faute de restauration à la fin des travaux d'extraction.

En conclusion, les variations piézométriques observées sur la série 1 reflètent le gradient recherché : le niveau d'eau par rapport au sol est faible pour PIEZO_01 (entre 10 et 60 cm de profondeur), ce qui le rend compatible avec de la lande sèche et les niveaux d'eau du reste de la série sont plus proche de la surface, correspondant ainsi à la tourbière et à la lande tourbeuse. En restaurant l'hydraulique de la série 1, il semble donc relativement aisé de remonter de quelques centimètres le niveau d'eau sur cette zone pour ainsi augmenter l'engorgement de la tourbe.

2.1.3.3. Résultats pour la série 2

Les variations du niveau de la nappe de la série 2 observées entre le 30 octobre et le 5 juillet sont représentées sur la Figure 20. Là encore, les erreurs représentées sur le graphe correspondent à l'imprécision de lecture ($\pm 0,5$ cm). De plus, quelques valeurs extrêmes semblent difficiles à expliquer, notamment les mesures de fin février pour PIEZO_10 et de fin janvier pour PIEZO_07.

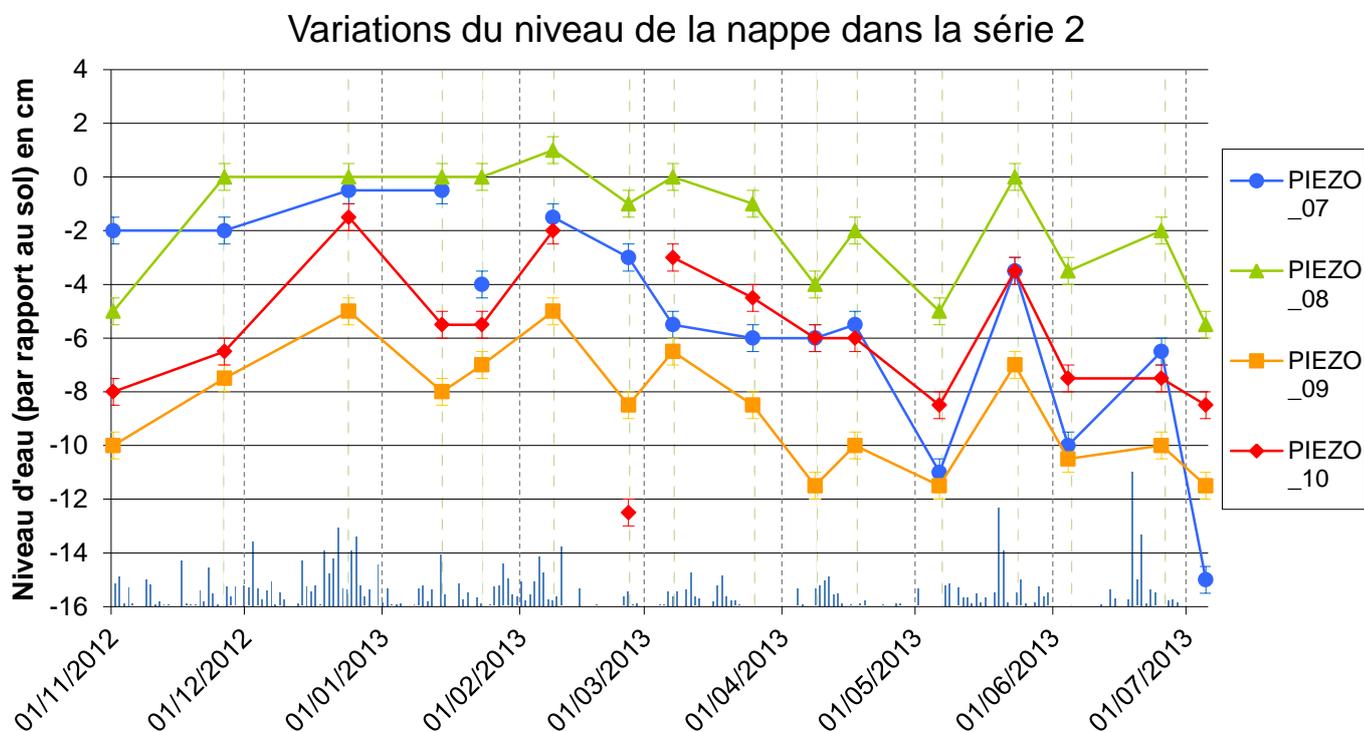


Figure 20 : Variations du niveau d'eau sur la série 2

Le piézomètre PIEZO_06 n'apparaît pas sur ce graphe car les niveaux d'eaux observés sont si bas (en moyenne plus de 1,30 m de profondeur, souvent plus), qu'ils perturberaient la lecture des autres courbes en augmentant démesurément l'échelle. De plus, ce piézomètre est fréquemment sec et n'est pas situé à proprement dans la tourbière, mais plus dans le peuplement d'épicéas.

Le piézomètre PIEZO_07 est situé à quelques pas du drain principal, sur une bande tourbeuse d'environ 2 m de profondeur entre celui-ci et la pessière. Son comportement est donc directement influencé par le drain. On constate une baisse constante de décembre à mars (mis à part la mesure de fin janvier), due à la diminution des précipitations sur cette période. A partir d'avril, l'amplitude de variation devient beaucoup plus importante, ce qui est particulièrement défavorable à la végétation typique des tourbières, qui a besoin d'un niveau d'eau relativement stable. On peut légitimement penser que ce fort battement de nappe est un effet de la végétation (pas seulement à proximité du piézomètre, mais sur tout le bassin versant du drain) : par temps sec, elle puise dans les réserves du sol et fait diminuer le niveau de la nappe (et donc aussi le niveau d'eau du cours d'eau) et dès qu'un épisode pluvieux se présente, ce dernier n'a pas le temps de s'infiltrer, immédiatement capté par la végétation ou évacué vers la sortie par ruissellement jusqu'au drain.

Le piézomètre PIEZO_08, au cœur d'un coussin de sphaignes sous la saulaie rivulaire, présente des amplitudes de variations atténuées, comme pour PIEZO_02 (voir partie 2.1.3.2), dues aux propriétés de rétention des sphaignes, à sa proximité au drain et au couvert dense de la saulaie. La nappe y est affleurante mais subit à partir d'avril des battements, provoqués par les variations du niveau d'eau dans le cours d'eau, néanmoins limités comparés à ceux de PIEZO_07.

Les piézomètres PIEZO_09 et PIEZO_10 ont des variations pratiquement identiques, déconnectées de celles de PIEZO_07 et PIEZO_08 (influencés par le drain) du fait de la faible conductivité hydraulique de la tourbe (Dupieux (1998), Porteret (2008)). Là encore, jusqu'en décembre, le niveau d'eau augmente graduellement du fait de la pluviosité importante sur cette période et de l'absence de végétation pour pomper cette eau. A partir de janvier, les courbes de niveau d'eau correspondent particulièrement bien avec les données de pluviométrie (la plupart des variations observées peuvent s'expliquer par la pluviométrie).

Cela plaide donc pour une origine météorique des eaux d'alimentation de la tourbière et donc pour une tourbière de type ombrotrophe. Ceci est néanmoins à nuancer par l'influence non négligeable des drains sur une bonne partie de la tourbière.

Enfin, on constate sur le dernier évènement pluvieux (en juin) que les deux piézomètres PIEZO_09 et PIEZO_10 reviennent au niveau initial (celui du 4 juin) plus rapidement que les deux autres piézomètres PIEZO_07 et PIEZO_08. La montée du niveau d'eau a donc sûrement été plus faible dans la tourbière que dans le drain, qui concentre le ruissellement de l'ensemble de la zone amont (environ 400 hectares, exclusivement sur le massif de la forêt de Bray) et la végétation présente sur la tourbière a eu le temps d'absorber cet apport hydrique à peine six jours après l'épisode pluvieux alors que le drain est toujours en train d'évacuer les restes de cette pluie importante issus de son bassin versant. De plus, la phase de sécheresse qui suit (du 25 juin au 05 juillet) a plus d'impact sur le niveau d'eau de PIEZO_07 et de PIEZO_08 : L'effet drainant du fossé reprend le dessus et rabat de nouveau la nappe, comparé au niveau d'eau observé sur les piézomètres PIEZO_09 et PIEZO_10.

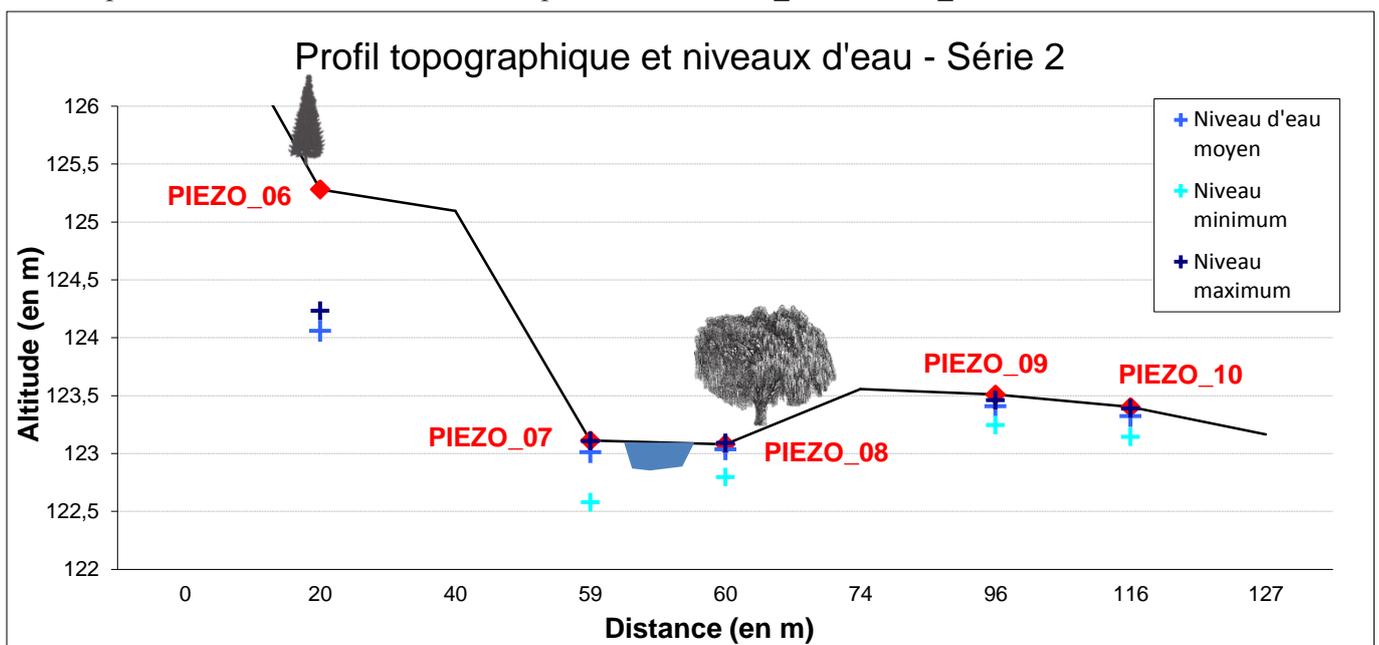


Figure 21 : Profil topographique et niveaux d'eau - Série 2

La Figure 21 présente la superposition du profil topographique de la série 2 et des niveaux d'eau moyens, maximum et minimum sur cette série. On peut y voir les niveaux d'eau faibles dans le piézomètre PIEZO_06 et ce dernier étant souvent à sec, j'ai préféré ne pas afficher de niveau minimum, ne connaissant pas jusqu'où le niveau était alors descendu. Là encore, comme pour la série 1, on observe clairement le rabattement de nappe dû au drain, pour les mêmes raisons que précédemment (voir partie 2.1.3.2). De plus, le battement de nappe du piézomètre PIEZO_07 apparaît distinctement sur cette figure.

En conclusion, les niveaux d'eau mesurés sur la série 2 sont à peu près équivalents à ceux de la série 1 : un niveau bas sur PIEZO_06, reflet de la lande sèche potentielle et des niveaux assez proches de la surface sur le reste de la série, dans la tourbière (et lande tourbeuse). Là encore, une restauration hydraulique simple sur cette série semblerait suffire à rehausser le niveau de la nappe pour assurer des conditions d'hydromorphie favorable à l'écosystème tourbeux.

2.1.3.4. Résultats pour la série 3

Les variations du niveau de la nappe de la série 3 observées entre le 30 octobre 2012 et le 5 juillet 2013 sont représentées sur la Figure 22. Les erreurs affichées sur le graphe correspondent à l'imprécision de lecture ($\pm 0,5$ cm) et comme pour PIEZO_06, j'ai choisi de ne pas représenter PIEZO_11 car les niveaux d'eau y sont souvent très bas (aux alentours de 80 cm de profondeur).

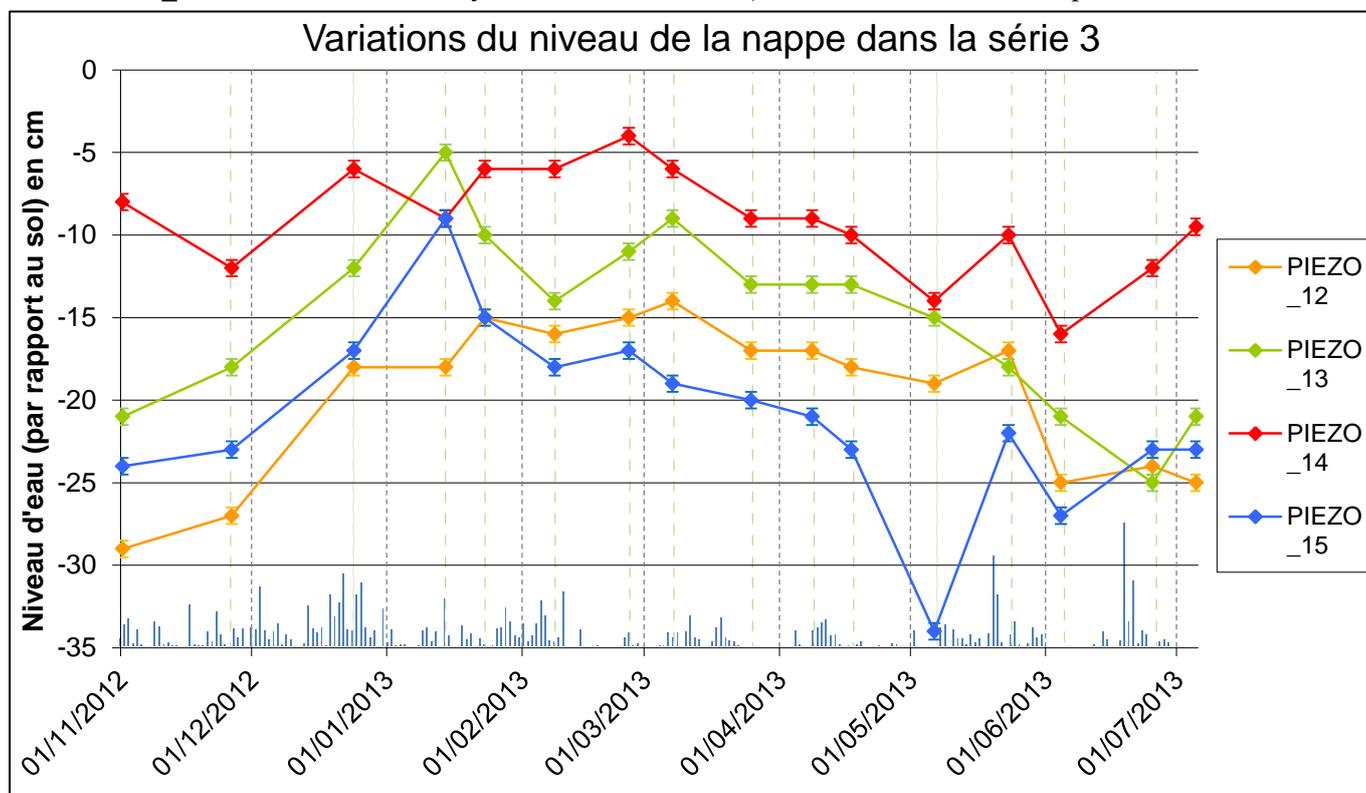


Figure 22 : Variations du niveau d'eau sur la série 3

Encore une fois, on peut remarquer la tendance générale repérée sur les précédents graphes : montée du niveau d'eau jusqu'en janvier, puis relative stabilisation du niveau d'eau de janvier à avril et enfin début des battements de nappe à partir de mai.

Cependant, un détail choque : alors que la profondeur de la nappe est inversement proportionnelle à la topographie pour les 3 premiers piézomètres (et même les quatre premiers puisque PIEZO_11 est tout le temps sous le niveau d'eau du reste de la série), la courbe de PIEZO_15 est sous celles de PIEZO_13 et PIEZO_14, voire même sous celle de PIEZO_12 par moments. Cette anomalie s'explique par la position de PIEZO_15 sur le rebord du drain principal : Dupieux (1998) nous apprend que la tourbe issue du creusement des fossés est souvent déposée à leur abord sous forme de merlon et perd ainsi ses qualités originelles du fait du tassement et de l'assèchement. Elle présente donc une forte conductivité hydraulique, qui explique bien les faibles niveaux d'eau observés dans le dernier piézomètre de cette série, en plus de sa proximité au drain qui y a donc une influence accrue.

Concernant la corrélation entre les niveaux d'eau dans les piézomètres et la pluviométrie, on constate que les quatre piézomètres réagissent différemment aux deux derniers événements pluvieux de mai et juin : alors qu'on observe une forte augmentation logique du niveau d'eau pour PIEZO_14 et PIEZO_15 entre le 06 et 23 mai suite aux pluies importantes des 19 et 20 mai, elle est beaucoup plus timide pour PIEZO_12 voire même négative pour PIEZO_13. On peut faire la même observation pour l'épisode pluvieux de juin. On peut alors formuler l'hypothèse que le flot de ruissellement est passé pour les deux premiers piézomètres et la végétation a déjà consommé toute l'eau tombée à peine 5 jours après l'évènement pluvieux, seul le drain ayant encore les restes des pluies, provenant de l'ensemble de son bassin versant.

On note aussi une augmentation du niveau d'eau au lieu d'une baisse de celui-ci lors de la période sèche entre le 25 juin et le 05 juillet, et principalement sur le piézomètre PIEZO_13 ... Deux possibilités s'offrent alors : soit il s'agit d'une erreur de mesure ou d'un biais méthodologique, mais cela semble peu probable étant donné que le protocole de mesure a été suivi de façon identique pour chacune des mesures ; soit il s'agit de l'effet à retardement de la pluie du 18 juin (30 mm en une seule journée), dû au temps de transfert de la tête de bassin vers l'aval, mais cette hypothèse semble là encore bancable du fait de la petitesse du bassin versant alimentant le drain (à peine une vingtaine d'hectares). C'est peut-être sans compter les sphaignes qui tapissent le drain sur toute sa longueur. Elles auraient pu absorber de grandes quantités d'eau lors de la pluie et la relâcher progressivement ensuite, entretenant un niveau d'eau relativement élevé pour la saison dans le drain.

La Figure 23, qui superpose le profil topographique de la série et les niveaux d'eau moyens, minimum et maximum qu'on y observe, montre clairement que plus on descend dans la série et plus la nappe est proche de la surface, avec l'exception repérée plus haut de PIEZO_15 sur lequel le drain joue beaucoup et dont la tourbe est dégradée du fait du tassement et de l'assèchement. Cela laisse donc à penser que là encore, **le drainage n'est pas sans effet sur la tourbière.**

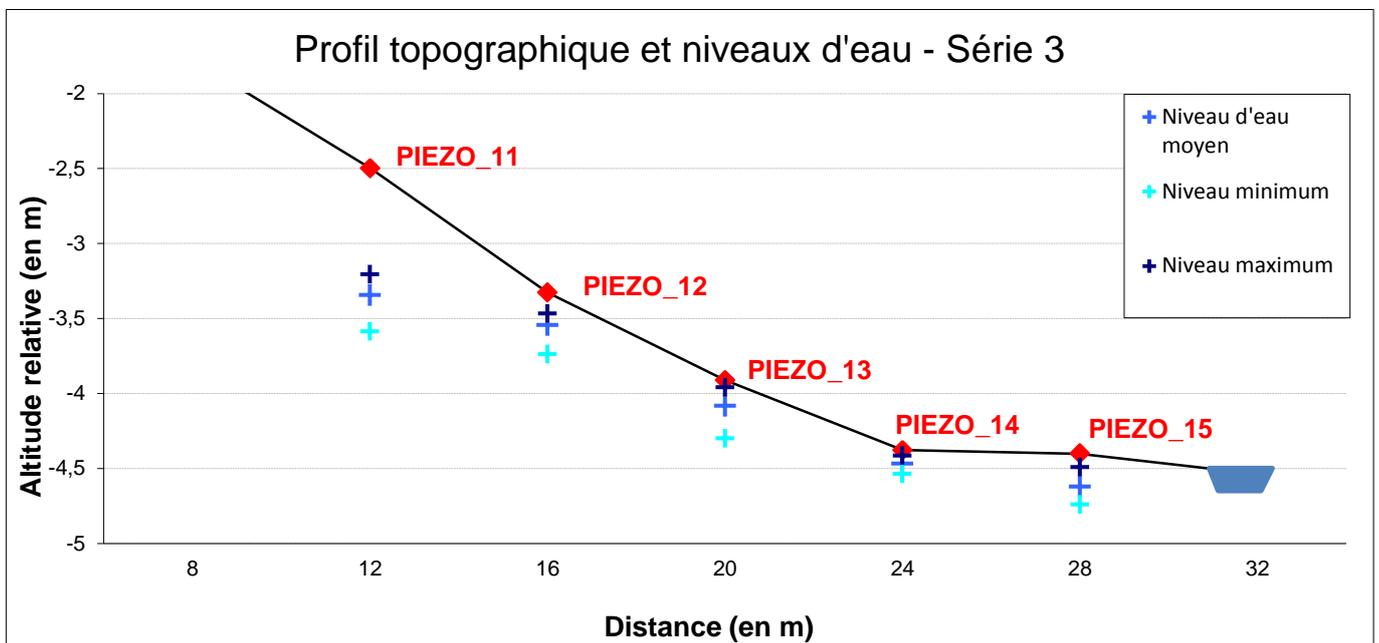


Figure 23 : Profil topographique et niveaux d'eau - Série 3

2.1.3.5. Conclusion

Sur les trois séries, on constate donc une même évolution globale, en lien direct avec le climat de la région : augmentation du niveau de la nappe d'octobre à décembre, en raison des pluies importantes et de l'absence de végétation, puis relative stabilisation du niveau d'eau de janvier à mars, et enfin baisse de niveau de la nappe avec de forts battements, dus au caractère chaotique du régime des pluies sur cette période.

Synthèse :	Niveaux d'eau
Qualité :	Série 1 : 2
1 = Bonne	Série 2 : 2
2 = Moyenne	Série 3 : 2
3 = Mauvaise	

Synthèse :	Battements de nappe
Qualité :	Série 1 : 2
1 = Bonne	Série 2 : 2
2 = Moyenne	Série 3 : 2
3 = Mauvaise	

Sur chacune des trois séries, on observe le même rabattement de nappe causé par les drains qui jouent donc toujours leur rôle d'assèchement malgré leur ancienneté avérée. **Cela démontre bien la nécessité d'effacer ces ouvrages afin d'assurer un niveau d'eau suffisant dans ces deux tourbières et ainsi pérenniser les actions de restauration envisagées.** Cela permettra le retour de conditions hygrophiles favorables aux espèces typiques des tourbières, et en premier lieu les sphaignes, tout en limitant le développement des espèces opportunistes qui s'y sont installées comme le bouleau, la molinie et la fougère aigle.

Cette restauration hydraulique passera inévitablement par la pose de seuils dans les drains afin de remonter leur niveau. Cette mesure pourra être couplée à l'effacement complet de ceux-ci à l'aide de tourbe pour réduire encore leur impact sur la tourbe attenante aux drains et même à la construction de digues pour créer des zones plus humides.

2.1.4. Mesures de pH et de conductivité de l'eau du sol

2.1.4.1. Protocole expérimental

Un suivi pHmétrique et conductimétrique a été réalisé sur les quinze piézomètres complétant la mesure du niveau d'eau, une fois tous les quinze jours d'octobre 2012 à août 2013. Ces mesures régulières ont pour but de caractériser la qualité de l'eau dans la tourbière, qui constitue le deuxième facteur clé de la bonne santé de ces milieux fragiles.

De plus, 10 points au sol ont été creusés à la tarière (de 10 à 20 cm de profondeur), répartis sur le reste de la tourbière (7 dans la forêt de Bray, entre les deux séries et 3 dans le Bois Léon, de part et d'autre de la série de piézomètres). Le suivi pHmétrique et conductimétrique de ces points a été réalisé une fois tous les mois. Chacun de ces deux suivis possède cependant ses biais :

— La mesure du pH et de la conductivité dans les piézomètres est biaisée par le fait que l'eau contenue dans le tube piézomètre est isolée de l'eau contenue dans la tourbe alentours par le tube PVC et le géotextile. Les échanges se font donc nettement moins bien avec ces barrières physiques. Le pH et la conductivité sont donc susceptibles de varier différemment dans le piézomètre et dans la tourbe. Le protocole initial envisageait de vider les piézomètres après chaque mesure et de le laisser se remplir entre deux mesures. Pour des raisons pratiques, ce protocole a été adapté pour ne pas les vider.

— La mesure du pH et de la conductivité dans les points est réalisée dans une eau plus ou moins trouble, voire boueuse par temps sec, alors que le matériel de mesure est programmé pour mesurer ces variables dans un liquide. Cependant, ce sont des appareils de terrain donc ils sont certainement adaptés à contourner de tels biais, c'est pourquoi les mesures effectuées dans les points au sol me semblent quand même plus fiables que celles effectuées dans les piézomètres.

Concernant le matériel de mesure en lui-même, il s'agit d'un pHmètre VWR pH110 équipé d'une sonde pH et d'une sonde température. Cet appareil nécessite un étalonnage régulier, effectué pour des raisons pratiques avant et après chaque série de mesure (solutions tampons de pH 7 et 4). Le conductimètre utilisé est un VWR CO310, équipé d'une sonde de mesure de la conductivité combinée à un thermomètre. Les câbles des sondes du pHmètre étant longs d'un mètre, lorsque les niveaux d'eau étaient trop bas, la mesure du pH n'était pas possible. En revanche, la sonde du conductimètre mesurant plus de 2 m, dès qu'il y avait un peu d'eau dans le piézomètre, la mesure était possible.



Figure 25 : pHmètre VWR pH110



Figure 24 : Conductimètre VWR CO310

2.1.4.2. Résultats des pH et discussion

Les résultats de cette campagne de mesure sont présentés sous forme de box plots (voir script en annexe 4) afin de faciliter leur analyse. Les valeurs sont comprises entre 3,5 et 6 sur la tourbière de la forêt de Bray (séries 1 et 2 et points PCH_01, 02, 03, 04, 05, 06 et POINT_TEST) alors qu'elles sont plutôt comprises entre 3,5 et 4,5 sur la tourbière du Bois Léon (série 3 et points PCH_07, 08 et 09).

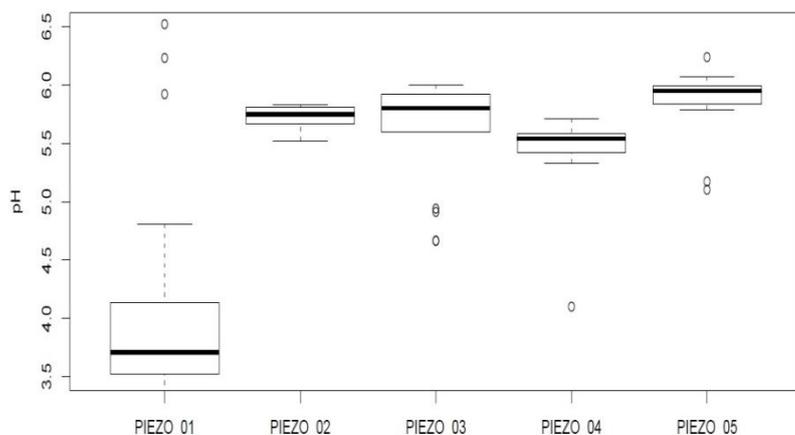


Figure 26 : Répartition des pH sur la série 1

On observe que les pH mesurés sur la série 2 (Figure 27) peuvent être répartis en deux groupes distincts : ceux de PIEZO_07 et PIEZO_08 (compris entre 4,5 et 5) et ceux de PIEZO_09 et PIEZO_10 (aux alentours de 5,5). Ces deux groupes correspondent à la distinction faite dans la partie 2.1.3.1 à l'aide des mesures piézométriques avec les deux premiers piézomètres sous l'influence du drain et les deux autres dans la tourbière. Les mesures de pH confirment donc que le comportement de ces deux groupes est distinct. D'un côté, le drain alimente PIEZO_07 et 08 avec une eau probablement acide qui diminue donc le pH qu'on observerait normalement, dont PIEZO_09 et 10 sont le reflet.

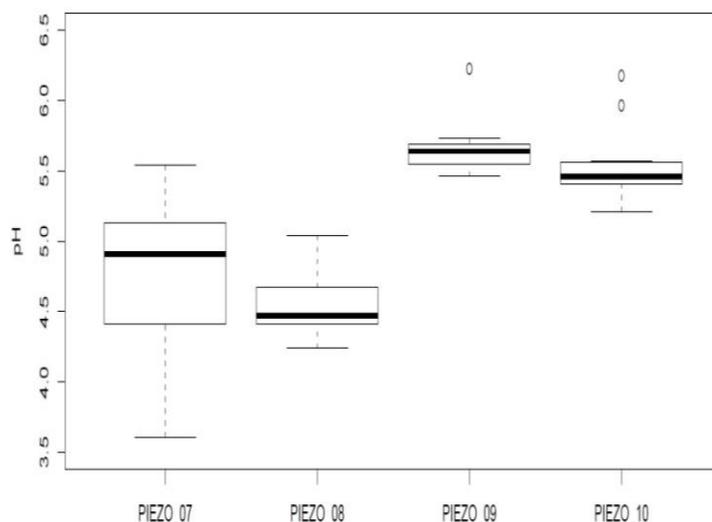


Figure 27 : Répartition des pH sur la série 2

En comparant ces résultats à ceux de la série 1, on constate effectivement que la gamme de pH de la tourbière semble bien être comprise entre 5,5 et 6. En revanche, le piézomètre PIEZO_03, situé plus en aval dans le même drain que PIEZO_07 et 08, possède des valeurs de pH comparable avec le reste de la tourbière et ne voit pas son pH diminuer du fait de l'influence du drain sur lui. Ainsi, soit le pH de l'eau du drain s'est homogénéisé avec le pH de la tourbière lors de son passage dans celle-ci, soit la diminution de pH observé pour PIEZO_07 et 08 provient d'une autre cause, qui pourrait être le peuplement d'épicéa situé juste en amont. En effet, ce dernier, en acidifiant le sol, acidifie par là-même l'eau du sol d'où cette valeur très faible de pH.

Enfin, les valeurs de pH mesurées directement dans le sol montrent de valeurs beaucoup plus faibles que celles trouvées dans les piézomètres des séries 1 et 2 (voir Figure 28). On se situe en effet dans une fourchette de 4,5 à 4 sauf pour PCH_03 et PCH_04 aux valeurs comprises entre 5,5 et 5. PCH_03 est situé dans une formation à *Carex paniculata*, qui signe un début d'atterrissement (stade intermédiaire entre la tourbière et la boulaie tourbeuse) et PCH_04 se situe sous la saulaie rivulaire du deuxième drain principal (comme PIEZO_05). Ces deux formations, distinctes de la tourbière à proprement parler, font donc augmenter le pH de l'eau libre du sol.

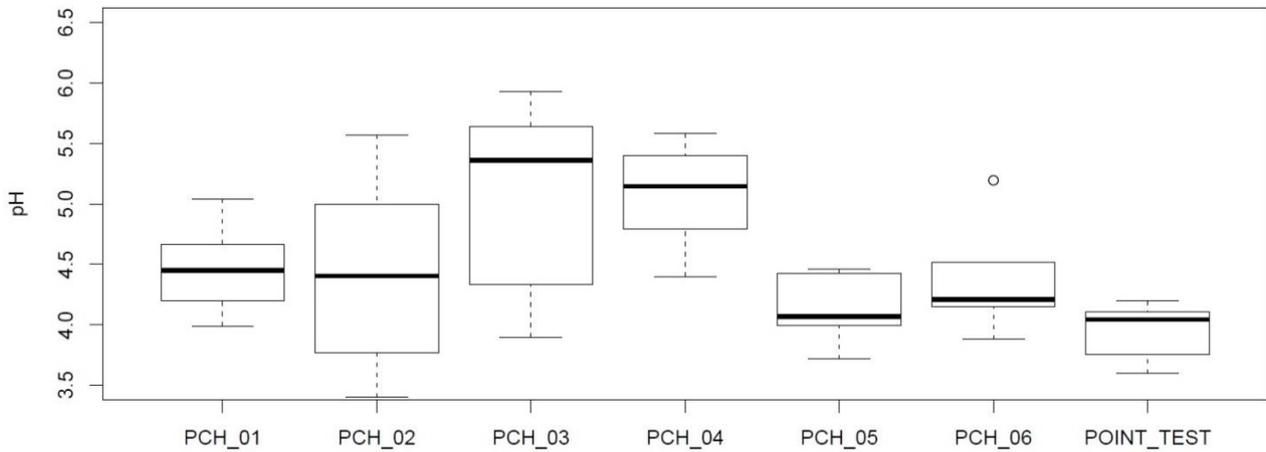


Figure 29 : Répartition des pH sur les points de mesure au sol dans la tourbière de la forêt de Bray

On remarque que les mesures dans les points au sol ont une plus grande variabilité (avec un écart-type de 0,5 en moyenne) que les valeurs observées dans les piézomètres, ce qui traduit les variations réelles ou une plus grande imprécision de mesure. Il semble quand même assez probable que les faibles variations de pH dans les piézomètres soient la preuve que les échanges d'eau ne se font pas assez bien pour que ceux-ci puissent fournir une mesure fiable du pH de la tourbière au cours de l'année. Les points de mesure au sol, même s'ils peuvent s'avérer parfois moins fiables notamment lorsqu'ils s'assèchent, constituent néanmoins un meilleur indicateur des variations de pH. **Ainsi, le pH de la tourbière de la forêt de Bray est plutôt compris dans une gamme de pH allant de 4 à 5.**

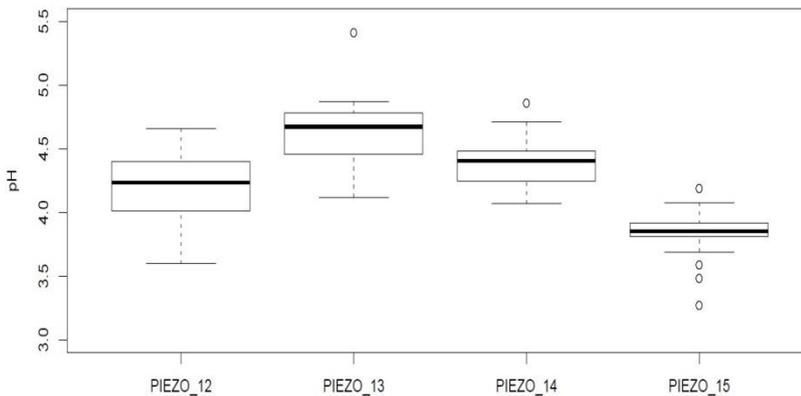


Figure 28 : Répartition des pH sur la série 3

La particularité des piézomètres de la série 3 est leur faible enfoncement dans le sol, du fait de difficultés d'installation (plancher argileux relativement proche de la surface, entre 1 et 1,5 m de profondeur). Le fil du pHmètre étant trop court pour atteindre l'eau dans les piézomètres, des trous au sol, semblables aux points de mesure au sol, ont été réalisés à la tarière et la mesure du pH s'est donc effectuée dans ces trous au sol et non directement dans le piézomètre. Les valeurs mesurées pour la série 3 ne souffrent donc pas des biais repérés pour les deux autres séries mais plutôt de ceux repérés pour les mesures dans les points au sol (problème de l'assèchement en été).

Ici, les pH sont clairement et constamment compris entre 4,5 et 4, avec parfois quelques valeurs extrêmes (de pH 3 à 5). De plus, la variabilité de ces valeurs est plus faible que pour les mesures de la tourbière de la forêt de Bray (respectivement 0,2 et 0,5 en moyenne). **Cette tourbière est donc acide avec une gamme de pH de l'eau libre du sol comprise entre 4 et 4,5.**

Pour la tourbière du bois Léon (série 3 et points de mesure au sol PCH_07, 08 et 09), les pH mesurés, représentés sur la Figure 29 pour la série 3 et la Figure 30 pour les points de mesure au sol, sont plus acides que pour la tourbière de la forêt de Bray. En effet, la gamme de pH observés au niveau de la série 3 est comprise entre 3,5 et 5 et entre 4 et 4,5 dans les points PCH_07, 08 et 09.

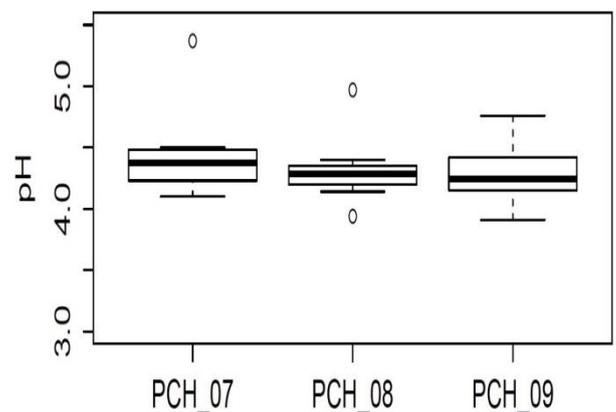


Figure 30 : Répartition des pH sur les points de mesure au sol dans la tourbière du Bois Léon

Dans Andersen (2011), on trouve des pH de référence entre 3 et 5 pour les tourbières ombrotrophes et de 4 à 7 pour les tourbières minérotrophes. La gamme de pH observée sur nos tourbières du pays de Bray ne permet donc pas de trancher pour l'un ou l'autre des types de tourbières.

2.1.4.3. Résultats de conductivités et discussion

Comme pour le pH ci-avant, les résultats de la campagne de mesure de conductivité sont présentés sous forme de box plots (voir script en annexe 5) afin de faciliter leur analyse. Les valeurs sont comprises entre 50 et 150 $\mu\text{S}/\text{cm}$ sur la tourbière de la forêt de Bray (séries 1 et 2 et points au sol PCH_01, 02, 03, 04, 05, 06 et POINT_TEST) alors qu'elles ne vont que jusqu'à 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ sur la tourbière du Bois Léon (série 3 et points au sol PCH_07, 08 et 09).

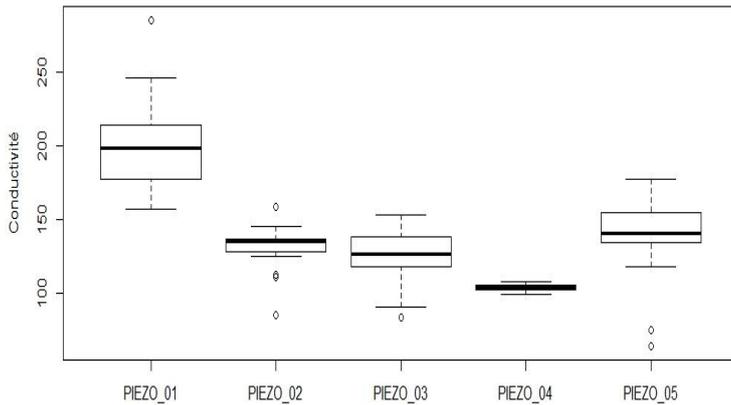


Figure 31 : Répartition des conductivités sur la série 1

On constate sur la Figure 31 la même séparation entre PIEZO_01 et le reste de la série : les conductivités mesurées y sont 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ plus élevées qu'ailleurs. Ceci peut s'expliquer par l'atterrissement observé au niveau de PIEZO_01, qui est situé en limite de tourbière. Les analyses pédologiques ont montré qu'il s'agit d'un sol brun acide, caractéristique des milieux para-tourbeux. Pour le reste de la série 1, les conductivités observées sont comprises entre 100 et 150 $\mu\text{S}/\text{cm}$, avec des variabilités plus ou moins élevées.

La Figure 32 nous montre des conductivités plus faibles pour la série 2, entre 60 et 120 $\mu\text{S}/\text{cm}$. On ne retrouve pas les deux groupes remarqués lors des analyses piézométriques et pHmétriques.

On retrouve ces valeurs de conductivité dans les points de mesure au sol du reste de la tourbière de la forêt de Bray (comprises entre 50 et 150 $\mu\text{S}/\text{cm}$), sur la Figure 33. Là encore, la variabilité des mesures est relativement importante.

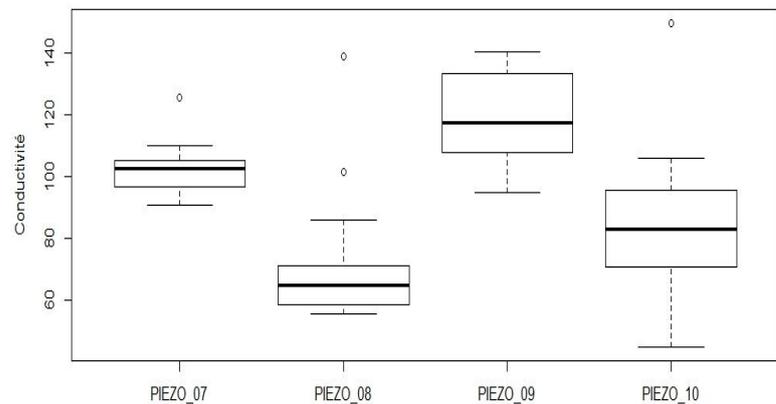


Figure 32 : Répartition des conductivités sur la série 2

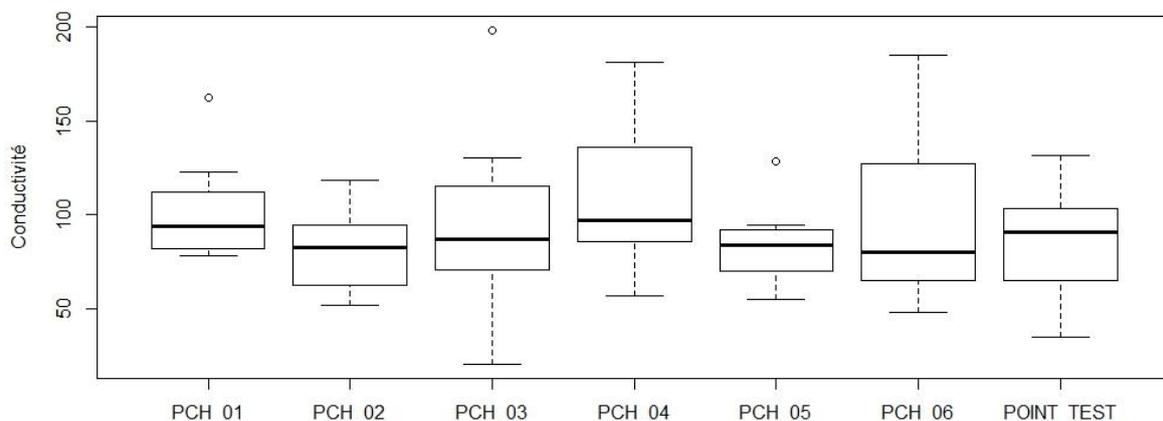


Figure 33 : Répartition des conductivités sur les points de mesure au sol sur la tourbière de la forêt de Bray

Dans Andersen (2011), les références de conductivité pour les tourbières ombrotrophes sont de 0 à 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et de 50 à 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dans les tourbières minérotrophes. Les conductivités ici mesurées sont là encore compatibles avec chacun des types, ne permettant pas de trancher pour l'un ou l'autre.

Concernant la série 3, dont les résultats sont présentés en Figure 34, on y observe des conductivités à l'intérieur des piézomètres de l'ordre de la centaine de $\mu\text{S}/\text{cm}$. Les cinq piézomètres présentent tous des valeurs de conductivité semblables, seule la variabilité du jeu de données varie sensiblement (avec écart-type moyen de 15).

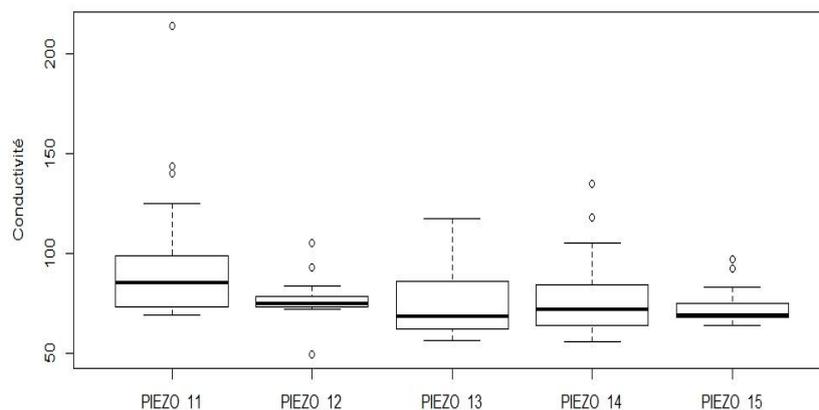


Figure 34 : Répartition des conductivités sur la série 3

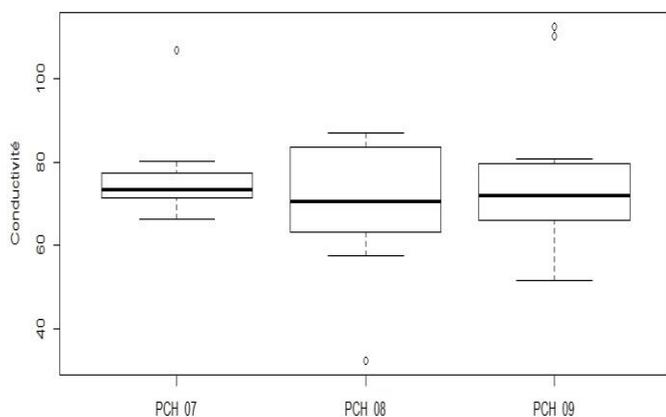


Figure 35 : Répartition des conductivités sur les points de mesures au sol dans la tourbière de la forêt de Bray

Les valeurs de conductivités sont aussi faibles dans les points de mesure au sol, entre 60 et 80 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Figure 35).

Ainsi, si on applique les références citées précédemment (Andersen, 2011) à ces valeurs, on peut pratiquement conclure à l'ombrotrophie de la tourbière du bois Léon, ce qui expliquerait le faible impact du drain principal qui la traverse sur celle-ci, bien moins dégradée que celle de la forêt de Bray. En effet, ses apports en eau ne sont pas menacés par un quelconque drainage puisqu'ils lui arrivent régulièrement avec les eaux météoriques.

2.1.4.4. Conclusion

Ainsi, on constate que les pH mesurés sur les séries sont généralement inférieurs à 5, ce qui permet de classer ces tourbes en tourbes acides (oligotrophes), d'après le référentiel pédologique (2008).

De plus, nous avons vu que les suivis pHmétriques et conductimétriques pouvaient nous permettre de conclure sur le type des tourbières (ombrotrophes ou minérotrophes) étudiées. En effet, on trouve dans Andersen (2011) des pH de référence pour les tourbières ombrotrophes de 3 à 5 et de 4 à 7 pour les tourbières minérotrophes ainsi que des conductivités de référence de 0 à 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour les tourbières ombrotrophes et de 50 à 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour les tourbières minérotrophes.

Dans le cas de la tourbière de la forêt de Bray, ce suivi montre une relative acidité, entre 4 et 5, et une conductivité plutôt faible, entre 50 et 150 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ces valeurs se situent exactement dans la zone intermédiaire entre les valeurs de référence de chacun des types de tourbière. On peut donc conclure à une tourbière mixte, avec une ombrotrophie plus prononcée que la minérotrophie.

De même, pour la tourbière du Bois Léon, les pH mesurés varient de 4 à 4,5 et les conductivités de 50 à 100. Ainsi, on aurait là aussi affaire à une tourbière mixte, néanmoins plus ombrotrophe que minérotrophe.

Synthèse : pH et conductivité de l'eau du sol	
Qualité :	Série 1 : 2
1 = Bonne	Série 2 : 3
2 = Moyenne	Série 3 : 1
3 = Mauvaise	

2.1.5. Analyses de l'eau d'alimentation et de sortie des tourbières

2.1.5.1. Principe

L'un des rôles attribués aux zones humides est d'épurer et de fixer les pollutions de l'eau qui les traversent. De plus, les tourbières acides sont des milieux pauvres en nutriments. Elles doivent donc être alimentées par une eau elle aussi oligotrophe (précipitations ou cours d'eau de tête de bassin versant, faiblement minéralisé). Afin de s'assurer de la qualité de l'eau d'alimentation des tourbières et de leur éventuel impact sur la chimie des cours d'eau qui les traversent, des analyses ont donc été réalisées en laboratoire. Les différents paramètres mesurés sont :

— la concentration en éléments azotés : nitrates (NO_3^-), nitrites (NO_2^-) et ammoniac (NH_4^+), qui révèlent le niveau trophique de l'eau. Pour une alimentation en eau de qualité de la tourbière, il faut que ces concentrations soient les plus faibles possibles (conditions oligotrophes).

— la concentration en orthophosphates (PO_4^{3-}), qui permet de révéler une pollution des eaux, les orthophosphates étant des composés naturellement peu présents dans les cours d'eau (c'est le principal facteur limitant du développement des végétaux aquatiques).

— la dureté de l'eau TC (= concentration en Ca^{2+}) et le titre alcalimétrique complet TAC (= concentration en hydrogénocarbonates HCO_3^-), influencés par la géologie. En effet, la dureté varie suivant la nature des roches traversées par l'eau et le TAC est un traceur des eaux souterraines.

— la concentration en fer dissous (Fe^{2+}) et en fer total. Dans les eaux bien aérées, le Fe^{2+} est oxydé en Fe^{3+} insoluble, qui précipite sous forme d'hydroxyde $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Dans les eaux souterraines, au contraire, l'absence d'oxygène fait que le fer reste en solution (Cholet et Jameau, 2010). Ainsi, en connaissant le rapport entre fer dissous et fer total, on peut déterminer le niveau d'oxygénation de l'eau et donc présumer de son origine (souterraine ou de surface).

— le pH, qui renseigne sur l'état d'acidité de l'alimentation en eau de la tourbière.

— la conductivité, qui reflète l'état de minéralisation de l'eau et ainsi l'importance de son temps de contact avec le substrat (une eau de pluie aura une conductivité très faible, inférieure à $50 \mu\text{S}/\text{cm}$, d'après Cholet et Jameau (2010)).

2.1.5.2. Protocoles expérimentaux

Cette analyse s'est faite à l'échelle de la tourbière. Pour celle de la forêt de Bray (séries 1 et 2), trois entrées d'eau ont été identifiées : une entrée principale au nord de la zone, qui fournit la majeure partie du débit de sortie, et deux entrées annexes, qui drainent les eaux des terrains à l'est de la zone et participent pour une moindre mesure au débit de sortie. A l'aval, toute cette eau s'évacue par une seule et unique sortie, qui canalise toutes les eaux provenant de la tourbière. Un prélèvement a été effectué pour chacun de ces points (voir Figures 36 et 37). Pour la tourbière du Bois Léon (série 3), seules une entrée et une sortie ont pu être identifiées. Elles sont situées sur le drain principal qui la traverse de part en part, un prélèvement ayant été effectué à l'amont de la zone (entrée) et un autre à l'aval (sortie).

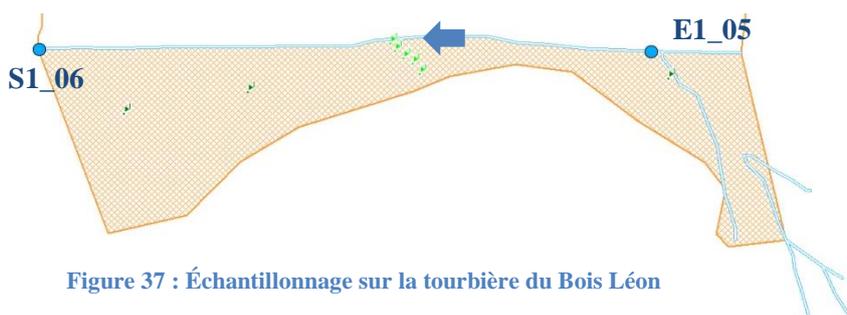


Figure 37 : Échantillonnage sur la tourbière du Bois Léon

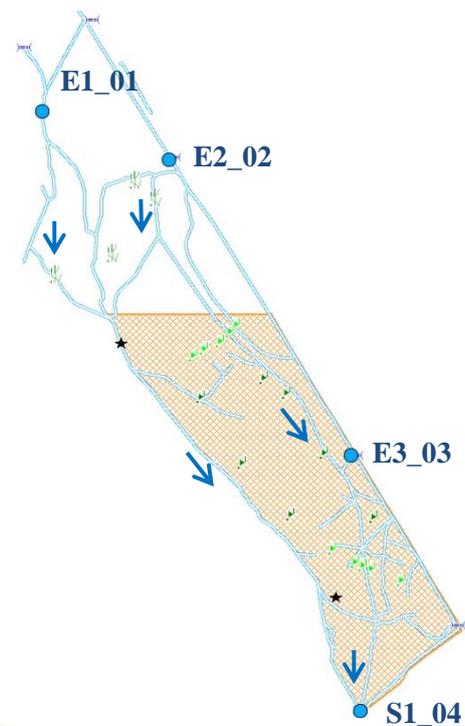


Figure 36 : Échantillonnage sur la tourbière de la forêt de Bray

Là encore, la situation diffère entre les deux tourbières : celle de la forêt de Bray présente des cours d'eau où le débit est relativement important (quelques dizaines de litres par seconde), ce qui facilite le prélèvement, alors que l'écoulement d'eau dans le drain de la série 3 est beaucoup plus restreint. Cela peut constituer un biais méthodologique : d'un côté, on a une eau de surface très circulante (donc relativement peu de matières en suspension issues du substrat) et de l'autre, on a une eau prélevée au contact du substrat, présentant une forte concentration de matières en suspension. En laissant reposer les échantillons avant analyse et en ne prélevant pas le dépôt, on limite ce biais.

Ces analyses ont été réalisées au laboratoire d'étude des eaux de l'Ecole nationale du génie de l'eau et de l'environnement de Strasbourg (E.N.G.E.E.S.), selon les protocoles suivants (protocoles complets en annexes 6 à 9):

- pour les concentrations en nitrates, nitrites, ammoniac et orthophosphates, nous avons utilisé des microméthodes : à partir d'un kit de réactifs pré-dosés, en quelques étapes simples, on détermine par colorimétrie les concentrations désirées.
- pour la dureté de l'eau, il s'agit d'un dosage en milieu basique à l'EDTA N/50 (acide éthylènediaminetétraacétique), selon la norme AFNOR T90.003.
- pour le titre alcalimétrique complet, il s'agit d'un dosage à l'acide chlorhydrique N/50, selon la norme NF EN ISO 9963.
- pour les concentrations en fer II et en fer total, la méthode utilisée est détaillée dans la norme ISO 6332. Il s'agit d'une spectroscopie à la phénantroline-1,10.
- pour le pH et la conductivité, la mesure s'est effectuée avec des sondes pHmétriques et conductimétriques classiques.

2.1.5.3. Résultats et discussion

Les résultats obtenus lors de ces analyses, effectuées du 9 au 12 avril 2013, sont synthétisés dans le tableau suivant :

Nom	[NO ₂] (mg/L)	[NO ₃] (mg/L)	[NH ₄ ⁺] (mg/L)	[PO ₄ ³⁻] (mg/L)	[Ca ²⁺] (mg/L)	[HCO ₃] (mg/L)	[Fe ²⁺] (mg/L)	Fer total (mg/L)	pH	σ (μS/ cm)
E1-01	0,010	< 1,3	< 0,04	< 0,9	1,6	13,42	0,20	0,68	4,90	77
E2-02	0,010	1,3	< 0,04	< 0,9	0,8	8,54	0,25	0,75	4,44	86
E3-03	0,030	4,0	0,04	< 0,9	1,4	10,98	< 0,01	0,71	4,28	108
S1-04	0,023	1,8	0,20	< 0,9	0,0	6,10	0,39	1,40	4,67	77
E1-05	0,010	< 1,3	< 0,04	< 0,9	1,2	9,76	< 0,01	0,19	4,18	82
S1-06	0,026	4,0	0,49	< 0,9	2,4	6,10	0,25	0,42	3,91	98

Tableau 3 : Résultats des analyses d'eau sur les deux tourbières. Source : L.E.E.

Pour les composés azotés (NO₃⁻, NO₂⁻ et NH₄⁺), les concentrations mesurées sont très faibles, parfois même en-deçà du domaine de mesure des microméthodes. Cela signe donc une absence de pollution azotée et une relative oligotrophie du milieu, qui constitue de bonnes conditions pour l'alimentation en eau de la tourbière. Pour les orthophosphates, mêmes conclusions : les concentrations mesurées sont très faibles (entre 0,9 et 0 mg/L). L'eau qui alimente la tourbière est donc de bonne qualité d'un point de vue trophique. On peut aussi noter que pour ces quatre paramètres, la concentration des échantillons de sortie est plus élevée que celle des échantillons d'entrée : le supposé rôle épurateur n'est donc pas à l'œuvre dans ces tourbières puisque la pollution azotée et phosphorée s'accumule un peu plus en sortie qu'à l'entrée. Cette constatation est cependant à mettre en perspective des faibles teneurs mesurées : il n'y a pas grand-chose à épurer.

Pour le calcium, les concentrations mesurées sont là encore très faibles. Ces eaux peuvent donc être considérées comme très pauvres en calcium, ce qui est plutôt compatible avec un écoulement de surface qui n'a pas encore eu le temps de se minéraliser.

De même, les TAC mesurés sont relativement faibles, traduisant des concentrations en hydrogénocarbonates elles-aussi faibles. Cela permet de conclure à la faible alcalinité de l'eau d'alimentation des tourbières et donc de leur relative acidité. Cette observation est confirmée par la mesure du pH des échantillons, compris entre 4 et 5. On peut remarquer que le pH de sortie est plus faible que celui à l'entrée. Pour la tourbière de la forêt de Bray (échantillons 01 à 04), cette diminution peut s'expliquer par les apports latéraux (E2-02 et E3-03) beaucoup plus acides que l'entrée principale et l'acidifiant donc. Mais pour la tourbière du bois Léon (échantillons 05 et 06), cette diminution ne peut être imputée qu'à la tourbière elle-même : les sphaignes captent le peu de minéraux que l'eau contient et rejettent des protons H^+ , qui provoque donc l'acidification de l'eau de sortie.

En ce qui concerne les concentrations en fer, elles sont cette fois un peu plus conséquentes, au moins pour le fer total. Cela peut s'expliquer par la présence de grès ferrugineux dans les environs de Forges-les-Eaux (d'où sa toponymie puisque ce minerai de fer y était utilisé jusqu'au Moyen-Age dans l'industrie métallurgique). Là encore, le rapport Fe^{2+}/Fe total plaide pour une eau de surface : seul un tiers du fer total est du fer dissous (pour la tourbière du pays de Bray), ce qui traduit une forte oxydation du Fe^{2+} soluble en Fe^{3+} , lui-même précipité en hydroxyde de fer. Et la différence entre entrée et sortie montre que l'eau se charge en fer en passant dans la tourbière.

La conductivité reste quant à elle compatible avec une eau faiblement minéralisée (un peu moins d'une centaine de $\mu S/cm$). L'influence de la tourbière sur ce paramètre n'est pas évident puisqu'on trouve la même gamme de conductivité à l'entrée et à la sortie des deux tourbières.

Si on met ces résultats dans la perspective du bassin versant de chacun de ces cours d'eau / drains, on peut conclure à une alimentation par une eau de ruissellement encore faiblement minéralisée, du fait des faibles superficies de chacun des bassins versants (400 hectares pour la forêt de Bray et 20 hectares pour le Bois Léon) et leur caractère exclusivement boisé donc protégé *a priori* de toute pollution d'origine anthropique.

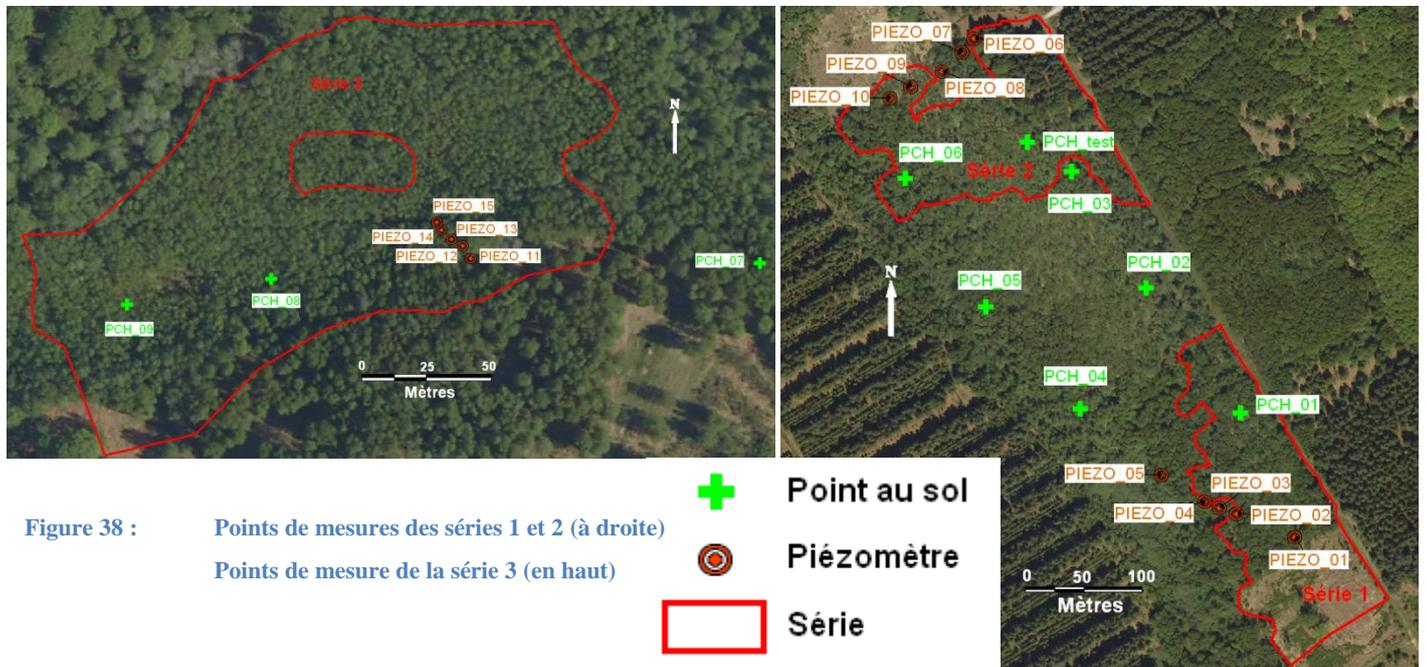
2.1.5.4. Conclusion

Ainsi, l'eau d'alimentation de ces deux tourbières est de bonne qualité, faiblement minéralisée, peu ou pas polluée (pollutions azotées et phosphorées) et relativement acide. Les dégradations observées ne proviennent donc pas de la qualité de l'eau d'alimentation. De plus, cette étude a montré l'influence minime de la tourbière dans l'épuration des eaux qui la traversent, contrairement à ce qu'on pourrait espérer d'une telle zone. Ce constat s'explique certainement par l'hydraulique dans la tourbière : le réseau de drainage mis en place concentre l'écoulement sur une faible surface (les drains) et l'accélère donc (Débit = Vitesse x Section). L'eau passe donc la tourbière sans avoir eu le temps de s'étaler et d'entrer en contact avec la tourbe et ressort comme elle était entrée, voire avec une qualité parfois moindre (exemple du fer).

Synthèse : Qualité de l'eau d'alimentation	
Qualité :	Série 1 : 1
1 = Bonne	Série 2 : 1
2 = Moyenne	Série 3 : 1
3 = Mauvaise	

2.2. Diagnostic pédologique

Le diagnostic pédologique a été réalisé à partir de carottes de sol prélevées à proximité de chacun des piézomètres et des points au sol. Il y a 19 points d'analyse pédologique dans la tourbière de la forêt de Bray (5 points sur chaque série, 6 points entre les deux séries et 3 points dans les landes des séries 1 et 2) et 8 points dans celle du Bois Léon (5 points sur la série 3 et 3 points de part et d'autre de celle-ci). La Figure 38 présente la répartition de ces points d'analyse.



Sur chacun de ces points, on effectue une batterie d'analyses :

- détermination de l'indice de régénéralité de la tourbe (Gobat, 1985), obtenu en couplant la granulométrie des tourbes (taux de fibres) et l'indice pyrophosphate (mesurant le degré de décomposition chimique de la tourbe). Cet indice nous permet de connaître l'état de dégradation de la tourbe et donc d'orienter les actions de restauration vers les zones les plus susceptibles de régénéralité.
- mesure du pH du sol, qui permet d'estimer l'acidité réelle du sol (eau libre et eau liée du sol)
- détermination des teneurs en cendres et en eau. Le taux en cendres permet de connaître la proportion de carbone minéral et la teneur en eau permet d'évaluer l'engorgement du sol en eau.
- analyse de la banque de semences (= cryptopotentialités), développée dans la partie 2.3.1.

2.2.1. Indice de régénéralité

2.2.1.1. Protocole expérimental

Les échantillons de sol ont été récoltés à l'aide d'une tarière à tourbe (voir Figure 39). On obtient ainsi des carottes de sol de 8 cm de diamètre sur 20 cm de longueur. Une fois extrait, l'échantillon est fragmenté suivant les différents horizons distinguables. Les critères choisis pour différencier ces horizons sont la couleur, la texture et le taux de fibres.

On obtient ainsi 80 échantillons sur les 27 points d'analyse, suite à la fragmentation. Sur ce total, 54 sont des échantillons tourbeux qui subissent donc les analyses de granulométrie, d'indice pyrophosphate, de teneur en eau et de teneur en cendre au laboratoire ECODIV de l'Université de Rouen.

Figure 39 : Tarière à tourbe



L'indice de régénéralité des tourbes (IR) se calcule à partir de la formule suivante :

$$\text{Indice de régénéralité} = \frac{\text{Taux de fibres (en \%)}{\text{Indice pyrophosphate}}$$

Le taux de fibres est déduit de la granulométrie : les fibres sont les éléments de plus de 200 µm. Après séchage à 105°C, on pèse les différentes fractions obtenues lors du tamisage et on détermine ainsi le taux de fibres en rapportant le poids des fractions supérieures à 200 µm au poids total (protocole complet en annexe 10). On distingue ainsi trois types de tourbe, d'après la classification Soil Science Society of America, (SSSA, 1974) utilisée par Diné & Lévesque (1976) :

- les tourbes **fibriques** sont faiblement décomposées (taux de fibre supérieur à 40%) ;
- les tourbes **mésiques** sont moyennement décomposées (entre 40 et 10% de fibres) ;
- les tourbes **sapriques** sont fortement décomposées (moins de 10% de fibres).

L'indice pyrophosphate est quant à lui déterminé par spectroscopie : le pyrophosphate permet d'extraire les acides fulviques (jaunes) et humiques (bruns), qui sont les produits de dégradation de la tourbe. On mesure ensuite l'absorbance à 550 nm et on obtient l'indice pyrophosphate en la multipliant par 100 (protocole en annexe 10). Plus l'absorbance sera faible, moins la tourbe sera décomposée. La classification précédente peut-être reprise avec cet indice (SSSA, 1974) :

- les tourbes fibriques ont un indice pyrophosphate inférieur à 15 ;
- les tourbes mésiques ont un indice pyrophosphate compris entre 15 et 30 ;
- les tourbes sapriques ont un indice pyrophosphate supérieur à 30.

On a ainsi tous les éléments pour pouvoir calculer l'indice de régénéralité, qui permet classer les échantillons suivant leur degré de régénéralité (Gobat, 1985) :

- pour un IR supérieur à 10, la tourbe est intacte et est donc totalement régénéral ;
- pour un IR compris entre 1 et 10, la tourbe a subi des perturbations mais assez peu pour être encore susceptible de se régénérer après travaux ;
- pour un IR inférieur à 1, la tourbe est trop dégradée et n'est plus régénéral.

2.2.1.2. Résultats et discussion

La granulométrie et l'indice pyrophosphate sont déterminés pour chacun des échantillons tourbeux. On a donc une valeur d'indice de régénéralité par horizon (un échantillon = un horizon) et donc en général 3 valeurs par point d'analyse. Le tableau complet des résultats d'indice de régénéralité des tourbes est présenté en annexe 12. Afin de faciliter la compréhension, les tableaux 4 et 5 présentent uniquement les résultats des horizons ayant un indice de régénéralité supérieur à 1.

Point	Horizon	Profondeur (en cm)	Taux de fibres (%)	Indice pyrophosphate	Indice de régénéralité
PIEZO_02	1	0 - 5	73,1	9,8	7,46
PIEZO_04	1	0 - 3	57,3	8,9	6,44
PIEZO_07	1	0 - 4	48,3	25,4	1,90
PIEZO_08	1	0 - 6	36,5	18,7	1,95
PIEZO_09	1	0 - 4	49,6	10,9	4,55
PIEZO_10	1	0 - 5	41,0	29,5	1,39
PCH_test	1	0 - 4,5	29,0	20	1,45
PCH_01	1	0 - 7	45,1	41,8	1,08
PCH_02	1	0 - 7,5	63,7	13	4,90
PCH_02	2	7,5 - 13	39,2	32,2	1,22
PCH_03	1	0 - 8	64,7	22,4	2,89
PCH_03	2	8 - 13	41,6	31,8	1,31
PCH_04	1	0 - 5	36,6	28,4	1,29
PCH_05	1	0 - 5	37,9	35,8	1,06
PCH_06	1	0 - 4	53,2	31,7	1,68

Tourbe fibrique
Tourbe mésique
Tourbe saprique

Tableau 4 : Indice de régénéralité pour la tourbière de la forêt de Bray. Source : ECODIV (Elodie Brunet)

Point	Horizon	Profondeur (en cm)	Taux de fibres (%)	Indice pyrophosphate	Indice de régénéralité
PIEZO_13	1	0 - 10	51,4	21,4	2,40
PIEZO_15	1	0 - 8	55,1	22,7	2,43
PIEZO_15	2	8 - 20	60,6	36,4	1,67
PCH_08	1	0 - 5,5	60,8	4,6	13,21
PCH_08	2	5,5 - 20	50,5	7,1	7,11
PCH_09	2	5 - 10	56,4	10,6	5,32
PCH_09	3	10 - 20	43,1	11,9	3,62

Tableau 5 : Indice de régénéralité pour la tourbière du Bois Léon.
Source : ECODIV (Elodie Brunet)

On constate que les seuls indices de régénéralité corrects se trouvent dans les horizons superficiels (entre 0 et 5 cm de profondeur). La tourbe y est dégradée mais est encore susceptible de régénéralité après travaux. Sous cet horizon superficiel, la tourbe a des indices inférieurs à 1, signe qu'elle est vraiment trop dégradée pour envisager une restauration. Cette différence marquée entre horizons superficiels et profonds s'explique par l'histoire du site et la dynamique naturelle de la tourbe. En effet, les processus de dégradation sont ralentis dans les tourbières du fait de l'absence d'oxygène, mais ont quand même lieu à des vitesses faibles. Ainsi, plus la tourbe vieillit, plus elle se dégrade et perd sa structure fibrique. Or, l'extraction d'un mètre de tourbe au XIX^e siècle a fait affleurer une tourbe plus que millénaire, et donc naturellement dégradée et saprique. Ceci laisse donc peu de marges de manœuvre pour le décapage des zones à molinie, puisqu'on ne peut pas enlever plus de 5 cm sous peine d'arriver dans une tourbe trop dégradée pour se régénérer.

Concernant la comparaison entre les séries et entre les points au sol, on remarque que les indices sur la série 1 (plus de 6) sont sensiblement meilleurs que sur la série 2 (entre 1,5 et 4,5). La plupart des points au sol de la tourbière de la forêt de Bray ont des indices eux aussi médiocres (aux alentours de 1 avec quelques points plus élevés, aux environs de 5). **Les indices de régénéralité poussent donc le choix de la zone des travaux de restauration vers la série 1.**

Pour la tourbière du bois Léon, les indices de régénéralité au niveau des piézomètres sont d'environ 2,5 mais on trouve des valeurs beaucoup plus élevées dans la tourbière active (PCH_08 et PCH_09). Ces derniers points sont régénérables, voire même intacts (IR > 10 pour le premier horizon de PCH_08), sur au moins 20 cm de profondeur. **Cela démontre le meilleur état de conservation de cette tourbière comparée à celle de la forêt de Bray**, corroboré par les observations des végétations *in situ* (Canneberge, Bruyère à quatre angles, Linaigrette vaginée et à feuilles étroites).

On peut aussi noter que la classification de tourbes fibriques, mésiques ou sapriques diffère selon le paramètre utilisé (taux de fibre ou indice pyrophosphate). Le taux de fibre me semble néanmoins plus fiable que l'indice pyrophosphate. En effet, les biais possibles lors de manipulations sont moindres avec la première, puisqu'il s'agit d'une séparation mécanique d'éléments puis d'une comparaison de poids entre les fractions séparées, alors que la détermination de l'indice pyrophosphate fait intervenir une réaction chimique entre pyrophosphate et acides de dégradation, une filtration puis une mesure de l'absorbance du filtrat, ce qui occasionne des biais conséquents (surtout lors de la filtration, qui se fait en ajoutant de l'eau distillée jusqu'à ce que le filtrat soit transparent à la sortie du filtre). Ainsi, si on se base uniquement sur le taux de fibres pour déterminer la structure de la tourbe, tous les horizons de surface régénérables sont fibriques ou légèrement mésiques (jamais moins de 35% de fibres).

Les points au niveau des piézomètres PIEZO_01, PIEZO_06, PIEZO_11 et PIEZO_12 ont révélé un sol non tourbeux et n'ont donc pas subi les analyses d'indice de régénéralité. C'est sur ces points qu'est envisagé de rétablir de la lande sèche.

Le point PIEZO_03 n'a pas pu être échantillonné car il se situe dans le drain. Pour PIEZO_05 (sous la saulaie rivulaire au fond de la série 1), PIEZO_14 (dans la série 3) et PCH_07 (dans une zone à buttes de Polytric commun), les indices de régénéralité calculés se sont révélés inférieurs à 1 pour tous les horizons. Pour PIEZO_05 (IR = 0,5), cela signifie que la zone des travaux de restauration de la série 1 devra s'arrêter au niveau de PIEZO_04. Ainsi, la conservation de la saulaie crée une mosaïque de milieux favorable à la biodiversité et est recommandée par Dupieux (1998) pour une gestion conservatoire des tourbières. Pour PCH_07, cela prouve que les faciès à buttes de Polytric commun signent effectivement une dégradation de la tourbière originelle.

2.2.1.3. Conclusion

L'indice de régénéralité des tourbes apparaît comme un bon indicateur d'état de conservation du milieu et peut donc intervenir dans le choix d'une série pour la restauration. Il ressort de cette analyse que seuls les horizons superficiels sont régénéralés, impliquant donc des travaux de décapage sur une faible épaisseur. La série 1 apparaît en meilleur état que la série 2. La tourbière du bois Léon est quant à elle en meilleur état que celle de la forêt de Bray, voire même par endroits intacte.

Synthèse : Indice de régénéralité	
Qualité :	Série 1 : 2
1 = Bonne	Série 2 : 3
2 = Moyenne	Série 3 : 1
3 = Mauvaise	

2.2.2. Teneur en cendres et teneur en eau

2.2.2.1. Protocole expérimental

Les teneurs en cendre et en eau sont déterminées dans les 54 échantillons tourbeux (comme précédemment pour l'indice de régénéralité). Réalisées au laboratoire ECODIV de l'Université de Rouen, ces analyses reposent sur les protocoles suivants (voir en annexe 11) :

— Les taux de cendres sont mesurés après calcination des échantillons à 350°C pendant 1 heure puis 450°C de nouveau pendant 1 heure et enfin 600°C pendant 2 heures : cette calcination permet de détruire entièrement la matière organique. Après ce chauffage, il ne reste plus que le carbone minéral de l'échantillon initial. Le rapport de la masse finale et initiale nous donne le taux de cendres. Il nous renseigne sur l'état de minéralisation de la tourbe : plus il est élevé, plus la tourbe est minéralisée.

— Les teneurs en eau ont été déterminées après séchage des échantillons à 105°C pendant 2 jours. On calcule ainsi la teneur en eau :

$$Teneur\ en\ eau = \frac{Masse\ fraîche - Masse\ sèche}{Masse\ fraîche} \times 100$$

Le Référentiel pédologique (2008) fait état d'un taux de cendre inférieur à 50% dans une tourbe normale. Au-delà de 20% de matière minérale, on peut considérer que la tourbe a été minéralisée. De même, la teneur en eau doit être assez élevée pour pouvoir assurer un engorgement suffisant au maintien des conditions anoxiques typiques des milieux tourbeux (plus de 88%).

2.2.2.2. Résultats et discussion

Point	Profondeur (en cm)	Taux de cendres	Teneur en eau
PIEZO_02	0 - 5	29,8%	80,6%
PIEZO_04	0 - 3	5,1%	90,4%
PIEZO_07	0 - 4	4,1%	84,5%
PIEZO_08	0 - 6	6,1%	87,2%
PIEZO_09	0 - 4	6,8%	92,8%
PIEZO_10	0 - 5	7,4%	83,7%
PCH_test	0 - 4,5	8,8%	86,4%
PCH_01	0 - 7	13,1%	83,5%
PCH_02	0 - 7,5	8,1%	89,8%
PCH_02	7,5 - 13	11,8%	86,4%
PCH_03	0 - 8	8,0%	92,2%
PCH_03	8 - 13	10,2%	88,5%
PCH_04	0 - 5	8,8%	83,6%
PCH_05	0 - 5	5,8%	82,6%
PCH_06	0 - 4	8,7%	82,3%

La table complète des résultats se trouve en annexe 13. Pour faciliter la lecture des résultats, seules les teneurs en eau et en cendres des horizons régénéralés (IR > 1) sont ici représentés (tableaux 6 et 7) :

Point	Profondeur (en cm)	Taux de cendres	Teneur en eau
PIEZO_13	0 - 10	7,7%	89,5%
PIEZO_15	0 - 8	4,7%	90,3%
PIEZO_15	8 - 20	15,3%	89,5%
PCH_08	0 - 5,5	3,5%	90,4%
PCH_08	5,5 - 20	9,9%	91,6%
PCH_09	5 - 10	6,0%	91,2%
PCH_09	10 - 20	9,6%	90,8%

Tableau 6 : Taux de cendres et teneurs en eau de la tourbière du bois Léon. Source : Elodie Brunet - ECODIV

Tableau 7 : Taux de cendres et teneurs en eau de la tourbière de la forêt de Bray. Source : Elodie Brunet - ECODIV

On constate que les taux de cendres sont tous inférieurs à 50%, ce qui prouve l'état de minéralisation correct des tourbes étudiées. Ils sont particulièrement bas dans les horizons de surface, prouvant l'importance de la faible minéralisation pour la régénéralité de la tourbe. Deux exceptions sont toutefois à noter : l'horizon 3 (14 à 20 cm de profondeur) du point PIEZO_13 a un taux de cendre de 68% et les valeurs du point PCH_07 (50%) signent que c'est bien l'incendie qui a provoqué la formation du faciès à buttes de Polytric commun observé sur site (l'incendie provoque en effet un apport massif de matière minérale), confirmant ainsi les explications de Frileux (1977).

Pour les teneurs en eau, là encore les valeurs mesurées sont relativement satisfaisantes dans les horizons de surface et particulièrement dans la tourbière du bois Léon (souvent plus de 90% d'eau, qui prouve bien l'engorgement du milieu et donc le bon état relatif de cette tourbière). Les valeurs les plus basses s'observent dans les horizons les plus profonds et sont souvent associés à un taux de cendres élevé (par exemple, l'horizon 3 de PIEZO_13, déjà signalé pour son taux de cendres particulièrement élevé de 68%, a la teneur en eau la plus faible avec 70,7%). Ainsi, une tourbe dégradée saprique présente une incapacité à retenir l'eau (teneur en eau faible) ce qui provoque l'assèchement à l'origine de la minéralisation (taux de cendres élevé). En effet, les sphaignes qui composent les débris végétaux de la tourbe possèdent, même mortes, un certain pouvoir de rétention de l'eau, qui diminue peu à peu au fil du processus de dégradation de celles-ci.

2.2.2.3. Conclusion

Ces mesures de taux de cendres et de teneur en eau montrent que les échantillons ont presque tous des valeurs compatibles avec une qualité plutôt bonne de tourbe (engorgement relativement important et faible minéralisation). C'est particulièrement vrai pour les horizons de surface, qui ont des indices de régénéralité supérieurs à 1 et de très bons résultats pour ces deux nouveaux paramètres. C'est donc bien ces horizons qui sont en meilleur état d'où l'intérêt de ne pas décaper la tourbe trop profond, voire même de ne pas décaper du tout si le matériel n'est pas adapté, vu la précision réclamée.

Synthèse :	Taux de cendres	Synthèse :	Teneur en eau
Qualité :	Série 1 : 2	Qualité :	Série 1 : 2
1 = Bonne	Série 2 : 1	1 = Bonne	Série 2 : 2
2 = Moyenne	Série 3 : 2	2 = Moyenne	Série 3 : 1
3 = Mauvaise		3 = Mauvaise	

2.2.3. Mesure du pH du sol

Pour les mesures de pH du sol, les 80 échantillons ont été analysés. La mesure est effectuée sur un mélange d'une unité de sol pour 2,5 unités d'eau distillée, permettant de libérer l'eau liée aux particules et ainsi avoir une mesure de l'acidité réelle du sol (les mesures de terrain (partie 2.1.4) ne mesurent que le pH de l'eau libre du sol). La table complète des résultats est présentée en annexe 14.

On peut constater l'acidité manifeste de ces échantillons, avec des pH variant de 3 à 5. Pour les échantillons non tourbeux, qui représentent les zones potentiellement restaurables en landes, l'acidité est comprise entre 3,5 et 4,5. Le pH augmente avec la profondeur : de 3,5 à 4 en surface, on diminue progressivement, horizon par horizon, vers des gammes de 4 à 4,5 à 60 cm de profondeur. Les podzols qui constituent ces sols sont donc acidifiés par la végétation présente en surface (épicéas, fougère).

Pour les échantillons tourbeux, les valeurs sont du même ordre de grandeur. On peut noter sur la plupart des points de mesure le même gradient de pH en fonction de la profondeur.

Les valeurs de pH des échantillons de surface sont relativement faibles (entre 3,5 et 4) et diminuent avec la profondeur. Cela plaide donc encore une fois pour des travaux sur de faibles épaisseurs de tourbe, afin de rester dans un milieu aux conditions physico-chimiques optimales pour la régénéralité de la tourbe.

Synthèse :	pH du sol
Qualité :	Série 1 : 2
1 = Bonne	Série 2 : 2
2 = Moyenne	Série 3 : 2
3 = Mauvaise	

2.3. Diagnostic écologique

Afin de compléter cette batterie déjà imposante d'analyses, nous nous sommes cette fois intéressés aux végétations présentes sur site (mousses, fougères et angiospermes) et à l'état des semences dans le sol (= cryptopotentialités). Ces analyses ont été menées en partenariat avec le Conservatoire botanique national de Bailleul (C.B.N.BI), particulièrement pour l'analyse de la banque de semences du sol.

2.3.1. Cryptopotentialités

2.3.1.1. Protocole expérimental

Les cryptopotentialités ont été étudiées pour 25 échantillons réalisés à proximité des piézomètres et des points de mesures au sol, sur les tourbières de la forêt de Bray et du Bois Léon (voir Figures 38 et 39). L'analyse a été confiée au Conservatoire botanique national de Bailleul.

Une carotte de tourbe de 16 cm a été extraite pour chaque point échantillonné à l'aide de la tarière à tourbe présenté dans la partie précédente (partie 2.2.1.1). Cette carotte a ensuite été divisée en 6 fractions : 0-2, 2-4, 4-7, 7-10, 10-13 et 13-16 cm de profondeur. Chaque fraction a été mise en culture séparément, dans une pièce aux conditions de température, luminosité et hygrométrie maîtrisées. Une première levée (naturelle) a alors eu lieu et les pousses, une fois identifiées, ont été supprimées. Afin de réveiller les graines qui seraient encore en dormance, les échantillons ont été traités au nitrate de potassium (un activateur de germination). Les pousses issues de cette levée de dormance ont-elles aussi été identifiées puis supprimées. Enfin, pour s'assurer qu'il n'y ait plus de graines viables qui ne se seraient pas encore exprimé dans les échantillons, ces derniers ont subi une stratification au froid et à l'obscurité pendant 4 semaines (Valentin, 2011).

2.3.1.2. Résultats et discussion

Les résultats obtenus pour les différentes séries montrent des banques de semences très pauvres, tout du moins en espèces patrimoniales :

Profondeur (cm)	0 - 2	2 - 4	4 - 7	7 - 10	10 - 13	13 - 16	Total
Juncus effusus	17	21	13	29	24	6	110
Betula sp.	33	34	1				68
Molinia caerulea	6	9	2				17
Carex nigra			1	2			3
Digitalis purpurea	1	1					2
Carex echinata				1		1	2
Carex sp.	1		1				2
Carex panicea		1					1
Nombre total de germinations par fraction	58	66	18	32	24	7	205

Tableau 8: Cryptopotentialités de la série 1 (PIEZO_01, 02, 03, 04 et 05 confondus). Source : C.B.N.BI

Le tableau 8 présente les banques de semences trouvées dans la série 1, tous points confondus. La grande majorité des végétaux qui se sont exprimés sont le jonc, présent jusqu'à 13 cm de profondeur et le bouleau, présent uniquement jusqu'à 4 cm, accompagné d'un peu de molinie et de quelques carex (*Carex nigra* sur PIEZO_02, *Carex panicea* sur PIEZO_05 et *Carex echinata* sur PIEZO_01 et 03) seulement dans les horizons superficiels (jusqu'à 10 cm de profondeur). On note la présence de la digitale pourpre (*Digitalis purpurea*), signe d'un atterrissement et d'une mise en lumière du milieu.

Il n'y a donc pas de traces d'*Erica tetralix* dont on retrouve pourtant un individu à proximité de PIEZO_02, ni d'aucune autre éricacée typique des milieux tourbeux comme la canneberge. La banque de semence de la série 1 est donc très pauvre en espèces patrimoniales (seulement trois *Carex nigra*, deux *Carex echinata* et un *Carex panicea*), parcellaire et présente quasiment uniquement dans les horizons superficiels (de 0 à 10 cm de profondeur).

Profondeur (cm)	0 - 2	2 - 4	4 - 7	7 - 10	10 - 13	13 - 16	Total
Calluna vulgaris			17	22	1	4	44
Carex sp.			1	1			2
Betula sp.		2					2

Tableau 9 : Cryptopotentialités au niveau de PIEZO_06. [Source](#) : C.B.N.BI

Profondeur (cm)	0 - 2	2 - 4	4 - 7	7 - 10	10 - 13	13 - 16	Total
Juncus effusus			2	3		1	6
Betula sp.	4	1					5
Molinia caerulea	2	1					3

Tableau 10 : Cryptopotentialités de la série 2 (PIEZO_07, 08, 09 et 10 confondus). [Source](#) : C.B.N.BI

Pour la série 2 aussi, les résultats de cryptopotentialités sont décevants, avec très peu d'espèces exprimées. On constate néanmoins sur le tableau 9 que l'échantillon situé au niveau de PIEZO_06 possède presque exclusivement dans sa banque de graines de la callune, reflet du faciès de landes attendu sur cette zone du gradient. En revanche, le reste de la série est pratiquement vide de graines viables et ne possède aucune espèce patrimoniale, seulement un peu de jonc, de bouleau et de molinie.

Les résultats de cryptopotentialités sur la série 2 (tableau 10) montrent donc clairement l'absence de graines viables dans le sol, à part de la callune sur PIEZO_06. Cette lacune peut néanmoins servir à la restauration puisque ces terrains étant vierge des semences des espèces indésirables (bouleau, molinie), le champ est libre pour les espèces désirées, à condition de recréer des conditions écologiques qui leur soient favorables (et défavorables aux autres espèces).

Profondeur (cm)	0 - 2	2 - 4	4 - 7	7 - 10	10 - 13	13 - 16	Total
Calluna vulgaris	22	2	2				26
Molinia caerulea				2	2		4
Juncus effusus		1	1	1			3

Tableau 11 : Cryptopotentialités au niveau de PIEZO_11. [Source](#) : C.B.N.BI

Profondeur (cm)	0 - 2	2 - 4	4 - 7	7 - 10	10 - 13	13 - 16	Total
Juncus acutiflorus	11	66	70	39	11		197
Betula sp.	13	4	2	4	2		25
Juncus effusus	2	4	1	9	4		20
Molinia caerulea	2	1		1			4
Nombre total de germinations par fraction	28	75	73	53	17	0	246

Tableau 12 : Cryptopotentialités de la série 3 (PIEZO_12, 13, 14 et 15 confondus). [Source](#) : C.B.N.BI

Pour la série 3, les tableaux 11 et 12 mettent là encore en évidence l'absence de banque de semences du sol conséquente. De même que pour la série 2, la callune s'exprime sur le premier point de la série, au niveau de PIEZO_11, là où l'on attend de la lande. Elle se situe cette fois dans les horizons superficiels (de 0 à 2 cm de profondeur principalement), ce qui veut dire qu'elle pourrait repartir naturellement si on lui donnait les moyens de croître (en éliminant la concurrence de la fougère aigle). Pour le reste de la série, la banque de semence est largement dominée par le jonc et on note là encore l'absence totale d'espèces patrimoniales alors même qu'on les observe quelques mètres plus bas, dans la tourbière encore active.

Ainsi, la banque de semences de la série 3 se concentre là-encore dans les 10 premiers cm du sol et ne contient aucune espèce typique des milieux tourbeux.

Profondeur (cm)	0 - 2	2 - 4	4 - 7	7 - 10	10 - 13	13 - 16	Total
Juncus effusus	47	34	23	73	73	6	256
Juncus acutiflorus		1	3	32	20	1	57
Digitalis purpurea	1	6	2				9
Betula sp.	6	1	1				8
Molinia caerulea	2	3		1			6
Carex panicea				1			1
Nombre total de germinations par fraction	56	45	29	107	93	7	337

Tableau 13 : Cryptopotentialités au niveau de points au sol (PCH_01, 02, 03, 04, 05 et 06 confondus) de la tourbière de la forêt de Bray. [Source](#) : C.B.N.BI

On remarque que sur le reste de la tourbière de la forêt de Bray, les résultats ne sont guère plus encourageants avec une profusion de jonc (*Juncus effusus* et *Juncus acutiflorus*) dans toute la hauteur de la carotte et notamment entre 7 et 13 cm de profondeur. On peut noter la faible représentation des semences de bouleau et de molinie, pourtant bien présents sur site, par le fait que la molinie se développe ici surtout par multiplication végétative et ne produit donc que peu de graines et qu'elle forme un tapis si dense au sol que les semences de bouleau ne peuvent l'atteindre. Enfin, aucune espèce patrimoniale n'apparaît dans ces analyses (seulement une pousse de *Carex panicea* sur un total de 337 pousses). **La banque de semence sur la tourbière de la forêt de Bray est donc elle aussi pauvre, parcellaire et concentrée dans les premiers centimètres du sol, à l'image des séries 1 et 2.**

Profondeur (cm)	0 - 2	2 - 4	4 - 7	7 - 10	10 - 13	13 - 16	Total
Juncus acutiflorus			1	27	85		113
Betula sp.	28	5					33
Hydrocotyle vulgaris			2	9	19		30
Molinia caerulea		1					1
Nombre total de germinations par fraction	28	6	3	36	104	0	177

Tableau 14 : Cryptopotentialités au niveau du point PCH_07 (Bois Léon). [Source](#) : C.B.N.BI

Pour la tourbière du Bois Léon, les 3 points au sol ont été traités séparément car ils sont totalement différents. En ce qui concerne PCH_07, mis à part une forte représentation de jonc de 7 à 13 cm de profondeur et de bouleau dans les deux premiers centimètres du sol, on note la présence d'*Hydrocotyle vulgaris*, surtout à partir de 10 cm de profondeur, plante d'intérêt patrimonial en Haute-Normandie.

Pour PCH_08, seules 5 pousses de bouleau ont été relevées, uniquement dans les premiers centimètres du sol (de 0 à 7 cm). Ce relevé est donc particulièrement pauvre, surtout quand on voit sa position sur le bord de la tourbière encore active et son indice de régénéralité très élevé en surface (13,2) signifiant que cette tourbe n'a pas subi de dégradations.

Profondeur (cm)	0 - 2	2 - 4	4 - 7	7 - 10	10 - 13	13 - 16	Total
Erica tetralix	19	31	19	4			73
Betula sp.	6	4		2	2		14
Juncus acutiflorus			1				1
Nombre total de germinations par fraction	25	35	20	6	2	0	88

Tableau 15 : Cryptopotentialités au niveau du point PCH_09 (Bois Léon). [Source](#) : C.B.N.BI

Enfin, PCH_09 révèle les meilleures cryptopotentialités de ces échantillons puisqu'il est le seul à exprimer des semences d'*Erica tetralix* en grand nombre (73 levées pour 88 au total). Cette banque de semences se situe dans les dix premiers centimètres du sol et signe bien le bon état écologique observé *in situ* avec de nombreux pieds de Bruyère à quatre angles (*Erica tetralix*), de Canneberge (*Vaccinium oxycoccos*) et de Linaigrette vaginée (*Eriophorum vaginatum*) et à feuilles étroites (*Eriophorum angustifolium*). On peut aussi noter la présence du bouleau dans cette banque de semence, qui s'exprime peu en raison des conditions d'hydromorphie et du tapis de sphaignes dense au-dessus, mais qui est susceptible de se développer si les conditions du milieu lui deviennent favorables.

2.3.1.3. Conclusion

En résumé, les cryptopotentialités exprimées sur la tourbière de la forêt de Bray sont décevantes, avec très peu d'espèces, en particulier d'espèces patrimoniales typiques des tourbières, une large dominance de joncs et de bouleaux et une concentration dans les horizons superficiels (au-dessus de 13 cm de profondeur). Cette faible profondeur s'explique certainement par l'extraction d'un mètre de tourbe et donc de 1000 ans d'archives de graines. Les seules graines encore viables sont donc celles des horizons qui se sont reconstitués depuis l'extraction et sont donc le reflet de la végétation perturbée post-exploitation. On remarque aussi la validation de PIEZO_06 comme lande sèche, avec ses importants stocks de semences de callune, végétation s'il en est de ce milieu.

Pour la tourbière du Bois Léon, les cryptopotentialités exprimées sont légèrement meilleures que celles de la tourbière précédente : on trouve là encore de la callune sur PIEZO_11, qui confirme donc son potentiel à donner de la lande sèche après travaux, et quelques espèces patrimoniales, notamment l'hydrocotyle sur PCH_07 et surtout *Erica tetralix* sur PCH_09, qui signe le bon état de conservation sur cette zone. Là encore, les banques de semences se concentrent principalement dans les 13 premiers centimètres du sol.

Synthèse :	Cryptopotentialités
Qualité :	Série 1 : 2
1 = Bonne	Série 2 : 2
2 = Moyenne	Série 3 : 1
3 = Mauvaise	

2.3.2. Etude de la végétation en place

2.3.2.1. Typologie des végétations

Afin d'avoir une idée synthétique et relativement précise des végétations présentes sur site, nous avons élaboré une typologie des végétations. En raison de différences assez marquées dans le nombre de strates observées et le recouvrement de chaque espèce présente entre les tourbières de la forêt de Bray et du bois Léon, deux grilles de typologie différentes ont été construites. Sur la tourbière de la forêt de Bray, qui compte assez peu d'espèces patrimoniales de tourbières et une très forte représentation du bouleau, de la molinie et de la fougère aigle, on a donc classé les milieux en différents types, symbolisés par des lettres :

- **Cariçaie**, à *Carex paniculata* ou à *Carex acutiformis* (issue de la dynamique d'atterrissement de la formation à *Carex paniculata*) : respectivement type **A** et **K**
- **Zones ouvertes**, comprenant des zones de lande sèche (ptéridaie, type **G**, et callunaie, type **H**), des clairières suite au dépérissement des ligneux (types **D** et **E**) ou le drain principal (type **F**)
- **Saulaie**, formée par des fourrés de Saule à oreillette (*Salix aurita*) et de Saule cendré (*Salix cinerea*), types **I** et **J**
- **Boulaie à molinie**, subdivisée en trois catégories en fonction du recouvrement de sphaignes (moins de 10%, de 10 à 50% et plus de 50% de sphaignes), types **L** à **N**
- **Boulaie à fougère aigle**, elle aussi subdivisée en trois catégories identiques, liée à un atterrissement du milieu (suite au drainage par exemple), types **O** à **Q**
- **Boulaie-Chênaie**, identifiée comme telle à partir du premier chêne adulte présent dans le relevé, types **U** à **W**
- **Jeune boulaie**, comprenant des bouleaux de hauteur inférieure à 6 m : types **S** et **T**
- **Pessière** : type **X**

A partir de cette typologie, une cartographie a été réalisée en prospectant l'ensemble de la tourbière. On obtient ainsi la carte présentée en Figure 40 (typologie détaillée dans le paragraphe précédent).

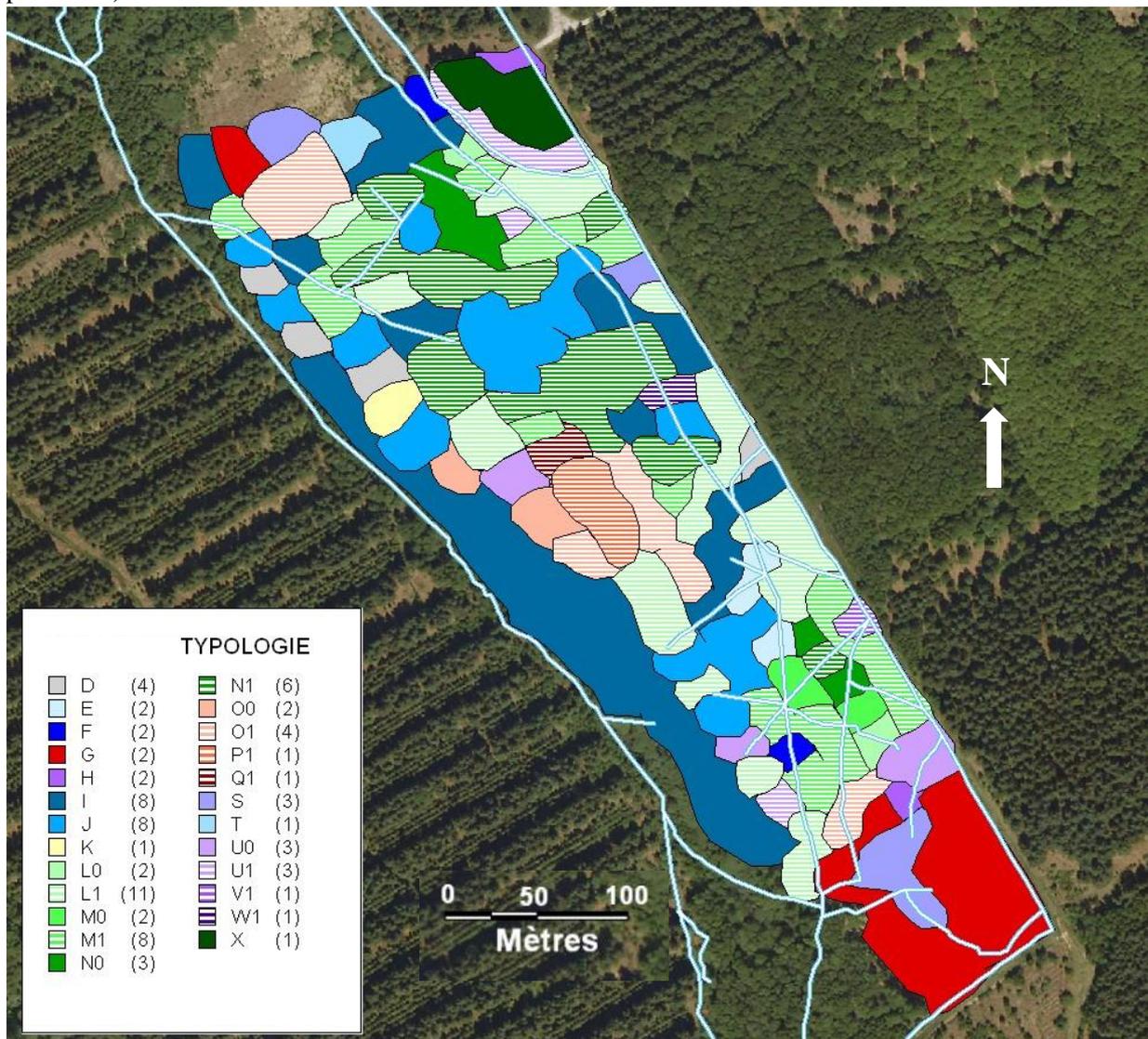


Figure 40 : Cartographie des milieux sur la tourbière de la forêt de Bray

On observe que les milieux majoritaires sur cette tourbière sont les boulaies à molinie et les fourrés de saules. Les saulaies constituent des milieux relativement riches d'un point de vue floristique et intéressant pour la diversification des habitats, recommandée par Dupieux (1998). Le parti est donc pris de ne pas y effectuer de travaux, d'autant plus que ces zones sont très denses en ligneux, ce qui rendrait les opérations d'abattage plus difficiles.

Les unités végétales en place sur la série 1 confirment le gradient lande sèche – lande humide – tourbière pressenti par la topographie, puisqu'on observe la succession de ptéridaie/callunaie (correspondant à la lande sèche) puis une transition de boulaie mixte à fougère aigle et molinie (lande humide) pour arriver dans la boulaie à molinie, traduisant le faciès dégradé de la tourbière.

C'est à peu près le même constat pour la série 2, où la lande sèche est remplacée par une pessière sous laquelle les espèces de lande s'expriment dans une moindre mesure par manque de lumière.

En ce qui concerne la tourbière du bois Léon, le faciès de dégradation est moins poussé que sur la tourbière précédente, ce qui implique de revoir légèrement la typologie établie sur la tourbière de la forêt de Bray. En plus des types précédemment établis, on a donc quelques nouveaux types :

- **Tourbière haute active** ouverte (objectif à atteindre au terme de la réhabilitation) ou sénescence (en cours de boisement), respectivement types **B** et **C**
- **Boulaie à Polytric commun**, faciès de dégradation lié à l'incendie : type **R**
- **Aulnaie**, en bordure de cours d'eau : type **Y**

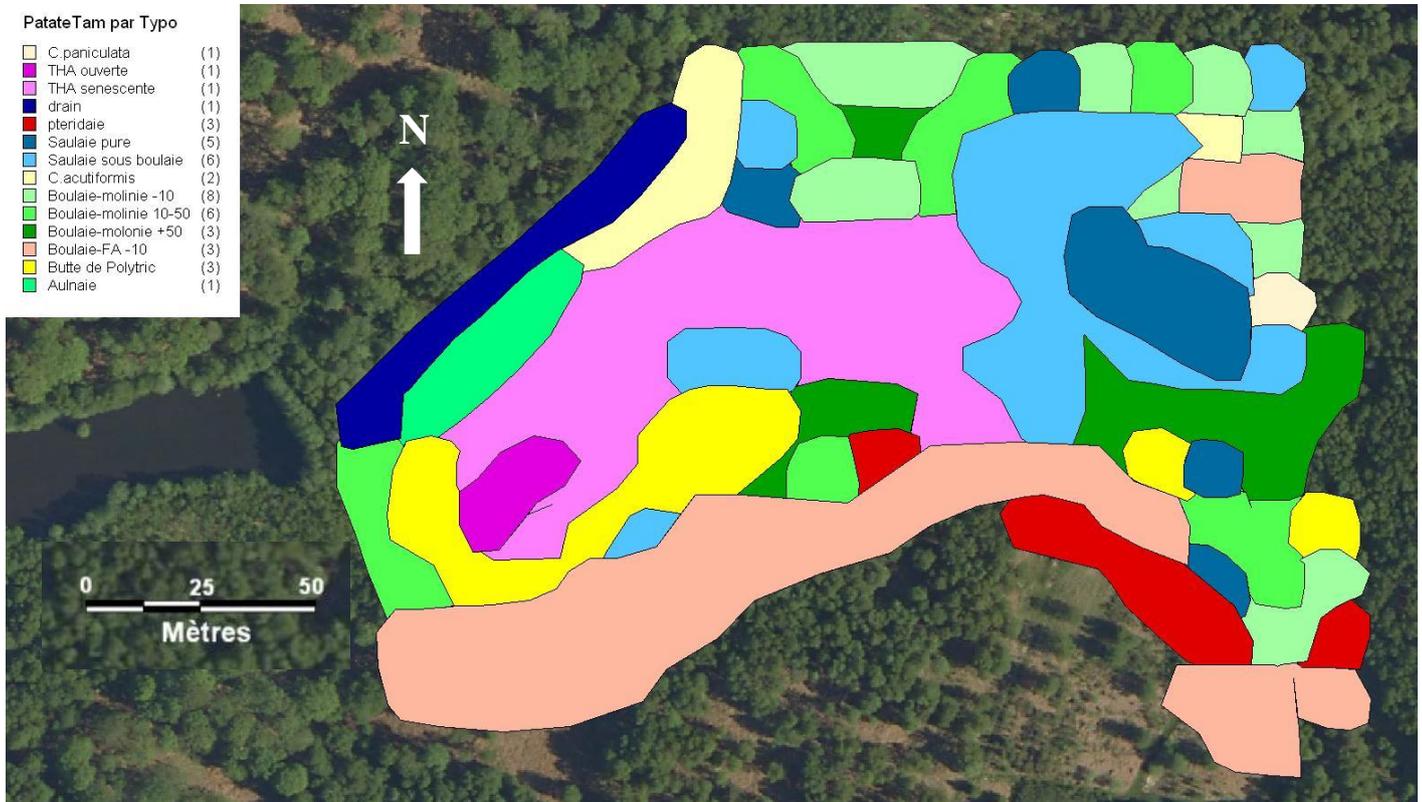


Figure 41 : Cartographie des habitats sur la tourbière du bois Léon

On constate sur la Figure 41 qu'il reste encore une petite surface de tourbière haute active, entourée par une assez grande zone de tourbière sénescence. Ce bilan est donc très satisfaisant d'un point de vue habitat : les espèces recherchées lors de la restauration sont déjà en partie présentes sur le site d'étude et n'auront donc *a priori* pas trop de difficulté à coloniser les surfaces restaurées. Là encore, on observe un gradient lande – tourbière, avec une ptéridaie importante (représentative de la lande sèche), présente sur le versant sud, en amont de la tourbière.

Ainsi, les milieux en place sont beaucoup plus proches de l'objectif de restauration sur la série 3 que sur les deux autres séries, qui nécessitent de ce fait des travaux plus importants pour atteindre l'objectif de restauration qu'est la tourbière haute active (code EUR27 : 7110*).

Synthèse :		Milieux
Qualité :		Série 1 : 2
1 = Bonne		Série 2 : 2
2 = Moyenne		Série 3 : 1
3 = Mauvaise		

2.3.2.2. Espèces en place

La série 1 comporte des espèces qui sont caractéristiques des tourbières. Plusieurs espèces de sphaignes (Figure 43) forment de grands coussins (*Sphagnum palustre*, *S. angustifolium*, *S. fimbriatum*, *S. squarrosum* et *S. papillosum*). Sans oublier de nombreuses autres Bryophytes dont certaines patrimoniales pour la région normande (comme *Pohlia nutans*, en Figure 44).

C'est également sur cette série que l'on retrouve plusieurs espèces classées très rares voire exceptionnelles pour la région. Notons la présence de la Bruyère à quatre angles (*Erica tetralix*), typique des tourbières hautes actives et landes tourbeuses, de la Laïche étoilée (*Carex echinata*) photographié en Figure 44, typique des tourbières boisées et de la Laïche à épis espacés (*Carex remota*), typique des bois tourbeux. En amont de la zone tourbeuse, on retrouve le Genêt, l'Ajonc, la Callune et la Fougère aigle qui permettent la mise en place d'une lande sèche.



Figure 43 : *Pohlia nutans*



Figure 432 : *Sphagnum* sp.



Figure 43 : *Carex echinata*

Sur la série 2, on retrouve moins d'espèces caractéristiques des tourbières hautes actives hormis les nombreuses sphaignes et la laïche à ampoules (*Carex rostrata*), espèces caractéristiques des zones humides en général. Les coussins de sphaignes sont plus étendus que sur la série 2. Quelques spots d'*Aulacomnium palustre* ont été observés, favorables à la lande tourbeuse. En amont de la zone tourbeuse on retrouve aussi une zone avec de la Callune, de la Fougère aigle et de la Mélampyre des prés. La réhabilitation de la lande sèche est donc possible sur cette série également.

Sur la série 3, l'état de conservation est meilleur. En plus de l'omniprésence des sphaignes qui forment des coussins très denses, on peut y rencontrer une grande partie du cortège des Ericacées (Canneberge, Bruyère à quatre angles, Callune) ainsi que des Cypéracées (*Eriophorum angustifolium* et *vaginatum* et laïche noire (*Carex nigra*)). La majorité de ces espèces est classée très rares à exceptionnelles pour la région Haute-Normandie (C.B.N.B1). Toutes ces espèces sont typiques des tourbières hautes dégradées. Cependant nous pouvons noter que la linaigrette est une espèce qui met en évidence le caractère sénescents des tourbières hautes actives. Cette sénescence est certainement liée au boisement par le bouleau.



Figure 45 : *Vaccinium oxycoccos*



Figure 44 : *Erica tetralix*



Figure 46 : *Eriophorum vaginatum*

Sur les trois séries la molinie et le bouleau restent tout de même les espèces les plus représentées et les plus recouvrantes. Le pourcentage de sphaignes est donc l'un des facteurs primordial dans le choix de la zone de réhabilitation concernant la végétation.

Ainsi, on constate que les végétations patrimoniales en place sur la tourbière du bois Léon (série 3) sont très représentées, avec une forte présence du cortège floristique des tourbières hautes actives comme *Erica tetralix*, *Vaccinium oxycoccos*, *Eriophorum vaginatum* et *Eriophorum angustifolium* ainsi qu'un important tapis dense de différentes sphaignes de tourbières (*Sphagnum palustris*, *S. denticulatum*, *S. subnitens*, *S. cuspidatum*). Cela laisse donc présager une bonne régénération des espèces typiques des tourbières après travaux sur cette série. En revanche, cela est moins certain pour les deux séries de la tourbière de la forêt de Bray. En effet, à part quelques pieds de *Carex echinata*, *Carex remota* et *Erica tetralix*, le bilan n'est pas très encourageant pour la série 1. La série 2 est encore pire, avec seulement quelques espèces de sphaignes et *Carex rostrata*.

Synthèse : Végétation patrimoniale en place	
Qualité :	Série 1 : 2
1 = Bonne	Série 2 : 3
2 = Moyenne	Série 3 : 1
3 = Mauvaise	

2.3.2.3. Proximité avec les réservoirs de graines

Enfin, malgré l'absence apparente de nombreuses espèces typiques des tourbières sur les séries étudiées, tout du moins sur les séries 1 et 2, que ce soit dans les végétations en place ou dans les banques de semences, la colonisation de ces zones pourra se faire après travaux, une fois les conditions écologiques (et notamment d'hydromorphie) restaurées, depuis des zones refuges où elles sont encore présentes, à conditions qu'elles puissent voyager de l'une à l'autre.

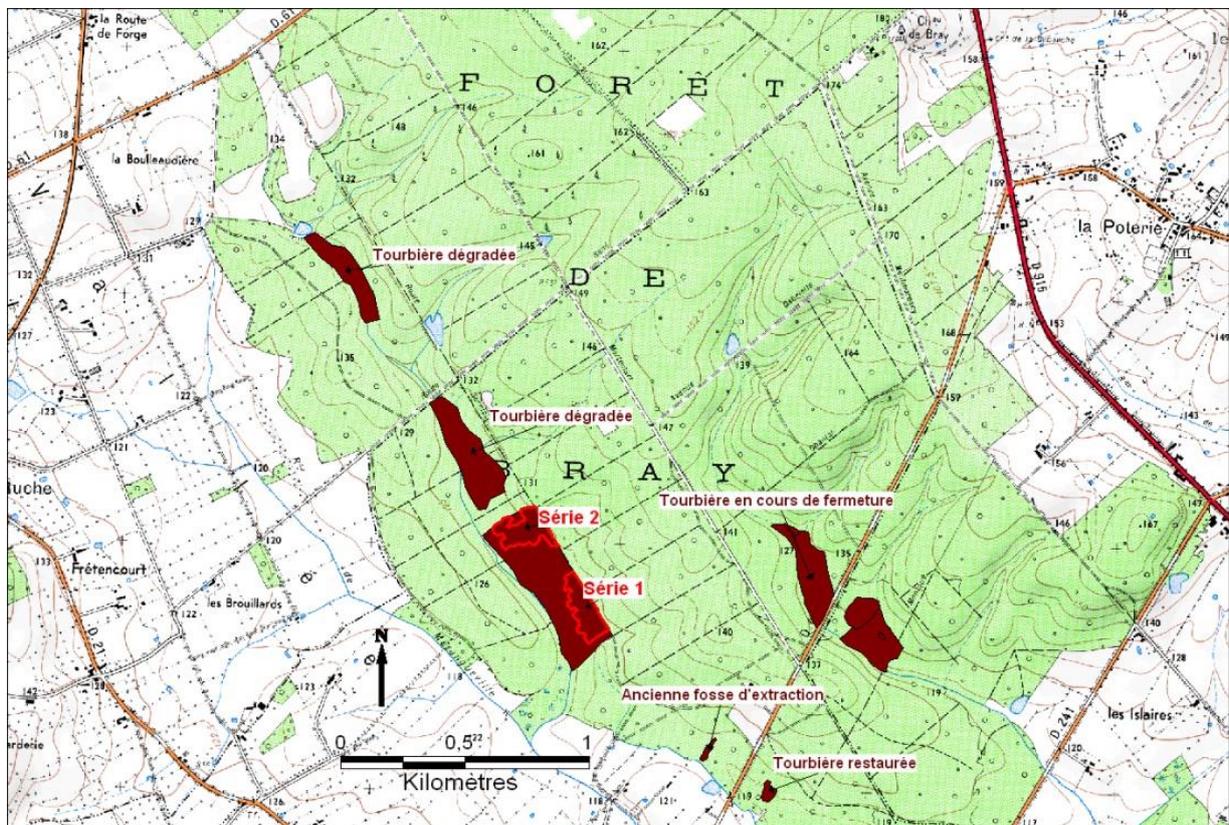


Figure 47 : Réservoirs de graines sur le massif de la forêt de Bray

Pour les séries 1 et 2, des zones de tourbières encore actives ou sénescents en cours de fermeture, ont été identifiées sur le reste du massif de la forêt de Bray (voir Figure 48). On y trouve notamment à l'aval de notre zone d'étude, deux tourbières très intéressantes. L'une est une ancienne fosse d'extraction qui ne s'est pas encore refermée et où l'on trouve de nombreuses espèces du cortège de la tourbière haute active (Code EUR27 : 7110*) comme *Sphagnum rubellum*, *S. magellanicum*, *S. fallax*, *S. papillosum*, *S. capillifolium*, *Vaccinium oxycoccos*, *Erica tetralix*, *Calluna vulgaris*, *Drosera rotundifolia*, *Eriophorum vaginatum* et *Eriophorum angustifolium*. L'autre est une ancienne tourbière dégradée où le conservatoire des espaces naturels de Haute-Normandie a entrepris l'extraction manuelle des bouleaux et où les espèces de la tourbière haute active sont réapparues tels *Sphagnum rubellum*, *Sphagnum subnitens*, *Sphagnum paluste*, *Vaccinium oxycoccos*, *Vaccinium myrtillus*, *Erica tetralix*, *Calluna vulgaris*, *Drosera rotundifolia*, *Eriophorum vaginatum* et *Eriophorum angustifolium*. Bien que situé en aval de notre site d'étude, les graines pourraient remonter les quelques centaines de mètres qui les séparent les unes des autres par le biais notamment des animaux et ainsi recoloniser les milieux qui leur seraient redevenus favorables suite aux travaux de restauration.

De même, une tourbière en cours de fermeture a été découverte à quelques centaines de mètres plus au cœur du massif, dans un fond de vallon parallèle à celui où se trouvent les séries 1 et 2. Là encore, des espèces typiques du cortège de tourbière haute active ont été contactées comme *Vaccinium oxycoccos*, *Erica tetralix* et *Eriophorum angustifolium*. Cette tourbière, colonisée par des jeunes plants de bouleau peut constituer une autre source de semences pour notre site d'étude.

Enfin, la série 3 est elle-même à la bordure d'une tourbière haute active en cours de fermeture. Les espèces typiques comme *Vaccinium oxycoccos*, *Erica tetralix*, *Calluna vulgaris*, *Eriophorum vaginatum* et *Eriophorum angustifolium* n'auront donc aucun mal à coloniser le site puisqu'ils fleurissent et fructifient à quelques mètres de là.

Synthèse :		Proximité avec réservoir de graines	
Qualité :		Série 1 :	2
1 = Bonne		Série 2 :	2
2 = Moyenne		Série 3 :	1
3 = Mauvaise			

2.4. Synthèse globale : Cartographie des travaux

2.4.1. Synthèse des critères de choix entre les trois dispositifs

A partir des résultats obtenus dans les parties précédentes (2.1, 2.2 et 2.3), on obtient le tableau suivant qui synthétise l'ensemble des paramètres rentrant en compte dans le choix de l'une des trois zones pour y réaliser les travaux de restauration.

	Coefficient	Série 1	Série 2	Série 3
Densité du réseau de drains	3	3	3	1
Qualité de l'eau du sol (pH et conductivité)	2	2	3	1
Qualité de l'eau d'alimentation	2	1	1	1
Niveau d'eau par rapport au sol	10	2	2	2
Intensité des battements de nappe	4	2	2	2
Indice de régénéralité	30	2	3	1
pH du sol	4	2	2	2
Taux de cendres	5	2	1	2
Teneur en eau	5	2	2	1
Cryptopotentialités	5	2	2	1
Végétation patrimoniale en place	10	2	3	1
Habitat	5	2	2	1
Proximité avec des réservoirs de graines	5	2	2	1
Facilité des travaux	10	2	3	2
Total	100	201	248	133

Tableau 16 : Tableau de synthèse pour le choix de l'une des 3 zones

Les coefficients ont été attribués arbitrairement, sur la base de l'importance relative accordée à chacun des paramètres. Les plus importants sont d'après moi :

- l'indice de régénéralité, du fait de son caractère définitif (la minéralisation de la tourbe est un phénomène irréversible) et de sa forte signification sur l'état de conservation de la tourbe,
- le niveau d'eau car c'est le facteur clé du fonctionnement de la tourbière : si il n'est pas suffisant, la tourbe s'assèche et la minéralisation peut commencer. Le coefficient qui lui est attribué est néanmoins moins important que pour l'indice de régénéralité car on peut moduler ce niveau d'eau en effectuant des travaux de restauration hydraulique,
- la végétation patrimoniale en place car elle est le reflet de l'état écologique du milieu. De même que pour le niveau d'eau, elle peut être modulée par les travaux de restauration écologique,
- la facilité des travaux car plus ces derniers seront difficiles à effectuer (loin de la place de dépôt, cheminement complexe, milieu très peu portant, cours d'eau à franchir), plus le prix des travaux augmentera, ce qui n'est pas désirable.

Les autres paramètres retenus participent eux aussi au choix mais dans une moindre mesure soit du fait de leur redondance avec un autre paramètre (par exemple l'habitat et la végétation patrimoniale en place) soit du fait de leur caractère facilement évolutif (il est par exemple relativement aisé de diminuer la densité de drains en bouchant ces derniers).

Les notes attribuées correspondent à une évaluation globale par série de chacun des critères de choix. La note 1 correspond à un bon état et la note 3 à un état mauvais vis-à-vis du critère. On multiplie ensuite chacune de ces notes par le coefficient puis on somme l'ensemble des notes obtenues pour aboutir à la note globale.

Ainsi, sur la base de tous ces critères de choix, on arrive au résultat suivant : c'est la série 3 qui a la note globale la plus faible et se trouve donc dans le meilleur état. En revanche, la série 2 a la note la plus basse et se trouve de ce fait être la zone dans le moins bon état. Le profil de la série 1 correspond mieux à la phase travaux que nous voulons effectuer : elle est dégradée et nécessite donc une restauration, mais pas trop, ce qui permet d'espérer quand même voir revenir une tourbière haute active sur ce site. De plus, si les méthodes novatrices mises en œuvre fonctionnent pour cet état de dégradation, on peut espérer qu'elles fonctionnent aussi avec des zones moins dégradées comme la série 3 et d'autres tourbières dégradées du pays de Bray humide. Cela justifie donc l'intérêt de cette restauration en deux temps avec une véritable phase d'étude préliminaire débouchant (ou non, suivant l'état de dégradation) sur une phase travaux. Les moyens financiers engagés, certes importants pour une si petite zone, sont néanmoins nécessaires à la réalisation de ces deux phases complémentaires.

2.4.2. Cartographie de la zone de travaux

Maintenant qu'une des séries a été choisie pour y tenter une phase de travaux, il faut élaborer une cartographie précise de ces derniers, basée sur l'ensemble des critères cités plus haut (partie 2.4.1).

Afin de libérer la niche écologique occupée actuellement par les bouleaux et la molinie (voir Figure 49) sur la zone correspondant à la tourbière potentielle, l'élimination de ces espèces est nécessaire. Pour les bouleaux, la coupe est préconisée, voire l'arrachage si cela ne menace pas les espèces, bryophytes notamment, situées à proximité. Les produits de la coupe devront ensuite être débardés puis traités (bois de chauffage, bois-énergie) hors du site. Pour la molinie, un décapage de surface est cette fois préconisé, avec les précautions identifiées précédemment (voir partie 2.2). En effet, seuls les horizons superficiels (jusqu'à 10 cm, parfois moins) sont régénérables, d'où l'importance de préserver ces horizons au maximum. Une fois les espèces indésirables éliminées, le rétablissement de conditions de milieu favorables à la végétation typique des tourbières permettra la pérennisation des actions de restauration entreprise et évitera le retour du bouleau et de la molinie. En rehaussant le niveau de la nappe par des travaux de restauration hydraulique, on favorise donc le cortège des espèces de milieux tourbeux en inhibant la réinstallation des espèces à large amplitude.

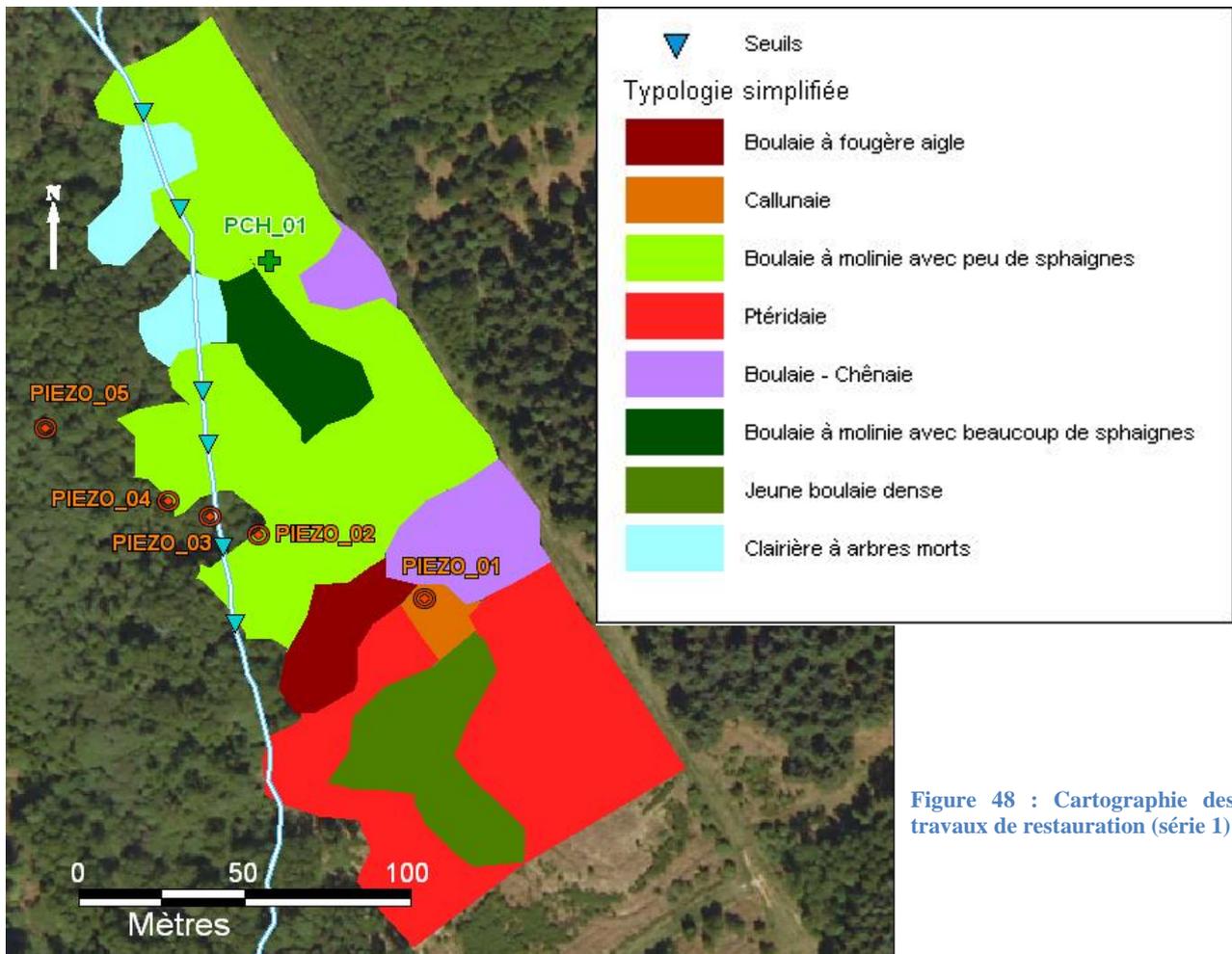


Figure 48 : Cartographie des travaux de restauration (série 1)

La carte présentée en Figure 49 met en évidence des zones distinctes :

— les zones à Fougère aigle et à Callune, ainsi que les chênaies et la jeune boulaie dense, sont susceptibles de laisser place à une lande sèche. Les travaux seront ici facilités par un sol relativement portant et assez peu engorgé ;

— les zones de boulaies à molinie (avec plus ou moins de 50% de sphaignes) sont quant à elles susceptibles de laisser place à une végétation de tourbière ou de landes tourbeuses après abattage et débardage des bouleaux et décapage des zones où la molinie est vraiment explosive. Il sera par ailleurs intéressant de ne pas décapier les quelques endroits où les sphaignes forment encore d'assez grands tapis (dans la « boulaie à molinie avec beaucoup de sphaignes »). De même, les rares patches où *Erica tetralix* est encore présente méritent d'être traités avec une attention toute particulière. C'est par exemple le cas autour du piézomètre PIEZO_02.

Le parti a été pris de ne pas toucher aux saulaies, qui créent une diversification du milieu et une zone de refuge pour des espèces arboricoles. Elles peuvent de plus abriter une biodiversité remarquable, comme la saulaie rivulaire du second drain principal, qui comporte une strate herbacée riche et relativement rare, comme au niveau de PIEZO_05 où l'on trouve *Carex echinata*, *Carex remota*, *Athyrium filix-femina* et *Callitriche stagnalis*.

Ensuite, les travaux de restauration hydraulique consisteront en la pose de 6 seuils hydrauliques sur le drain principal visant à rehausser le niveau de la nappe jusqu'au niveau du sol et ainsi assurer un engorgement compatible avec le retour du cortège de tourbière haute active. Ils seront complétés par l'effacement des drains secondaires en les bouchant avec de la tourbe (provenant par exemple du décapage, recyclant ainsi sur site ces déchets qui peuvent s'avérer encombrants à transporter).

Ainsi, sur ces trois séries, on a pu dégager sur la base de critères évaluant le niveau de dégradation un état initial pour chaque série. Après avoir choisi l'une de ces trois séries, dégradée mais pas trop, il s'agit maintenant d'envisager la phase travaux en proposant un cahier des charges pour ceux-ci. C'est l'objet de la troisième partie de ce rapport. Ce cahier des charges, basé sur la cartographie établie ci-avant, a vocation à être étendu à d'autres tourbières cartographiées dans le document d'objectif du site Natura 2000 pays de Bray humide en « tourbière haute dégradée encore susceptible de régénération naturelle », ayant un niveau de dégradation semblable ou inférieur à la série 1 choisie.

3. Cahier des charges opérationnel pour la phase de travaux de restauration

3.1. Le projet LIFE « Hautes Fagnes » : un exemple de restauration de systèmes tourbeux à grande échelle

Avant de proposer le cahier des charges opérationnel pour la phase de travaux de restauration des tourbières dégradées du pays de Bray humide, nous avons voulu nous inspirer de techniques ayant fait leurs preuves ailleurs. Ainsi, en plus de l'étude approfondie de l'ouvrage de synthèse sur « La gestion conservatoire des tourbières de France » de Nicolas Dupieux (1998), qui synthétise les résultats obtenus sur 38 tourbières restaurées, nous nous sommes rendus sur le plateau des Hautes-Fagnes, en Belgique, pour rencontrer les scientifiques en charge du projet « LIFE - Nature : Haute-Fagnes ».

3.1.1. Présentation du projet

Ce projet de restauration de landes et de tourbières à grande ampleur (plus de 1.400 ha restaurés) a été mené à son terme en décembre 2012, après 6 ans de travaux. Mobilisant plus de 4,5 millions d'euros (financés à parts égales par l'Europe et le Service public de Wallonie), une équipe de 4 personnes à temps plein pour la coordination, appuyés d'une trentaine de personnes de la Région wallonne (forestiers, ingénieurs, biologistes), le projet commence à donner ses premiers résultats.

Ces hauts plateaux, initialement composés de tourbières hautes actives et de peuplements de chênes et de bouleaux sur les points plus hauts, ont été exploités à partir du Moyen-Âge jusqu'au XIX^e siècle : les chênaies boulaies ont été coupées et converties en landes pâturées tandis que la tourbière était exploitée pour l'extraction de tourbe. Depuis la fin du XIX^e siècle, une mise en valeur de ces milieux peu productifs a été tentée en convertissant les landes sèches en prairies et les landes tourbeuses en pessières très denses. L'extraction de tourbe s'est peu à peu arrêtée et ces milieux laissés à l'abandon, se dégradant au fil du temps, envahie par la molinie.

Le programme de restauration envisagé pour ces landes et tourbières dégradées repose sur 5 orientations principales (Loute, 2013) :

— Déboiser les épicéas non rentables économiquement, plantés en 1905 – 1910, constituant des barrières infranchissables pour de nombreuses espèces. La production sylvicole a toutefois été maintenue sur les bons sols, car elle constitue toujours aujourd'hui une ressource économique importante pour la région. Plus de 960 ha ont ainsi été déboisés pendant le projet.

— Favoriser la germination des plantes des landes et des tourbières au détriment de la molinie en mettant le sol à nu. Des méthodes d'étrépage, de fraisage et de fauchage périodique à long terme ont été testées (sur respectivement 60, 200 et 50 ha). Le sol décapé sur une dizaine de centimètre exprime ainsi la banque de semence (comme les callunes et bruyères) et donne de bons résultats.

— Favoriser la forêt naturelle (boulaie, chênaie et hêtraie), qui couvrait autrefois tout le plateau des Hautes-Fagnes à l'exception des zones de tourbières hautes actives. Ils créent ainsi une meilleure transition entre milieu ouvert et peuplement d'épicéa.

— Installer une gestion durable et intégrée des landes par le pâturage ovin et bovin, faisant ainsi régresser le recouvrement par la molinie et favorise le développement des plantes de landes et de tourbières. 370 ha sont ainsi gérés sur l'ensemble du site.

— Réhumidifier les tourbières en comblant le réseau de drains systématiques et en créant des zones ennoyées. Des digues ont ainsi été érigées pour retenir l'eau dans les dépressions et des bassins ont été creusés. Ces plans d'eau sont peu à peu recolonisés par les sphaignes et les plantes typiques de tourbières, selon un gradient de profondeur, recréant ainsi une dynamique de turfigenèse. C'est donc 210 km de drains qui ont été bouchés et 95 ha ennoyés sous 50 cm d'eau au maximum.

3.1.2. Résultats obtenus en terme de restauration écologique

La tournée de terrain effectuée le 16 mai 2013 sur le plateau des Hautes-Fagnes nous a permis de constater les bons résultats obtenus avec ces méthodes, tant au niveau de la restauration hydraulique qu'écologique, avec le retour du cortège floristique caractéristique des tourbières hautes actives.

Tout d'abord, les travaux de restauration hydrauliques donnent de bons résultats. Le problème du drainage systématique de la zone, avec un quadrillage principal de gros drains collecteurs tous les 250 m couplé à un quadrillage secondaire tous les 2,5 m, a été résolu en posant des seuils tous les 30 m sur le réseau principal puis en bouchant tous ces drains avec les produits d'étrépage. En plus de cet effacement des drains, des zones ennoyées sous une faible profondeur d'eau ont été créées en érigeant des digues de tourbe de faible hauteur sur les coupes à blanc afin de recréer rapidement des systèmes humides. Frankard (2006) recommande des bassins de faible profondeur (moins de 50 cm), qui sont très rapidement colonisés par des sphaignes aquatiques et des espèces typiques des bas-marais



acides telles *Carex nigra*, *Carex echinata*, *Eriophorum angustifolium* et *Juncus acutiflorus*. La Figure 50 montre une de ces digues et le gradient de recolonisation par les sphaignes dans les zones les plus profondes et par *Eriophorum angustifolium* plus au bord.

Figure 49 : Digue construite en 2009 et zone ennoyée, colonisée par les sphaignes et *Eriophorum angustifolium* (Fagne des Deux-Séries)

Concernant les travaux d'abattage des épicéas, aucun arbre n'a été laissé pour éviter la dissémination des semences de résineux. Seuls quelques feuillus isolés ont été maintenus comme perchoirs pour l'avifaune. Le cahier des charges de déboisement, très strict, imposait l'utilisation de machines à doubles roues arrière et la circulation de celles-ci sur des cloisonnements en rondins d'épicéas pour éviter l'enlèvement. Dans les zones les plus engorgées, du fait de l'impossibilité d'utiliser des outils mécaniques classiques et du surcoût engendré par des outils moins conventionnels (débardage à cheval, par câblage ou par hélicoptère), les bois étaient laissés sur place une fois abattus. La gestion des recrus s'est faite par débroussaillage régulier.

Une autre technique a fait ses preuves dans la gestion des ligneux de faible valeur économique (comme le bouleau) : l'annelage, qui a l'avantage d'être peu coûteux, facile à mettre en œuvre et créant du bois mort sur pied favorable aux oiseaux et aux insectes xylophages. En lui retirant une bande d'écorce sur toute sa circonférence, l'arbre ne peut plus distribuer de sève élaborée des feuilles jusqu'aux racines. Faute d'alimentation en éléments nutritifs, il met en général deux ans à se dévitaliser et meurt progressivement sans rejets (voir Figure 51).

Figure 50 : Résultat de l'annelation de bouleau en bordure de tourbière haute active (Fagne wallone)



Dans les secteurs dégradés ou en périphérie des zones intactes, des expériences de décapage ont été réalisées avec plusieurs méthodes pour mettre le sol à nu et permettre ainsi aux espèces auparavant étouffées par la molinie de s'exprimer.



Des étrépages réalisés sur 7 cm donnent rapidement des résultats spectaculaires sur les landes sèches et humides avec une forte régression de la molinie et l'apparition de très nombreuses germinations des espèces des landes : *Calluna vulgaris*, *Juncus squarrosus*, *Carex pilulifera* ou encore *Lycopodium clavatum* (Figure 52), une espèce rare (Frankard, 2006).

Figure 51 : *Lycopodium clavatum* (Fagne des Deux-Séries)

Dans les tourbières dégradées, la recolonisation végétale spontanée des sites décapés est quasi nulle, très fragmentaire et très lente. Pour accélérer le processus, les scientifiques belges du projet ont donc tenté le bouturage de pieds de linaigrette vaginée (obtenus en divisant un touradon en plusieurs morceaux) puis en épandant sur le sol mis à nu un broyat de sphaigne : les linaigrettes reformant rapidement des touradons favorisent l'implantation et l'ancrage des fragments de sphaignes à leur pied. Cette technique, envisageable seulement sur des surfaces de quelques dizaines de m², donnent des résultats encourageants et permettent de créer une mosaïque de petites surfaces diversifiant le milieu.



Figure 52 : Bouture de Linaigrette vaginée (*Eriophorum vaginatum*) en tourbière décapée sur 40 cm (Fagne des Deux-Séries)

Enfin, P. Frankard et P. Ghiette, les deux responsables scientifiques du projet LIFE nous ont proposé une classification des boulaies qui permet de distinguer, en fonction de la profondeur de tourbe sous la boulaie :

- la tourbière haute active dégradée, quand l'épaisseur de tourbe est supérieure à 1,5 m,
- la tourbière boisée (code EUR27 : 91D0*), quand elle est comprise entre 80 cm et 1,5 m,
- la chênaie – boulaie hydromorphe, quand l'épaisseur de tourbe est inférieure à 50 cm.

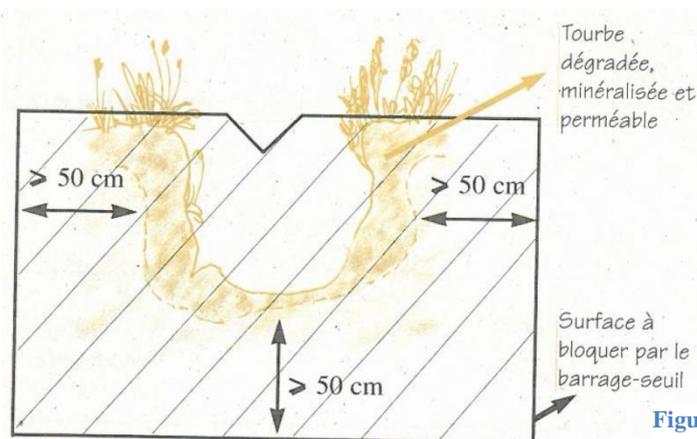
Les profondeurs observées sur les deux tourbières étudiées dans le pays de Bray sont toujours supérieures à 80 cm. Elles varient en effet de 1,2 m sur les bords de la tourbière, au niveau des landes tourbeuses à plus de trois mètres dans la tourbière au sens strict. Selon la classification précédente, la profondeur de tourbe traduit donc le faciès dégradé de la tourbière haute active et non la tourbière boisée, habitat d'intérêt communautaire prioritaire.

3.2. Travaux envisagés pour la restauration

Suite à ce transfert de connaissances lors de la visite du projet « LIFE-Nature : Hautes-Fagnes », nous avons donc pu nous inspirer des méthodes mises en œuvre en Belgique ainsi que de celles décrites dans l'ouvrage de Dupieux (1998) pour proposer un cahier des charges opérationnel des travaux de restauration de tourbières dégradées du pays de Bray humide.

3.2.1. Restauration hydraulique : pose de seuils et de digues

Concernant la restauration hydraulique du site, la pose de seuils dans le drain principal est indispensable pour espérer rehausser le niveau de la nappe et limiter les battements de celle-ci, préjudiciables à la végétation (voir partie 2.1). Dupieux (1998) recommande d'installer des seuils régulièrement de façon à diminuer la hauteur de chute entre le sommet de l'ouvrage et le niveau à l'aval de chaque seuil. La hauteur de chute maximale recommandée est de 30 cm. En effet, si elle est trop importante, l'accélération provoquée par la chute crée une niche d'érosion à l'aval de l'ouvrage, déstabilisant les fondations de celui-ci par affouillement.



De plus, pour assurer la pérennité de ces ouvrages, un trop plein sera aménagé au sommet du seuil, juste sous le niveau du sol, afin d'éviter que celui-ci ne soit ennoyé. En effet, son ancrage dans les rives est menacé par des surcreusements dus au passage de l'eau de part et d'autre de l'ouvrage, ce qui pourra donner naissance à des fuites autour de l'ouvrage, qui réduiront sensiblement son efficacité.

Figure 53 : Ancrage des seuils dans la tourbe. Source : N. Dupieux, 1998 (p. 32)

Profil en long du drain principal

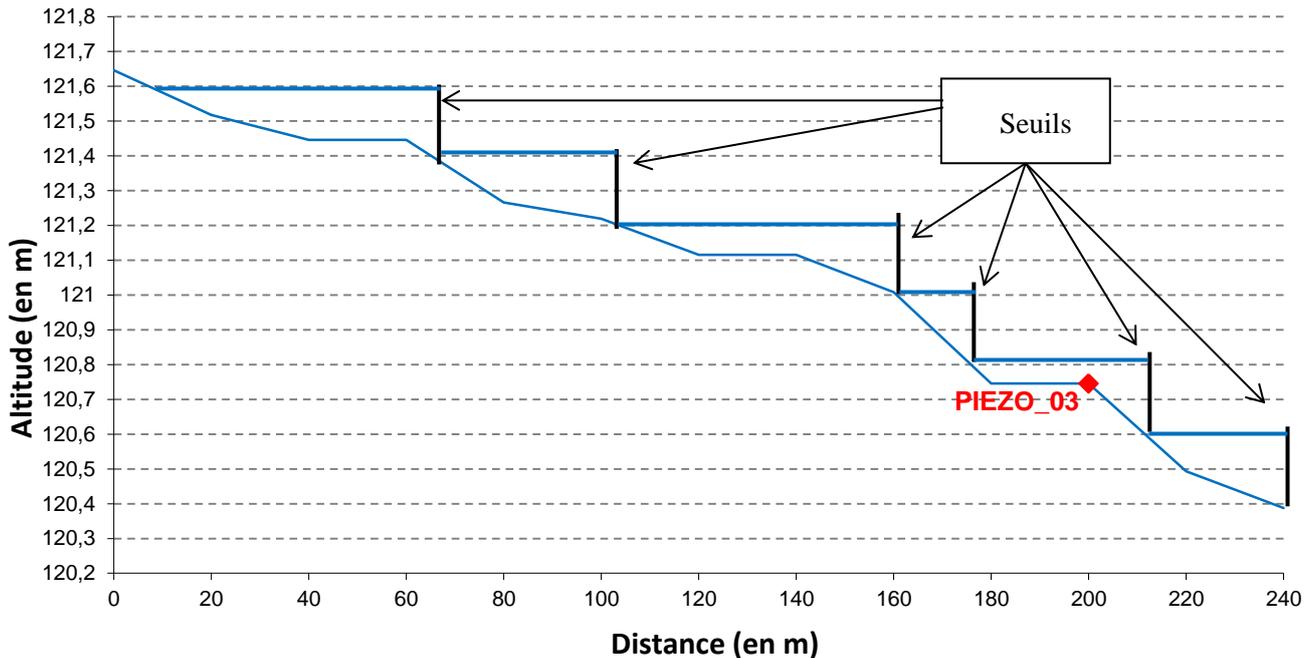


Figure 54 : Profil en long du drain principal et positionnement des seuils

Pour déterminer le positionnement des seuils, il faut connaître le profil en long du drain. En plus des levés topographiques le long des séries de piézomètres, nous avons donc effectué le levé du profil en long du drain principal. On arrive ainsi au résultat présenté en Figure 55. La carte de situation de ces drains se trouve en Figure 49 (partie 2.4.2)

Sur ce profil, 6 seuils de 20 cm de haut ont été positionnés de façon à optimiser la remontée de la nappe en limitant les hauteurs de chutes (une vingtaine de centimètres). Ces ouvrages, ancrés correctement dans la tourbe de part et d'autre du drain et muni d'un trop-plein (voir Figure 54), serviront à tenter de faire remonter la nappe juste sous le niveau du sol et ainsi engorger au maximum la tourbière avoisinante. Pour des raisons de simplicité et de coût, les seuils seront constitués de panneaux de bois (contre-plaqué en pin de qualité « marine »). La méthode d'installation de ce type de seuils est décrite par Dupieux (voir Figure 56). De plus, juste à l'amont des seuils, un petit plan d'eau pourra se former, participant à la diversification des milieux recommandée dans la restauration de tourbière.



Figure 55 : Méthode d'installation des barrages-seuils en panneau de bois.
Source : N. Dupieux, 1998 (p. 35)

Il est aussi recommandé d'effacer les nombreux drains secondaires présents sur site (facilement repérables par la présence de joncs) en les bouchant avec de la tourbe. La tourbe pourra provenir du décapage, ce recyclage évitant ainsi d'avoir à transporter et à stocker ces déchets (voir partie 3.2.4). Pour le drain principal, étant donné que l'on n'arrive pas vraiment à trancher entre un cours d'eau et un véritable drain, il est peu recommandé de l'effacer complètement car cela impliquerait des démarches plus contraignantes en application des articles R. 214-1 à L. 214-3 du code de l'environnement (loi sur l'eau, aux rubriques 3.1.1.0. et 3.1.2.0). En effet, on ne peut pas modifier le lit mineur d'un cours d'eau sur plus de 100 m sans faire une demande d'autorisation en préfecture (détails réglementaires précisés dans la partie 3.3.3).

Enfin, comme sur le plateau des Hautes-Fagnes, on peut penser à la construction d'une digue de tourbe sur la tourbière pour créer un plan d'eau de faible profondeur favorable aux stades pionniers de la tourbière. Ne disposant en revanche que d'une petite superficie (1 hectare de tourbière à restaurer), cette digue sera de moindre envergure. Le rapport prix/efficacité de cet ouvrage peut donc être mis en doute et n'envisager cette option que comme une solution annexe à la diversification des habitats, en référence à la création de « mosaïque de milieux » cités par Dupieux (1998) et Frankard (2006). À titre d'exemple, lors du projet Life, une digue de 100 m de long sur 5 m de large permet d'envoyer 1 ha et coûte entre 6.000 et 7.000 €. Or, vu les surfaces concernées par ce projet et l'optimisation des coûts engendrée par la multiplication des chantiers, la fourchette de prix peut donc ici être revue à la hausse.

En résumé, il est recommandé de réaliser, en termes de travaux hydrauliques :

- la pose de seuils sur le drain principal, calés juste sous le niveau du sol, afin de faire affleurer la nappe dans la tourbière et ainsi augmenter l'engorgement, ce qui permettra le retour de conditions écologiques favorables à l'installation des espèces typiques des tourbières en limitant celle des autres espèces à large amplitude indésirables comme le bouleau et la molinie ;
- le comblement du réseau de drainage secondaire, peut-être encore un peu dommageable pour la tourbière. De plus, cela permettra de recycler les déchets de tourbe issus du décapage ;
- la construction d'une digue, en aval de la zone, est une mesure intéressante pour le retour d'espèces pionnières de tourbière, avec un ennoisement de 50 cm de profondeur au maximum. Mais la faible superficie implique ici de réduire la taille des digues standards, ce qui engendre des surcoûts non négligeables dans le rapport prix/efficacité.

3.2.2. Coupe ou arrachage des ligneux

Une fois la restauration hydraulique réfléchie pour assurer des conditions écologiques optimales pour la restauration des milieux tourbeux, il convient de prévoir la libération de la niche écologique, actuellement occupée presque exclusivement par le bouleau et la molinie.

Pour retirer les bouleaux, trois modalités sont possibles : la coupe, l'arrachage ou l'annelation. Dans tous les cas, aucun arbre ne doit rester dans la tourbière, sauf éventuellement quelques arbres remarquables comme certains chênes au houppier bien développé, qui abritent potentiellement une importante biodiversité et qui ne semblent pas très invasifs. En effet, l'enjeu est ici de ne pas enrichir ce milieu oligotrophe avec un apport de matière organique facilement minéralisable.

De plus, le sol peu portant et particulièrement sensible au tassement impose des conditions de chantier difficile et un matériel de travaux très particulier, adapté à ce type d'intervention et manœuvré par des professionnels expérimentés, équipé de chenilles ou de pneus basse pression, afin de limiter autant que possible l'impact au sol sur le milieu tourbeux.

Enfin, il est essentiel de réaliser ces opérations pendant des périodes favorables, c'est-à-dire en dehors des périodes sensibles du cycle de reproduction des espèces animales et des périodes de libération des graines des espèces indésirables mais aussi en dehors des saisons trop humides où l'engorgement de la tourbe pourrait compromettre le bon avancement du chantier et en dehors de périodes de chasse, l'activité cynégétique constituant une source de revenus conséquente pour le massif et étant de ce fait un interlocuteur incontournable avant toute opération en forêt de Bray. Ainsi, la période optimale pour la réalisation du chantier est comprise entre juin et août.

La coupe constitue le moyen le plus simple, le plus rapide et le plus économique pour éliminer toute la strate arborée. Son principal problème vient du fait que les ligneux, une fois coupés, rejettent souvent vigoureusement de souche, ce qui complique grandement les opérations de suivi et de gestion qui suivent les travaux. En effet, avant d'épuiser les souches, il faut souvent compter entre 3 et 4 ans, ce qui implique un passage régulier pour traiter les rejets (Dupieux, 1998).

Une solution pour réduire ce problème serait d'épuiser les arbres avant la coupe. Pour cela, il suffit d'anneler les bouleaux en leur retirant une bande d'écorce assez large (pour éviter la cicatrisation) sur toute leur circonférence, ce qui lèse les vaisseaux conducteurs de sève élaborée (voir Figure 57). Les racines n'étant plus alimentées en nutriments provenant des feuilles (où s'effectue la photosynthèse à l'origine de la fabrication de matière organique), l'arbre meurt en 2 ans généralement (Frankard, 2006). Il faut néanmoins réaliser cette opération après la fructification pour éviter que celle-ci ne soit plus importante du fait du stress induit par cette opération.

La limite d'utilisation de cette méthode vient du fait qu'il est relativement dangereux d'abattre un arbre à moitié mort, en raison du risque accru de chute de branches.

Figure 56 : Expérience de cerclage de bouleaux sur la tourbière de la forêt de Bray, au niveau de PIEZO_02



Enfin, la technique d'arrachage des ligneux, bien que fastidieuse et complexe, constitue le meilleur moyen pour éliminer efficacement et durablement la strate arborée du site. Seulement, elle n'est pas possible partout puisque de nombreux bouleaux ont été colonisés à leur pied par d'importants tapis de sphaignes (ou alors ce sont les ligneux qui se sont installés sur le tapis préexistant). Le fait est que ces arbres ne peuvent être arrachés sans emporter avec le manchon de sphaignes à leur base. Dans un souci de préservation du maximum de sphaignes possible, ces arbres seront donc préférentiellement coupés et l'arrachage réservé aux seuls arbres n'ayant pas ou peu de sphaignes à leur base. De plus, cette technique engendre des trous en lieu et place des arbres. Ceci permet la diversification des habitats en créant un microrelief favorable à la mise en place de petites mares (gouilles), mais appliqué sur de grandes surfaces, cela peut déstructurer le sol.

Quelle que soit la technique utilisée, les recrues ligneux auront de toute façon à pâtir de la remontée du niveau de la nappe sur la tourbière. Cela calmera donc certainement les rejets de souche et les semis, ce qui facilitera la gestion de ces derniers en limitant leur nombre et leur vigueur. En effet, après les travaux de coupe/arrachage, débardage et décapage, la restauration hydraulique précisée dans la partie 3.2.1 permettra de faire remonter la nappe jusqu'au niveau du sol, étouffant ainsi les végétations non hydromorphes qui pourraient persister sur le site.

L'utilisation de ces trois techniques doit donc être raisonnée en fonction des enjeux et des objectifs de restauration fixés pour chaque portion de la zone de travaux (voir Figure 49 dans la partie 2.4.2). Dans la zone de boulaie à molinie avec plus de 50% de sphaignes, il sera préférable de simplement couper les ligneux (éventuellement annelés l'année précédant la coupe) alors qu'un arrachage non systématique peut être préconisé dans la boulaie à molinie avec moins de 50% de sphaignes, en détournant les arbres à manchon de sphaignes, qui seront simplement coupés. Pour la boulaie – chênaie et la jeune boulaie dense, l'arrachage raisonné peut là encore être préconisé.

3.2.3. Débardage et devenir des rémanents

Une fois les ligneux abattus ou arrachés, il faut les extraire de la tourbière afin de laisser le milieu le plus oligotrophe possible. Pour cela plusieurs options de débardage s'offrent à nous. La première de ces options est le débardage mécanique, avec le chargement des produits de la coupe sur des charriots (dumpers) tractés par une pelle à chenille.

Afin de faciliter la circulation et de limiter l'impact au sol de ces engins lourds, ils se déplaceront sur des plateaux (radeaux de bois cerclés d'acier) dans des cloisonnements qui seront réalisés tous les 12 m d'axe en axe. Ces cloisonnements seront larges de 4 m pour pouvoir accueillir des plateaux de 3,5 m de large. Ils serviront au passage des machines et des hommes lors des phases d'abattage, de débardage et de décapage. Les dégâts au sol seront ainsi concentrés sur une seule zone (qui représente tout de même un quart de la surface restaurée). Les expérimentations menées en Belgique dans les Hautes-Fagnes ont néanmoins démontré l'efficacité de cette méthode puisqu'elle « n'a pas causé le moindre dégât à la végétation et au sol des milieux traversés » (Frankard et Doyen, 1999). La Figure 58 présente une proposition de cloisonnements sur la zone de travaux choisie.

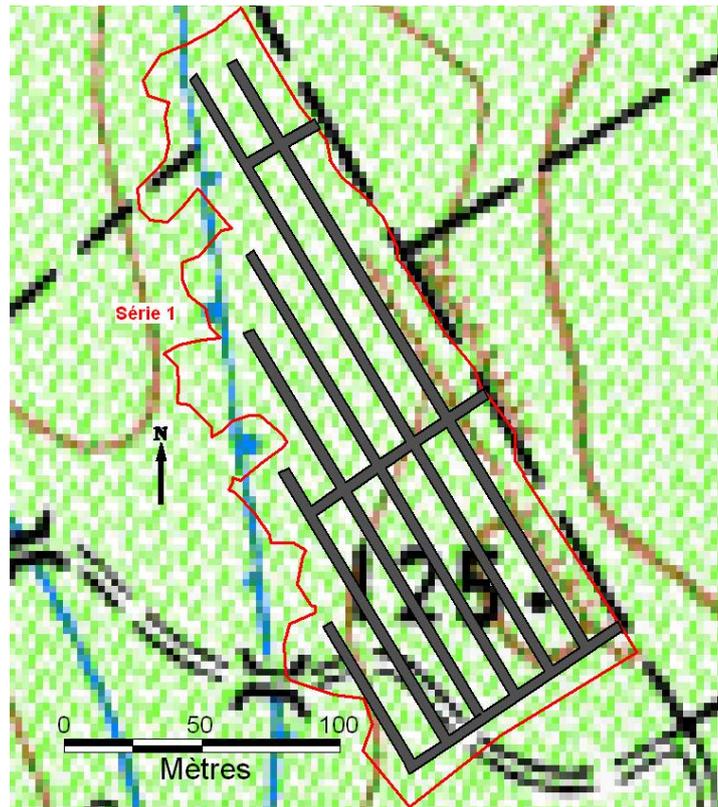


Figure 57 : Cloisonnement sur la zone de travaux

Une autre option peut aussi convenir au débardage des produits de la coupe dans ces milieux tourbeux fragiles et peu portants : le débardage à cheval. Cette technique, qui a fait depuis longtemps ses preuves, n'est plus utilisée que pour des débardages difficiles et sur de petites distances. Plus cher que le débardage mécanique (voir partie 3.3.2), il constitue néanmoins une alternative intéressante aux méthodes classiques. De plus, le cheval a l'avantage du poids et de la taille sur la machine : les impacts au sol sont certes plus marqués mais sur des surfaces bien moindres (de l'ordre du mètre de largeur) réduisant ainsi par quatre la largeur des cloisonnements et donc la surface impactée.

Une fois extraits, les rémanents seront valorisés différemment suivant leur diamètre et leur qualité :

- Les plus grosses tiges pourront servir à faire du **bois de chauffage**
- Les tiges moyennes serviront à la **fabrication de pieux** qui, une fois installés de part et d'autre des seuils, permettront de stabiliser ces ouvrages.
- Les houppiers et les tiges de mauvaise qualité seront valorisée par **broyage**, ensuite épanchés sur les terrains forestiers alentours pour les enrichir ou intégrés à une filière bois-énergie locale.

Ainsi, à la fin des travaux de restauration, il ne restera sur site plus aucun débris végétal et suffisamment peu d'arbres pour espérer voir cesser l'évapotranspiration, qui assèche les tourbières et contribue à leur dégradation.

3.2.4. Décapage des zones à molinie et fougère aigle

Une fois les strates hautes dégagées, il s'avère nécessaire de traiter la strate herbacée, dominée par la molinie dans la zone tourbeuse et par la fougère aigle dans la lande. Là encore, plusieurs choix de gestion s'offrent à nous et dépendent des objectifs recherchés. Les principales modalités de décapage sont ici l'étrépage et le fraisage, qui permettent de mettre au jour la tourbe superficielle et d'affaiblir molinie et fougère aigle en détruisant touradons et rhizomes très recouvrants qui empêchaient aux autres espèces végétales de s'installer sur ces zones.

L'étrépage consiste à retirer, purement et simplement, la couche superficielle du sol et avec elle touradons de molinie et rhizomes de fougère aigle. Ainsi, la tourbe du dessous se retrouve à l'air libre et peut exprimer ses cryptopotentialités (banques de semences du sol). Les surfaces ainsi étrépees ne nécessite pas de gestion à court terme, c'est-à-dire dans les 10 ans qui suivent (Frankard, 2006).

L'inconvénient majeur de cette technique est la quantité de déchets produits puisque toute la tourbe décapée doit être exportée, ce qui peut représenter des volumes très importants (pour un étrépage de 10 cm sur 2 ha, on produit ainsi 2.000 m³ de déchets à exporter, soit 20 rotations de camions). De plus, les engins réalisant l'étrépage n'ont pas une précision au centimètre près. Or, nous avons vu précédemment (partie 2.2) que la profondeur de tourbe régénérable n'excédait généralement pas 5 cm, ce qui paraît trop peu profond pour un étrépage efficace.

L'autre option de décapage, testée sur le plateau des Hautes-Fagnes, est le fraissage. Un tracteur tirant un broyeur de type « Merycrusher » broie la végétation et la couche superficielle du sol en mélangeant le tout (Frankard, 2006). Moins spectaculaires que pour l'étrépage, les résultats du fraissage ne sont effectifs qu'après quelques années d'entretien par fauche ou pâturage des rejets de molinie. Cette option semble difficile à mettre en œuvre ici, car la contrainte de la propriété privée impose des actions de restauration non récurrentes et limite donc le recours à la fauche et au pâturage.

L'opération de décapage de la couche superficielle du sol s'annonce donc délicate à gérer, le recours aux méthodes de restauration classiques semblant difficile à mettre en œuvre. Cependant, une méthode « artisanale » pourra toujours être testée, en arasant par exemple la végétation superficielle sans attaquer la tourbe, afin de déstructurer les végétations en place et laisser la chance aux végétations hydromorphes des tourbières de profiter du retour de conditions hydriques leur étant favorables pour supplanter les espèces à large amplitude comme la molinie.

3.3. Modalités des travaux de restauration

3.3.1. Planning prévisionnel

La période de réalisation des travaux de restauration et la chronologie de ceux-ci sont cruciales pour la réussite du projet. Comme nous l'avons vu précédemment (partie 3.2.2), il importe d'éviter de perturber le milieu pendant :

- les périodes sensibles du cycle de reproduction des animaux (nidification de l'avifaune et ponte des batraciens notamment), c'est-à-dire de mars à mai ;
- les périodes de libération des semences des espèces végétales non désirées, d'octobre à avril ;
- les périodes de hautes eaux, de décembre à avril ;
- les périodes de chasse, de septembre à mars.

Toutes ces limitations réduisent donc la plage de travaux de juin à août.

Ensuite, le déroulement des travaux répond à une logique de simplicité et d'efficacité : on commence par les travaux d'abattage facilités par un sol pas trop engorgé, puis on débarde les rémanents et on décape la végétation superficielle, ramassant donc aussi les déchets fins issus de l'abattage et du débardage (brindilles et branches cassées). C'est seulement une fois que ces travaux de génie écologique ont été terminés que peuvent commencer les travaux de restauration hydraulique, susceptibles de remettre en eau une bonne partie de la tourbière et de créer ainsi des conditions peu propices au passage d'engins. Une fois ces travaux terminés, il faut laisser faire la nature et évaluer les résultats de cette restauration.

Concernant la durée des travaux, voici quelques temps de travail approximatifs par tâche :

- la totalité des deux hectares devrait être abattue et débardée en l'espace de 10 jours (d'après le devis de débardage à cheval, en annexe 16 et Colas (2000), en annexe 15) ;
- pour le décapage, les références manquent, mais on peut raisonnablement tabler sur deux semaines de travail pour deux hectares, en gardant une semaine de marge au cas où ;
- la pose de barrages-seuils en panneaux de bois est estimée à 3 minutes par équipe de deux personnes par Rowell (1988). Si on y ajoute le temps nécessaire à la confection des pieux en bois assurant sa stabilité, on peut estimer qu'il faut 30 minutes par seuil. A raison de 6 seuils sur la zone, il faut donc 3 h pour installer tous les seuils ;
- là encore, peu de données sont disponibles sur le temps nécessaire au comblement du réseau de drainage. Une semaine me semble donc une bonne approximation du temps nécessaire à boucher tous les drains secondaires de la zone.

Le tableau 17 présente le planning prévisionnel de ces actions :

	Juillet 2014					Août 2014			
Abattage									
Arrachage									
Débardage									
Traitement des rémanents									
Décapage									
Pose de seuil									
Comblement de drain									

Tableau 17 : Rétroplanning des travaux

Ainsi, les actions de restauration dureraient environ 1 mois et demi, durant les mois d'été pour respecter toutes les périodes sensibles à éviter. Si les subventions sont trouvées d'ici-là, on peut envisager une phase travaux d'ici l'été 2014.

3.3.2. Estimation des coûts – Financement du projet de restauration

Concernant les prix de ces travaux, deux devis estimatifs ont été effectués sur la zone, l'un avec l'entreprise *Environnement Forêts*, expérimentée dans les travaux de génie écologique en milieu forestier et équipée en engins compatibles avec ce type d'intervention (voir annexe 17), et l'autre avec un débardeur à cheval, M. Ricard, aussi très expérimenté dans ce genre de travaux (voir annexe 16).

Les deux devis ne concernent que l'abattage, l'arrachage et le débardage des ligneux. Cette phase est ainsi chiffrée entre 19.000 euros (*Environnement Forêts*) et 26.000 euros (débardage à cheval).

Pour le traitement des rémanents, le devis d'*Environnement Forêts* nous donne une estimation autour de 19.000 euros pour les deux hectares.

Concernant les travaux de décapage, le chiffrage affiché sur le devis d'*Environnement Forêts* n'est plus d'actualité car la phase d'étude a clairement montré qu'il ne fallait pas descendre sous la barre des 10 cm de profondeur. On trouve dans le rapport final du projet « Life-Nature : Hautes-Fagnes » (Loute, 2012) un chiffrage de ce type d'actions. Ce dernier n'est pas à calquer tel quel sur notre projet puisque au vu des surfaces travaillées lors du projet Life, il a été possible de réaliser d'importantes économies d'échelle, ce qui ne sera pas le cas pour une si petite zone (deux hectares). Cela donne malgré tout une idée de la fourchette basse de prix attendus pour ce type d'opération. Concernant les décapages en tourbière, en moyenne, la réalisation « d'un bassin de 500 m² revient à 336 €, soit un coût moyen de 6.728 €/ha » (Loute, 2000). Pour l'étrépage de lande sur 10 cm de profondeur, le coût moyen a été de 2.800 €/ha. Cela donne ainsi un total de presque 10.000 euros d'étrépage pour notre zone de deux hectares, avec très certainement des surcoûts à rajouter liés à la faible superficie.

Enfin, en ce qui concerne les travaux de comblement de drain et de pose de seuils, le projet Life conclut à un prix moyen de 500 euros par kilomètres de drain bouché. Avec un peu moins de 1 km de drains à boucher sur la zone de travaux (voir partie 1.4.4), le prix de cette opération serait donc de 500 euros. Pour les seuils, il faut compter environ 40 euros du m² pour un panneau de contreplaqué de qualité marine de 2,5 m x 1,2 m (soit 3 m²) et de 10 mm d'épaisseur. A raison de 6 seuils, on peut donc compter 40 x 3 x 6 = 720 euros de matériel sans compter les 6 heures de technicien nécessaire à la réalisation. On peut donc approcher le coût de la restauration hydraulique à 1.000 euros.

Les coûts approximatifs de chaque intervention sont détaillés dans le tableau suivant :

	Abattage Débardage	Traitement des rémanents	Décapage	Restauration hydraulique	Total
Prix en € (H.T.)	19.000	19.000	10.000	1.000	49.000

Tableau 18 : Prix estimatifs des opérations de restauration

Ce chiffrage ne comprends pas tous les frais annexes de gestion de projet (coordination du projet, achats supplémentaires de matériels, etc.)

Pour financer ces travaux, le montage financier, pas encore finalisé, pourrait être ainsi fait :

— Financement à 80% par l'agence de l'eau Seine-Normandie. Cette subvention ne sera néanmoins accordée qu'à la condition que le propriétaire s'engage de façon ferme sur le suivi après travaux et qu'il finance les 20% restant. Pour le suivi, cela est envisageable mais pour le financement, le propriétaire ne veut pas en entendre parler (cela ne le dérange pas que l'on fasse de la restauration de tourbière sur son terrain, mais il ne faut pas que cela lui coûte quelque chose).

— La solution envisagée pourrait donc être de faire financer les 20% restants par le syndicat mixte d'aménagement et de développement du pays de Bray (SMAD), sur les fonds européens Leader (voir annexe 19). Il est prêt à les déboursier, mais il faut encore que la proposition soit acceptée par l'agence de l'eau.

3.3.3. Procédures Loi sur l'eau

De plus, comme toute intervention en zone humide, qui plus est dans le lit mineur d'un cours d'eau, la loi française impose dans les articles R. 214-1 à L.214-3 du code de l'environnement un régime de déclaration ou de demande d'autorisation en préfecture suivant des seuils établis (voir en annexe 18).

La procédure de déclaration est régie par les articles R.214-32 à 40 du code de l'environnement. La procédure a une durée initiale de 2 mois sans compter les questionnements des services de l'Etat auprès du pétitionnaire, ce qui peut rallonger la procédure.

La procédure d'autorisation est régie par les articles R.213-6 à 31 du code de l'environnement. Il n'y a pas de durée de procédure fixée mais elle dure en moyenne un an. Elle nécessite un dossier conséquent, avec notamment une enquête publique.

Les travaux envisagés dans la tourbière sont donc soumis à différents régimes :

— La pose de seuils dans le lit mineur du cours d'eau / drain principal rentre dans la rubrique 3.1.1.0 : « *Installation, ouvrages, remblais et épis, dans le lit mineur d'un cours d'eau, constituant un obstacle à la continuité écologique* ». Les seuils envisagés pour rehausser le niveau de la nappe ayant une hauteur de chute de 20 cm, ils sont soumis à simple déclaration.

— S'il est envisagé d'effacer le drain principal en le bouchant, on rentre cette fois dans la rubrique 3.1.2.0 : « *Installation, ouvrages, travaux ou activités conduisant à modifier le profil en long ou le profil en travers du lit mineur d'un cours d'eau* ». Pour être soumis à simple déclaration, il faut que la longueur impactée soit inférieure à 100 m. Sinon, une procédure de demande d'autorisation se met en place, rallongeant par là-même le temps nécessaire à la procédure, beaucoup plus lourde. Ici, le drain longe la zone sur 250 m.

— Les travaux de décapage rentrent dans la rubrique 3.3.1.0 : « *Assèchement, mise en eau, imperméabilisation, remblais de zones humides ou de marais* ». Pour des surfaces inférieures à 1 ha, il suffit d'une déclaration, sinon il est nécessaire de faire une demande d'autorisation.

Ainsi, en effectuant des travaux sur un peu moins d'un hectare de tourbière et en posant des seuils de 20 cm de haut, on évite les procédures d'autorisation, longues et fastidieuses. Il faut tout de même prévoir deux mois minimum de procédure de déclaration dans le planning prévisionnel de la phase de travaux et donc entreprendre les démarches auprès de la préfecture dès que le montage financier sera accepté, au plus tard en avril 2014 pour des travaux à l'été 2014.

3.4. Modalités de suivi

Pour s'assurer du succès de la restauration, une gestion conservatoire de ces milieux est nécessaire après la phase travaux. C'est d'ailleurs une de principales conditions imposée par les financeurs, qu'il s'agisse de l'agence de l'eau Seine-Normandie ou du SMAD. Seulement, enclavée au sein de la propriété privée, la tourbière de la forêt de Bray que nous aimerions restaurer, ne peut être vendue à un organisme public sans que le propriétaire y perde. Il ne compte d'ailleurs pas vendre cette zone-refuge pour le gibier car très peu fréquentée par les chasseurs et les forestiers, constituant ainsi une plus-value pour la chasse, qui représente une source de revenus conséquente sur le massif de la forêt de Bray. Pour résoudre ce problème, une solution originale a été trouvée, mais n'est pas encore actée : la convention de mise à disposition de terrain d'assiette.

Il s'agit d'un outil règlementaire normalement utilisé dans le processus d'élaboration d'une stratégie Trame verte et bleue locale. Il est utilisé par des collectivités proactives sur la création ou la restauration, puis l'entretien de corridors écologiques ou de zones riches en biodiversité sur des terrains privés. La convention est élaborée entre personne morale de droit public (ici le C.R.P.F. N.), personne morale de droit privée (association agréée en protection de l'environnement) et personnes physiques (ici le propriétaire forestier). Elle est signée dans le but d'effectuer, avec l'accord du propriétaire, des travaux financés par les collectivités et de garantir la pérennité de l'action.

La durée de cette convention est d'un an, avec la possibilité d'une reconduction tacite pour 5 ans. Elle n'est pas considérée comme un bail et nécessite l'accord du prêteur et de l'usager de la parcelle et sous-entend la responsabilisation de l'usager du terrain pour l'entretien. Elle permet à la fois une gestion adaptée et de maintenir ou créer des réservoirs de biodiversité. Le seul inconvénient est que cette convention reste révocable à tout moment et fait l'objet d'un droit d'occupation partiel.

Idéalement, cette convention pourrait être signée entre le centre régional de la propriété forestière de Normandie, le conservatoire régional des espaces naturels de Haute-Normandie et le propriétaire.

En effet, le conservatoire est pressenti pour prendre en charge le suivi et la gestion post-travaux de cette zone, puisqu'il est expérimenté dans ce genre de travaux et qu'il gère déjà la tourbière située juste quelques centaines de mètres en aval, qu'ils ont restauré avec succès il y a 4 ans.

Pour l'instant encore à l'état de projet, il reste encore à monter ce partenariat, une fois le montage financier validé.

Conclusion

En conclusion, cette étude de six mois sur les tourbières du pays de Bray a contribué à améliorer la connaissance que nous avons afin d'orienter au mieux les mesures de gestion qui leur conviennent. À partir d'études historiques, piézométriques, physico-chimiques, pédologiques et floristiques, il a été possible de dresser un état initial précis de deux d'entre elles. Ce dernier s'avère plutôt médiocre, vu les objectifs à atteindre en terme de restauration de tourbière haute active. Il s'agit donc de l'améliorer, afin d'augmenter un peu plus la patrimonialité de ces milieux en sursis du fait des pressions diverses qui se sont exercées et s'exercent toujours sur lui.

Ceci passe inévitablement par une phase de travaux de restauration. Dans notre cas, les contraintes de la propriété privée nous imposent des interventions brèves et assez traumatisantes pour le milieu, avec une gestion la plus simple possible après ceux-ci. En effet, quand le propriétaire n'est pas convaincu du bienfondé de cette restauration et qu'il laisse simplement faire sans y prendre part, il est particulièrement difficile d'obtenir une véritable phase de suivi et l'on doit souvent se contenter d'un ou deux passages par an, pour voir l'évolution de ces travaux, ce qui peut s'avérer insuffisant. On peut aussi s'interroger sur le fait que l'on dirige, pour ces travaux de restauration, des fonds publics (Agence de l'eau, SMAD et fonds Leader) sur un unique propriétaire privé, ce qui peut paraître étrange, voire dérangeant.

La méthode identifiée pour effectuer ces travaux de restauration se divise en trois phases :

- Une phase d'identification préalable du site d'étude (non précisée dans ce rapport, car effectuée avant le début de mon stage), qui permet de cibler la zone à étudier.
- Une phase d'étude, qui permet de déterminer l'état initial de la tourbière et son niveau de dégradation. Elle permet d'identifier les causes de la dégradation, de déterminer le type de tourbière auquel on a à faire et définir les objectifs de restauration ;
- Une phase de travaux, qui consiste à libérer la niche écologique en éliminant les espèces à large amplitude qui ont profité de la dégradation du milieu due à l'assèchement pour supplanter les espèces typiques des milieux tourbeux mais aussi à rétablir des conditions écologiques favorables à ces espèces spécialistes des landes et tourbières pour espérer les voir revenir coloniser le site.

À partir de cette méthode relativement simple et efficace, il sera possible de proposer aux propriétaires de tourbières dégradées volontaires une démarche visant à la restauration de leurs tourbières. En effet, par la description et l'établissement de l'état initial de ces dernières, on peut conclure sur l'état de dégradation de celles-ci et ainsi proposer des mesures de restauration adaptées à chaque cas rencontré, suivant les causes de dégradation constatées.

Si on réfléchit à une méthode plus synthétique, les facteurs-clé à mesurer sont indubitablement l'indice de régénéralité des tourbes, qui permet de connaître l'état de décomposition de la tourbe et ainsi son potentiel de régénéralité, le niveau d'eau dans la tourbière et la végétation patrimoniale en place, qui reflètent respectivement l'état de dégradation hydraulique et floristique de la tourbière. Les autres facteurs mesurés dans notre étude constituent quant à eux d'autres indicateurs permettant d'affiner un peu plus le diagnostic et d'orienter plus précisément les travaux de restauration.

Enfin, la méthode proposée ici pourra être étendue aux 65 hectares de tourbières dégradées encore susceptibles de régénéralité cartographiées dans le document d'objectifs du site Natura 2000 « Pays de Bray humide ». C'est en effet le but ultime de ce projet : proposer une méthode simple et efficace pour envisager la réalisation de travaux de restauration du continuum landes – tourbières dégradées.

Références bibliographiques

- AGENCE DE L'EAU SEINE-NORMANDIE. 2009 — *Le SDAGE 2010-2015 du bassin de la Seine et des cours d'eau côtiers normands*. — Nanterre : Agence de l'Eau Seine-Normandie. — 278 p.
- ANDERSEN R. et ROCHEFORT L. et LANDRY J. 2011 — La chimie des tourbières du Québec : une synthèse de 30 années de données. — *Le naturaliste canadien*, 135 n° 1. — p. 5 – 14.
- APFFEL C. 2011 — *La traction animale en débusquage forestier*. — Nancy : ONF – Direction territoriale de Lorraine. — 72 p.
- ASSOCIATION FRANCAISE POUR L'ETUDE DES SOLS. 2008 — *Référentiel pédologique* — Versailles : Editions Quae. — 405 p.
- BLAINVILLE S. et PILLAT P. 1991 — *La forêt brayonne dans le contexte sylvicole haut-normand*. — Rouen : CAUE de Seine-Maritime. — 111 p.
- DE BROU F. 2000 — *Catalogue des types de station forestière du pays de Bray normand*. — Saint-Etienne-du-Rouvray : CRPFN. — 146 p.
- CATTEAU E. et DUHAMEL F. et al. 2009 — *Guide des végétations des zones humides de la région de la Région Nord-Pas de Calais*. — Bailleul : Centre régional de phytosociologie agrée Conservatoire botanique national de Bailleul. — 632 p.
- CHAIB J. 1985 — Expertise des impacts des opérations de drainage en Pays de Bray (Bassin de l'Epte depuis sa source jusqu'à Gournay-en-Bray). — *Etudes du CDM*, 6 décembre 1985. — 21p.
- CHAMBRE D'AGRICULTURE DE SEINE-MARITIME. 2005 — *L'essentiel du Document d'Objectif du site Natura 2000 « Pays de Bray humide » (site n° FR 2300131)*. — Bois-Guillaume : Chambre d'agriculture de Seine-Maritime. — 148 p.
- CHOLET J. et JAMEAU L. 2010 — *Chapitre 3 : Connaître l'hydrologie d'un site*. — Dans : *Tourbières des montagnes françaises – Nouveaux éléments de connaissance, de réflexion et de gestion*. — Besançon : Pôle-relais Tourbières. — 22 p.
- COLAS S. et HEBERT M. et al. — *Guide d'estimation des coûts de gestion des milieux naturels ouverts*. — Orléans : Espaces Naturels de France, programme Life-Environnement « Coûts de gestion ». — 136 p.
- CONSEIL GÉNÉRAL DU FINISTÈRE. 2002 — *Guide technique d'aménagement et de gestion des zones humides du Finistère*. — Quimper : CG 29. — 252 p.
- DUPIEUX N. 1998 — *La gestion conservatoire des tourbières de France : premiers éléments scientifiques et techniques*. — Orléans : Espaces Naturels de France, programme Life « Tourbières de France ». — 244 p.
- FILEUX P.N. 1977 — *Les groupements végétaux du Pays de Bray (Seine-Maritime et Oise – France), Caractérisation – Ecologie – Dynamique*. — Rouen : Faculté de Sciences de Rouen. — 209 p. (thèse de doctorat)
- FRANKARD P. et DOYEN A. 1999 — La restauration des tourbières hautes de la réserve naturelle domaniale des Hautes-Fagnes. — *Les cahiers de réserves naturelles RNOB*, 13. — p. 19 – 27.
- FRANKARD P. 2006 — *Bilan des 12 années de gestion conservatoire des tourbières hautes dans la réserve naturelle domaniale des Hautes Fagnes (Est de la Belgique)*. — Gembloux (Belgique) : Centre de Recherche de la Nature, des Forêts et du Bois). — 9 p.

- FRANKARD P. 2006 — *Evaluation des techniques de restauration des landes sèches, des landes tourbeuses et des genévrières testées sur le plateau des Hautes Fagnes*. — Gembloux (Belgique) : Centre de Recherche de la Nature, des Forêts et du Bois. — 9 p.
- GOBAT J.M. et PORTAL J.M. 1985 — Caractérisation de 5 tourbes oligotrophes représentatives d'une dynamique de la végétation dans le Jura suisse. — *Science du sol* (2). — p. 59 - 74.
- GOBAT J.M. et ARAGNO M. et MATTHEY W. 2003 — *Le sol vivant – Base de pédologie, Biologie des sols*. — Lausanne (Suisse) : Presses polytechniques et universitaires romandes. — 568 p.
- GUYONNEAU J. 2005 — Etude de la végétation et l'hydrologie du marais des Levresses, réserve naturelle régionale des tourbières de Frasne. — Dans : *Les Nouvelles Archives de la Flore jurassienne*, 3, 2005. — Pontarlier : Société Botanique de Franche-Comté. — 56p.
- DE LAPPARENT A. 1879 — *Le Pays de Bray : Mémoire pour servir à l'explication de la carte géologique détaillée de la France*. — Paris : Imprimerie A. Quantin. — 178 p.
- LEVESQUE M. & DINEL H., 1976 — Une technique simple pour l'analyse granulométrique de la tourbe en milieu aqueux. — Dans *Journal Soil Science*, Contribution n° 542 — p. 119 - 120.
- LOUTE M. et PLUNUS J. et MACKELS D. et ARENS D. et DUMOULIN V. 2013 — *Final Report : Restauration de landes et tourbières du Plateau des Hautes Fagnes*. — Robertville (Belgique) : Parc Naturel des Hautes Fagnes-Eifel. — 130 p.
- MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DE L'ÉNERGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE. 2009 — *Guide technique actualisant les règles d'évaluation de l'état des eaux douces de surface de métropole*. — Paris : MEEDDAT. — 74 p.
- PORTERET J. 2008 — *Fonctionnement hydrologique des têtes de bassin versant tourbeuses du Nord-Est du Massif Central*. — Saint Etienne : Université Jean Monnet. — 430 p. (thèse de doctorat)
- ROWELL T. 1988 — *The Peatland Management Handbook*. — Peterborough (Royaume-Uni) : Nature Conservancy Concl. — 178 p.
- SUNDBERG S. 2008 — *The Ecological Significance of Sexual Reproduction in Peat Mosses (Sphagnum)*. — Uppsala (Suède) : Uppsala University. — 36 p.
- SYNDICAT MIXTE D'AMENAGEMENT ET DE DEVELOPPEMENT DU PAYS DE BRAY et CENTRE REGIONAL DE LA PROPRIETE FORESTIERE DE NORMANDIE. 2012 — *Chartre Forestière de Territoire du pays de Bray*. — Saint Etienne du Rouvray : C.R.P.F.N. — 111p.
- VALENTIN B. et DESTINE B. et BOULLET V. 2011 — *Méthodologies et intérêts de l'étude du patrimoine séminal des sols pour une conservation optimisée des espèces et des habitats naturels*. — Bailleul : Conservatoire Botanique National de Bailleul. — 12 p.

Liste des contacts

- Conservatoire botanique national de Bailleul (C.B.N.BI):
 - **Bertille VALENTIN** – Chargée de mission référent conservation – CBNBI, Hameau de Haendries, 59270 Bailleul – 03.28.49.00.83 – b.valentin@cbnbl.org
 - **Jean-Christophe HAUGUEL** – Chef d’antenne – Antenne Picardie du CBNBI, 13 allée de la pépinière 80044 Amiens Cedex – 03.22.89.69.78 – jc.hauguel@cbnbl.org
 - **William LEVY** – – Antenne Haute-Normandie, Jardin des plantes de Rouen, 114 ter avenue des Martyrs de la Résistance 76100 Rouen – 02.35.03.32.79 – w.levy@cbnbl.org
- Agence de l’eau Seine-Normandie :
 - **Béatrice PAUL** – Service Milieux et Agriculture, Hangar C, Espace des Marégraphes, BP 1174 76176 Rouen Cedex 1 – 02.35.63.61.54 – paul.beatrice@aesn.fr
 - **Roland GOUJON** – Service Milieux et Agriculture, Hangar C, Espace des Marégraphes, BP 1174 76176 Rouen Cedex 1 – 02.35.63.61.37 – goujon.roland@aesn.fr
- Direction départementale des territoires et de la mer de Seine-Maritime (DDTM 76) :
 - **Christophe KERVALLA** – Bureau de la Police de l’Eau, DDTM 76, 2 rue St Sever 76032 Rouen Cedex – 02.32.18.94.81 – christophe.kervalla@seine-maritime.gouv.fr
- Office national de l’eau et des milieux aquatiques (ONEMA) :
 - **Luc BABKA** – Chef de service départemental – ONEMA Service départemental de Seine-Maritime, 6 rue des Parts, 76190 Yvetot – 02.35.96.95.59 – sd76@onema.fr
- Laboratoire d’étude des eaux (LEE):
 - **Patrick MEIER** – Responsable du LEE – ENGEES (Ecole Nationale du Génie de l’Eau et de l’Environnement de Strasbourg), 1 quai Koch 67000 Strasbourg – 03.88.24.82.08 – patrick.meier@engees.unistra.fr
 - **Marie-Pierre OTTERMATE** – Technicienne Formation Recherche au laboratoire LEE – ENGEES, 1 quai Koch 67000 Strasbourg – 03.88.24.82.97 – mariepierre.ottermate@engees.unistra.fr
- Direction générale opérationnelle de l’agriculture, des ressources naturelles et de l’environnement (DGARNE) :
 - **Philippe FRANKARD** – Attaché scientifique – DGARNE, Mont-Rigi, Route de Botrange 137, B – 4950 Robertville (Belgique) – (0032) 478.48.49.63 – philippe.frankard@spw.wallonie.be
 - **Pascal GHLETTE** – Attaché scientifique – DGARNE, Mont-Rigi, Route de Botrange 137, B – 4950 Robertville (Belgique) – (0032) 478.48.49.64 – pascal.ghiette@spw.wallonie.be

- Projet LIFE-Nature « Hautes Fagnes » :
 - **Maïté LOUTE** – Coordinatrice du projet LIFE « Hautes Fagnes » – Centre Nature, route de Botrange 131, B - 4950 Robertville (Belgique) – (0032) 80 440 390 – maite.loute@hautes-fagnes-eifel.be

- Débardeurs à cheval :
 - **Jean-Baptiste RICARD** – Débardeur à cheval, Travaux forestiers en traction animale – La métairie 72130 Saint Ouen de Mimbré – 06.14.09.80.87 – j.ricard@club-internet.fr
 - **Gilles MARTY** – Exploitant agricole et forestier, Entreprise de débardage à cheval – 31 rue d’Etampes 91410 Corbreuse – 01.64.59.87.91 – nathalie.marty0299@orange.fr

- Conservatoire régional des espaces naturels de Haute-Normandie (CREN HN) :
 - **Emmanuel VOCHÉLET** – Chargé de projets – CREN HN, rue Pierre de Coubertin, BP 424 76805 Saint Etienne du Rouvray Cedex – 02.35.65.47.14 – e.vochelet@cren-haute-normandie.com

- Laboratoire ECODIV (Université de Rouen) :
 - **Michael AUBERT** – Maître de conférences spécialisé en écologie forestière, Directeur adjoint d’ECODIV – Laboratoire d’écologie-ECODIV, UFR Sciences, place Emile Blondel 76821 Mont Saint Aignan Cedex – 02.32.76.94.40 – michael.aubert@univ-rouen.fr
 - **Fabrice BUREAU** – Maître de conférences spécialisé en écologie du sol – Laboratoire d’écologie-ECODIV – 02.32.76.94.40 – fabrice.bureau@univ-rouen.fr
 - **Estelle LANGLOIS** – Maître de conférences spécialisé en écologie végétale – Laboratoire d’écologie-ECODIV – 02.32.76.94.39 – estelle.langlois@univ-rouen.fr

- Direction régionale de l’environnement, de l’aménagement et du logement de Haute-Normandie (DREAL HN) :
 - **Christine LENEVEU** – DREAL HN/SRE/BBIO – 1 rue Dufay, 76100 Rouen – 02.32.81.35.63 – christine.leneveu@developpement-durable.gouv.fr

 - **Christophe TREPAGNY** – Garde-Rivière – Syndicat Intercommunal d’Etudes d’Aménagement et d’Entretien de l’Epte – 06.84.12.82.78 – christophe.trepagny@sfr.fr
 - **Jean-Yves MASSENET** – Lycée forestier de Mesnières-en-Bray, Château de Mesnières 76270 Mesnières-en-Bray – 06.75.09.44.93 – jymassenet@aol.com
 - **Béatrice BESNARD** – Chargée de mission NATURA 2000 Pays de Bray humide – Syndicat Mixte d’Aménagement et de Développement du Pays de Bray, Maison des services, Boulevard du Maréchal Joffre, 76270 Neufchâtel-en-Bray – 02.32.97.56.14 – beatricebesnard@paysdebray.org

Table des annexes

<i>Annexe 1 – Réponse du Ministère de l'appel à projet SNB</i>	<i>p. 71</i>
<i>Annexe 2 – Arrêté d'autorisation d'exploitation (1876)</i>	<i>p. 72</i>
<i>Annexe 3 – Croquis de l'exploitation de tourbe (1836)</i>	<i>p. 75</i>
<i>Annexe 4 – Script R des box plots de pH</i>	<i>p. 76</i>
<i>Annexe 5 – Script R des box plots de conductivité</i>	<i>p. 77</i>
<i>Annexe 6 – Protocole d'analyse du fer</i>	<i>p. 78</i>
<i>Annexe 7 – Protocole d'analyse du P043-</i>	<i>p. 81</i>
<i>Annexe 8 – Protocole d'analyse du NO2-</i>	<i>p. 82</i>
<i>Annexe 9 – Protocole d'analyse du NO3-</i>	<i>p. 83</i>
<i>Annexe 10 – Protocole Indice de régénéralité</i>	<i>p. 84</i>
<i>Annexe 11 – Protocole d'analyse du taux de cendres</i>	<i>p. 87</i>
<i>Annexe 12 – Résultats de régénéralité des tourbes</i>	<i>p. 88</i>
<i>Annexe 13 – Résultats de taux de cendre et teneur en eau</i>	<i>p. 89</i>
<i>Annexe 14 – Résultats de pH du sol</i>	<i>p. 90</i>
<i>Annexe 15 – Estimation des temps de travaux à l'hectare</i>	<i>p. 91</i>
<i>Annexe 16 – Devis du débardage à cheval</i>	<i>p. 92</i>
<i>Annexe 17 – Devis d'Environnement Forêts</i>	<i>p. 94</i>
<i>Annexe 18 – Règlementation Loi sur l'eau</i>	<i>p. 98</i>
<i>Annexe 19 – Accord de financement du SMAD</i>	<i>p. 100</i>

Annexe 1 – Réponse Appel à Projet SNB



C.R.P.F.
31 AOUT 2012

MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ÉNERGIE

Direction générale de l'aménagement
du logement et de la nature
Direction de l'eau et de la biodiversité

La Défense, le 27 AOUT 2012

Sous-direction de la protection et de la valorisation
des espèces et de leurs milieux
Bureau de la connaissance
et de la stratégie nationale pour la biodiversité

Affaire suivie par : Pierre-Edouard GUILLAIN
pierre-edouard.guillain@developpement-durable.gouv.fr
TÉL. 01 40 81 12 83

Objet : Appel à projet pour la stratégie nationale pour la biodiversité – Stratégies locales de développement forestier

Monsieur le Président,

Vous avez déposé un dossier pour réhabiliter des landes et restaurer des tourbières dégradées dans le cadre de l'appel à projets pour la mise en œuvre de la stratégie nationale pour la biodiversité «Prise en compte de la biodiversité dans les stratégies locales de développement forestier». J'ai le plaisir de vous informer que votre projet a été retenu et que le Ministère vous apportera son soutien financier pour un montant de 60 000 euros.

Les services déconcentrés du Ministère prendront votre attache pour recueillir les pièces nécessaires à l'établissement de la convention de financement et finaliser dans celle-ci les modalités d'intervention et les conditions de ce soutien.

Je vous remercie pour votre engagement pour la biodiversité et vous prie d'agréer, Monsieur le Président, l'expression de ma considération distinguée.

La directrice de l'eau et de la biodiversité

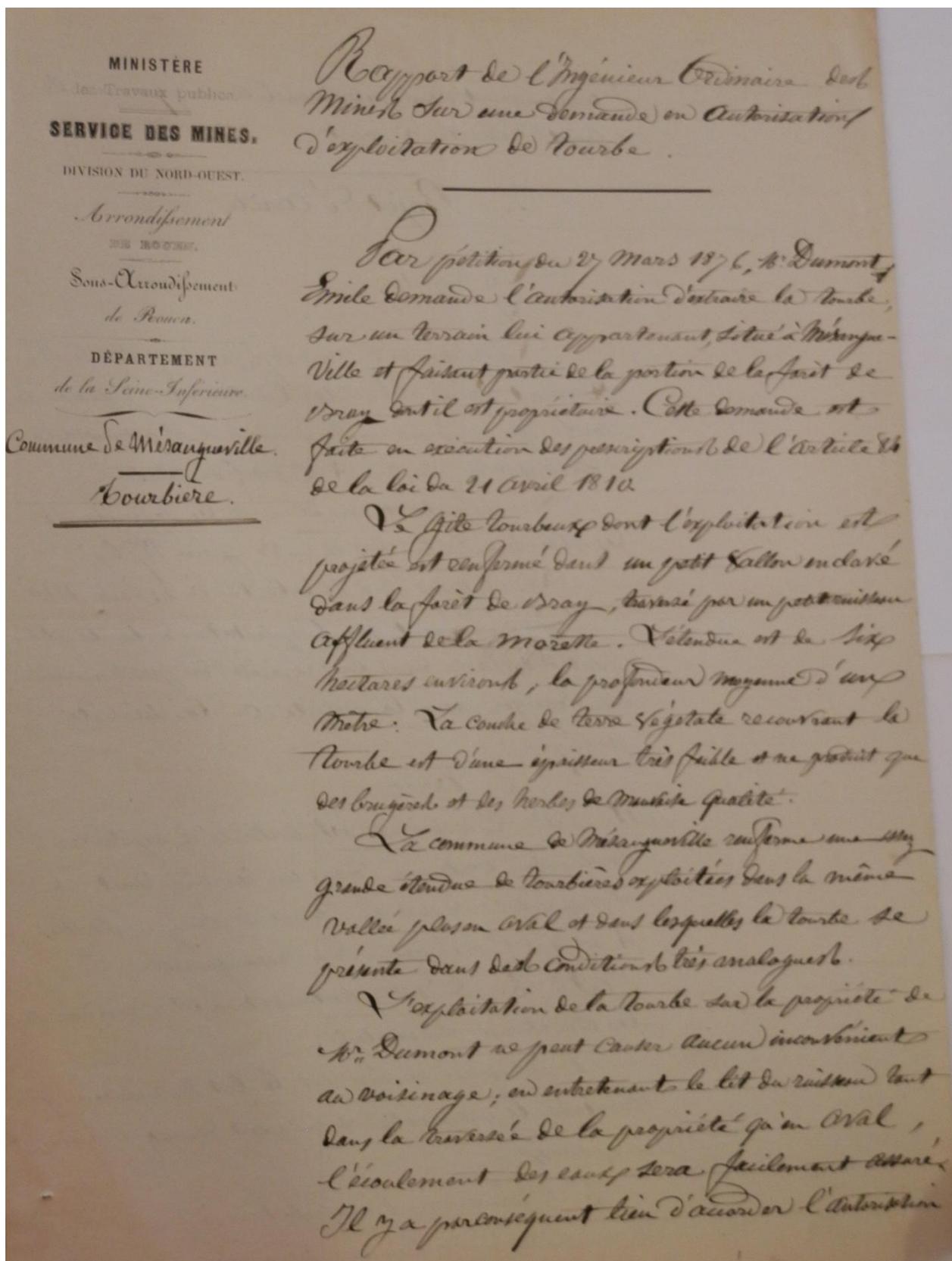
Odile GAUTHIER



Monsieur Louis-René de LESQUEN
Président du Conseil d'administration
Centre Régional de la Propriété Forestière de Normandie
1 rue Georges Clémenceau
BP 20600
76235 Bois Guillaume Cedex

Annexe 2 – Arrêté d'autorisation (1876)

Source : Archives départementales de Seine-Maritime (Référence : 8S36)



demandée et nous présenterons en conséquence le
projet d'arrêté ci-joint.

Projet d'arrêté.

Le Préfet...

Vu

La pétition du 27 Mars 1876, par laquelle le M^r
Dumont Emile sollicite l'autorisation d'extraire la
tourbe que renferme un terrain dont il est propriétaire
à Mézangreville, section A n^o 4 et 5 du Cadastre;

Les rapports et avis de M. le Ingénieur
des Mines en date des 12 - 13 Juin 1876;

Les Articles 83 à 86 de la loi du 21 Avril 1810;

Considérant que l'exploitation de la tourbe
peut être faite dans la propriété du pétitionnaire
sans danger pour la sécurité ou la salubrité
publique;

Arrête:

Art^{er} 1^{er}. M^r Dumont est autorisé à exploiter
la tourbe contenue dans un terrain dont il
est propriétaire dans la Forêt de Orsay, section
A n^o 4 et 5 du Cadastre de Mézangreville.

Art^{er} 2. Cette autorisation est accordée sous
les conditions suivantes:

1^o Entretien en bon état le lit du ruisseau qui
traverse la propriété et qui peut donner écoulement
aux eaux;

2^o Commencer l'exploitation à partir du lit
du ruisseau et continuer de proche en proche

par entailles rectangulaires, sur toute l'épaisseur
du terrain tourbeux;

3^e. Tenir les travaux à une distance de 8 mètres
au moins des voies publiques, et à une distance
de 2 mètres au moins des terres propriétés
Voisines; cette dernière distance pouvant être
diminuée, si les tiers intéressés y consentent.

Artⁿ 3. Le permissionnaire se conformera
aux lois et règlements existants ou à intervenir
sur les tourbières, ainsi qu'aux prescriptions
qui pourront lui être imposées en vue d'assurer
la salubrité publique.

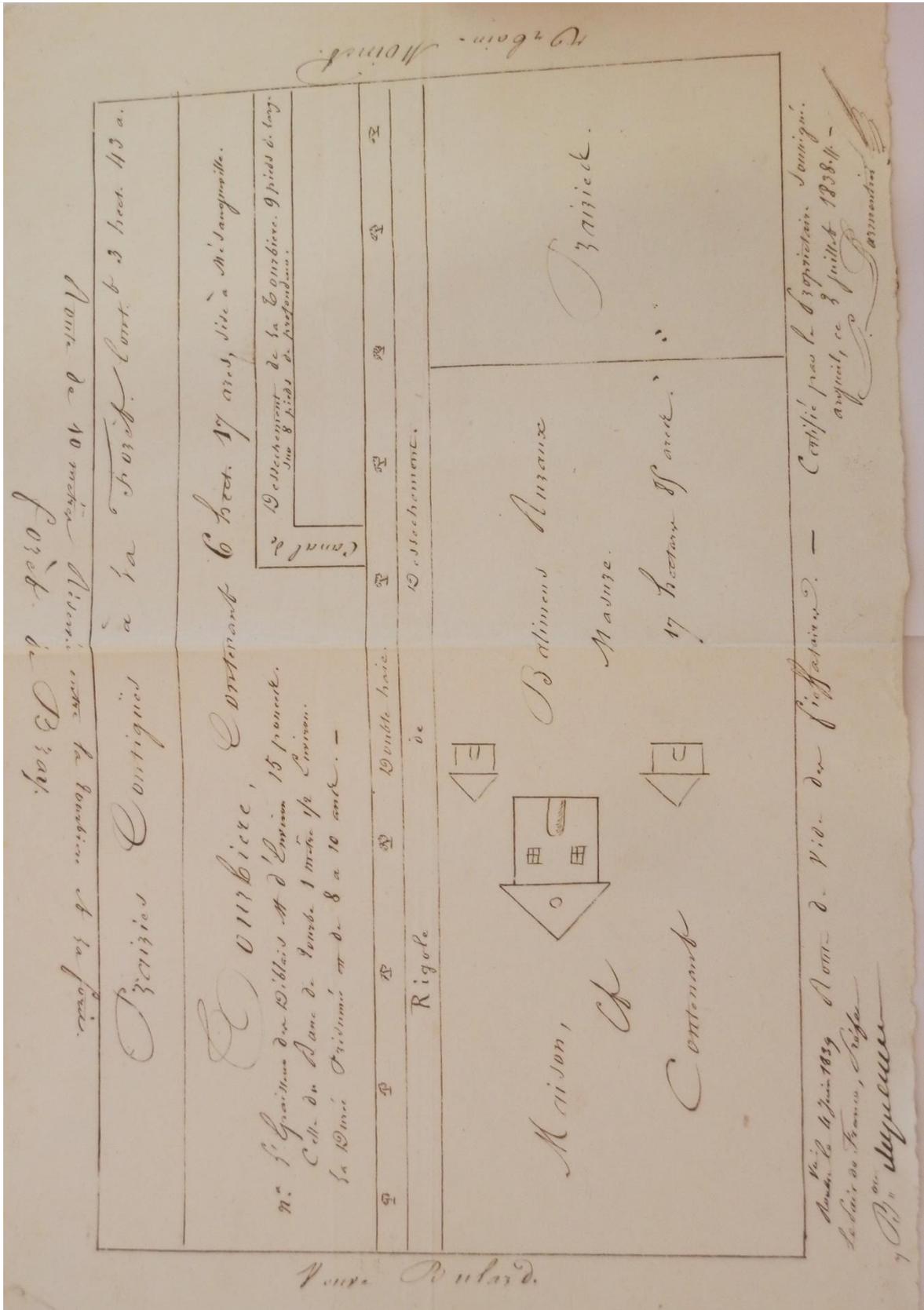
Il sera tenu de contribuer, quand il en sera
requis, aux dépenses communes qu'exigerait
l'exécution des travaux nécessaires à l'écoulement
des eaux, et autres ouvrages d'art devant lui
profiter.

Artⁿ 4. Si le permissionnaire n'exécute
pas les conditions ci-dessus prescrites, si surtout
il laisse couvrir les eaux, de manière à
former un foyer d'infection répandant des
émanations délétères, la présente autorisation
pourra être suspendue et même retirée, sans
préjudice des peines encourues pour
contravention.

Artⁿ 5. M^r l'Ingénieur en Chef des
Mines est chargé d'assurer l'exécution
du présent Arrêté qui sera notifié au
M^r Dumont par les soins de M^r
de Misanguerville.

Annexe 3 – Croquis Exploitation (1836)

Source : Archives départementales de Seine-Maritime (Références : 8S36)



Annexe 4 – Script R des boxplots pH

#Boxplot des pH par série

#Lecture du fichier

```
read.table("SERIE1.txt", header=T)->serie1
```

```
read.table("SERIE2.txt", header=T)->serie2
```

```
read.table("SERIE3.txt", header=T)->serie3
```

```
read.table("BRAY.txt", header=T)->bray
```

#Points au sol de la forêt de Bray

```
read.table("LEON.txt", header=T)->leon
```

#Points au sol du bois Léon

#Boxplot

```
boxplot(serie1, ylim=c(3.5, 6.5), ylab="pH", main="Répartition des pH sur la série 1")
```

```
boxplot(serie2, ylim=c(3.5, 6.5), ylab="pH", main="Répartition des pH sur la série 2")
```

```
boxplot(serie3, ylim=c(3.5, 6.5), ylab="pH", main="Répartition des pH sur la série 3")
```

```
boxplot(bray, ylim=c(3.5, 6.5), ylab="pH", main="Répartition des pH sur les points de mesure au sol de la tourbière de la forêt de Bray")
```

```
boxplot(leon, ylim=c(3.5, 6.5), ylab="pH", main="Répartition des pH sur les points de mesure au sol de la tourbière du bois Léon")
```

Annexe 5 – Script R des boxplots conductivité

#Boxplot des conductivités par séries

#Lecture du fichier

```
read.table("SERIE1.txt", header=T)->serie1
read.table("SERIE2.txt", header=T)->serie2
read.table("SERIE3.txt", header=T)->serie3
read.table("BRAY.txt", header=T)->bray           #Points au sol de la forêt de Bray
read.table("LEON.txt", header=T)->leon         #Points au sol du bois Léon
```

#Boxplot

```
boxplot(serie1, ylab="conductivité", main="Répartition des conductivités sur la série 1")
boxplot(serie2, ylab="conductivité", main="Répartition des conductivités sur la série 2")
boxplot(serie3, ylab="conductivité", main="Répartition des conductivités sur la série 3")
boxplot(bray, ylab="conductivité", main="Répartition des conductivités sur les points de mesure au
sol de la tourbière de la forêt de Bray")
boxplot(leon, ylab="conductivité", main="Répartition des conductivités sur les points de mesure au
sol de la tourbière du bois Léon")
```

Annexe 6 – Protocole d'analyse du fer

DOSAGE DU FER selon la norme ISO 6332 de 1988

PRINCIPE :

Méthode spectrométrique à la phénanthroline-1,10 pour le dosage du fer dans l'eau naturel et les eaux usées, formation d'un complexe rouge-orange à une longueur d'onde de 510 nm. Réalisation de quatre dosages celui du fer (dissous et non dissous) par méthode directe et méthode après minéralisation.

Remarque :

Eviter autant que possible le contact avec l'air lors des manipulations.

I / REACTIFS:

1) Solution d'acide sulfurique à 4,5 mol/l.

Dans une fiole de 1000 ml, ajouter lentement en agitant :

- ✓ 250 ml d'acide sulfurique concentré (1,84 g/ml)
- ✓ avec de l'eau pure,
- ✓ ajuster au trait de jauge.

Lors de l'utilisation de ce réactif, port de lunettes et vêtement de protection obligatoires.

2) Acide nitrique concentré à 1,40 g/ml, 65 %.

Lors de l'utilisation de ce réactif, port de lunettes et vêtement de protection obligatoires.

3) Solution d'acide chlorhydrique à 1,15 g/ml (30%) ou à 1,2 g/ml (37%).

4) Tampon acétate.

Dans une fiole jaugée de 100 ml, dissoudre :

- ✓ 40 g d'acétate d'ammonium dans de l'eau.
- ✓ 50 ml d'acide acétique cristallisable (1.06 g/ml).
- ✓ ajuster au trait de jauge.

5) Chlorohydrate d'hydroxylamine, solution à 100 g/l

Dans une fiole de 100 ml, dissoudre :

- ✓ 10 g de chlorohydrate d'hydroxylamine dans l'eau.
- ✓ ajuster à 100 ml.

Cette solution est stable pendant 1 semaine.

6) Solution de phénanthroline-1,10.

Dissoudre 0,5 g de phénanthroline-1,10 chlorohydraté ($C_{12}H_9ClN_2$, H_2O) dans 100 ml d'eau.
Ou, dissoudre 0,42 g de phénanthroline-1,10 monohydraté ($C_{12}H_8N_2$, H_2O) dans 100 ml d'eau et 2 gouttes d'acide chlorhydrique.

A conserver 1 semaine à l'obscurité.

7) Solution de Fer à 1 g/l (analyse du FeII) :

Dans une fiole de 1000 ml introduire 4,975 g de Fe(SO₄), 7 H₂O et ajuster trait de jauge avec de l'eau.

8) Solution de Fer à 1 g/l (analyse du Fe III, Fe Dissous, Fe Total) :

Utiliser la solution commerciale de Fe(NO₃)₃ à 1 g/l, (Merck ref. UN3264).

II / Gamme Etalon :

1) Solution-mère de Fer à 50 mg/l :

Dans une fiole de 100 ml :

- ✓ Ajouter 5 ml de solution commerciale à 1 g/l
- ✓ Ajuster au trait de jauge et homogénéiser.

Conserver cette solution 1 semaine.

2) Solution-fille de Fer à 1 mg/l

Dans une fiole jaugée de 50 ml, introduire 1 ml de solution-mère à 50 mg/l et compléter au volume avec de l'eau pure.

Conserver cette solution 1 jour.

3) Solutions d'étalonnage :

Dans une série de fioles jaugées de 50 ml :

Fiole N°	0	1	2	3	4	5	6	7
Solution Sf 1 mg/l (ml)	/	0,5	2,5	5	/	/	/	/
Solution Sm 50 mg/l (ml)	/	/	/	/	0,5	1	2,5	5
Ajouter 0,5 ml d'acide sulfurique à 4,5 mol/l								
Compléter à 50 mL avec de l'eau déminéralisée								
Fer mg/L	0	0,01	0,05	0,1	0,5	1	2,5	5

Traiter les solutions étalon de la même manière que les échantillons, selon la forme de fer à doser. Pour la gamme du fer total préparer directement dans les tubes à DCO.

4) Etalon de contrôle.

Afin de vérifier le bon étalonnage, et le bon déroulement de la préparation des échantillons. A chaque série d'échantillon réaliser un étalon de contrôle à 1 mg/l de fer préparé de la même manière que les échantillons, à partir de la solution de 1 g/l de Fe(SO₄) pour le Fer II et à partir de solution commerciale de Fer III à 1 g/l pour le fer dissous et le fer total.

5) Essai de compensation.

Cet essai permet de régler le zéro d'absorbance ou de densité optique sur le spectromètre à 510 nm, préalablement avant toute mesure ou toute série de mesures.

Creation : CF 18/06/08

J:\LEE\METHODES\Analyses eaux\FER\SAM\ISO6332-1988

Fe.DOC

Tirage : 11/04/13

Modification :

2/4

Pour des eaux usées, chargées ou supposées être troubles et/ ou colorées, on procède comme pour un échantillon mais sans rajouter de phénanthroline.

III / MODE OPERATOIRE :

FER Total

Les tubes de DCO et réfrigérants, sont préalablement rincés avec de l'acide nitrique concentré, dilué à 10% en volume dans H₂O pure.

- ✓ Ajouter 50 ml d'échantillon acidifié (voir Fer total dissous).
- ✓ Ajouter 12 mL d'HCl concentré 37 % ou 15 mL d'HCl concentré 30 %.
- ✓ Ajouter 4 mL de HNO₃ concentré à 65 %.
- ✓ Chauffer à 105 °C, pendant 3 h, puis laisser refroidir.
- ✓ Rincer le réfrigérant avec H₂O pure.
- ✓ Transvaser le volume « digéré » dans des fioles de 100 mL, ajuster à un pH de 1 avec NaOH 32 % (env. 14 ml) en prenant **toutes les précautions nécessaires, vérifier le pH**, puis ajuster avec H₂O pure. (Si besoin, filtrer le contenu des ballons de digestion sur des filtres, en fibre de verre Whatman GF / C ou filtre à membrane de 0,45 µm si nécessaire, directement dans des fioles jaugées de 100 mL).
- ✓ Transvaser dans une fiole de 50-55 ml.
- ✓ Ajouter 1 ml de solution de chlorhydrate d'hydroxylamine et mélanger soigneusement.
- ✓ Ajouter 2 ml de tampon acétate pour obtenir un pH de 3,5-5,5, **vérifier le pH**.
- ✓ Ajouter 2 ml de la solution de phénanthroline-1,10 et conserver 15 minutes à l'obscurité.

FER Total dissous (Fer III, Fer II et Fe(OH)₃)

Acidifier l'échantillon après prélèvement avec 1 ml d'acide sulfurique concentré pour 100 ml d'échantillon vérifier qu'on est bien à un pH de 1, si nécessaire ajuster avec H₂SO₄ à 4,5 M, puis **filtrer** l'échantillon sur filtre à membrane de 0,45 µm. Tenir compte de la dilution lors des calculs.

Dans une fiole de 50-55 ml :

- ✓ Introduire 50 ml d'échantillon acidifié
- ✓ Ajouter 1 ml de solution de chlorhydrate d'hydroxylamine et mélanger soigneusement.
- ✓ Ajouter 2 ml de tampon acétate pour obtenir un pH de 3,5-5,5.
- ✓ Ajouter 2 ml de la solution de phénanthroline-1,10 et conserver 15 minutes à l'obscurité.

FER dissous (Fer III et Fer II)

Filtrer lentement sur filtre à membrane de 0,45 µm, puis **acidifier** l'échantillon avec 1 ml d'acide sulfurique concentré pour 100 ml de filtrat vérifier qu'on est bien à un pH de 1. si nécessaire ajuster avec H₂SO₄ à 4,5 M. Tenir compte de la dilution lors des calculs.

Dans une fiole de 50-55 ml :

- ✓ Introduire 50 ml d'échantillon acidifié.
- ✓ Ajouter 1 ml de solution de chlorhydrate d'hydroxylamine et mélanger soigneusement.
- ✓ Ajouter 2 ml de tampon acétate pour obtenir un pH de 3,5-5,5.
- ✓ Ajouter 2 ml de la solution de phénanthroline-1,10 et conserver 15 minutes à l'obscurité.

FER (II) :

Acidifier l'échantillon avec 1 ml d'acide sulfurique concentré pour 100 ml de filtrat vérifier qu'on est bien à un pH de 1, si nécessaire ajuster avec H₂SO₄ à 4,5 M. Tenir compte de la dilution lors des calculs.

Dans une fiole de 50-55 ml :

Creation : CF 18/06/08

J:\LEE\METHODES\Analyses eaux\FER\SAMISO6332-1988

Fe.DOC

Tirage : 11/04/13

Modification :

3/4

Annexe 7 - Protocole d'analyse du PO_4^{3-}

REF 985 080 fr

Test 0-80

NANOCOLOR® ortho Phosphates et Phosphate total 15

Méthode :
Détermination photométrique en tant que bleu de molybdène après hydrolyse acide et oxydation à 100–120 °C

Domaine de mesure :	0,30–15,00 mg/L P ($PO_4\text{-P}$)	1,0–45,0 mg/L PO_4^{3-}
Facteur :	15.01	046.3
Longueur d'onde de mesure (LMH = 5–12 nm) :	690 nm	
Minéralisation :	30 min à 120 °C ou 60 min à 100 °C	
Temps de réaction :	10 min (600 s) à 20–25 °C	

Contenu du jeu de réactifs :

- 20 cuves rondes Phosphate total 15
- 1 tube avec NANOFIX Phosphate total 15 R2
- 1 tube avec NANOFIX Phosphate total 15 R3
- 1 cuve ronde avec 5 mL de Phosphate total 15 R4

Indications de danger :

Réactif Phosphate total 15 R4 contient des substances dangereuses non marquées par <X> (autorisation exceptionnelle pour petites quantités), voir Fiche de Données de Sécurité.

Examens préliminaires :

En cas d'incertitude quant à l'ordre de grandeur de la concentration dans l'échantillon à analyser, un test rapide avec une languette QUANTOFIX® Phosphate (3–100 mg/L PO_4^{3-} , REF 913 20) donne une information rapide. Il en résulte la dilution nécessaire pour la détermination et l'analyte peut être préparé directement.

Interférences :

Des précipités obtenus après minéralisation peuvent être retenus par des filtres membrane. Pour des teneurs plus élevées en substances organiques et/ou phosphore organique, voir NANOCOLOR® NanOx Métal (REF 918 978).
Ne gênent pas : ≤ 10 mg/L As, NO_2^- , S^{2-} (seulement pour les ortho phosphates) ; ≤ 100 mg/L Fe, Cu, Cr ; ≤ 500 mg/L Si.

La méthode ortho P convient aussi pour l'analyse de l'eau de mer.

Exécution :

Accessoires nécessaires : pipette à piston avec embouts

Phosphate total

Ouvrir une cuve ronde, ajouter 0,5 mL de l'échantillon à analyser (la valeur du pH de l'échantillon doit être comprise entre pH 0 et 10) et

1 NANOFIX Phosphate total R2.

Fermer à fond, mélanger, placer dans le bloc chauffant et enclencher le chauffage.
Après 30/60 min, sortir la cuve du bloc chauffant et laisser refroidir à température ambiante.

Ajouter

1 NANOFIX Phosphate total R3 et

200 μ L (= 0,2 mL) de Phosphate total R4, mélanger.

Nettoyer la cuve à l'extérieur et mesurer après 10 min.

ortho Phosphates

Filter l'échantillon.

Ouvrir une cuve ronde, ajouter

0,5 mL de l'échantillon à analyser (la valeur du pH de l'échantillon doit être comprise entre pH 0 et 10),

1 NANOFIX Phosphate total R3 et

200 μ L (= 0,2 mL) de Phosphate total R4, fermer à fond et mélanger.

Nettoyer la cuve à l'extérieur et mesurer après 10 min.

Indication :

La différence entre le phosphate total sans addition de Phosphate total R2 et les ortho phosphates donne la teneur en phosphates condensés.

Mesure :

Pour les photomètres NANOCOLOR® et PF-10/PF-11/PF-12 voir manuel, test 0-80.

Mesure avec des eaux troubles ou colorées :

Pour tout les photomètres NANOCOLOR®, se reporter au mode d'emploi, chapitre 5.11., utiliser la touche pour la valeur de correction.

Photomètres étrangers :

Pour d'autres photomètres, vérifier si l'utilisation de cuves rondes est possible. Contrôler le facteur pour chaque type d'appareil au moyen de la mesure des standards.

Assurance qualité :

NANOCONTROL Multistandard pour les eaux d'entrée (REF 925 012)

MACHEREY-NAGEL GmbH & Co. KG · Neumann-Neander-Str. 6–8 · 52355 Düren · Allemagne
Tél. : +49 24 21 969-0 · Fax : +49 24 21 969-199 · info@mn-net.com · www.mn-net.com

En France : MACHEREY-NAGEL EURL · 1, rue Gutenberg · 67722 Hoerdt · France
Tél. : 03 88 68 22 68 · Fax : 03 88 51 76 88 · sales-fr@mn-net.com

PD 14122 / A01687 / 985_080 / 11120

Annexe 8 - Protocole d'analyse du NO₂⁻

REF 985 068
Test 0-68 03.12
NANOCOLOR® Nitrite 2

fr

Méthode :
Détermination photométrique à l'aide de la sulfamamide et de la N-(naphtyl-1)-éthyl-ènediamine

Domaine de mesure :	0,003-0,46 mg/L NO ₂ -N	0,02-1,5 mg/L NO ₂
Facteur :	0,234	00,77
Longueur d'onde de mesure (LMH = 5-12 nm) :	540 nm	
Temps de réaction :	10 min (600 s)	
Température de réaction :	20-25 °C	

Contenu du jeu de réactifs :
20 cuves rondes Nitrite 2
1 cuve ronde avec 5 mL de Nitrite 2 R2

Indication de danger :
Ce test ne comprend pas de produits dangereux devant être signalés selon les directives de la CE.

Examens préliminaires :
En cas d'incertitude quant à l'ordre de grandeur de la concentration dans l'échantillon à analyser, un test rapide avec une languette QUANTOFIX® Nitrite (1-80 mg/L NO₂, REF 913 11) donne une information rapide. On peut en tirer la dilution nécessaire pour la détermination et l'analyte peut être préparé directement.

Interférences :
Le chlore libre, les colloïdes organiques et les acides humiques interfèrent.
Ne gênent pas : ≤ 3 mg/L Fe(III), Cr(VI).

Cette méthode convient aussi pour l'analyse de l'eau de mer.

Indication :
Les nitrites dans les liquides de refroidissement : Les échantillons contenant des nitrites peuvent être prétraités par une précipitation (Réactif de Carrez 1 + 2, REF 918 937) en une d'une analyse photométrique.

Exécution :

Accessoires nécessaires : pipette à piston avec embouts

Ouvrir une cuve ronde, ajouter 4,0 mL de l'échantillon à analyser (la valeur du pH de l'échantillon doit être comprise entre pH 1 et 7) et 200 µL (= 0,2 mL) de R2, fermer et mélanger.
Nettoyer la cuve à l'extérieur et mesurer après 10 min.

Mesure :

Pour les photomètres NANOCOLOR® et PF-10/PF-11/PF-12 voir manuel, test 0-68.

Mesure avec des eaux troubles ou colorées :

Pour tout les photomètres NANOCOLOR®, se reporter au mode d'emploi, utiliser la touche pour la valeur de correction.

Photomètres étrangers :

Pour d'autres photomètres, vérifier si l'utilisation de cuves rondes est possible. Contrôler le facteur pour chaque type d'appareil au moyen de la mesure des standards.

Assurance qualité :

NANOCONTROL Nitrite (REF 925 68)

MACHEREY-NAGEL GmbH & Co. KG · Neumann-Neander-Str. 6-8 · 52355 Düren · Allemagne
Tél. : +49 24 21 969-0 · Fax : +49 24 21 969-199 · info@mn-net.com · www.mn-net.com

En France : MACHEREY-NAGEL EURL · 1, rue Gutenberg · 67722 Hoerdt · France
Tél. : 03 88 68 22 68 · Fax : 03 88 51 76 88 · sales-fr@mn-net.com

A011685 / 985 068 / 03210

Annexe 9 – Protocole d'analyse du NO₃⁻

REF 985 064

Test 0-64 03.11

NANOCOLOR® Nitrate 50

fr

Méthode :

Détermination photométrique à l'aide du 2,6-diméthylphénol dans un mélange d'acide sulfurique et d'acide phosphorique

Domaine de mesure :	0,3–22,0 mg/L NO ₃ -N	2–100 mg/L NO ₃ ⁻
Intervalle de facteur (dépend de λ) :	031.9–037.3	0141.–0165.
Longueur d'onde de mesure (LMH = 5–17 nm) :	385 nm	
Facteur :	019.0	0084.
Longueur d'onde de mesure (LMH = 5–12 nm) :	365 nm	
Temps de réaction :	10 min (600 s)	
Température de réaction :	20–25 °C	

Contenu du jeu de réactifs :

20 cuves rondes Nitrate 50
1 cuve ronde avec 11 mL de Nitrate 50 R2

Indication de danger :

Les cuves rondes contiennent de l'acide sulfurique 52 % et de l'acide phosphorique 39 %.

R35 Provoque de graves brûlures. S26 En cas de contact avec les yeux, laver immédiatement et abondamment avec de l'eau et consulter un spécialiste. Pour avoir des informations supplémentaires, commandez s.v.p. une fiche de données de sécurité.

Examens préliminaires :

La concentration approximative de nitrate dans un échantillon à analyser est déterminée rapidement au moyen de la bandelette test QUANTOFIX® Nitrate/Nitrite (10–500 mg/L NO₃⁻, REF 913 13). Ce test préliminaire permet de calculer le facteur de dilution pour la détermination et la préparation directe. La présence éventuelle de nitrites est décelée également avec ce test.

Interférences :

Une teneur en nitrites > 1 mg/L interfère (contrôler avec QUANTOFIX® Nitrite – REF 913 11). Il peut être éliminé par addition d'une cuillère de mesure d'acide amidosulfurique (REF 918 973) pour un volume de 10 mL d'échantillon. Attendre ensuite 10 min avant la détermination.

Ne gênent pas : < 1000 mg/L Cl⁻, CO₃²⁻ ; < 10 mg/L Cl₂.

Cette méthode ne convient pas pour l'analyse de l'eau de mer.

Exécution :

Accessoires nécessaires : pipette à piston avec embouts

Ouvrir une cuve ronde, ajouter 0,5 mL de l'échantillon à analyser (la valeur du pH de l'échantillon doit être comprise entre pH 1 et 13) et 0,5 mL de R2, fermer et secouer légèrement (La cuve s'échauffe !). Nettoyer la cuve à l'extérieur et mesurer après 10 min.

Mesure :

Pour les photomètres NANOCOLOR® et PF-10 / PF-11 / PF-12, voir manuel, test 0-64.

Mesure avec des eaux troubles ou colorées :

Pour tout les photomètres NANOCOLOR®, se reporter au mode d'emploi, chapitre 5.11., utiliser la touche pour la valeur de correction.

Photomètres étrangers d'autres fabricants :

Pour d'autres photomètres, vérifier si l'utilisation de cuves rondes est possible. Contrôler le facteur pour chaque type d'appareil au moyen de la mesure des standards.

Assurance qualité :

NANOCONTROL Multistandard pour les eaux de rejet 1 (REF 925 011), pour les eaux de rejet 2 (REF 925 010) ou pour les eaux d'entrée (REF 925 012)

MACHERY-NAGEL GmbH & Co. KG · Neumann-Neander-Str. 6–8 · 52355 Düren · Allemagne
Tél. : +49 24 21 969-0 · Fax : +49 24 21 969-199 · info@mn-net.com · www.mn-net.com

En France : MACHERY-NAGEL EUROL · 1, rue Gutenberg · 67722 Hoerdit · France
Tél. : 03 88 68 22 68 · Fax : 03 88 51 76 88 · sales-fr@mn-net.com

PD 14122 / A011683 / 985 064 / 03130

Annexe 10 – Protocole : détermination de l'indice de régénéralité

Caractérisation des tourbes.

II. Granulométrie et indice au pyrophosphate.

La tourbe se forme par accumulation de matière organique végétale, favorisée par des conditions de station particulières (sous-sol imperméable, présence d'une nappe d'eau permanente). Le matériel végétal constituant la tourbe diffère de par sa composition végétale (sphaignes, feuilles de myrtilles, laiches, roseaux, etc...) et la taille de ses constituants (tiges, feuilles, etc...). Ces fragments, de tailles et origines diverses, vont peu à peu subir une décomposition en profondeur et la tourbe va se tasser et devenir plus compacte. Ce phénomène de dégradation se passe aussi bien dans des conditions « naturelles » que lors de perturbations (piétinements, tassements, etc...). La grosseur des particules végétales dépend de l'état de dégradation de la tourbe : plus celle-ci est avancée, plus la taille des particules est petite !

Parallèlement à cette évolution physique, la tourbe subit une évolution chimique reflétant elle aussi son état de dégradation. Les constituants de base des végétaux (cellulose et lignine) sont dans un premier temps décomposés en molécules plus petites : les acides fulviques (AF). Ces molécules se lient ensuite entre elles pour former les acides humiques (AH), d'autres composés organiques. L'abondance des molécules spécifiques permet de définir l'état de dégradation de la tourbe : plus celle-ci est avancée et plus les AF et les AH seront abondants.

Lors de l'étude d'une tourbe, il est important de pouvoir définir par ses caractéristiques physico-chimiques, son état de dégradation ainsi que son potentiel de régénéralité, dans le but d'apporter une base scientifique à une gestion optimale du milieu qu'elle représente. Deux méthodes simples sont utilisées à cet effet :

- 1) Méthode par fractionnement physique (granulométrie des tourbes).
- 2) Méthode par extraction chimique (indice au pyrophosphate de sodium = indice pyro).

1. GRANULOMÉTRIE DES TOURBES.

Méthode par tamisage humide selon DINEL & LEVESQUE (1976-1977), adaptée par GOBAT et al. (1984 et 1986).

1.1. Principe.

- Entièrement manuel, le tamisage des tourbes est une méthode longue et délicate. Elle nécessite de la part de l'opérateur constance et régularité dans ses manipulations. Ceci est presque impossible à garantir pour des résultats comparables entre différents types de tourbes (surtout si les analyses ne peuvent être faites par la même personne), la subjectivité de l'opérateur (l'eau est-elle claire ?) ainsi que sa "force" (pression du jet d'eau sur le tamis), etc... entrant en ligne de compte. GOBAT & al. (1986) ont proposé d'automatiser la granulométrie des tourbes en adaptant la méthode de DINEL & LEVESQUE (1976).
- Les limites des fractions, en accord avec BASCOMB & al. (1977) se basent sur la taille des tamis européens et se répartissent comme suit :

Fraction > 2000 µm	Fibres * (par définition)
Fraction entre 200 µm et 2000 µm	
Fraction entre 50 µm et 200 µm	Déchets non fibreux
Fraction entre 0 µm et 50 µm	

* la limite des fibres est fixée à 150 µm par l'école canadienne (tamis américains).

- Le système de classification *Soil Science Society of America* (SSSA, 1974), basé sur les résultats du taux de fibres (fraction > 200 µm), permet de répartir les tourbes en trois catégories :
Tourbe fibrique: > 40 % de fibres
Tourbe mésique: 10 - 40 % de fibres
Tourbe humique: < 10 % de fibres
- Le taux de fibres est calculé par addition des fractions > 2000 µm et 200-2000 µm, obtenues lors de la granulométrie.

1.2. Matériel.

- Agitateur rotatif.

- Balance au 1/100 de gramme.
- Flacons plastiques PE 250 ml
- Appareil à tamiser automatique "Analysette Pro" avec un jeu de tamis emboîtables de 2000 µm, 200 µm et 50 µm.
- Tamis de 50 µm (pour lavage manuel préalable).
- Spatule et brucelles en plastique.
- Pissette d'eau déminéralisée.
- Cuvettes en plastique du diamètre des tamis
- Entonnoirs, diam. 5 cm.
- Erlenmeyers 250 ml.
- Bêchers 500 ml.
- Petites boîtes de stockage PS.

1.3. Mode opératoire.

- Echantillon de départ : 25 g de tourbe fraîche, coupée en fragments de 1 cm de long environ.
Il est préférable d'utiliser du matériel frais à cause de la difficulté à remouiller de la tourbe sèche. Pour les résultats (exprimés en poids sec), on tiendra donc compte de la teneur en eau de l'échantillon, effectuée le même jour même.
- Mettre la prise d'essai dans un flacon de 250 ml et ajouter 150 ml d'H₂O déminéralisée.
- Agiter par retournement pendant 16 heures (par exemple de 16h00 à 8h00).
- Tamiser à 50 µm par voie humide au-dessus d'une cuvette, en entraînant les particules fines (< 50 µm) par un faible jet d'eau déminéralisée tangent au tamis. Défaire délicatement les amas de tourbes à l'aide de la spatule ou des brucelles. Tamiser jusqu'à ce que le liquide ne contienne plus de particules fines (1 à 5 litres d'eau selon les échantillons).
- Les particules fines (< 50 µm) peuvent (1) être récoltées dans une boîte à tare ou (2) être calculée par défaut de manière fiable (ce qui supprime les inconvénients de la filtration : colmatage, etc...).
- Récolter le refus du tamis (> 50 µm) dans une cuvette pour la granulométrie automatique.
- Vérifier que les tamis soient dans le bon ordre (de haut en bas : 2000 µm, 200 µm et 50 µm) sur la tamiseuse automatique Analysette Pro.
- Placer l'échantillon « lavé » sur le tamis du haut.
- Ouvrir le robinet d'alimentation en eau et allumer la moteur.
- Après 30 minutes de tamisage, arrêter l'alimentation en eau.
- Retirer les tamis de la tamiseuse automatique et séparer les tamis en rinçant avec précaution le bord interne du tamis supérieur (p. ex. 2000 µm) dans le tamis inférieur (p. ex. 200 µm) afin de récolter toute la fraction (p. ex. 200-2000 µm).
- Récolter les différents refus dans des boîtes à tare.
- Mettre à sécher à l'étuve à 105°C, jusqu'à poids constant, les boîtes contenant les fractions > 2000 µm, 200 µm-2000 µm et 50 µm-200 µm (éventuellement 0 µm-50 µm). Après séchage, peser les boîtes et calculer le poids des fractions.

1.5. Calculs.

Noter le poids des différentes fractions, calculer l'efficacité par rapport au poids de départ (idéal = 100%), ainsi que les rapports pondéraux de chaque fraction. Attention : les résultats se calculent en poids sec ! (réf: teneur en eau du jour !).

GOBAT & al. (1986) ont démontré que le rapport entre le taux de fibres et l'indice pyrophosphate était un excellent indicateur reflétant le potentiel de régénération de chaque type de tourbe (indice REG) :

$$\text{Indice de regenerabilite, REG} = \frac{\text{Taux de fibres (\%)}}{\text{Indice pyro}}$$

Le REG varie de 0 (pas de fibres) à 30 ou plus (tourbe oligotrophe à sphaignes vivantes). Il permet de définir trois catégories de tourbes :

milieux à tourbe non régénérable:		REG < 1
milieux à tourbe régénérable:	-> perturbations douces :	REG 1 - 10
	-> milieux intacts :	REG > 10

1.5. Remarques.

- Il n'est pas nécessaire de laver préalablement les échantillons sans particules fines (< 50 µm).
- Après agitation, l'échantillon peut rester plusieurs jours au frigo avant d'être tamisé (ne plus agiter ensuite !).
- Les fractions obtenues doivent être contrôlées par une observation microscopique.
- Il est possible de représenter les horizons dans un triangle granulométrique (arêtes : > 200 µm, 50-200 µm et 0-50 µm).
- Une granulométrie plus « détaillée » peut être effectuée avec 6 tamis : 2000 µm, 1000 µm, 500 µm, 200 µm, 100 µm et 50 µm.
- La classification des tourbes (SSSA, 1974) peut être affinée si l'on tient compte des résultats de l'indice pyro (selon DINEL, LEVESQUE & MARCOUX, 1981).

2. INDICE AU PYROPHOSPHATE (d'après KAILA, 1956).

2.1. Principe.

- Le pyrophosphate de Na ($\text{Na}_2\text{P}_2\text{O}_7$) permet d'extraire facilement les produits de dégradation des tourbes : les AF (acides fulviques, de couleur jaune) et les AH (acides humiques, de couleur brune).
- La solution obtenue après agitation et filtration est de couleur plus ou moins jaune ou brune. La coloration dépend de l'abondance des molécules AF et surtout AH, signes de l'évolution de la matière organique et de sa décomposition chimique. L'intensité de la couleur correspond à l'indice pyro (100 x D.O. à 550 nm).
- L'indice pyro permet d'affiner la classification des tourbes SSSA (1974). Les limites proposées par LEVESQUE, DINEL & MARCOUX (1980) sont les suivantes (cf. fig.2) :

Indice pyro < 15:	fibrique
Indice pyro 15 à 30:	mésique
Indice pyro > 30:	humique

Un indice bas (1 à 10) est caractéristique d'une tourbe peu évoluée chimiquement, tandis qu'un indice haut (> 50) caractérise une tourbe chimiquement très décomposée.

2.2. Matériel.

- Broyage :
 - Broyeuse pour déchets organiques
 - Petite boîte de stockage PS
- Agitation :
 - Agitateur rotatif
 - Balance au 1/100 de gramme
 - Flacons plastiques PE 100 ml
- Filtration :
 - Ballons jaugés 250 ml
 - Papiers filtres plissés, ø minimum 12,5 cm, optimum 15 cm
 - Entonnoirs, ø 5 cm
- Mesures :
 - Spectrophotomètre.

2.3. Réactifs.

- Pyrophosphate de Na 0,025 M (PM $\text{Na}_2\text{P}_2\text{O}_7$ = 446 g) : dissoudre 11,15 g de $\text{Na}_2\text{P}_2\text{O}_7$ dans H_2O , jauger à 1 litre.

2.4. Mode opératoire.

- Echantillon de départ : 0,5 g de tourbe séchée à l'air et broyée.
- Introduire 50 ml de $\text{Na}_2\text{P}_2\text{O}_7$ 0,025 M dans le flacon de 100 ml.
- Ajouter 0,5 g de l'échantillon broyé, APRÈS LE PYROPHOSPHATE, afin que la tourbe se mouille bien (laisser descendre l'échantillon avant d'agiter le flacon!).
- Agiter par retournement durant 18 heures (p. ex. de 14h00 à 8h00).

Annexe 11 – Protocole Taux de cendres

Caractérisation des tourbes : I - perte au feu (PAF).

1. Principe.

La mesure de la perte au feu permet une bonne estimation des teneurs réelles en matières organiques de la tourbe. L'échantillon de tourbe est brûlé : le matériel organique est calciné et dégagé sous forme de gaz carbonique (CO₂). Il ne subsiste dans le creuset que la fraction minérale de la tourbe.

2. Matériel.

- Creusets
- Balance (précision : 0,001g)
- Dessiccateur
- Etuve 105°C
- Four 600°C

3. Mode opératoire.

- Echantillon de départ : tourbe séchée à l'étuve 105°C (p. ex. utiliser l'échantillon de la teneur en eau).
- Prendre un creuset en porcelaine préalablement séché à l'étuve puis refroidi en dessiccateur et pesé. Noter son poids.
- Peser environ exactement 1 - 5 g. de tourbe séchée à 105°C. Noter le poids exact de l'échantillon.
- Départ à four froid pour les sols très organiques, cette condition est moins importante pour les autres types de sols.
- Couvrir les creusets d'un couvercle afin d'éviter les projections de matière dans le four.
- Brûler l'échantillon comme suit: 1 heure à 350 °C, 1 heure à 450 °C puis 2 heures à 600 °C.
- Après refroidissement en dessiccateur, peser à nouveau le creuset et les cendres. Noter le poids.

4. Calculs.

$$\text{Perte au feu (\% du poids sec)} = PAF = \frac{A - (B - C) \times 100}{A} = \text{M.O.}$$

Avec : A = Poids sec de l'échantillon (105°C)
B = Poids du creuset et des cendres
C = Poids du creuset vide

ou

$$\begin{aligned} \text{Perte au feu (\% du poids sec)} &= 100 - \text{teneur en cendres} \\ \text{avec la teneur en cendres (\% du poids sec)} &= \frac{(B - C)}{A} \times 100 \end{aligned}$$

5. Références citées.

AFES, 1995 – "Méthodes d'analyses préconisées". In "*Référentiel pédologique*", INRA collection technique et pratiques, pp 316-317.

ALLEN S. E. (Ed.), 1974 – "Chemical analysis of ecological materials", Blackwell, Oxford, pp 22-23 et 138.

BAIZE D., 1988 – "Guide des analyses courantes en pédologie", INRA, Paris, pp 23-24.

Annexe 12 – Résultats de régénérabilité

Point	Horizon	Profondeur (en cm)	Taux fibres (%)	Indice Pyro	IR
PIEZO_07	1	0 - 4	48,3	25,4	1,90
PIEZO_07	2	4 - 20	29,1	67,1	0,43
PIEZO_08	1	0 - 6	36,5	18,7	1,95
PIEZO_08	2	6 - 9	22,9	24,8	0,92
PIEZO_08	3	9 - 20	18,3	22,8	0,80
PIEZO_09	1	0 - 4	49,6	10,9	4,55
PIEZO_09	2	4 - 14,5	19,5	40,4	0,48
PIEZO_09	3	14,5 - 20	8,7	30,5	0,29
PIEZO_10	1	0 - 5	41,0	29,5	1,39
PIEZO_10	2	5 - 18	19,0	37,2	0,51
PIEZO_10	3	18 - 20	32,7	45,2	0,72
PIEZO_02	1	0 - 5	73,1	9,8	7,46
PIEZO_02	2	5 - 9	13,2	60,8	0,22
PIEZO_02	3	9 - 20	24,0	42,8	0,56
PIEZO_04	1	0 - 3	57,3	8,9	6,44
PIEZO_04	2	3 - 11	33,2	69,1	0,48
PIEZO_04	3	11 - 20	42,0	82,3	0,51
PIEZO_05	1	0 - 4,5	32,5	66	0,49
PIEZO_05	2	4,5 - 10	32,3	60,3	0,54
PIEZO_05	3	10 - 20	39,9	55	0,73
PCH_test	1	0 - 4,5	29,0	20	1,45
PCH_test	2	4,5 - 9,5	38,8	47,1	0,82
PCH_test	3	9,5 - 20	29,8	50,4	0,59
PCH_01	1	0 - 7	45,1	41,8	1,08
PCH_01	2	7 - 20	13,3	59,1	0,23
PCH_02	1	0 - 7,5	63,7	13	4,90
PCH_02	2	7,5 - 13	39,2	32,2	1,22
PCH_02	3	13 - 20	29,8	54	0,55
PCH_03	1	0 - 8	64,7	22,4	2,89
PCH_03	2	8 - 13	41,6	31,8	1,31
PCH_03	3	13 - 20	31,3	60,9	0,51
PCH_04	1	0 - 5	36,6	28,4	1,29
PCH_04	2	5 - 16	23,5	48,2	0,49
PCH_04	3	16 - 20	16,9	53	0,32
PCH_05	1	0 - 5	37,9	35,8	1,06
PCH_05	2	5 - 16,5	41,4	79,5	0,52
PCH_05	3	16,5 - 20	49,5	82,7	0,60
PCH_06	1	0 - 4	53,2	31,7	1,68
PCH_06	2	4 - 9	51,5	77,6	0,66
PCH_06	3	9 - 20	11,7	14,9	0,79
PIEZO_13	1	0 - 10	51,4	21,4	2,40
PIEZO_13	2	10 - 14	19,1	51,2	0,37
PIEZO_13	3	14 - 20	20,2	65,4	0,31
PIEZO_14	1	0 - 13	20,5	29,1	0,71
PIEZO_14	2	13 - 20	25,8	57,6	0,45
PIEZO_15	1	0 - 8	55,1	22,7	2,43
PIEZO_15	2	8 - 20	60,6	36,4	1,67
PCH_07	1	0 - 10	29,1	39,3	0,74
PCH_07	2	10 - 20	33,4	44,7	0,75
PCH_08	1	0 - 5,5	60,8	4,6	13,21
PCH_08	2	5,5 - 20	50,5	7,1	7,11
PCH_09	1	0 - 5	81,4		
PCH_09	2	5 - 10	56,4	10,6	5,31824333
PCH_09	3	10 - 20	43,1	11,9	3,62343289

Annexe 13 – Résultats T_{céndres} et T_{eau}

POINT	Horizon	Profondeur (en cm)	Taux de cendres (%)	Teneur en eau (%)
PIEZO_07	1	0 - 4	29,8	80,6
PIEZO_07	2	4 - 20	29,1	73,1
PIEZO_08	1	0 - 6	5,1	90,4
PIEZO_08	2	6 - 9	7,5	86,4
PIEZO_08	3	9 - 20	11,8	83,1
PIEZO_09	1	0 - 4	4,1	84,5
PIEZO_09	2	4 - 14,5	4,9	82,3
PIEZO_09	3	14,5 - 20	7,7	87,1
PIEZO_10	1	0 - 5	6,1	87,2
PIEZO_10	2	5 - 18	12,9	85,9
PIEZO_10	3	18 - 20	25,8	86,2
PIEZO_02	1	0 - 5	6,8	92,8
PIEZO_02	2	5 - 9	17,3	87,2
PIEZO_02	3	9 - 20	21,3	85,3
PIEZO_04	1	0 - 3	7,4	83,7
PIEZO_04	2	3 - 11	21,9	76,7
PIEZO_04	3	11 - 20	10,2	83,4
PIEZO_05	1	0 - 4,5	24,1	78,4
PIEZO_05	2	4,5 - 10	27,3	77,5
PIEZO_05	3	10 - 20	30,0	79,9
PCH_test	1	0 - 4,5	8,8	86,4
PCH_test	2	4,5 - 9,5	11,4	83,9
PCH_test	3	9,5 - 20	10,8	85,8
PCH_01	1	0 - 7	13,1	83,5
PCH_01	2	7 - 20	18,5	81,5
PCH_02	1	0 - 7,5	8,1	89,8
PCH_02	2	7,5 - 13	11,8	86,4
PCH_02	3	13 - 20	11,2	84,0
PCH_03	1	0 - 8	8,0	92,2
PCH_03	2	8 - 13	10,2	88,5
PCH_03	3	13 - 20	20,3	85,1
PCH_04	1	0 - 5	8,8	83,6
PCH_04	2	5 - 16	13,3	82,1
PCH_04	3	16 - 20	18,1	84,7
PCH_05	1	0 - 5	5,8	82,6
PCH_05	2	5 - 16,5	6,8	79,1
PCH_05	3	16,5 - 20	12,9	79,3
PCH_06	1	0 - 4	8,7	82,3
PCH_06	2	4 - 9	14,7	72,8
PCH_06	3	9 - 20	20,2	77,5
PIEZO_13	1	0 - 10	7,7	89,5
PIEZO_13	2	10 - 14	18,6	89,6
PIEZO_13	3	14 - 20	68,5	70,7
PIEZO_14	1	0 - 13	12,0	89,5
PIEZO_14	2	13 - 20	14,3	88,8
PIEZO_15	1	0 - 8	4,7	90,3
PIEZO_15	2	8 - 20	15,3	89,5
PCH_07	1	0 - 10	48,2	80,1
PCH_07	2	10 - 20	45,8	79,1
PCH_08	1	0 - 5,5	3,5	90,4
PCH_08	2	5,5 - 20	9,9	91,6
PCH_09	1	0 - 5	4,9	94,6
PCH_09	2	5 - 10	6,0	91,2
PCH_09	3	10 - 20	9,6	90,8

Annexe 14 – Résultats de pH du sol

POINT	Horizon	Profondeur (en cm)	pH
PIEZO_07	1	0 - 4	3,75
PIEZO_07	2	4 - 20	3,91
PIEZO_08	1	0 - 6	4,34
PIEZO_08	2	6 - 9	3,99
PIEZO_08	3	9 - 20	4,24
PIEZO_09	1	0 - 4	3,76
PIEZO_09	2	4 - 14,5	3,47
PIEZO_09	3	14,5 - 20	3,64
PIEZO_10	1	0 - 5	3,95
PIEZO_10	2	5 - 18	3,77
PIEZO_10	3	18 - 20	3,49
PIEZO_02	1	0 - 5	3,22
PIEZO_02	2	5 - 9	3,62
PIEZO_02	3	9 - 20	3,85
PIEZO_04	1	0 - 3	3,56
PIEZO_04	2	3 - 11	3,76
PIEZO_04	3	11 - 20	4,34
PIEZO_05	1	0 - 4,5	4,23
PIEZO_05	2	4,5 - 10	3,70
PIEZO_05	3	10 - 20	4,62
PCH_test	1	0 - 4,5	4,01
PCH_test	2	4,5 - 9,5	3,60
PCH_test	3	9,5 - 20	3,78
PCH_01	1	0 - 7	3,76
PCH_01	2	7 - 20	4,12
PCH_02	1	0 - 7,5	4,20
PCH_02	2	7,5 - 13	3,97
PCH_02	3	13 - 20	4,21
PCH_03	1	0 - 8	4,45
PCH_03	2	8 - 13	4,61
PCH_03	3	13 - 20	3,98
PCH_04	1	0 - 5	4,41
PCH_04	2	5 - 16	4,55
PCH_04	3	16 - 20	4,51
PCH_05	1	0 - 5	3,87
PCH_05	2	5 - 16,5	3,98
PCH_05	3	16,5 - 20	3,29
PCH_06	1	0 - 4	3,34
PCH_06	2	4 - 9	3,90
PCH_06	3	9 - 20	4,05

POINT	Horizon	Profondeur (en cm)	pH
PIEZO_13	1	0 - 10	3,86
PIEZO_13	2	10 - 14	4,13
PIEZO_13	3	14 - 20	4,32
PIEZO_14	1	0 - 13	3,83
PIEZO_14	2	13 - 20	4,04
PIEZO_15	1	0 - 8	3,80
PIEZO_15	2	8 - 20	4,02
PCH_07	1	0 - 10	4,38
PCH_07	2	10 - 20	4,67
PCH_08	1	0 - 5,5	3,94
PCH_08	2	5,5 - 20	3,81
PCH_09	1	0 - 5	
PCH_09	2	5 - 10	4
PCH_09	3	10 - 20	3,74

PIEZO_06	1	0 - 9	3,48
PIEZO_06	2	9 - 28	3,7
PIEZO_06	3	28 - 39	4,19
PIEZO_06	4	39 - 60	4,24
LANDE_S1_01	1	0 - 7	3,61
LANDE_S1_01	2	7 - 16	3,7
LANDE_S1_01	3	16 - 31	3,93
LANDE_S1_01	4	31 - 52	4,14
LANDE_S1_01	5	52 - 60	4,33
PIEZO_01	1	0 - 12,5	4,09
PIEZO_01	2	12,5 - 26	3,9
PIEZO_01	3	26 - 40	4,24
LANDE_S2_02	1	0 - 9	3,72
LANDE_S2_02	2	9 - 24	3,85
LANDE_S2_02	3	24 - 36	4,14
LANDE_S2_02	4	36 - 60	4,2
LANDE_S2_03	1	0 - 8	3,74
LANDE_S2_03	2	8 - 13	4,07
LANDE_S2_03	3	13 - 40	3,94
PIEZO_11	1	0 - 9	4,08
PIEZO_11	2	9 - 18	4,09
PIEZO_11	3	18 - 30	4,47
PIEZO_12	1	0 - 14	3,81
PIEZO_12	2	14 - 31	4,49
PIEZO_12	3	31 - 48	4,45
PIEZO_12	4	48 - 60	4,82

Annexe 15 – Estimation des temps de travaux à l'hectare

Source : Guide d'estimation des coûts de gestion des milieux naturels ouverts (Colas, 2000)

GRILLE FINALE D'ESTIMATION DES TEMPS DE TRAVAUX À L'HECTARE DES SOUS-TÂCHES DE GESTION COURANTE (SUITE)

Milieu	Opération de gestion	Type de matériel	Conditions de terrain	TYPE DE SOUS-TÂCHES					
				COUPE		CONDITIONNEMENT		EVACUATION	
				Temps de travail homme moyen (h par ha)	Temps de travail machine moyen (h par ha)	Temps de travail homme moyen (h par ha)	Temps de travail machine moyen (h par ha)	Temps de travail homme moyen (h par ha)	Temps de travail machine moyen (h par ha)
Tourbières- Bas Marais	Débroussaillage	Manuel	Portance bonne ou moyenne	32,5	23,0	23,5	0,0	33,0	0,0
				72,0	50,5	57,5	0,0	36,5	0,0
				5,5	4,0	1,0	1,0	0,5	0,5
				7,0	5,5	1,5	1,5	0,5	0,5
				18,0	14,0	2,0	2,0	1,0	1,0
				7,0	6,0	3,0	3,0	10,5	5,0
				9,0	8,0	4,0	4,0	10,5	5,0
				23,5	20,5	5,0	5,0	23,0	12,0
				31,5	19,0	33,5	0,0	41,5	0,0
				69,5	42,5	81,5	0,0	45,5	0,0
				11,0	4,4	ND	ND	ND	ND
				35,5	26,5	ND	ND	ND	ND
				1,5	1,5	2,0	2,0	3,0	1,0
				2,0	2,0	2,5	2,5	3,0	1,0
5,0	4,0	3,0	3,0	6,0	2,0				
2,0	2,0	3,0	3,0	5,0	3,0				
2,5	2,5	4,5	4,5	5,0	3,0				
6,5	6,5	5,0	5,0	11,5	6,5				
Tout milieu	ABATTAGE	Manuel	0-30% 30-60% 60% et plus	9,5	9,5	43,5	0,0	13,0	0,0
				36,5	24,5	43,5	0,0	13,0	0,0
				59,5	21,5	43,5	0,0	13,0	0,0
				ND	ND	25,5	25,5	4,5	4,5
				6,0	6,0	8,0	8,0	8,5	8,5
				23,0	15,5	8,0	8,0	8,5	8,5
				41,0	33,0	8,0	8,0	8,5	8,5
				9,5	9,5	43,5	0,0	13,0	0,0
				36,5	24,5	43,5	0,0	13,0	0,0
				59,5	21,5	43,5	0,0	13,0	0,0
				ND	ND	25,5	25,5	4,5	4,5
				6,0	6,0	8,0	8,0	8,5	8,5
				23,0	15,5	8,0	8,0	8,5	8,5
				41,0	33,0	8,0	8,0	8,5	8,5

ND : Non disponible

Données issues du recueil effectué de juillet 1997 à fin novembre 1998 sur un panel de 209 opérations mécanisées totalisant plus de 25 000 h de travail effectif sur une surface réellement travaillée de 850ha. Source Life Environnement - ENF/SCAFR

Rappel : la définition des conditions de terrain est subjective. Elle est propre à chaque matériel. Une portance faible pour un matériel spécialisé à pneus basse pression ne permettra par exemple certainement pas le passage de matériel agricole classique.

Annexe 16 – Devis Débardage à cheval



TRAVAUX FORESTIERS EN TRACTION ANIMALE

RICARD JEAN BAPTISTE

le 14 mai 2013

à *Centre Régional de la
Propriété forestière de Normandie*

DEVIS N°7

*1, rue Georges Clemenceau
BP 20600
76235 BOIS GUILLAUME CEDEX*

Tourbière en pays de Bray, propriété AXA, zone d'environ 2 hectares.

Exploitation forestière, mise à blanc et débardage.

- | | |
|---|---------------------------|
| <i>- mise en place du chantier et
façonnage d'un pont avec des boulots sur site</i> | <i>2 600 € HT forfait</i> |
| <i>- Abattage, façonnage (2 bucherons à 270 € HT journée)</i> | <i>540 € HT journée</i> |
| <i>- Débusquage en traction animale (2 meneurs et 4 chevaux)</i> | <i>840 € HT journée</i> |
| <i>- Travaux d'extraction au treuil hippomobile (1 cabliste)</i> | <i>550 € HT journée</i> |
| <i>- Travaux de débardage au tracteur forestier (1 débardeurs)</i> | <i>450 € HT journée</i> |

Durée du chantier estimé à 10 jours oeuvrés

Soit un total estimé à 26 400 € HT

Conditions de règlement: 20% demandé à la commande, solde 30 jours réception de chantier.

Jean Baptiste Ricard La métairie 72130 Saint ouen de Mimbré Tél. 06 14 09 80 87 E-mail j.ricard@club-internet.fr

SIRET 950 348 821 000 55 SITE INTERNET www.equi-debardage.com



TRAVAUX FORESTIERS EN TRACTION ANIMALE

RICARD JEAN BAPTISTE

le 14 mai 2013

à

*Centre Régional de la
Propriété forestière de Normandie*

DEVIS N°7

*1, rue Georges Clemenceau
BP 20600
76235 BOIS GUILLAUME CEDEX*

*Tourbière en pays de Bray, propriété AXA, zone d'environ 2 hectares.
Exploitation forestière, mise à blanc et débardage.*

EXPLICATIF DEROULEMENT DU CHANTIER

- 1. Mise en place du chantier, déplacement matériel et chevaux, création d'un pont en boulots pour passage des fossés.*
- 2. Abattage*
- 3. Débusquage en traction animale sur zone humide des boulots entiers ou cablage hippomobile là où le terrain ne permet pas le passage des chevaux*
- 4. Arrachage des souches par cablage et extraction de la parcelle*
- 5. Façonnage des boulots hors zone*
- 6. Evacuation des produits en 2m, souches, sur place dépôt au tracteur forestier*
- 7. Traitement des houppiers (possible par broyage plus value location de broyeur)*

Intervention possible été 2014, météo sèche nécessaire.

Jean Baptiste Ricard La métairie 72130 Saint ouen de Mimbré Tél. 06 14 09 80 87 E-mail j.ricard@club-internet.fr

SIRET 950 348 821 000 55 SITE INTERNET www.equi-debardage.com

Annexe 17 – Devis Environnement Forêts



DEVIS N° 2012BC21 du 08 FEVRIER 2012

C.R.P.F
MR XAVIER MORVAN
1 Rue Georges Clémenceau
BP 20600
76235 BOIS GUILLAUME

Référence : FORET DE BRAY

Quantité	Libellé	P.U. en € H.T	Montant en € H.T.
	<p align="center">AMENAGEMENT FORET DE BRAY</p> <ul style="list-style-type: none"> - 1 hectare lande sèche avec curage fossé et cours d'eau - 1 hectare zone humide <p>Le but de cette intervention étant de garder dégradé la callune bruyère</p> <p>1-DEBOISEMENT ZONE HUMIDE plus zone sèche (2hectares)</p> <p>L'abattage se fera avec une classe de l'école de Mesnières l'abattage se fera de façon dirigé dans la mesure du possible en faisant des cloisonnements tous les 12 mètres d'axe en axe les bois seront laissé en grande longueur Avant tout abattage un piquetage des zones sera fait avec la maîtrise d'oeuvre</p> <p>2-FABRICATION CAISSON ZONE HUMIDE</p> <p>Le matériel arrivera par porte chars celui-ci sera constitué d'une pelle à chenille marais monté en huile BIO plus grappins forestier pour chargement bois un dumper chenille pour le transport de la plaquette et un broyeur sur chenille radio Commandé à partie de la pelle Pour le bon déroulement du chantier des caissons seront fabriqué sur place ils seront Au nombre de 14 pour une longueur de 100 mètres ils seront mis en place dans les Cloisonnements qui seront espacé tous les 12 mètres d'axe en axe et ils seront déplacés à l'avancement du chantier d'un cloisonnement à l'autre La fabrication des radeaux sera constitué de rondins de mélèzes 6 mètres de longueur sur 3.50 m de large mise en place d'un platelage bois sur ces rondins Chaque radeau sera cerclé par un berceau acier plus soudure d'un anneau afin De faciliter une bonne reprise à la pelle pour le cloisonnement suivant</p> <p>3-BROYAGE DE L'ENSEMBLE DES BOIS PLUS STOCKAGE PLAQUETTE SUR 70% DE LA SURFACE</p>		
		2640€	5280€
		F	600€
		939€	13146€

Siège social : 72, Route de Soissons – 02290 FONTENOY

Tél. : 03.23.74.30.29

Fax : 03.23.74.31.50

Agence : 15D RUE DES CHAMPS 76190 YVETOT

Tél. : 02.35.96.28.30

Fax : 02.35.95.33.41

S.A.R.L. au capital de 30 112,25 Euros

R.C. Soissons B 332 757 202

Code TVA FR. 95 332 757 202

ENVIRONNEMENT *forêts*

<p>Le broyage des bois se fera à l'aide de la pelle qui alimente le broyeur la plaquette sera éjecte par soufflerie dans des dumpers sur chenille Ce broyeur est radio commandé à partir de la pelle</p> <p>PRIX HECTARE CADASTRALE (pour 70% de la surface travaillé) Surface totale 2 hectares</p>  <p>CHANTIER MARAIS VERNIER PARC DE BROTONNE</p> 	<p>9690€</p>	<p>19380€</p>
--	--------------	---------------

Siège social : 72, Route de Soissons – 02290 FONTENOY

Tél. : 03.23.74.30.29

Fax : 03.23.74.31.50

Agence : 15D RUE DES CHAMPS 76190 YVETOT

Tél. : 02.35.96.28.30

Fax : 02.35.95.33.41

S.A.R.L. au capital de 38 112,25 €

R.C. Soissons B 332 757 202

Code TVA FR 95 332 757 202

ENVIRONNEMENT *forêts*



<p>4- DESSOUCHAGE DE L'ENSEMBLE DE LA SURFACE (2 hectares)</p> <p>Le dessouchage se fera de la même façon que le broyage les radeaux seront installé dans les cloisonnements et celui-ci se fera juste après le broyage les souches seront évacué et chargé à l'aide du grappins forestier celles-ci mis dans le dumper et stocké sur la plateforme afin d'y être broyer avec un broyeur lent Prix hectare cadastrale</p>	7650€	15300€
<p>5-ETREPAGE</p> <p>Cette étrepage se fera à flux tendue derrière le dessouchage le décapage pourra varier de profondeur mais dans la mesure du possible sera autour de 30 cm au-dessous du niveau du sol L'étrepage se fera avec un godet de curage la tourbe sera chargé dans les dumpers sur chenille et évacué le temps du chantier sur la place de dépôt chaque largeur de 12 m décaissé les caissons radeaux seront déplacés</p> 	3.98€	16716€
<p>6-REMISE EN ETAT DE LA PLACE DE DEPOT</p> <p>-A l'aide d'un télescopique équipé d'un godet céréalier chargement de la plaquette dans des fonds mouvants (90 m3) plus évacuation vers un stockage afin d'y être sécher pour la saison prochaine afin d'alimenter des chaufferies 120 tonnes à l'hectare soit un totale de 240 tonnes soit 8 rotations de FMA</p> <p>-Evacuation par FMA avec chargement au télescopique des 4200 m3 de tourbe celle-ci sera utilisé dans un centre de compostage afin d'y être mélanger avec de la terre végétale Soit 42 rotations en FMA Traitement de déchets vers une plate forme de compostage (estimation 2550 t)</p>	200€ 280€ 13€	1600€ 11760€ 33150€

Siège social : 72, Route de Soissons – 02290 FONTENOY

**Tél. : 03.23.74.30.29
Fax : 03.23.74.31.50**

Agence : 15D RUE DES CHAMPS 76190 YVETOT

**Tél. : 02.35.96.28.30
Fax : 02.35.95.33.41**

S.A.R.L. au capital de 36 112,25 €uros

R.C. Soissons B 332 757 202

Code TVA FR. 95 332 757 202

ENVIRONNEMENT *forêts*



Chargement de la tourbe à l'aide d'un télescopique (3 journées)	600€	1800€
-A l'aide d'un broyeur lent et d'un télescopique chargement de toute les souches sur la place de dépôt plus reprise dans des FMA et évacuation vers une plate-forme de recyclage		
Estimation 100 tonnes de souches à l'hectare soit 200 tonnes		
Broyage des souches (10 heures de broyeur lent)	280€	2800€
Chargement dans des FMA plus évacuation vers une plate- forme (soit 8 rotations)	280€	2240€
Traitement des déchets de souches (estimation 200 tonnes)	18.50€	3700€
DEMARCHE QUALITE		
<p>Notre société vous assure une prestation de service complète sue ce type de chantier :depuis l'abattage jusqu'à l'évacuation des produits Aucune sous traitance n'est envisagée. Ce qui représente une garantie et une maitrise parfaite sur le déroulement des travaux. De plus nous ne sommes à aucun moment tributaire d'un tiers. Seules les conditions météorologiques peuvent perturber notre planning. Notre équipement en matériel associé à notre personnel qualifié en travaux sylvicoles nous permet la maitrise complète de ce type de travaux. Sur le plan écologique nous sommes entrés dans une démarche visant à structurer une filière mal connue en France « LE BOIS ENERGIE » Conformément à la loi notre chantier sera réalisé sans brulage à l'air libre. le bois transformé en plaquettes destinées à alimenter des futures chaufferies bois au sein des collectivités ou secteur privé limitant ainsi le dégagement de CO2 dans l'atmosphère</p>		
OBS : au chiffrage certaines options peuvent être changé ou modifié surtout s'il a moyen de mettre la tourbe à proximité.		

BON POUR ACCORD ET SIGNATURE

TOTAL HT

127472€

TVA19.6%

24984.51€

TTC

152456.51€

Siège social : 72, Route de Soissons – 02290 FONTENOY

Tél. : 03.23.74.30.29

Fax : 03.23.74.31.50

Agence :15D RUE DES CHAMPS 76190 YVETOT

Tél. : 02.35.96.28.30

Fax : 02.35.95.33.41

Annexe 18 – Règlementation Loi sur l'eau

Source : Article R214-1 du code de l'environnement

IMPACTS SUR LE MILIEU AQUATIQUE OU SUR LA SÉCURITÉ PUBLIQUE		
3.1.1.0	Installations, ouvrages, remblais et épis, dans le lit mineur d'un cours d'eau, constituant : 1° Un obstacle à l'écoulement des crues : 2° Un obstacle à la continuité écologique : a) Entraînant une différence de niveau supérieure ou égale à 50 cm, pour le débit moyen annuel de la ligne d'eau entre l'amont et l'aval de l'ouvrage ou de l'installation b) Entraînant une différence de niveau supérieure à 20 cm mais inférieure à 50 cm pour le débit moyen annuel de la ligne d'eau entre l'amont et l'aval de l'ouvrage ou de l'installation Au sens de la présente rubrique, la continuité écologique des cours d'eau se définit par la libre circulation des espèces biologiques et par le bon déroulement du transport naturel des sédiments.	A A D
3.1.2.0	Installations, ouvrages, travaux ou activités conduisant à modifier le profil en long ou le profil en travers du lit mineur d'un cours d'eau, à l'exclusion de ceux visés à la rubrique 3.1.4.0, ou conduisant à la dérivation d'un cours d'eau: 1° Sur une longueur de cours d'eau supérieure ou égale à 100 m 2° Sur une longueur de cours d'eau inférieure à 100 m Le lit mineur d'un cours d'eau est l'espace recouvert par les eaux coulant à pleins bords avant débordement.	A D
3.1.3.0	Installations ou ouvrages ayant un impact sensible sur la luminosité nécessaire au maintien de la vie et de la circulation aquatique dans un cours d'eau sur une longueur : 1° Supérieure ou égale à 100 m : 2° Supérieure ou égale à 10 m et inférieure à 100 m	A D
3.1.4.0	Consolidation ou protection des berges, à l'exclusion des canaux artificiels, par des techniques autres que végétales vivantes : 1° Sur une longueur supérieure ou égale à 200 m 2° Sur une longueur supérieure ou égale à 20 m mais inférieure à 200 m ...	A D
3.1.5.0	Installations, ouvrages, travaux ou activités, dans le lit mineur d'un cours d'eau, étant de nature à détruire les frayères, les zones de croissance ou les zones d'alimentation de la faune piscicole, des crustacés et des batraciens : 1° Destruction de plus de 200 m ² de frayères 2° Dans les autres cas :	A D
3.2.1.0²	Entretien de cours d'eau ou de canaux, à l'exclusion de l'entretien visé à l'article L. 215-14 du code de l'environnement réalisé par le propriétaire riverain, du maintien et du rétablissement des caractéristiques des chenaux de navigation, des dragages visés à la rubrique 4.1.3.0 et de l'entretien des ouvrages visés à la rubrique 2.1.5.0, le volume des sédiments extraits étant au cours d'une année : 1° Supérieur à 2 000 m ³ 2° Inférieur ou égal à 2 000 m ³ dont la teneur des sédiments extraits est supérieure ou égale au niveau de référence S1 3° Inférieur ou égal à 2 000 m ³ dont la teneur des sédiments extraits est inférieure au niveau de référence S1 L'autorisation est valable pour une durée qui ne peut être supérieure à dix ans. L'autorisation prend également en compte les éventuels sous-produits et leur devenir.	A A D
3.2.2.0	Installations, ouvrages, remblais dans le lit majeur d'un cours d'eau : 1° Surface soustraite supérieure ou égale à 10 000 m ² 2° Surface soustraite supérieure ou égale à 400 m ² et inférieure à 10 000 m ² Au sens de la présente rubrique, le lit majeur du cours d'eau est la zone naturellement inondable par la plus forte crue connue ou par la crue	A D

² Voir Arrêté du 9 août 2006 ci-après.

Montage de la nomenclature réalisé par :



Assemblée des Chambres Françaises de Commerce et d'Industrie
Pôle Environnement et Développement Durable - 45, avenue d'Iéna - BP 3003 - 75773 PARIS Cedex 16
Tél. 01 40 69 38 46 - Fax 01 53 57 17 10

	centennale si celle-ci est supérieure. La surface soustraite est la surface soustraite à l'expansion des crues du fait de l'existence de l'installation ou ouvrage, y compris la surface occupée par l'installation, l'ouvrage ou le remblai dans le lit majeur.	
3.2.3.0	Plans d'eau, permanents ou non : 1° Dont la superficie est supérieure ou égale à 3 ha 2° Dont la superficie est supérieure à 0,1 ha mais inférieure à 3 ha	A D
3.2.4.0	1° Vidanges de plans d'eau issus de barrages de retenue, dont la hauteur est supérieure à 10 m ou dont le volume de la retenue est supérieur à 5 000 000 m ³ 2° Autres vidanges de plans d'eau, dont la superficie est supérieure à 0,1 ha, hors opération de chômage des voies navigables, hors piscicultures mentionnées à l'article L. 431-6 du code de l'environnement, hors plans d'eau mentionnés à l'article L. 431-7 du même code Les vidanges périodiques des plans d'eau visés au 2° font l'objet d'une déclaration unique.	A D
3.2.5.0	Barrage de retenue : 1° D'une hauteur supérieure à 10 m 2° D'une hauteur supérieure à 2 m mais inférieure ou égale à 10 m 3° Ouvrages mentionnés au 2° mais susceptibles de présenter un risque pour la sécurité publique en raison de leur situation ou de leur environnement Au sens de la présente rubrique, on entend par « hauteur » la plus grande hauteur mesurée verticalement entre la crête de l'ouvrage et le terrain naturel à l'aplomb de cette crête.	A D A
3.2.6.0	Digues : 1° De protection contre les inondations et submersions 2° De canaux et de rivières canalisées	A D
3.2.7.0	Piscicultures d'eau douce mentionnées à l'article L. 431-6 du code de l'environnement	D
3.3.1.0	Assèchement, mise en eau, imperméabilisation, remblais de zones humides ou de marais, la zone asséchée ou mise en eau étant : 1° Supérieure ou égale à 1 ha 2° Supérieure à 0,1 ha, mais inférieure à 1 ha	A D
3.3.2.0	Réalisation de réseaux de drainage permettant le drainage d'une superficie : 1° Supérieure ou égale à 100 ha 2° Supérieure à 20 ha mais inférieure à 100 ha	A D
3.3.3.0	Canalisations de transports d'hydrocarbures ou de produits chimiques liquides dont le produit du diamètre extérieur par la longueur est égal ou supérieur à 5 000 mètres carrés	A



Montage de la nomenclature réalisé par :

Assemblée des Chambres Françaises de Commerce et d'Industrie
Pôle Environnement et Développement Durable - 45, avenue d'Iéna - BP 3003 - 75773 PARIS Cedex 16
Tél. 01 40 69 38 46 - Fax 01 53 57 17 10

Annexe 19 – Financement du SMAD



SYNDICAT MIXTE D'AMENAGEMENT ET DE
DEVELOPPEMENT DU PAYS DE BRAY

E 4 7 9
S N . X 0

C.R.P.F.
14 MARS 2012

Monsieur Xavier MORVAN
Directeur du Centre Régional de la
Propriété Forestière de Normandie
1 rue Georges Clémenceau- BP 20600
76 235 BOIS GUILLAUME Cedex

Neufchâtel-en-Bray
Le 12 MARS 2012

Monsieur le Directeur,

Le Centre Régional de la Propriété Forestière de Normandie (CRPFN) mène actuellement deux stratégies locales de développement forestier au sein du Pays de Bray au travers de l'élaboration d'une Charte forestière de territoire et d'un Plan de développement de massif. Depuis quelques mois, le CRPF et le SMAD animent conjointement le site Natura 2000 du Pays de Bray Humide.

Fort de ces partenariats, nous vous confirmons notre volonté de s'engager avec le CRPF à la construction d'un projet de restauration du complexe tourbeux dégradé de la Forêt de Bray, patrimoine naturel exceptionnel de notre territoire, dans le cadre de l'appel à projet « Prise en compte de la biodiversité dans les stratégies locales de développement forestier » initié par le MEDDTL.

Aux côtés du CRPF et d'autres partenaires, le SMAD souhaite contribuer activement à la préservation des zones naturelles d'intérêt patrimonial majeur du Pays. Ainsi, votre structure peut compter sur l'apport technique de Beatrice Besnard, chargée de mission Natura 2000, dans la construction de ce projet et, dans la mesure du possible et sous réserve d'instruction, à un soutien financier au projet via le programme LEADER du Pays de Bray.

Dans l'espoir que notre nouvelle collaboration aboutisse à une réussite,

Nous vous prions de croire, Monsieur le directeur, en l'assurance de nos considérations distinguées.

Le Président du SMAD du Pays de Bray

Le Président du Comité de pilotage
Natura 2000 « Pays de Bray Humide »

Willy SAMUELLE

Patrick TOURNEUR

Maison des services – Boulevard maréchal Joffre – 76270 Neufchâtel en Bray
Tel : 02.32.97.56.14 – Fax : 02.32.97.11.84 – messagerie : smad.paysdebray@wanadoo.fr