



PROTOCOLE DE SUIVI BHRIDELE



Conservatoire
d'espaces naturels
Normandie





Conservatoire d'espaces naturels Normandie

CE DOCUMENT EST LE FRUIT D'UN TRAVAIL COLLECTIF ASSOCIATIF :

Rédaction générale : Pierre-Yves PAYEN

Coordination : Lydie DOISY et Lou BEBEN

Contributeurs aux relevés de données : Alexandre FERRÉ, Marie-Laure SÉGUIN, Corentin RUSTUEL, Parc Naturel Régional des Boucles de la Seine Normande (Virgine LEROY, Maxime ARCHERAY, Maxime GUÉNARD, Florence ALLAER)

Conception graphique : Claire MAUGER

Traitement SIG et rendus cartographiques : Pierre-Yves PAYEN

Administration des bases de données : Benoît PERCEVAL

Coordination scientifique : Jérémy LEBRUN

Relectures : Lydie DOISY et Lou BEBEN

Référents institutionnels du projet : Lydie DOISY et Lou BEBEN (CEN Normandie)

CE DOCUMENT PEUT ETRE REFERENCE DE LA MANIERE SUIVANTE : PAYEN P.-Y.2024. Protocole de suivi BHRiDELE Boisements humides rivulaires et dynamiques écologiques en libre évolution. Conservatoire d'Espaces Naturels de Normandie. 73 p. + annexes

ILLUSTRATION DE COUVERTURE : En haut : Cours d'eau dans une saulaie en libre évolution (© F. Nimal). En bas de gauche à droite : Dendromicrohabitat constitué de sporophores pérennes de champignon (© P.-Y. PAYEN), Dendromicrohabitat constitué de lierre épiphyte (© P.-Y. PAYEN)

CREDIT PHOTOGRAPHIQUE : CEN Normandie sauf mention contraire

Table des matières

Table des matières	1
Introduction.....	3
PARTIE A : PRÉSENTATION GÉNÉRALE	4
I. Fonctions et dynamiques des boisements rivulaires humides	4
1. Fonctions des boisements humides rivulaires	4
2. Dynamique évolutive des forêts naturelles	5
3. Connaissances sur la dynamique des boisements rivulaires.....	6
4. Phytosociologie des boisements rivulaires humides de Normandie	7
II. Méthodes	8
1. Objectifs et hypothèses.....	8
2. Protocoles de référence	9
3. Critères de suivi	9
4. Modalités de mise en place.....	11
4.1. Fréquence du suivi.....	11
4.2. Période et durée de prospection.....	11
4.3. Connaissances préalables.....	11
PARTIE B : MISE EN ŒUVRE.....	12
I. Matériel	12
II. Plan d'échantillonnage des placettes.....	12
III. Description des placettes	14
IV. Relevé pédologique et emplacement du piézomètre	15
V. Échantillonnage du cours d'eau	15
VI. Fiches critères.....	15
2. Intégrité et spontanéité du boisement	21
3. Hydromorphologie	30
4. Continuités et pressions	36
PARTIE C : ANALYSE – INTERPRÉTATION	40
I. Présentation des résultats.....	40
1. Sites étudiés	40
2. État des lieux	44
3. Intégrité et spontanéité du boisement	45
4. Hydromorphologie	51
5. Continuités et pressions	59
II. Fiches d'analyse.....	60

1.	Intégrité et spontanéité du boisement	60
2.	Hydromorphologie	64
3.	Continuités et pressions	66
III.	Fiche récapitulative	68
1.	Site de la Fresnaye-au-Sauvage	68
2.	Site de la Cauchetière.....	68
3.	Site du Vallon du Vivier	69
	Conclusion	70
	Bibliographie.....	71
	Annexes	74

Introduction

Le PRELE, Programme Régional d'Espaces en Libre Evolution, est coordonné par le CEN Normandie. L'un des axes de travail de ce programme cherche à améliorer la connaissance des processus dynamiques qui animent ces espaces.

La libre évolution est une modalité de gestion non-interventionniste des espaces naturels. Il s'agit de laisser des terrains indépendants de l'activité humaine afin que s'expriment les processus écologiques des espèces et des habitats. Ce mode de gestion ne répond pas un objectif de conservation d'un compartiment particulier de la biodiversité mais il favorise le potentiel adaptatif des êtres vivants. La libre évolution privilégie des enjeux de fonctionnalités à moyen et long terme.

L'objectif de ce protocole est de suivre la dynamique des boisements humides rivulaires en libre évolution. D'une manière générale, il existe de nombreux suivis de la dynamique écologique de milieux ouverts ou de peuplements forestiers âgés. Il existe un manque d'informations sur le développement des stades intermédiaires de succession écologique que sont les jeunes boisements. Or, les espaces en libre évolution normands sont des stades forestiers jeunes. Il s'agit souvent d'espaces qui ont été délaissés par les activités humaines. Ils ont donc connu une colonisation ligneuse datant de quelques dizaines d'années au maximum.

D'autre part, l'écologie des zones humides est bien étudiée du fait des services écosystémiques qu'ils rendent. S'il existe de nombreux protocoles de suivi des zones humides des milieux ouverts (mares, tourbières, marais, prairies humides...), les boisements rivulaires humides, hormis les forêts des grandes vallées alluviales, ont rarement fait l'objet d'un suivi scientifique.

Il s'agit donc d'offrir un outil qui permette de comprendre la dynamique évolutive naturelle d'un boisement humide rivulaire et d'en assurer le suivi afin de qualifier ses stades évolutifs. Il pourra ainsi servir à argumenter en faveur de la libre évolution comme moyen de favoriser le développement de la biodiversité.

PARTIE A :

PRÉSENTATION GÉNÉRALE

I. Fonctions et dynamiques des boisements rivulaires humides

Les boisements humides rivulaires sont l'objet de ce protocole de suivi. Il s'agit de formations végétales dont les espèces structurantes sont des arbres et qui sont situées à proximité d'un cours d'eau. Ce dernier est souvent lié à une nappe d'accompagnement avec qui s'effectuent des échanges hydrauliques et qui garantit la présence d'eau pendant des périodes plus ou moins longues. Les boisements humides rivulaires dépendent donc de la dynamique du cours d'eau. Leurs dimensions s'étendent d'un simple boisement de berge composé d'un alignement d'arbres situés sur les bords immédiats du lit mineur jusqu'à une forêt alluviale qui s'étend plus largement dans le lit majeur. Ils sont en outre régulièrement soumis aux crues qui, lorsqu'elles sont intenses, sont susceptibles de régénérer, voire de détruire, les boisements (DUFOR & PIEGAY, 2006 ; FNE AURA, 2019).

Les boisements rivulaires étudiés par ce protocole sont pour la plupart situés en têtes de bassin versant. Ils sont donc drainés par de petits cours d'eau proches des sources. Leurs dimensions sont plutôt petites, jusqu'à 20-30 m de largeur.

1. Fonctions des boisements humides rivulaires

Selon leurs fonctionnalités, les boisements humides rivulaires sont susceptibles de rendre de nombreux services écosystémiques dans différents domaines :

- **Régulation des crues** : recharge des aquifères et soutien du niveau d'eau dans le cours d'eau à l'étiage
- **Stabilisation des berges** : les boisements rivulaires permettent de maintenir les berges du cours d'eau et de les stabiliser grâce à leurs systèmes racinaires.
- **Amélioration de la qualité de l'eau** : les boisements rivulaires jouent un rôle de filtre végétal et réduisent la diffusion des polluants. Ils permettent la filtration des matières en suspension dans le cours d'eau et la limitation des transferts de polluants agricoles (Azote et Phosphore) vers le cours d'eau. Ils contribuent au stockage temporaire de sédiments dans le cours d'eau et sont le siège du recyclage des nutriments.
- **Stockage du carbone** : comme tout milieu forestier, les boisements humides assurent un rôle de captation et de stockage de CO₂. Ils en émettent aussi par respiration et décomposition mais constituent majoritairement un puit de carbone.
- **Refuge de biodiversité** (aquatique et terrestre) : les boisements rivulaires procurent une diversité d'habitats ; notamment parce qu'ils favorisent la création d'une diversité de faciès d'écoulement du cours d'eau. De plus, ils sont favorables aux peuplements piscicoles car ils limitent la variation de la température des cours d'eau grâce à l'ombrage procuré par les houppiers des arbres. Ils procurent aussi des ressources trophiques aux espèces animales et des zones de quiétude et de reproduction. Enfin, ils forment des corridors biologiques, connectés à la trame verte et à la trame bleue, qui permettent aux espèces de se déplacer.
- **Services socioculturels** : cette interface entre le cours d'eau et le milieu terrestre constitue des îlots de fraîcheur qui sont utilisés comme lieu de détente et de loisirs. Les boisements

humides rivulaires structurent et contribuent directement à la qualité des paysages et y soulignent la présence du cours d'eau.

Les ripisylves sont liées au cours d'eau et, inversement, le bon fonctionnement du cours d'eau est associé à l'état de la ripisylve. Elles forment une interface entre milieux terrestres et aquatiques. Les ripisylves sont donc un élément de la trame verte qui profite à la trame bleue et réciproquement (FNE AURA, 2019).

2. Dynamique évolutive des forêts naturelles

Une forêt non-exploitée voit se succéder dans le temps plusieurs phases qui composent le **cycle sylvigénétique**. La dynamique d'une forêt dont le choix de gestion est la libre évolution devrait suivre ce cycle (Figure 1 **Error! Reference source not found.**). Une **phase de régénération** voit l'installation de semis et de fourrés et une forte sélection des arbres par compétition. Elle est suivie par une **phase d'établissement** où s'installent les arbres de la strate arborescente qui connaissent une croissance en hauteur. Dans la **phase de croissance** qui lui fait suite, les dimensions des arbres s'accroissent en diamètre. Ensuite, les signes de vieillissement des arbres apparaissent pendant la **phase d'apogée** où la mortalité des arbres augmente. Avant de se terminer, le cycle connaît une **phase de désintégration** avec une forte mortalité et un écroulement des arbres (ROSSI & VALLAURI, 2013)

Dans un espace en libre évolution, se met en place une succession écologique indépendante des facteurs anthropiques. La succession écologique est l'ensemble des divers stades de la dynamique de la végétation suivi par le développement de l'écosystème. Le milieu herbacé initial (prairie, roselière...) va d'abord être marqué par l'apparition de fourrés. Une strate arbustive puis une strate arborescente se développent ensuite. Chacune de ces strates intègre les précédentes et les modifie par les contraintes nouvelles qu'elles apportent. Les boisements étudiés par le protocole sont le siège d'une succession secondaire récente. Ils se sont mis en place suite à la destruction directe d'origine anthropique d'un écosystème antérieur (DECOCQ *et al.*, 2021).

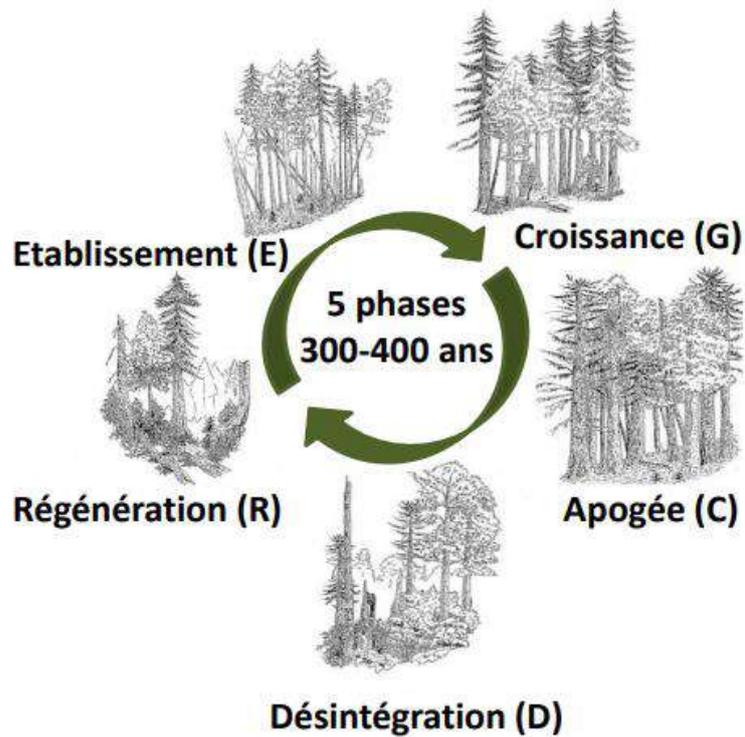


Figure 1 : Cycle sylvigénétique d'une forêt (LARRIEU & GOSSELIN, 2015 d'après Gonin, 1988)

Selon l'âge du peuplement forestier, trois stades de succession se mettent en place les uns après les autres. Ceux-ci sont caractérisés par le développement successif de différentes essences d'arbres. Le **stade pionnier** est déterminé par la présence des espèces pionnières telles que les saules, l'Aulne ou le Bouleau. Au stade **post-pionnier** se développent des espèces telles que le Frêne, l'Orme ou le Chêne. Au **stade mature** apparaissent les espèces dryades telles que le Hêtre. À tout moment dans la succession, il peut se produire des perturbations qui provoquent un retour en arrière à un stade intermédiaire.

3. Connaissances sur la dynamique des boisements rivulaires

Dans les boisements humides rivulaires, les stades matures ne sont pas caractérisés par la présence d'espèces dryades car l'engorgement du sol bloque la succession à un stade post-pionnier. En outre, ces milieux sont aussi soumis plus fréquemment à des événements qui provoquent des effondrements précoces d'arbres, par exemple lors de crues ou de tempêtes (Figure 2). Ce phénomène a deux conséquences : la quantité de bois mort dans le boisement s'en trouve accrue, et la structure du boisement se diversifie sous la forme d'une mosaïque végétale.

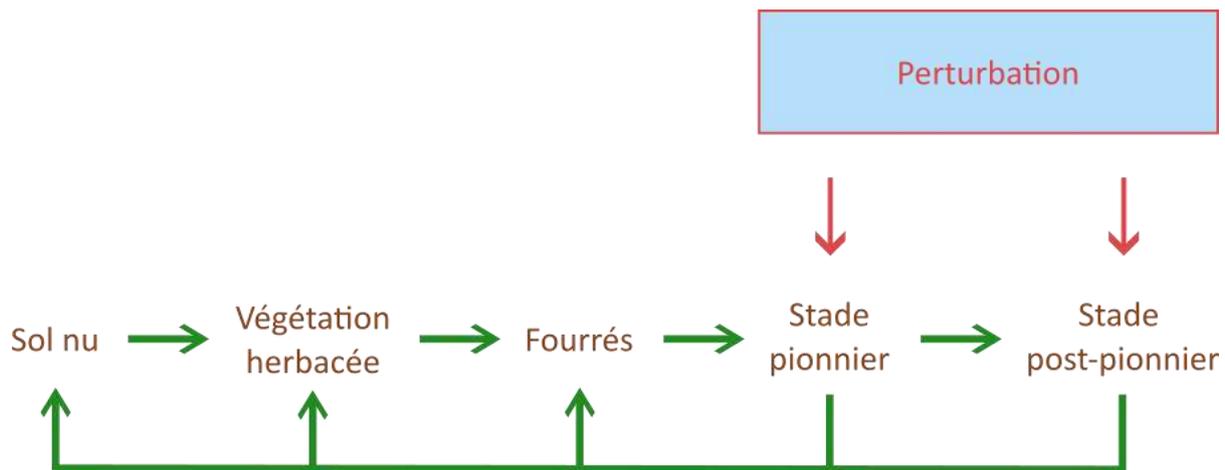


Figure 2 : Stades de succession écologique au sein d'un boisement humide rivulaire

Dans les secteurs soumis fréquemment à des événements perturbateurs, les stades pionniers ont une durée de vie courte de 5 à 10 ans. Les secteurs plus stables de stade pionnier peuvent vivre plusieurs décennies mais dépassent rarement le stade de croissance du cycle sylvigénétique. Les stades pionniers sont aussi les stades les plus favorables aux espèces exotiques envahissantes (Balsamines, Solidages et Renouées asiatiques).

En l'absence de perturbation, les espèces post-pionnières comme les chênes et les frênes vont se développer à l'ombre des essences pionnières. Certains stades post-pionniers vont pouvoir durer plus longtemps si les conditions abiotiques sont défavorables aux chênes et aux frênes. Les saules, incapables de germer à l'ombre de leurs parents, se maintiennent probablement par multiplication végétative. Les individus les plus âgés peuvent se maintenir pendant que s'accomplit l'ensemble du cycle sylvigénétique. Leur mortalité fragmente (PIEGAY *et al.*, 2003).

4. Phytosociologie des boisements rivulaires humides de Normandie

Les différents stades de végétation de la succession écologique sont caractérisés par différents habitats, composés d'un cortège d'espèces végétales spécifiques. Une première étape de définition des habitats concernés par les boisements humides rivulaires présents en région Normandie a été réalisée. Le Tableau 1 liste les habitats potentiellement présents dans le cadre de notre protocole (LAVILLE & JUHEL, 2017 ; DARDILLAC *et al.*, 2019).

Tableau 1 : Habitats potentiellement présents dans les boisements humides rivulaires

	Type d'habitats	Alliances phytosociologiques
Boisements	Forêts riveraines et alluviales	<i>Alnion incanae</i>
	Aulnaies marécageuses	<i>Alnion glutinosae</i>
	Forêts de feuillus caducifoliés sur sols non marécageux	<i>Molinio caeruleae – Quercion roboris</i> <i>Fraxino excelsioris – Quercion roboris</i>
Fourrés	Fourrés riverains à bois tendres	<i>Salicion triandrae</i>
	Fourrés arbustifs sur sols non marécageux	<i>Salici cinereae – Rhamnion catharticae</i>

	Type d'habitats	Alliances phytosociologiques
Mégaphorbiaies et ourlets	Mégaphorbiaies eutrophiles d'eau douce	<i>Convolvulion sepium</i>
	Mégaphorbiaies mésotrophiles et neutrobasiophiles	<i>Thalictro flavi – Filipendulion ulmariae</i>
	Végétations vivaces des coupes forestières	<i>Carici piluliferae – Epilobion angustifolii</i>
	Ourlets vivaces des sols eutrophes	<i>Impatienti noli-tangere – Stachyion sylvaticae</i>
		<i>Arction lappae</i>
Roselières et grandes cariçaies hygrophiles	<i>Phragmition communis</i>	
Végétations amphibies	Friches annuelles amphibies eutrophiles des sols limoneux et argileux	<i>Bidention tripartitae</i>

Les habitats identifiés ont ensuite été classés dans le Tableau 2 selon le stade de succession écologique qu'ils représentent.

Tableau 2 : Habitats rencontrés aux différents stades de succession écologique

Milieus ouverts	Boisements pionniers	Boisements post-pionniers
<i>Bidention tripartitae</i>	<i>Humulo lupuli – Sambucion nigrae</i>	<i>Molinio caeruleae – Quercion roboris</i>
<i>Impatienti noli-tangere – Stachyion sylvaticae</i>	<i>Salici cinereae – Rhamnion catharticae</i>	<i>Fraxino excelsioris – Quercion roboris</i>
<i>Arction lappae</i>	<i>Salicion triandrae</i>	<i>Alnion incanae</i>
<i>Convolvulion sepium</i>	<i>Salicion cinereae</i>	<i>Alnion glutinosae</i>
<i>Thalictro flavi – Filipendulion ulmariae</i>		
<i>Carici piluliferae – Epilobion angustifolii</i>		
<i>Phragmition communis</i>		

II. Méthodes

1. Objectifs et hypothèses

L'objectif du protocole est de suivre la dynamique évolutive d'un boisement humide rivulaire en libre évolution. Il s'agit de proposer un protocole de suivi aux gestionnaires d'espaces naturels dont l'intérêt est de suivre des indicateurs traduisant la libre évolution de l'espace concerné.

Le protocole teste l'hypothèse qu'avec le temps la complexité du boisement et la diversité qu'il abrite vont augmenter. Cette complexité et cette diversité s'exprime par leur richesse biologique ainsi qu'en termes fonctionnels et structurels. Par la libre évolution, les processus écosystémiques du boisement suivent une dynamique spontanée. Ce protocole cherche à caractériser la complexification architecturale, l'accumulation de biomasse, qui traduisent la maturation de la communauté végétale (DECOCQ *et al.*, 2021).

2. Protocoles de référence

Il existe de nombreux protocoles qui étudient les forêts et boisements selon des objets et des objectifs différents. Le Protocole de Suivi Dendrométriques des Réserves Forestières (PSDRF) est un suivi de la dynamique des espaces forestiers protégés réalisé par Réserves Naturelles de France (RESERVES NATURELLES DE FRANCE, 2012). L'Indicateur de Biodiversité Potentiel (IBP) est un outil de diagnostic et de suivi de la biodiversité pour les gestionnaires forestiers proposé par le Centre National de la Propriété Forestière (LARRIEU & GONIN, 2016). L'Indice Biologique de la Connectivité des Ripisylves (IBCR) évalue la capacité d'accueil de la biodiversité et la connectivité des ripisylves. Il est réalisé par France Nature Environnement Auvergne-Rhône-Alpes (FNE AURA, 2019). Avec le guide Évaluer la naturalité, WWF propose une méthode d'évaluation de la naturalité des forêts anciennes (ROSSI & VALLAURI, 2013)

Ces protocoles partagent un certain nombre de critères d'évaluation et d'indicateurs qui ont été très utiles dans la création de ce protocole. La particularité des boisements rivulaires suivis par ce protocole a nécessité d'adapter les indicateurs existants et de rechercher des critères supplémentaires.

Des indicateurs spécifiques au suivi des zones humides ont été aussi utilisés, tels ceux de la boîte à outils Mhéo, ensemble de protocoles coordonnés par la Fédération des CEN (COLLECTIF RHOMEO, 2014).

3. Critères de suivi

Un ensemble de 29 critères d'évaluation et de suivi a été établi pour réaliser le suivi de la dynamique des boisements humides rivulaires (**Error! Reference source not found.**). En outre, ces critères de suivi sont regroupés par grands types de facteurs qui nous permettront de caractériser l'évolution du boisement au cours du temps. Les **facteurs contextuels** fournissent des informations générales sur le boisement. Les **facteurs socio-économiques** regroupent des critères qui renseignent sur les actions anthropiques *in situ* passées et sur l'influence des activités environnantes actuelles. Les **facteurs biotiques** étudient la formation végétale à travers les caractéristiques du peuplement forestier. Les **facteurs édaphiques et hydrologiques** permettent l'étude des fonctionnalités de la zone humide concernée. Les premiers recouvrent des critères qui analysent les grands cycles biogéochimiques et les deuxièmes les influences réciproques entre le boisement et le cours d'eau qui le traverse. Enfin, le site est aussi situé dans son contexte paysager à travers les **facteurs de connectivité et de pressions**.

Une particularité du protocole est d'explorer plusieurs échelles de suivi. De nombreux indicateurs sont étudiés sur un ensemble de **placettes** distribuées selon un plan d'échantillonnage stratifié, ou de **sous-placettes** qui y sont incluses. D'autres critères de suivi décrivent l'évolution du cours d'eau et sont donc relevés le long de son **linéaire**. Le boisement est suivi et caractérisé par différents critères à l'échelle du site étudié. Enfin, des critères effectuent le suivi à l'échelle du paysage, à l'intérieur d'une **zone tampon** dont les dimensions sont fonction de la surface du boisement étudié.

Dans un premier temps, certains critères sont utilisés afin de dresser un **état des lieux** du site en libre évolution. La majorité des critères a été choisie pour décrire et mettre en évidence **les dynamiques des boisements** par une exploration *in situ*. Enfin, différents outils de **télé-détection et de cartographie** sont utilisés à l'échelle du boisement et du paysage dans lequel il s'inscrit.

Tableau 3 : Critères de suivi regroupés par facteurs d'influence.

Facteurs	Indicateur	Code	Échelle	État des lieux ou Suivi
Facteurs contextuels	Site	A1	Site	État des lieux
	Boisement	D1	Site	Suivi
	Clairières, trouées au sein du boisement	D2	Site	Suivi
	Continuité temporelle de l'état boisé	A2	Site	État des lieux
	Milieux aquatiques complémentaires au cours d'eau	C1	Linéaire du cours d'eau	Suivi
Facteurs socio-économiques	Exploitation forestière	A3	Site	État des lieux
	Essences allochtones	B7	Placette	Suivi
	Espèces exotiques envahissantes	B8	Placette	Suivi
Facteurs biotiques	Structure verticale de la végétation	B1	Placette	Suivi
	Éclaircissement en sous-bois	B2	Placette	Suivi
	Bois mort	B3	Placette	Suivi
	Bois vivant	B4	Placette	Suivi
	Dendromicrohabitats	B5	Placette	Suivi
	Régénération	B6	Sous-placette	Suivi
Facteurs édaphiques	Indice Floristique de Fertilité du sol	B9	Placette	Suivi
	Indice Floristique d'Engorgement	C6	Placette	Suivi
	Géologie	A4	Site	État des lieux
	Pédologie	A5	1 placette	État des lieux
Facteurs hydrologiques	Faciès d'écoulement du cours d'eau	C2	Linéaire du cours d'eau	Suivi
	Longueur du cours d'eau	A6	Site	État des lieux
	Embâcles	C3	Linéaire du cours d'eau	Suivi
	Position de la nappe	C4	1 placette	Suivi
	Connectivité longitudinale du cours d'eau	A7	Linéaire du cours d'eau	Suivi
	Connectivité transversale du cours d'eau	A8	Linéaire du cours d'eau	État des lieux
		C5		Suivi
Facteurs de continuité et de pression	Pression d'artificialisation	D3	Zone tampon	Suivi
	Pression de pratiques agricoles	D4	Zone tampon	Suivi

4. Modalités de mise en place

4.1. Fréquence du suivi

Un pas de temps de 10 ans a été choisi. De nombreux indicateurs de suivi de zones humides préconisent un suivi tous les 5 ans. Cependant, les boisements humides rivulaires suivent une dynamique de libre évolution. Il est donc supposé que les processus en cours se font sur une durée plus longue que dans un site naturel où des interventions de gestion sont mises en place.

4.2. Période et durée de prospection

Idéalement, l'application du protocole sur le terrain se fait en deux périodes. Un premier passage sera effectué en **fin d'hiver/début de printemps** avant le débourrement des feuilles. Cette période sera favorable pour relever les critères DendroMicroHabitats, Bois vivants et Bois Morts dans les placettes d'étude et les critères de suivi du cours d'eau (C1 à C3 et C5). Ce passage permettra d'installer les bornes qui serviront à repérer les placettes de suivi. Le deuxième passage sera effectué de la **fin du mois de juin au mois d'août**. Il permettra de renseigner les autres critères de suivi.

En cas de manque de temps ou de ressources, le protocole peut être appliqué en un seul passage. La période optimale de recueil des données du protocole est alors de la **fin du mois de juin au mois d'août**.

Le temps passé sur le terrain pour collecter les données des indicateurs est dépendant du nombre de placettes suivies et donc de la superficie du site. Grâce au test de la précédente version du protocole, la durée a été estimée à une heure par placette, hors déplacement de l'une à l'autre. Avec l'expérience de l'opérateur, la durée de recueil des données par placette diminue au cours du temps. Il faut ajouter à cela le temps nécessaire pour relever les informations liées au cours d'eau. La durée est là aussi estimée à une heure.

4.3. Connaissances préalables

Un certain nombre de connaissances préalable est nécessaire à la réalisation de ce protocole. Certaines sont liées à l'utilisation d'outils tels que le logiciel SIG ou le densiomètre convexe. Ce dernier nécessite en outre un calibrage régulier qui est cependant abordable sans prérequis pour l'opérateur.

Des connaissances plus techniques sont requises comme l'identification des espèces végétales et des dendromicrohabitats. Pour ces derniers, une aide est apportée par une fiche présente en annexe.

Le protocole détaille aussi les critères d'identification des traits d'hydromorphie des sols et des faciès d'écoulement du cours d'eau.

PARTIE B :

MISE EN ŒUVRE

I. Matériel

- 2 multi-décamètres (minimum 20 m) ou 2 Cordelettes de 20 m de long pour matérialiser les dimensions de la placette si un seul multi-décamètre est disponible
- GPS et Boussole
- Carte du site et coordonnées GPS des placettes de suivi
- Plaquettes de soutien et Fiches de terrain à imprimer :
 - 1 exemplaire pour la fiche « État des lieux – Cours d'eau » ;
 - Autant d'exemplaires que de placettes de suivi pour la fiche « Placettes ».
- Tiges métalliques (fer à béton de plus de 50 cm) ou bornes de géomètre (ex : bornes FENO) pour matérialiser le centre de placette
- 5 piquets pour repérer les points cardinaux et le centre de la placette
- 1 Masse ou massette
- Pied à coulisse forestier
- Bottes et vêtements de terrain
- Appareil photo / téléphone
- Typologie des dendromicrohabitats (Larrieu *et al.*, 2018 : annexe)
- Carottier ou tarière pédologique
- Piézomètre
- Serpe/machette

II. Plan d'échantillonnage des placettes

Le suivi des facteurs liés à la formation végétale est réalisé sur un ensemble de placettes de forme carrée. Comme la largeur moyenne d'un boisement rivulaire est d'environ 30 m, la longueur des côtés des placettes est fixée à 20 m. La répartition des placettes dans le boisement suit un plan d'échantillonnage aléatoire stratifié. L'inventaire statistique est plus adapté qu'un inventaire en plein pour un suivi dans le temps. Ce type d'échantillonnage permet en outre de ne pas passer à côté de situations rares (TOMASINI, 2002).

Dans le cas où le boisement présente des stades de succession écologiques d'âges différents, ils devront être mis en évidence par télédétection dans le proche infra-rouge. À l'échelle d'un peuplement d'arbres, la réponse spectrale dans ce domaine de longueur d'onde est notamment influencée par l'âge. La BDORTHO en infrarouge fausses couleurs de l'IGN sera donc utilisée dans ce but dans le logiciel SIG. Cette information est corrélée par l'étude des photos aériennes qui permet, dans le contexte normand, de dater le début de la fermeture du milieu.

Dans les différentes parties du boisement, le taux d'échantillonnage sera identique afin que la surface échantillonnée soit représentative de tous les âges du boisement. Cela permet aussi d'évaluer les

dynamiques propres de chaque stade de végétation identifié. Pour des raisons de coût, si le taux d'échantillonnage est supérieur à 10 %, il est préférable de réaliser un inventaire en plein plutôt qu'un inventaire statistique. Le taux d'échantillonnage du protocole qui a été choisi est donc de 10 % (TOMASINI, 2002). Par conséquent, le Tableau 4 donne le nombre de placettes à échantillonner en fonction de la surface de la strate.

Tableau 4 : nombre de placettes nécessaires selon la superficie de la strate échantillonnée

Surface (ha)	Nombre de placettes
1	3
2	6
3	10
4	13
5	16
6	19
7	22
8	25
9	29
10	32

L'emplacement des placettes est déterminé de manière aléatoire sous logiciel SIG : après avoir créé une matrice de points équidistants de 20 m sur l'ensemble du boisement (Figure 3), un nombre de points correspondant au nombre de placettes à échantillonner est sélectionné de manière aléatoire. Chaque point représente le centre d'une placette d'échantillonnage. Il sera donc défini une zone tampon de 10 m de rayon à style de jointure à angle droit autour du centre de chaque placette. Si le tampon est situé en partie en dehors du périmètre du site, il sera déplacé à l'intérieur de celui-ci tangentiellement à sa bordure. La même opération doit être réalisée si un tampon est situé à cheval entre deux strates d'échantillonnage ou s'il est traversé par le cours d'eau. En revanche, cette opération ne concerne pas les tampons recouvrant une partie non-boisée située à l'intérieur du périmètre. Les différents cas de figure sont présentés par la Figure 4. Le centroïde de la nouvelle placette est ensuite calculé à nouveau. Les coordonnées GPS de chaque centroïde sont alors relevées afin de les matérialiser sur le terrain.

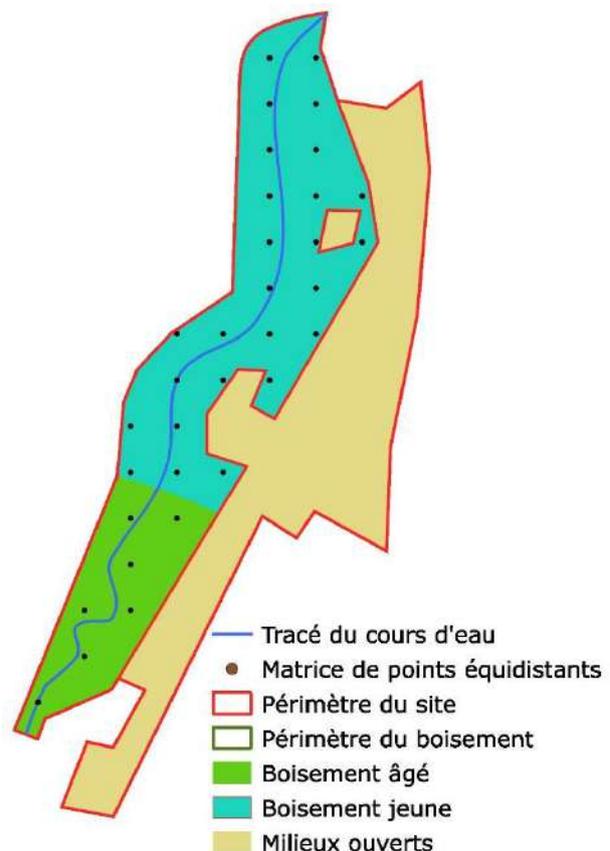
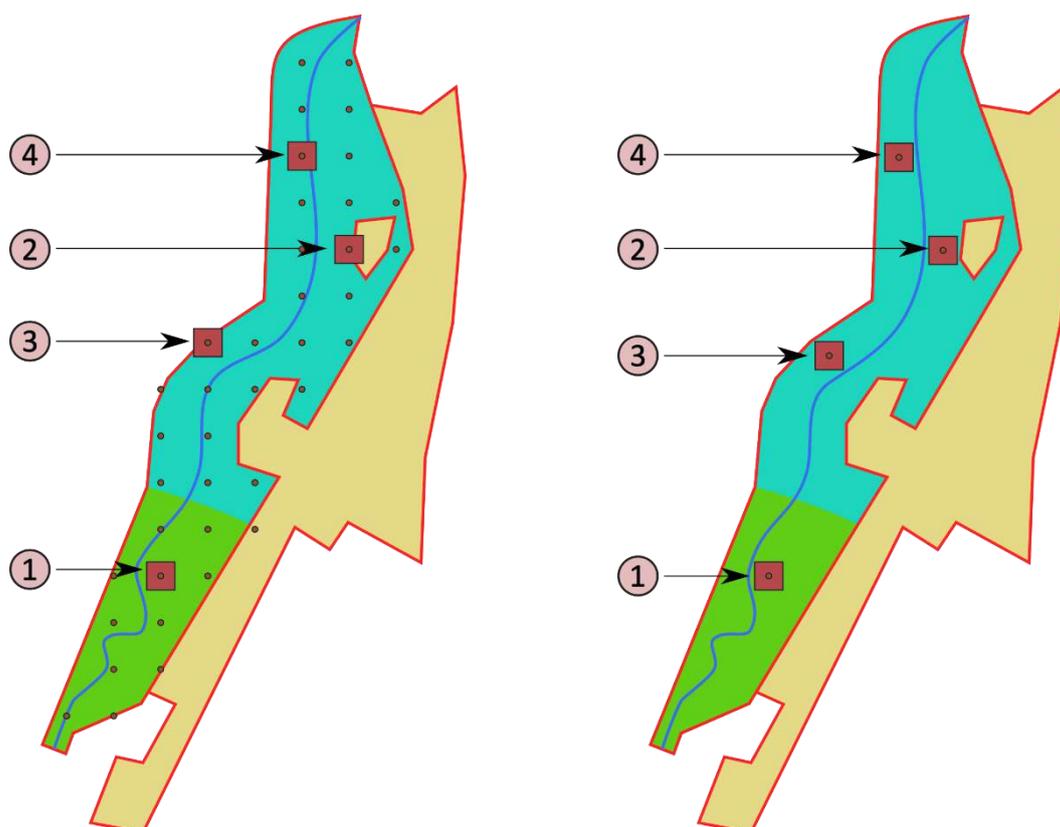


Figure 3 : création de la matrice de points équidistants



Légende :

- | | | | |
|---|--------------------------------|---|----------------------|
| ● | Matrice de points équidistants | — | Tracé du cours d'eau |
| ■ | Placettes sélectionnées | ■ | Boisement âgé |
| □ | Périmètre du site | ■ | Boisement jeune |
| □ | Périmètre du boisement | ■ | Milieux ouverts |

Figure 4 : Optimisation de l'emplacement des placettes

Cas n°1 : la placette est bien située au cœur d'une strate. Elle reste en place.

Cas n°2 : une placette est à cheval entre un boisement et une trouée en son sein. La trouée est prise en compte dans la placette. Celle-ci reste en place.

Cas n°3 : la placette est à cheval sur la bordure du boisement.

Cas n°4 : une placette est à cheval sur le cours d'eau.

Dans les cas n°3 et 4, la placette doit être déplacée. La deuxième partie de la figure propose un nouvel emplacement pour les placettes.

III. Description des placettes

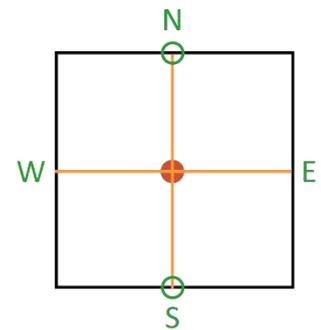
Les placettes seront matérialisées de manière permanente par un piquet métallique (fer à béton, borne de géomètre) au centre. De plus, trois repères (arbre, rocher...) proches du centre de la placette seront marqués et photographiés afin d'aider à retrouver plus facilement le piquet métallique la fois suivante. Les coordonnées GPS (Système de coordonnées, longitude, latitude, précision au moment de la mesure) seront également relevées. Le repérage au seul GPS de navigation, s'il peut aider lors du

cheminement, ne donne pas une assez bonne précision pour retrouver précisément le centre de la placette (Dufour & Pont 2006).

Ces placettes sont divisées en quatre quadrants à l'aide de cordelettes pour éviter tout oubli de comptage ou un comptage double (Figure 5). Cette délimitation permet aussi de bien situer la surface réelle à prendre en compte. Enfin, deux sous-placettes seront positionnées au point nord et au point sud des placettes dans le but de pouvoir mettre en place certains descripteurs. Ces deux sous-placettes de 2 m de diamètre doivent être également géolocalisées à partir de leur centre.

Chaque placette doit être prise en photo à chacun de ses points cardinaux. Pour chaque placette, il est important de noter :

- Le numéro de la placette
- Le nom du ou des observateurs
- La date et l'heure du relevé
- La pente en degrés
- L'exposition (si la pente est supérieure à 10 %)



- Borne de géomètre
- Longueur : 20 m
- Sous-placette de 2 m de diamètre

Figure 5 : Schéma descriptif d'une placette

IV. Relevé pédologique et emplacement du piézomètre

Le protocole recommande d'effectuer un relevé pédologique dans le boisement suivi. Le point de prélèvement de sol est choisi préalablement sous SIG, de préférence dans une partie centrale du site. Ce point est aussi utilisé pour poser le piézomètre. Il doit donc être situé dans le lit majeur du cours d'eau. En s'appuyant sur l'observation de la microtopographie de surface, on évitera de positionner le piézomètre dans un creux ou sur une butte qui constituerait une situation singulière à l'échelle du site.

V. Échantillonnage du cours d'eau

Le point de départ du transect d'échantillonnage est positionné au niveau du 1er radier aval (ou plat courant si aucun radier n'est présent à l'aval). Les observations sont notées le long de 100 m du cours d'eau en remontant à l'amont.

VI. Fiches critères

1. État des lieux

Ces critères proposent un état des lieux du boisement humide rivulaire en libre évolution étudié par le protocole. À l'échelle du site du boisement, ils décrivent le contexte dans lequel il a évolué et celui dans lequel il se situe actuellement. Ils ne seront quantifiés et évalués qu'à la mise en place du protocole. Dans la mesure où ils font référence à un état passé du site ou à des critères dont l'évolution n'est pas impactée par la mise en libre évolution, ils ne seront pas repris lors du suivi.

Facteurs contextuels

Critère A1 Surface du site

Principes et objectifs

Ce descripteur mesure la surface du site dont le mode de gestion est la libre évolution. Il est différent du critère « Surface du boisement » dans la mesure où l'entièreté du site n'est pas boisée à l'état initial. Il est en revanche possible que la totalité du site soit colonisée par le boisement étudié. La mesure de la surface permet de caractériser le site. Ce paramètre n'évoluera pas au cours du suivi, sauf décision du propriétaire du site.

Méthode

La mesure se fait au bureau sous logiciel SIG à partir d'orthophotoplan. Dans une couche polygone est créée une entité qui recouvre les limites du site. La surface de ce polygone est ensuite calculée et donne la surface du site.

Si la couche polygones n'existe pas au préalable, il est nécessaire de la créer dans un premier temps. À partir de l'orthophotoplan du site, il faut ensuite y ajouter ensuite une entité polygonale qui recouvre l'entièreté du site. Dans la table attributaire de la couche polygone, un champ intitulé « surface » est créé afin d'y calculer la surface du polygone. Le résultat donne la surface du site.

Critère A2 Continuité temporelle de l'état boisé

Principes et objectifs

Ce critère évalue la continuité dans le temps de l'état boisé depuis le XVIII^e siècle. Il se base pour cela sur les cartes et photographies aériennes anciennes. Il apporte des facteurs explicatifs pour comprendre les autres critères définis par le protocole.

En France, les forêts ont subi jusqu'au milieu du XIX^e siècle de nombreux déboisements jusqu'à atteindre un minimum forestier où elles ont occupé une surface minimale. Le minimum forestier a été atteint au milieu du XIX^e siècle. Les forêts présentes à cette époque ont une forte probabilité de ne pas avoir été défrichées. Les boisements ont ensuite reconquis de nouvelles surfaces suite à des changements, notamment de pratiques agricoles (ROSSI & VALLAURI, 2013).

Méthode

D'une part, ce critère évalue l'ancienneté du boisement grâce à des cartes anciennes. D'autre part, il met en évidence l'exploitation du bois dans la deuxième moitié du XX^e siècle à l'aide des photographies aériennes. Deux sources sont utilisables pour déterminer la continuité temporelle du boisement avant le minimum forestier :

- La carte de Cassini, levée entre 1749 et 1790, reporte les massifs boisés, mais de manière non exhaustive, avec des limites et une localisation peu précises
- La carte de l'état-major (levée entre 1818 et 1866) disponible sur le site Géoportail de l'IGN (www.geoportail.gouv.fr) couvre toute la France métropolitaine et reporte avec précision l'utilisation du sol et la localisation des boisements (GONIN *et al.*, 2022)

Dans le cas des boisements récents, il est possible de déterminer la date de colonisation forestières à l'aide des photographies aériennes du site remonter le temps de l'IGN (remonterletemps.ign.fr/). Les

campagnes de relevés photographiques ont commencé dans la première moitié du XX^e siècle et ne couvraient qu'une partie du territoire. Par la suite la couverture effectuée par les campagnes est systématique.

Les photographies aériennes peuvent être utilisées en complément de la connaissance de l'histoire de la parcelle de boisement. Dans le cas d'une parcelle anciennement soumise à une exploitation agricole ou à une autre activité, la date d'abandon de cette activité donne une indication précieuse de la mise en libre évolution de la parcelle.

Facteurs socio-économiques

Critère A3 Exploitation forestière

Principes et objectifs

L'exploitation forestière est un facteur socio-économique datant d'un usage antérieur du site. Une fois arrêtées, les pratiques sylvicoles anciennes peuvent encore expliquer une partie de la structure et du fonctionnement du boisement aujourd'hui (ROSSI & VALLAURI, 2013).

La présence de souches marque l'exploitation forestière passée du boisement. Ce marqueur disparaîtra au cours de sa dynamique en libre évolution.

Méthode

Ce critère consiste à relever les coordonnées GPS et prendre une photo des souches identifiées sur le terrain. L'observation de ces souches peut être faite lors des relevés sur les placettes ou lors du suivi le long du cours d'eau.

Facteurs édaphiques

Critère A4 Géologie

Principes et objectifs

Les caractéristiques des roches sous-jacentes ont une influence sur le sol des boisements humides rivulaires. Deux grands ensembles géologiques se partagent la Normandie. Le Massif armoricain, d'une part, est constitué de roches majoritairement siliceuses et possède de faibles ressources en eaux souterraines. Le Bassin parisien, quant à lui, est constitué de roches sédimentaires principalement calcaires et possède des gisements d'eaux souterraines (aquifères) importants et étendus. La nature du sous-sol permet de déterminer le caractère acide ou alcalin du milieu.

Méthode

La nature de la géologie du boisement est déterminée à l'aide des cartes géologiques disponibles sur le site Internet de l'IGN Géoportail (<https://www.geoportail.gouv.fr/>). La carte à l'échelle 1/50 000 est plus précise et permet de mettre en évidence le caractère acide ou alcalin du sous-sol. Son interprétation nécessite de télécharger sa notice. Elle est disponible sur le visualiseur simplifié du site Internet du BRGM (<http://infoterre.brgm.fr/viewerlite/MainTileForward.do>), en cliquant sur l'icône « Légendes » puis sur accéder à la légende dynamique et aux notices.

Principes et objectifs

L'indicateur vise à vérifier la présence de trait d'hydromorphie dans le sol du boisement. Le caractère hydromorphe du sol se traduit par une accumulation de matières organiques et/ou par des phénomènes d'oxydo-réduction du fer. Il existe deux grandes catégories de sols de zones humides. Les **sols organiques** sont caractéristiques des zones humides para-tourbeuses et des tourbières. L'hydromorphie de ces sols est totale et permanente pour l'ensemble de leur profil constitué d'**horizons histiques**. Les **sols minéraux hydromorphes** où l'eau est présente une partie de l'année forment la deuxième catégorie. Les traits d'hydromorphie de ces sols fonctionnels débutent toujours à moins de 50 cm de la surface et se prolongent ou s'intensifient en profondeur. La fréquence de saturation en eau permet de distinguer :

- Les **sols rédoxiques (g)** qui correspondent à des périodes de saturation temporaire. Ils se caractérisent par la présence de taches de couleur rouille enrichies en fer et de trainées claires appauvries en fer ;
- Les **sols réductiques (G)** où les processus de réduction du fer dominent en raison de la saturation en eau permanente ou quasi-permanente du sol. La répartition du fer est plutôt homogène, ce qui se traduit par une couleur bleuâtre à verdâtre très uniforme. Si la saturation n'est pas permanente, lors des périodes de dessèchement la réoxydation provoque l'apparition de taches de rouille qui disparaissent lorsque le sol est de nouveau saturé (COLLECTIF RHOMEO, 2014).

Méthode

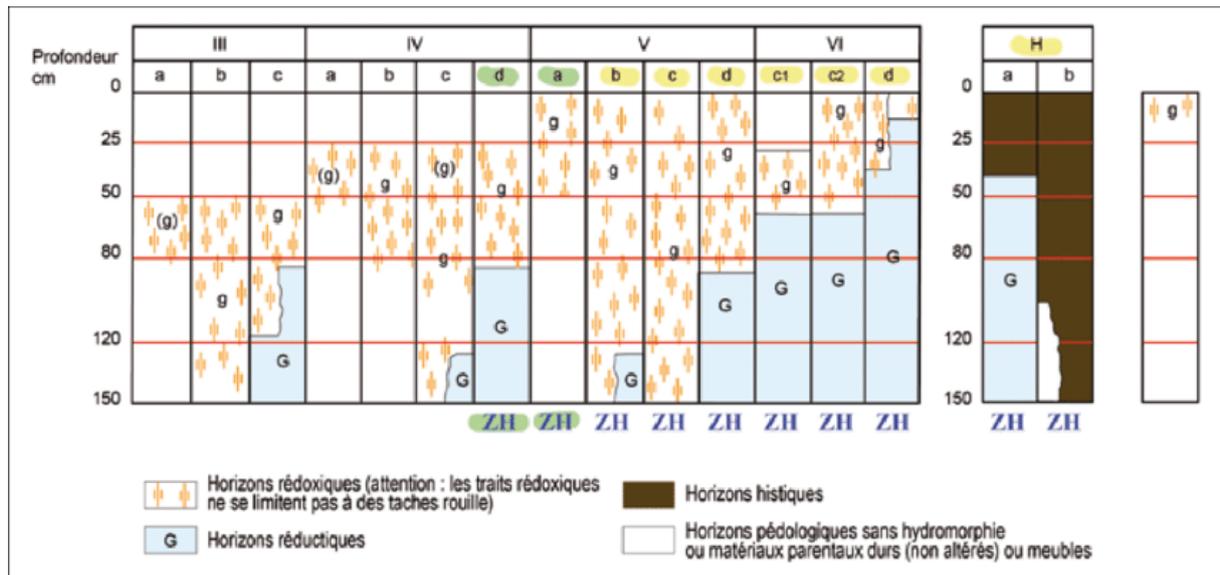
Un point de relevé est réalisé sur chaque site. Les coordonnées GPS du point de prélèvement doivent être enregistrées.

L'échantillon de sol est prélevé à la tarière sur les 50 à 60 premiers centimètres du sol. Les étapes d'un relevé à la tarière par carottage sont les suivantes :

- Après avoir dégagé la surface du sol, si nécessaire, prélever l'intégralité de la première carotte dans la tête de la tarière.
- Lorsque la tête de la tarière est remplie, cela correspond à un avancement de 20 cm.
- Nettoyer la surface pour éliminer les éventuelles salissures avec un couteau.
- Déposer ces 20 premiers centimètres sur le sol.
- Les 20 premiers centimètres de sol sont prélevés
- Recommencer les trois premières étapes. À partir de là, on ne conserve que les 10 cm situés dans la partie inférieure de la tête de la tarière. Le reste correspond à du matériau qui a été remanié lors de la réalisation du sondage.
- Déposer de nouveau la carotte, au bout du précédent prélèvement (attention à prendre la profondeur de prélèvement pour bien positionner le tronçon extrait sur le profil de la carotte).
- Répéter l'opération jusqu'à environ 1,20 m, si possible. Une fois le sondage réalisé, nous disposons d'une vision d'ensemble du profil reconstitué. Positionner en parallèle une règle ou un mètre en guise d'échelle et prendre une photo du profil.

Chaque échantillon est pris en photo. L'examen du sondage pédologique vise à vérifier la présence d'horizons histiques, de traits réductiques et/ou de traits rédoxiques (Figure 6). Le critère demande de noter à quelle profondeur du sol commence et finit l'apparition des traits d'hydromorphie. La

profondeur d'apparition des traits d'hydromorphie permet de classer le type de sol hydromorphes du boisement étudié.



Facteurs hydrologiques

Critère A6 Caractéristiques du cours d'eau

Principes et objectifs

La longueur du tronçon du cours d'eau mesurée pour l'état des lieux est la portion du cours d'eau qui traverse le site.

La pente hydraulique est le ratio de la baisse d'élévation d'un cours d'eau par unité de distance. La pente moyenne du cours d'eau détermine la vitesse avec laquelle l'eau se rend à l'exutoire du bassin versant donc le temps de concentration. Cette variable influence donc le débit maximal observé. Une pente abrupte favorise et accélère l'écoulement superficiel, tandis qu'une pente douce ou nulle donne à l'eau le temps de s'infiltrer, entièrement ou en partie, dans le sol (école polytechnique de Lausanne).

L'ordination de Strahler prend en compte la structure et la densité du réseau, variables selon la situation géographique. C'est l'un des indices les plus significatifs en termes de processus hydrologiques au niveau du bassin (WASSON *et al.*, 2003).

Méthode

La longueur du cours d'eau est mesurée au bureau sous logiciel SIG à partir de la BD TOPAGE, qui est le nouveau référentiel hydrographique français. Dans la couche CoursEau-FXX, l'entité linéaire qui représente le cours d'eau traversant le boisement est extraite par localisation grâce à la couche polygone qui représente le site. L'outil de géotraitement « couper... » est utilisé pour découper la partie du cours d'eau incluse dans le site. Dans la table attributaire de l'entité linéaire, un champ intitulé « longueur » est créé afin d'y calculer la longueur de l'entité. Le résultat donne la longueur du cours d'eau, appelée L.

La pente hydraulique est le ratio de la baisse de l'élévation d'un cours d'eau par unité de distance horizontale (Wikipedia). La méthode la plus fréquemment utilisée pour calculer la pente longitudinale du cours d'eau consiste à diviser la différence d'altitude entre les points extrêmes du profil par la longueur totale du cours d'eau.

$$P = \frac{\Delta H_{max}}{L}$$

Où : **P** : Pente moyenne du cours d'eau [m/km] ;
ΔHmax : Dénivellation maximale de la rivière [m] (différence d'altitude entre le point le plus élevé et le plus bas) ;
L : Longueur du cours d'eau principal [km].

Dans la classification de Strahler, tout cours d'eau qui n'a pas d'affluent se voit attribuer la valeur 1. Puis, le calcul de la valeur de chaque tronçon se fait selon la méthode suivante : un tronçon d'ordre n+1 est issu de la confluence de deux cours d'eau d'ordre n.

Critère A7 Connectivité longitudinale du cours d'eau

Principes et objectifs

Les cours d'eau, accompagnés par Les boisements humides rivulaires, sont des éléments essentiels de la trame verte et bleue qui remplissent le rôle de corridors biologiques pour la biodiversité. Leur continuité est essentielle pour assurer les liens entre les réservoirs de biodiversité qui subsistent.

Ce critère cherche à recenser les ouvrages artificiels qui font obstacle à l'écoulement et à la continuité écologique du cours d'eau.

Méthode

La présence d'obstacles à l'écoulement ou d'infrastructures de transport qui franchissent le cours d'eau est dénombrée le long du cours d'eau sur le terrain. Leurs coordonnées GPS sont relevés afin de pouvoir être cartographiés. Si les ouvrages qui font obstacles à la continuité écologique du cours d'eau sont déjà répertoriés sur la carte topographique de l'IGN, il suffit de les reporter dans le SIG.

Critère A8 Connectivité transversale du cours d'eau

Principes et objectifs

Les boisements humides rivulaires sont situées dans le lit majeur du cours d'eau qui constituent un espace où l'eau du cours d'eau en crue peut se déverser. Ces crues permettent aux sédiments et au bois charrié par le cours d'eau de se déposer dans le lit majeur. Celui-ci est donc le siège d'échanges entre le cours d'eau et son boisement rivulaire. Les aménagements des cours d'eau ont souvent dégradé les fonctionnalités écologiques des berges en réduisant ou en interrompant ces échanges (DAJOUX *et al.*, 2020)

L'étude de la connectivité transversale vise à estimer la connexion latérale du cours d'eau avec ses berges et/ou les zones tampons attenantes. L'état des lieux du protocole cherche à identifier la présence de structures d'origine anthropique qui rompent cette connectivité :

- Palplanches et enrochements utilisés pour stabiliser les berges. Ils produisent une déconnexion de la berge avec le cours d'eau et empêchent l'établissement d'une végétation,
- Dignes qui empêchent le débordement du cours d'eau dans son lit majeur.

Méthode

La présence de digues et leur longueur est notée sur le terrain par relevé GPS ou directement sur la carte si possible. La longueur de celle-ci est aussi mesurée, par exemple sous logiciel SIG au bureau.

2. Intégrité et spontanéité du boisement

Ces critères sont suivis à l'échelle d'un réseau de placettes fixes distribuées selon un plan d'échantillonnage stratifié du boisement étudié. Ils appartiennent à des facteurs biologiques mais également à des facteurs socio-économiques.

Facteurs biotiques

Les facteurs biotiques décrivent la naturalité biologique du boisement humide rivulaire en libre évolution. Les critères choisis sont des indicateurs structurels de biodiversité. Les structures qu'ils décrivent permettent de fournir des renseignements de manière indirecte sur l'état de cette dernière. Les différents critères vont renseigner l'évolution de la naturalité du boisement au fur et à mesure des périodes de prospection et d'analyse. Les critères concernés sont la structure verticale et horizontale de la végétation, la quantité de bois morts et de bois vivant, la présence de dendromicrohabitats, la régénération de la parcelle et l'abrutissement.

Critère B1 Structure verticale de la végétation

Principes et objectifs

La structure verticale de la végétation est un des facteurs qui décrit la morphologie d'un boisement. Ce critère permet de comprendre le développement des essences végétales dans un espace en libre évolution. Il étudie la complexité structurale du boisement en mettant en avant l'hétérogénéité du milieu.

Méthode

Le pourcentage de recouvrement de chaque strate est estimé visuellement par classes de 10 % sur l'ensemble de chaque placette. La Figure 7 apporte une aide pour réaliser cette estimation.

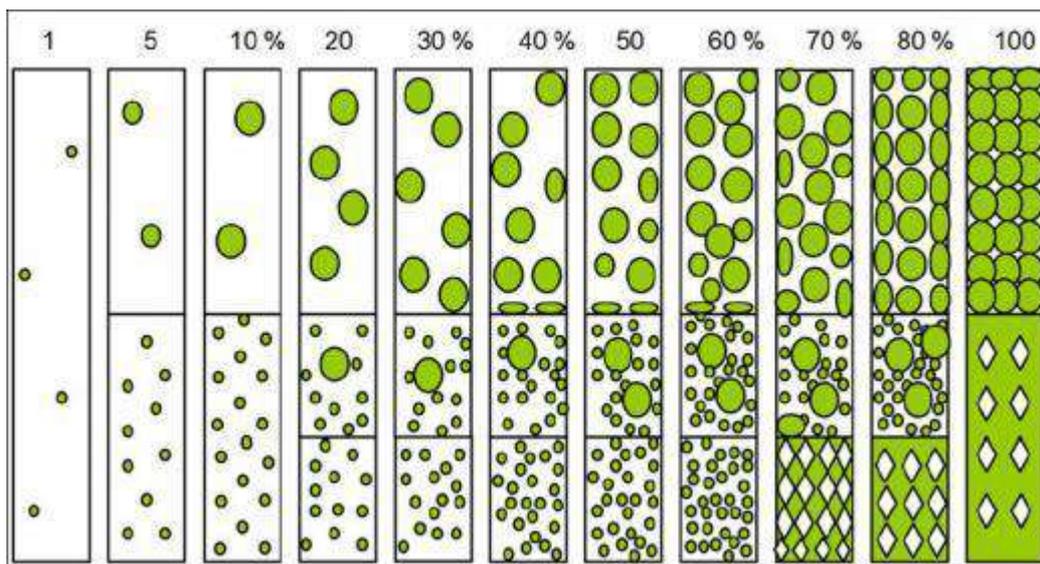


Figure 7 : Pourcentage de recouvrement selon le type de répartition des espèces. Source : N. Fromont d'après PRODON

Le Tableau 5 montre les quatre types de strates considérées selon leur hauteur et la nature de leur végétation. Les deux strates herbacées sont constituées de plantes vasculaires herbacées. Les espèces ligneuses forment la strate arbustive et la strate arborée.

Tableau 5 : critères de distinction des strates de végétation

	Strate herbacée basse	Strate herbacée haute	Strate arbustive	Strate arborescente
Hauteur de la strate	< 0,5 m	0,5 m à 1,5 m	< 7 m	> 7 m
Nature de végétation	herbacée	herbacée	ligneuse	ligneuse

De plus, un relevé floristique est effectué par strate. Il est important de noter la présence de lianes dans toutes les strates où elles sont observées.

Critère B2 Éclaircissement en sous-bois

Principes et objectifs

Ce critère mesure le degré d'ouverture du couvert végétal. Il décrit la structure horizontale du boisement par la mesure du recouvrement de la strate arborée. Il mesure l'évolution de la complexité et de l'hétérogénéité de la végétation et apporte ainsi un complément d'information à la structure verticale de la végétation quant à la morphologie du boisement.

Le taux de couvert est déterminé à la fois par des facteurs climatiques et le régime des perturbations, naturelles ou anthropiques. Ces perturbations et la chute d'arbres sénescents produisent des trouées. Ce critère donne donc une indication sur le renouvellement des peuplements.

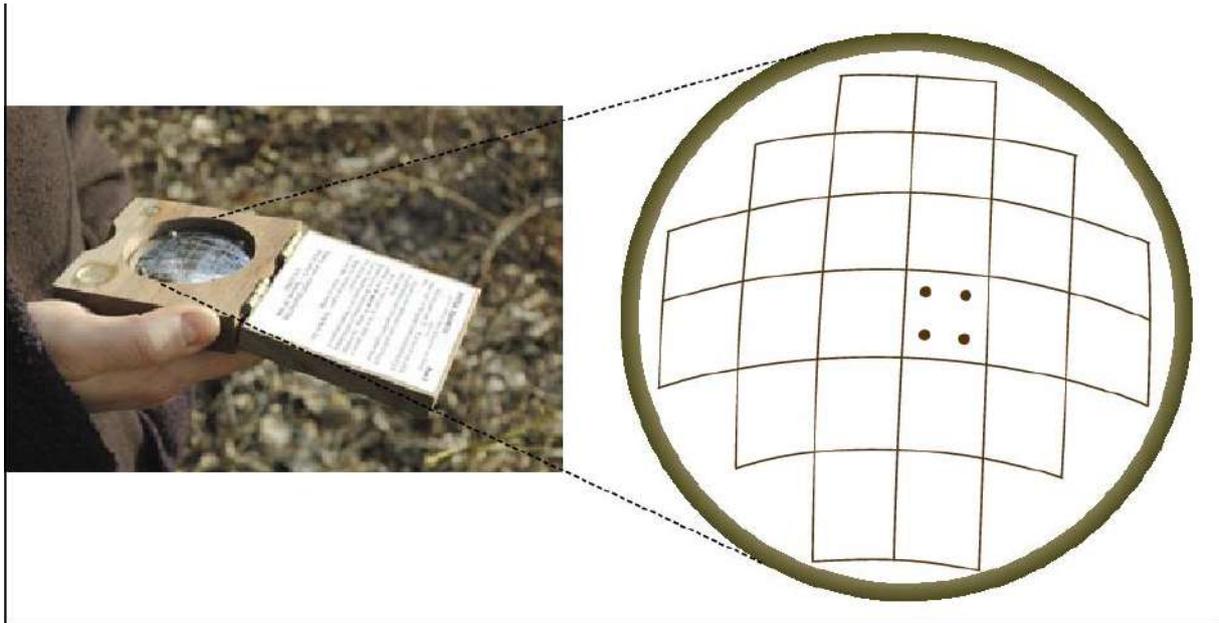


Figure 8 : Densiomètre convexe et sa grille de comptage

Méthode

L'évaluation de ce critère est effectuée grâce à l'usage d'un densiomètre convexe. Cet outil permet de mesurer un pourcentage d'ouverture du couvert végétal en différents points. L'ouverture du couvert est définie par le rapport entre les ouvertures dans la canopée et la totalité de l'hémisphère céleste, rapport pondéré en fonction de l'angle d'élévation, l'apport lumineux étant supérieur à proximité du zénith.

Le densiomètre est composé d'un miroir fixé sur un cadre en bois de 7,5 cm de côté. Le miroir est convexe et divisé en une grille gravée de 24 carrés. Une nivelle permet de positionner l'appareil par rapport au plan horizontal. Le densiomètre est tenu en main à hauteur de coude de manière à faire coïncider le reflet du front de l'opérateur avec la limite inférieure du quadrillage. L'opérateur visualise ensuite la projection de la canopée sur la grille. Pour chaque carré, l'opérateur examine l'intersection ou non du couvert par quatre points imaginaires. Il dénombre les points libres de toute canopée et multiplie ensuite son résultat par 1,04 pour obtenir l'ouverture du couvert en pourcentage.

Par point de mesure, une visée doit être réalisée dans les quatre directions cardinales pour couvrir l'hémisphère et cerner la variabilité du couvert (BAUDRY *et al.*, 2013). Un point de mesure est effectué au centre de chacune des placettes.

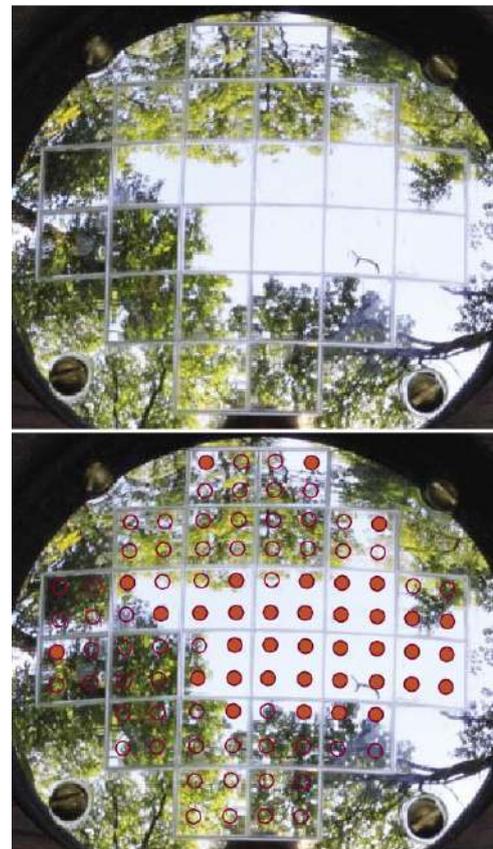


Figure 9 : Points de la grille de comptage libres de canopée (points rouges) et points couverts par la canopée.

Principes et objectifs

De grandes quantités de bois mort et une forte densité de vieux arbres porteurs de dendromicrohabitats sont des éléments caractéristiques des forêts naturelles (LARRIEU *et al.*, 2018). Le nombre et la diversité des bois morts sont des critères qui évaluent la maturité du boisement.

Les bois morts hébergent un grand nombre d'organismes, dits saproxyliques, qui participent à leur processus de décomposition. Ces espèces appartiennent à de nombreux groupes. Mais ce sont chez les insectes et les champignons qu'elles sont les plus nombreuses. Selon le stade de saproxylation, c'est-à-dire le niveau de décomposition du bois, différents cortèges d'espèces sont présents. Une grande diversité de types de bois morts est donc nécessaire à l'accueil d'une grande diversité d'espèces saproxyliques. L'action de ces organismes permet de libérer les éléments minéraux contenus dans les arbres après leur mort. Ils maintiennent ainsi le cycle des nutriments de l'écosystème en équilibre (EMBERGER *et al.*, 2013) et participent alors aux fonctions écosystémiques assurées par le boisement.

L'intérêt du bois mort repose aussi sur leur capacité à retenir l'eau. Ils permettent le maintien d'une réserve hydrique favorable aux mousses, aux lichens et aux mycorhizes et racines des plantes alentour. Ces réserves aident ainsi à lutter contre les sécheresses estivales. Ce stockage d'eau participe à l'écrêtage des crues hivernales et favorise la germination de la nouvelle génération arborée.

Un **bois mort au sol** est une pièce de bois (branche ou tronc) détachée de sa souche naturellement ou artificiellement, ou un arbre chablis mort, en contact ou non avec le sol, avec toutes les branches qui lui sont restées attachées, quel que soit l'âge de la mort. Un **bois mort sur pied** est un arbre ne présentant aucun signe de vie au-dessus de 1,30 m, et toujours sur pied, cassé ou non au niveau de sa tige ou de son houppier. Par convention, on considère que tout arbre mort (sans signe de vie au-dessus de 1,30 m) avec un angle d'inclinaison supérieur à 30 degrés par rapport à la surface du sol appartient à cette catégorie (IGN – INSTITUT NATIONAL DE L'INFORMATION GEOGRAPHIQUE ET FORESTIERE, s. d.).

Méthode

Le principe de ce descripteur est de compter le nombre de bois morts au sol et sur pied, sans prendre en compte l'essence. La valeur-seuil de dénombrement des bois morts est de 30 cm pour le diamètre et de 1 m pour leur longueur. La mesure du diamètre est effectuée au niveau du plus gros diamètre pour les bois morts au sol et pour les bois morts sur pied à 1,3 m de hauteur.

En revanche, le stade de décomposition de chaque élément dénombré sera aussi évalué. Chaque stade présent sur la placette est relevé, sans préciser l'abondance relative de chaque stade. Il existe cinq stades de décomposition. Le protocole utilise la même méthode que celle du protocole de l'IBP : Indice de Biodiversité Potentiel (EMBERGER *et al.*, 2013) :

Stade 1 : Bois mort dans l'année, très dur, pas ou très peu altéré. Écorce partout adhérente.



Stade 2 : Bois très dur, peu altéré : couteau s'enfonçant très difficilement (< 1cm) même dans le sens des fibres. Écorce quasiment partout présente, mais moins adhérente.



Stade 3 : Bois altéré, plus tendre en surface : couteau s'enfonçant de 1 à quelques cm dans le sens des fibres. Écorce partiellement à globalement tombée (sauf pour certaines essences comme le hêtre où l'écorce reste en place très longtemps) L'essence est encore reconnaissable et la pièce de bois n'a pas perdu de volume.



Stade 4 : Bois très altéré : couteau s'enfonçant jusqu'à la garde, au moins localement. Plus (ou vraiment très peu) d'écorce présente. Le bois a perdu du volume, mais l'essence est généralement encore reconnaissable.



Stade 5 : Bois très peu cohérent et dispersable facilement avec le pied. Mélange d'organismes saproxyliques et du sol (p.ex. vers de terre) Seul un examen approfondi permet d'identifier l'essence.



Critère B4 Bois vivant

Principes et objectifs

Les arbres de grandes dimensions sont les plus intéressants en termes écologiques car ils sont plus favorables à une biodiversité associée. Une forte densité d'arbres âgés est une des caractéristiques des forêts naturelles. Dans ces dernières, le cycle sylvigénétique s'accomplit dans son entièreté, contrairement à des forêts gérées pour la production de bois. Dans un boisement en libre évolution, les arbres accomplissent leur cycle de vie jusqu'à leur sénescence et leur mort et peuvent ainsi acquérir leurs pleines dimensions. Le diamètre des troncs est donc un indicateur de la complexité et de l'hétérogénéité structurale d'un boisement.

Méthode

La classification du diamètre à hauteur de poitrine (DHP) des arbres utilisée (Tableau 6) est issue du Protocole de Suivi Dendrométrique des Réserves Forestières (PSDRF). La mesure du DHP se fait à 1,30 m de hauteur à l'aide d'un pied à coulisse forestier. Il est également possible d'utiliser un mètre ruban pour mesurer la circonférence de l'arbre. Chacune des catégories de bois vivant est dénombré. Seuls les troncs de diamètre inférieur à 7,5 cm ne sont pas comptés. La prise en compte de ces catégories permet de prendre suffisamment en compte les petits diamètres, fréquents dans les forêts alluviales présentant souvent une structure irrégulière très marquée (DUFOR & PONT, 2006)

Tableau 6 : classification de la grosseur des arbres

	Perches	Petits bois (PB)	Bois moyens (BM)	Gros bois (GB)	Très gros bois (TGB)
Diamètre à 1,30 m	≥ 7,5 cm < 17,5 cm	≥ 17,5 < 27,5 cm	≥ 27,5 < 47,5 cm	≥ 47,5 < 67,5 cm	≥ 67,5 cm
Circonférence à 1,30 m	23 – 55 cm	55 – 86 cm	86 – 149 cm	149 – 212 cm	Supérieure à 212 cm

Critère B5 Dendromicrohabitats

Principes et objectifs

Les dendromicrohabitats sont un des éléments caractéristiques des forêts naturelles, comme les grandes quantités de bois mort et les vieux arbres. Ces structures se développent sur le tronc ou les branches des arbres vivants et morts sur pied. Portés en général par des arbres âgés de grandes dimensions, ce sont des indicateurs de présence potentielle d'espèces spécialisées qui les utilisent comme substrat ou habitat pour au moins une partie de leur cycle de vie. Ils sont donc identifiés comme des éléments de structure pertinents pour suivre la biodiversité taxonomique à l'échelle du peuplement.

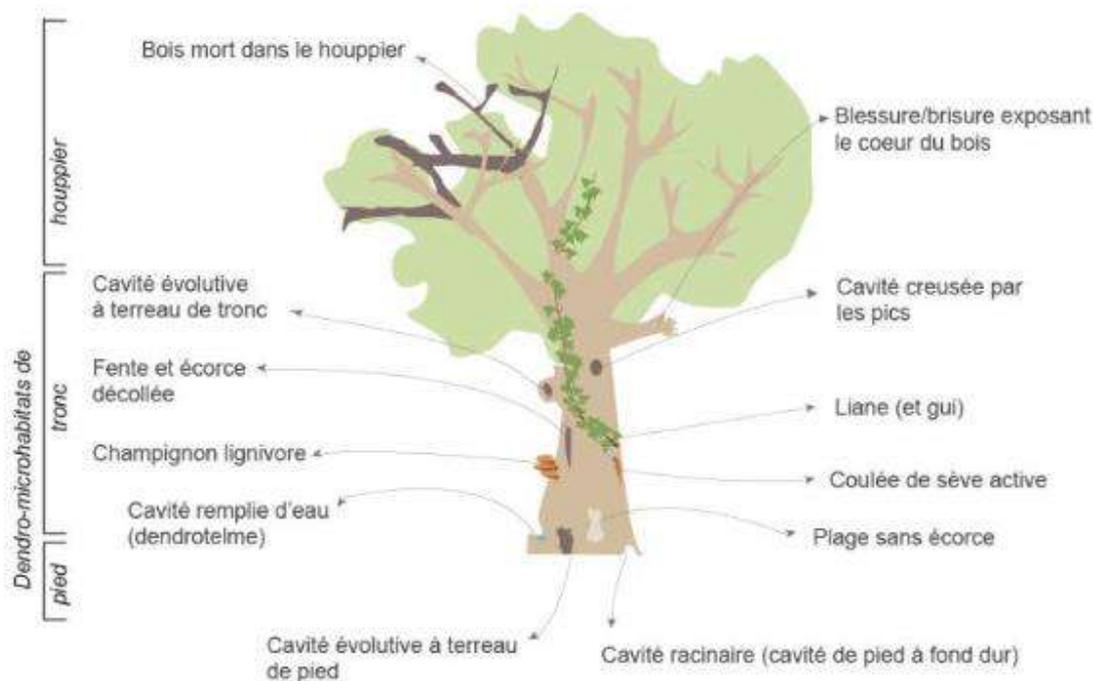


Figure 10 : Types de dendro-microhabitats et leur localisation dans l'arbre (Emberger et al., 2013)

Méthode

Pour ce critère, le protocole utilise la classification donnée par Larrieu *et al.* (2018). Elle comprend 7 formes de dendromicrohabitats, subdivisées en 15 groupes, puis en 47 types. Les 15 groupes que recense le protocole sont les suivants :

- Cavités creusées par des pics
- Cavités à terreau
- Orifices et galeries d'insectes
- Concavités
- Surfaces d'aubier apparent (partie sans écorce ou écorce décollée)
- Surfaces à bois de cœur apparent (cimes brisées et fentes profondes)
- Bois mort dans le houppier
- Agglomération de gourmands et de rameaux (balais de sorcière)
- Loupe et chancre (boursouflures et déformations du bois)
- Sporophores de champignons et myxomycètes
- Structures épiphytiques (bryophytes, lichens, fougères, lianes, gui...)
- Grands nids de vertébrés
- Micro-sols
- Coulées de sève

Chaque dendromicrohabitat est décrit en annexe 1. Les dimensions minimales à prendre en compte dans les relevés y sont également indiquées. Il est possible de trouver de l'aide dans l'application pour smartphone « Tree Microhabitats » développée par KRAUS *et al.*, 2016.

Le critère consiste pour chaque groupe de dendromicrohabitat à compter les arbres qui en sont porteurs. Chaque arbre porteur de plusieurs dendromicrohabitats est compté plusieurs fois.

Les dendromicrohabitats sont souvent de petites dimensions. Il est donc recommandé d'utiliser une paire de jumelles pour inspecter les hauteurs des arbres où ils peuvent se trouver.

Critère B6 Régénération

Principes et objectifs

Dans un boisement en libre évolution, la régénération des arbres se fait par semis naturel. Elle est favorisée par l'apparition de trouées dans le couvert végétal ou de taches de lumière. Elle participe ainsi à la dynamique du cycle sylvigénétique et de la succession écologique du boisement. Elle met en évidence la présence d'ouvertures dans le couvert arboré qui permettent l'installation et la croissance des semis.

Méthode

Le nombre de semis est compté selon quatre classes (Tableau 7) à l'intérieur des sous-placettes de 2 m de rayon. Seule la classe 0 est indiquée en pourcentage de recouvrement par plages de 10 %.

Tableau 7 : Classification des semis à l'intérieur des sous-placettes

	Classe 0	Classe 1	Classe 2	Classe 3
Critères de classe selon la hauteur (H) et le diamètre (Ø)	H < 50 cm Notée en pourcentage de recouvrement	$0,5 \geq H > 1,5$ m	H > 1,5 m et $\text{Ø} < 2,5$ cm	$2,5 \leq \text{Ø} < 7,5$ cm

Facteurs socioéconomiques

Les facteurs socio-économiques traitent de l'influence anthropique sur la spontanéité de la dynamique du boisement.

Critère B7 Essences allochtones

Principes et objectifs

Une essence allochtone désigne une espèce végétale ligneuse située en dehors de son aire de répartition naturelle, biogéographique ou bioclimatique (MACIEJEWSKI, 2016). Ces essences sont donc le marqueur d'une activité anthropique passée dans le boisement en libre évolution ou à proximité. L'objectif de ce critère est de connaître la proportion de ces essences dans le boisement étudié.

Méthode

Une liste des espèces allochtones de la strate ligneuse des boisements humides rivulaires a été dressée dans le Tableau 8. L'Observatoire des plantes vasculaires exotiques envahissantes de Normandie réalisées par les antennes normandes des Conservatoires botaniques nationaux de Brest et de Bailleul (DOUVILLE & WAYMEL, 2019) et les résultats du programme EUFORGEN qui met à disposition des cartes d'aire de répartition naturelle pour les essences forestières à l'échelle européenne (<https://www.euforgen.org/species/>) ont permis de dresser cette liste.

Tableau 8 : Liste des essences allochtones de Normandie

Nom scientifique	Nom vernaculaire	Caractère envahissant en Normandie
<i>Acer negundo</i> L., 1753	Érable negundo	Potentielle
<i>Acer pseudoplatanus</i> L., 1753	Érable sycomore	Potentielle
<i>Ailanthus altissima</i> (Mill.) Swingle, 1916	Ailanthé glanduleux	Avéré
<i>Baccharis halimifolia</i> L., 1753	Séneçon en arbre	Avéré
<i>Buddleja davidii</i> Franch., 1887	Buddleia du père David	Avéré
<i>Cornus sericea</i> L., 1771	Cornouiller soyeux	Potentielle
<i>Laburnum anagyroides</i> Medik., 1787	Cytise faux ébénier	Avéré
<i>Populus</i> spp. sauf <i>Populus tremula</i> L., 1754	Peuplier blanc	Non
<i>Prunus laurocerasus</i> L., 1753	Laurier-palme	Avéré
<i>Prunus serotina</i> Ehrh., 1788	Cerisier d'automne	Avéré
<i>Robinia pseudoacacia</i> L., 1753	Robinier faux-acacia	Avéré
<i>Staphylea pinnata</i> L., 1753	Faux pistachier	Potentielle

Ce critère consiste à estimer le pourcentage de surface de recouvrement des espèces allochtones. Cette estimation se fait par classes de 10 % sur l'ensemble de chaque placette. Comme pour le critère B1, la Figure 7 apporte une aide utile pour effectuer cette estimation.

Critère B8 Espèces exotiques envahissantes

Principes et objectifs

Une espèce exotique envahissante est une espèce allochtone dont l'introduction par l'homme (volontaire ou fortuite), l'implantation et la propagation menacent les écosystèmes, les habitats ou les espèces indigènes avec des conséquences écologiques, économiques ou sanitaires négatives (MACIEJEWSKI, 2016).

Le critère consiste à relever la présence d'espèces exotiques envahissantes au sein des placettes. Leur présence est un marqueur d'interventions humaines au sein du site ou à proximité, par le passé ou plus ou moins récemment.

Méthode

Les espèces végétales exotiques envahissantes ont été identifiées par les Conservatoires botaniques nationaux de Brest et de Bailleul (DOUVILLE & WAYMEL, 2019). D'autre part, une liste des espèces animales exotiques envahissantes peut être trouvée par le lien suivant : <http://especes-exotiques-envahissantes.fr/categorie-espece/faune/>.

Ce critère consiste à noter la présence de ces espèces exotiques envahissantes au sein des placettes. Les espèces végétales ont déjà été relevées dans l'inventaire floristique du critère B1 (Structure verticale de la végétation). Les espèces animales exotiques envahissantes ainsi que tout indice de présence de l'une d'entre elles doivent aussi être relevés.

Facteurs édaphiques

Critère B9 Indice Floristique de Fertilité du sol

Principes et objectifs

Ce critère permet d'analyser les fonctions biogéochimiques assurées par le sol du boisement. Il est issu de la boîte à outils Mhéo, utilisée pour le suivi de milieux humides.

La quantité des nutriments (principalement azote et phosphore) disponibles dans le sol est un facteur important auquel les espèces sont plus ou moins tolérantes ou adaptées. Il est donc possible d'évaluer de manière simplifiée, sur une échelle ordinaire, l'optimum de chaque espèce en fonction de la disponibilité des nutriments : c'est sa valeur indicatrice.

Méthode

L'indice floristique de fertilité du sol H_t représente la richesse "moyenne" en nutriments d'une zone humide. Il est calculée à l'échelle de la placette comme la moyenne des valeurs indicatrices des espèces présentes de la strate herbacée, puis à l'échelle d'une zone humide comme la médiane des valeurs des placettes (COLLECTIF RHOMEO, 2014).

Dans le cadre de notre protocole, la valeur indicatrice de l'espèce correspond à la moyenne des valeurs indicatrices des trois valeurs disponibles de Landolt (LANDOLT *et al.*, 2010), de Julve (JULVE, 1998) et d'Ellenberg (ELLENBERG *et al.*, 1992). La valeur indicatrice s'échelonne ainsi sur une gamme allant de 1 à 9 : des espèces des milieux très pauvres en nutriments vers les milieux les plus riches. Le

téléchargement du fichier contenant les valeurs indicatrices est possible grâce au lien suivant : <http://www.ligero-zh.org/images/FLORE.zip>

3. Hydromorphologie

Les forêts alluviales tissent un réseau complexe de relations avec les autres unités de la plaine alluviale comme le chenal ou la nappe phréatique, sous la forme de flux (eau, sédiments, nutriments, matériel biologique) qui créent des conditions de développement particulières pour la végétation : forte humidité de l'air et du sol, températures favorables, entrées régulières d'eau et de nutriments lors des crues...

Les boisements humides rivulaires entretiennent un réseau d'échange sous la forme de flux d'eau, de sédiments, de nutriments et de matériel biologique

Les critères étudiés mettent l'accent sur les services écosystémiques réduits par les boisements humides ainsi que sur leur connectivité avec le cours d'eau.

Facteurs contextuels

Critère C1 Milieux aquatiques complémentaires au cours d'eau

Principes et objectifs

Ce critère valorise la présence de milieux aquatiques sous différentes formes, car ils constituent des habitats pour des cortèges d'espèces diversifiés (amphibiens, odonates, oiseaux d'eau, poissons, etc.). Ils constituent des zones de repos, d'alimentation ou de reproduction pour ces dernières. Ils sont présents dans le lit majeur du cours d'eau et dépendent de la connectivité transversale de ce dernier. Les milieux aquatiques retenus peuvent être d'origine naturelle ou artificielle avec une présence d'eau permanente ou temporaire (FNE AURA, 2019) :

- Source ou suintement
- Ruisseau, fossé humide non entretenu ou petit canal (largeur < 1 m)
- Présence de multiples chenaux
- Confluence avec un autre cours d'eau
- Étang, lagune ou plan d'eau peu profond
- Mare ou autre petit point d'eau
- Tourbière
- Zone marécageuse.

Comme toutes les zones humides, ces milieux accueillent et stockent une partie de l'eau des crues, limitant les dégâts des inondations, et la restituent au milieu en période sèche (FNE AURA, 2019). De plus, ces milieux constituent une trame bleue au sein de la ripisylve qui marque aussi la connectivité du boisement avec le cours d'eau.

L'objectif de ce critère est de caractériser la connectivité des habitats aquatiques du boisement humide rivulaire avec le cours d'eau. Il est à mettre en relation avec les critères C4 et C5.

Méthode

Le relevé des milieux aquatiques complémentaires se fait le long du linéaire du cours d'eau. Ils doivent être localisés directement sur la berge et dans une limite de 10 m au-delà de la zone de relevé.

Chaque type de milieu aquatique est dénombré et localisé sur une carte ou par ses coordonnées GPS le cas échéant.

Facteurs hydrologiques

Critère C2 Faciès d'écoulement du cours d'eau

Principes et objectifs

Les faciès d'écoulement sont de petites portions de cours d'eau (d'une longueur comprise entre 1 et 10 fois la largeur à pleins bords environ) présentant une homogénéité, à l'échelle de quelques m² à quelques centaines de m², sur le plan des vitesses, des profondeurs, de la granulométrie, de la pente du lit et de la ligne d'eau, des profils en travers. Les faciès, notamment les alternances de radiers et de mouilles, sont considérés comme les unités hydromorphologiques fondamentales des rivières. Elles sont également le reflet à long terme des contraintes exercées par la géologie, la morphologie terrestre, la couverture végétale et le climat (MALAVOI & BRAVARD, 2010).

Méthode

L'identification des faciès est souvent problématique. Quatre grands types de faciès ont donc été défini pour être utilisés par le suivi selon la clé de détermination proposée Figure 11.

L'étendue des différents faciès est identifiée au fil de la progression le long du cours d'eau, directement notés par des points GPS.

Il faudra être vigilant de la répétition du protocole d'effectuer le suivi des faciès à des périodes hydrologiques comparables.

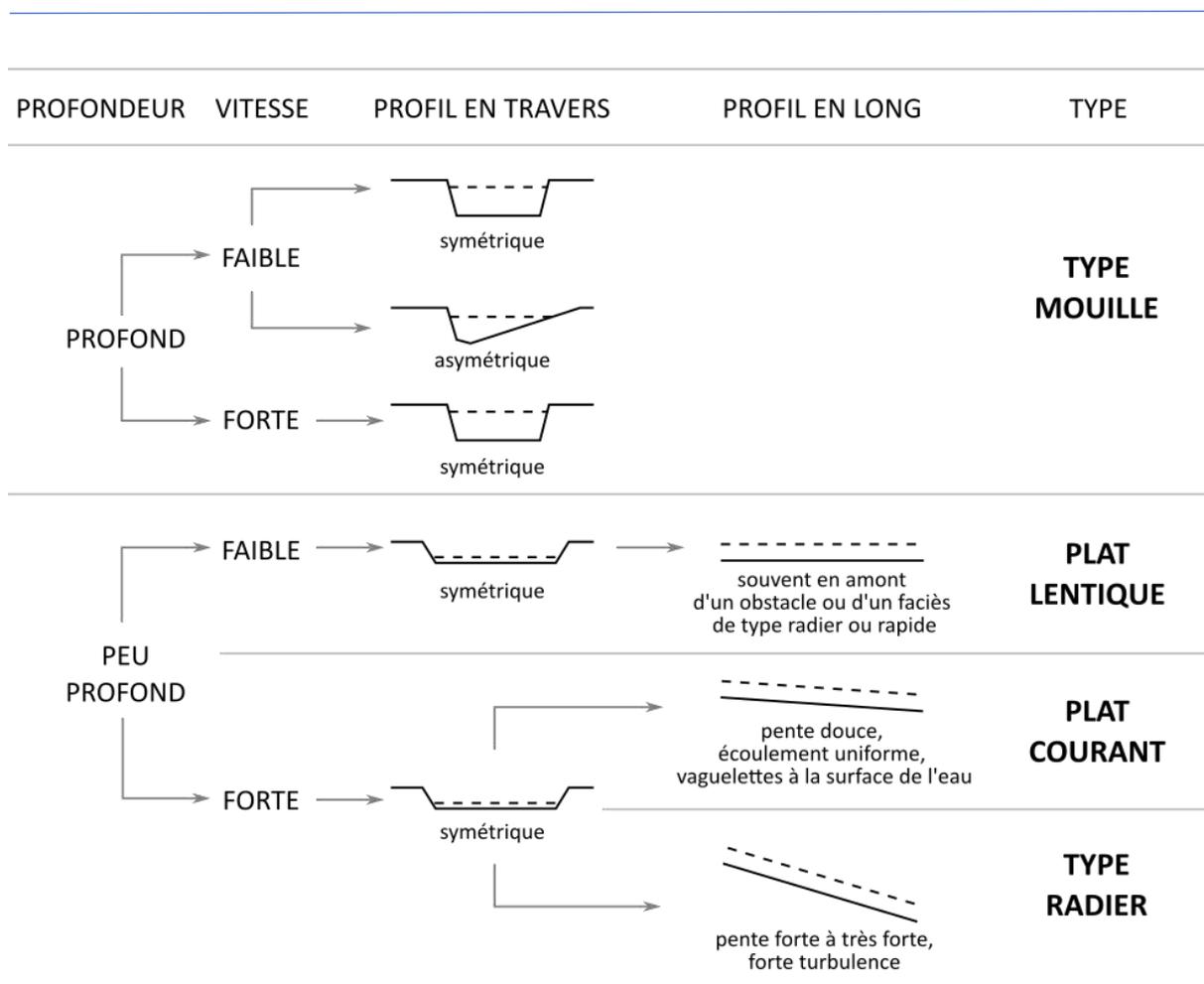


Figure 11 : Clé de détermination simplifiée des faciès d'écoulement (d'après MALAVOI & BRAVARD, 2010)

Critère C3

Embâcles

Principes et objectifs

Les embâcles se localisent généralement dans le lit mineur, en berge ou dans le chenal. Ils s'accumulent à la faveur d'un obstacle et provoquent un ralentissement des écoulements et une élévation de la ligne d'eau à l'amont. Si le chenal n'est pas entièrement obstrué, l'embâcle concentre l'écoulement, ce qui suscite une accélération de ce dernier au niveau de l'obstacle. Dans les petits cours d'eau, elles contribuent à créer des mouilles à leur amont et des rapides à l'aval. Les grandes pièces de bois exercent une influence sur la géométrie du chenal, notamment la largeur et la profondeur. Elles accumulent également des sédiments et de la matière organiques en amont. Outre ce rôle fonctionnel qu'ils jouent dans le cours d'eau, les embâcles ont aussi un intérêt écologique, en créant une diversité de micro-habitats favorables à la faune. Elles jouent aussi un rôle dans les phénomènes d'érosion des berges, qui permettent de régénérer les milieux riverains (PIEGAY *et al.*, 2003 ; LE LAY & PIEGAY, 2007)

Ce critère consiste à réaliser un inventaire des embâcles le long du cours d'eau. Leur nombre, leur taille et le degré d'obstruction du lit mineur qu'elles provoquent sont relevés.

Méthode

La localisation des embâcles se fait en suivant à pied le linéaire du cours d'eau. La localisation de chaque embâcle est relevée au GPS et leur taille est estimée pour chaque relevé. Le protocole considère trois catégories de taille :

- Branchages
- Tronc de faible diamètre (inférieur à 37,5 cm)
- Tronc de gros diamètre (supérieur ou égal à 37,5 cm)

Le degré d'obstruction de largeur du lit mineur provoqué par chaque embâcle est également relevé. Le protocole considère également trois catégories :

- Moins de la moitié de la largeur du lit mineur
- Plus de la moitié de la largeur du lit mineur
- La totalité de la largeur du lit mineur est encombrée par l'embâcle.

Critère C4 Position de la nappe

Principes et objectifs

L'indicateur mesure l'amplitude de battement de la nappe. Les niveaux d'eau sont mesurés relativement à la surface du sol par un piézomètre équipé d'une sonde de pression. L'appareil enregistre automatiquement la variation de la profondeur de la nappe d'eau dans le sol au cours du temps.

Le fonctionnement hydrologique des zones humides peut être approché par la connaissance de la dynamique de la nappe d'eau dans le sol. C'est la résultante de la différence entre les entrées et les sorties d'eau (bilan hydrique) à l'échelle du site. Cette dynamique détermine la présence des espèces hygrophiles et des sols hydromorphes. L'indicateur caractérise la distribution des valeurs annuelles de la nappe pour un suivi à moyen et long terme de la dynamique hydrologique. (COLLECTIF RHOMEO, 2014).

Méthode

Le piézomètre est installé de préférence dans une partie centrale du site (Cf. III. Mise en œuvre).

Les tubes des piézomètres doivent être équipés de capteurs de pression qui permettent d'enregistrer les valeurs à un pas de temps défini (horaire ou quotidien). Ils sont associés à un limnimètre placé dans le cours d'eau qui permet de relever les hauteurs d'eau de celui-ci. Une sonde barométrique doit être posée à proximité à l'abri du risque inondation afin de corriger les mesures piézométriques. Après installation, la hauteur de la sonde piézométrique par rapport au sol doit être mesurée.

La collecte de variables météorologiques, notamment la pluviométrie, est indispensable au processus d'évaluation de l'indicateur (COLLECTIF RHOMEO, 2014). Les données climatologiques de base quotidiennes collectées sont mises à disposition par Météo France. Elles sont téléchargeables à l'adresse suivante : (<https://meteo.data.gouv.fr/datasets/donnees-climatologiques-de-base-quotidiennes/>).

Critère C5 Connectivité transversale du cours d'eau

Principes et objectifs

Cet indicateur vise à estimer la connexion latérale du cours d'eau avec ses berges et le boisement humide, notamment avec les milieux aquatiques complémentaires au cours d'eau identifiés par le critère C1.

Le critère inclut une estimation de l'inclinaison moyenne de la pente de la berge. Il utilise aussi des éléments de classification typologique statique : la hauteur plein bord, p , et la largeur plein bord, l .

Ces deux dimensions permettent de calculer une caractéristique géométrique, le rapport largeur/profondeur. Ce critère mesure les déplacements verticaux (incision ou exhaussement) et latéraux (sédimentation et érosion) du lit mineur du cours d'eau.

Méthode

Selon le contexte de la sinuosité du cours d'eau, la mesure de la largeur et de la profondeur du cours d'eau doit être effectuée dans deux situations (MALAVOI & BRAVARD, 2010) :

- Soit au droit d'un point d'inflexion entre deux sinuosités,
- Soit dans une portion rectiligne du cours d'eau.

Un point de mesure doit être effectué à l'amont du cours d'eau et l'autre à l'aval. Les coordonnées de chaque point de mesure sont à relever au GPS.

Pour l'estimation de l'inclinaison moyenne de la pente de la berge, le Tableau 9 définit trois classes de types de pente de berges.

Tableau 9 : Définition des trois classes de pentes de berges

Classe de pente de berges	Abruptes	Moyennes	Douces
Valeur de la pente	$\geq 100\%$ ou $\geq 45^\circ$	20 % - 100 % ou 11° - 45°	$< 11^\circ$ ou $< 20\%$

Facteurs édaphiques

Critère C6 Indice Floristique d'Engorgement

Principes et objectifs

L'utilisation de ce critère est inspirée de la boîte à outils de suivi des milieux humides Mhéo (COLLECTIF RHOMEO, 2014). Il permet d'évaluer les fonctions hydrologiques de la nappe d'accompagnement.

La présence d'une nappe d'eau dans le sol constitue une contrainte pour les végétaux, contrainte à laquelle les espèces sont plus ou moins tolérantes ou adaptées. Beaucoup d'espèces végétales présentent une courbe de croissance en fonction du niveau moyen (annuel ou estival) de la nappe compatible avec la définition d'une valeur optimale de développement. Cet optimum est appelé valeur indicatrice de l'espèce pour le niveau de nappe. Les végétaux peuvent donc être utilisés pour évaluer le niveau de la nappe à travers un indice.

Méthode

La méthode d'application est la même que pour l'Indice Floristique de Fertilité du sol. Il s'agit de relever les espèces de la strate herbacée présentes dans chaque placette puis de calculer l'indice de niveau d'engorgement. Des valeurs indicatrices sont disponibles pour certains pays ou ensembles biogéographiques : Europe centrale (ELLENBERG *et al.*, 1992), Suisse (LANDOLT *et al.*, 2010), Grande-Bretagne (HILL *et al.*, 1999)

Dans le cadre de notre protocole, la valeur indicatrice de l'espèce a été adaptée du protocole LigéRO. Elle provient de deux bases de données : Baseflor (JULVE, 1998), travaux d'Ellenberg adaptés pour la France métropolitaine, et *Flora Indicativa* (LANDOLT *et al.*, 2010), valeurs établies pour la Suisse. Arrondie à l'entier. La valeur indicatrice s'échelonne ainsi sur une gamme allant de 1 à 10 (espèces des milieux les plus secs vers les milieux les plus humides) à l'échelle du bassin (Tableau 10). La base de données des valeurs indicatrices est disponible grâce au lien suivant : <http://www.ligero-zh.org/images/FLORE.zip>.

Tableau 10 : Correspondances des valeurs indicatrices pour l'humidité édaphique

Valeur transformée pour LigéRO	Valeur brute BASEFLOR	Signification BASEFLOR
1	1	hyperxérophiles (sclérophylles, ligneuses microphylles, réviscentes)
2	2	perxérophiles (caulocrassuléscentes subaphylles, coussinets)
3	3	xérophiles (velues, aiguillonnées, cuticule épaisse)
4	4	mésoxérophiles
5	5	mésohydriques
6	6	mésohygrophiles
7	7	hygrophiles (courtement inondables, en semaines)
8	8	hydrophiles (longuement inondables, en mois)
9	9	amphibies saisonnières (hélrophytes exondés une partie minoritaire de l'année)
10	10	amphibies permanentes (hélrophytes semi-émergés à base toujours noyée)
10	11	aquatiques superficielles (0-50cm)
10	12	aquatiques profondes (1-3m)

Pour une placette donnée, l'indice floristique d'engorgement H_e , est calculé comme la moyenne des valeurs indicatrices des espèces inventoriées.

$$H_e = \frac{\sum(r_i \times x_i)}{r_i}$$

Où : r_i : Abondance de l'espèce i dans le relevé
 x_i : Valeur indicatrice de l'espèce i

4. Continuités et pressions

Facteurs contextuels

Critère D1 Boisement

Principes et objectifs

Les milieux gérés en libre évolution évoluent vers un stade boisé qui devrait à terme recouvrir l'entièreté du site. Ce critère mesure la surface occupée par le boisement au sein du site qui fait l'objet de ce mode de gestion. Le suivi de cet indicateur met en évidence la dynamique suivie par le boisement au cours du temps.

Méthode

La mesure se fait au bureau sous logiciel SIG à partir d'une orthophotographie récente du boisement. Dans une couche polygone est créée une entité qui recouvre les limites du boisement en excluant les clairières et les trouées. La surface de ce polygone est ensuite calculée et donne la surface du boisement.

Critère D2 Clairières, trouées au sein du boisement

Principes et objectifs

Au cours du cycle sylvigénétique et de la succession écologique se produisent des effondrements d'arbres qui créent des clairières et des trouées dans le boisement. Ce critère mesure la surface occupée par ces ouvertures du couvert végétal. Son suivi met en évidence le stade de succession écologique ou la phase du cycle sylvigénétique dans lequel se trouve le boisement.

Méthode

La mesure se fait au bureau sous logiciel SIG. Dans une couche polygone est créée une ou plusieurs entités qui recouvrent les limites de chaque clairière et trouée. La surface totale de ces polygones est ensuite calculée et donne la surface des clairières et des trouées du boisement.

Facteurs de connectivité

Critère D3 Pression d'artificialisation

Principes et objectifs

L'artificialisation des sols désigne l'augmentation de la superficie des sols artificialisés (zones bâties et réseau de transport) à l'échelle d'un territoire. La pression qu'elle exerce sur l'environnement a des effets tels que :

- La modification des écoulements de l'eau dans les bassins versants,
- Des ruptures dans les continuités écologiques,
- Des pollutions accidentelles ou diffuses le long des voies de circulation,
- La perturbation de la dynamique des milieux et des espèces par la sur-fréquentation.

L'indicateur est construit sur l'évolution de la surface artificialisée par les routes et le bâti, dans le bassin versant du site. À l'intérieur de cette zone, il mesure la proportion de surface artificialisée.

L'objectif de cet indicateur est de suivre l'évolution de la pression d'artificialisation autour du site et dans sa périphérie immédiate. La pression d'artificialisation joue sur la connectivité du boisement étudié avec les corridors écologiques et les autres espaces naturels (COLLECTIF RHOMEO, 2014).

Méthode

Le calcul de l'indicateur se fait au bureau sous logiciel SIG à partir des données de la BD Topo®, disponible auprès de l'IGN à l'échelle départementale. Les objets « bâti », « réseau routier » et « réseau ferroviaire » de cette base de données sont utilisés. L'emprise de la pression d'artificialisation due aux bâtiments et aux voies de communication est modélisée par la création de zones tampon de dimensions variables autour de ces objets.

Dans un premier temps les objets de la couche polygones « Bâti » et les objets des couches « réseau routier » et « réseau ferroviaire » sont extraits. Une zone tampon de 50 m de large est créée pour chaque polygone de la couche « Bâti ». Les tampons des polygones sont ensuite fusionnés pour former des polygones regroupant l'influence de groupes de bâtiments proches.

Pour l'emprise des réseaux de transports, la largeur de la zone tampon est différente selon le type de voie de communication. Pour les autoroutes et routes à deux chaussées, la largeur de la zone tampon utilisée est de 3 m, pour les routes à une chaussée, elle est de 2 m. Pour les voies ferrées, les champs de la BD TOPO® « nombre_de_voies » et « largeur » de chaque tronçon sont utilisés pour définir les dimensions de la zone tampon. Il existe trois catégories de largeur des voies. Pour une voie normale, la largeur usuelle est de 1,4 m. Elle est de 0,6 m pour une voie étroite et de 1,6 m pour les voies larges. Les dimensions de la zone tampon sont calculées par la formule suivante :

$$\text{Largeur du tampon} = NB_{VOIES} \times \text{largeur des voies} \times 3.$$

L'ensemble des zones tampons des routes et des voies ferrées est fusionné pour créer la tache réseau de transport. La tache « bâti » et la tache « réseau de transport » sont ensuite fusionnées à leur tour pour former la tache « surface artificialisée » qui représente la zone sous pression d'artificialisation.

Les contours du bassin versant du site sont délimités grâce au Modèle numérique de terrain du RGE Alti® de l'IGN située à l'amont de l'exutoire du cours d'eau dans le boisement. La couche du bassin versant du boisement est utilisée pour découper la tache « surface artificialisée » par les outils de géotraitement vectoriel du logiciel SIG.

La surface du bassin versant et la surface totale la tache « surface artificialisée » sont mesurées sous logiciel SIG. L'indicateur « Pression d'artificialisation » correspond au ratio entre la surface totale sous pression d'artificialisation et la surface du bassin versant du site. Ce ratio est ensuite traduit en pourcentage (COLLECTIF RHOMEO, 2014).

Critère D4 Pression de pratiques agricoles

Principes et objectifs

La pression des pratiques agricoles est une des causes majeures de destruction et de dégradation des zones humides. Elle se traduit par :

- Le retournement des sols qui entraîne la destruction de la végétation "naturelle" et leur déstructuration (modification de leur fonctionnement hydrique),
- La modification des approvisionnements en eau et des écoulements (drainage, recalibrage de cours d'eau, pompage pour l'irrigation),

- La modification des paysages (arrachage de haies, remembrement),
- L'apport de produits phytosanitaires et d'engrais.

La pression des pratiques agricoles a un impact sur le fonctionnement hydrologique et biologique du boisement humide rivulaire étudié. L'objectif de cet indicateur est de suivre l'évolution des pratiques agricoles dans son bassin versant. Il s'agit de mettre en évidence si ces pratiques s'intensifient, auquel cas la perturbation hydrologique et biologique se renforce (COLLECTIF RHOME0, 2014).

Méthode

Cette pression est approchée par l'évaluation de la proportion de superficie concernée par une agriculture impactante à l'échelle du bassin versant du site en libre évolution. L'indicateur utilise les données annuelles déclaratives des parcelles agricoles, qui figurent dans le Registre Parcellaire Graphique (RPG). Il s'agit des données graphiques des parcelles munies de leur culture principale (couche PARCELLES_GRAPHIQUES) du RPG.

Dans un premier temps, les parcelles du RPG incluses dans la zone tampon du boisement sont extraites dans une couche dédiée. Le champ CODE_GROUP indique le groupe de culture pratiquée dans chaque parcelle (Tableau 11). Les prairies permanentes sont ensuite exclues de celle-ci car les pratiques agricoles ne constituent qu'une pression faible. De plus, comme la qualité des déclarations des prairies permanentes et temporaires ne permet pas d'avoir une information fiable pour différencier ces types de parcelles, les prairies temporaires en sont également exclues. Les parcelles sont donc toutes sélectionnées à l'exclusion de celles dont le CODE_GROUP est égal à 18 ou 19.

Tableau 11 : liste des groupes de cultures du RPG

Code	Groupe de cultures	Code	Groupe de cultures
1	Blé tendre	15	Légumineuses à grains
2	Maïs grain et ensilage	16	Fourrage
3	Orge	17	Estives landes
4	Autres céréales	18	Prairies permanentes
5	Colza	19	Prairies temporaires
6	Tournesol	20	Vergers
7	Autres oléagineux	21	Vignes
8	Protéagineux	22	Fruits à coque
9	Plantes à fibres	23	Oliviers
10	Semences	24	Autres cultures industrielles
11	Gel (surfaces gelées sans production)	25	Légumes-fleurs
12	Gel industriel	26	Canne à sucre
13	Autres gels	27	Arboriculture
14	Riz	28	Divers

Les objets sélectionnés sont ensuite découpés par les outils de traitement du SIG par la zone tampon de l'enveloppe du boisement. Leur surface incluse dans la zone tampon est ensuite calculée sous logiciel SIG. L'indicateur « Pression de pratiques agricoles » correspond au ratio entre la surface totale

des parcelles agricoles sélectionnées et la surface du bassin versant. Ce ratio est ensuite traduit en pourcentage qui exprime la proportion du bassin versant du boisement impactée par des pratiques agricoles (COLLECTIF RHOMEO, 2014).

PARTIE C :

ANALYSE – INTERPRÉTATION

I. Présentation des résultats

1. Sites étudiés

Le protocole a été testé sur trois sites qui présentent un contexte différent (Tableau 12).

Tableau 12 : Comparaison des trois sites-test

Site	Localisation	Superficie	Longueur du cours d'eau	Description	Habitats principaux
La Fresnaye-au-Sauvage	Orne (61)	6,1 ha	800 m	Ancien étang	Strate 1 : Saulaie Strate 2 : Aulnaie
La Cauchetière	Calvados (14)	1,4 ha	366 m	Ruisseau et son coteau	Aulnaie-Frênaie avec de nombreux chablis dus à la chararose
Vallon du Vivier	Seine-Maritime (76)	7,9 ha	1 200 m	Vallon d'un ruisseau affluent de la Seine	Aulnaie marécageuse

Les inventaires de terrain se sont déroulés du 27 août au 13 septembre 2023 dans le site de la Fresnaye-au-Sauvage et de la Cauchetière, et du 2 au 7 octobre pour le site du vallon du Vivier. L'application du protocole pour chaque site est décrite dans le tableau suivant :

Tableau 13 : Application du protocole pour chaque site-test

Site	Application du protocole	Durée du suivi 2023
La Fresnaye-au-Sauvage	État des lieux + 18 placettes + Cours d'eau	6 jours
La Cauchetière	État des lieux + 4 placettes + Cours d'eau	2 jours
Vallon du Vivier	État des lieux + 18 placettes	5 jours

Les données issues des fiches de terrain peuvent être compilées dans le fichier Excel Données et Resultats.xlsx. Ce dernier permet aussi de mettre en forme les résultats.

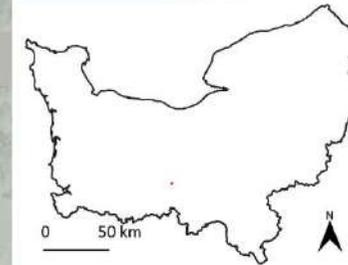
La localisation des placettes de suivi est montrée sur les trois figures suivantes :

Protocole PRELE 2023 - La Fresnaye-au-Sauvage

Putanges-le-Lac, Orne (61 210)



Localisation du site



Légende

PERIMETRES

- Site
- Application du protocole

PLACETTES

- Bornes
- Placettes
- Sous-placettes
- Piezomètre

HYDROGRAPHIE

- Le Gué Blondin



Sources : Données CEN Normandie - BDORTHO®, SCAN25®, @IGN France / Conception & Réalisation @CEN Normandie - février 2024 / Reproduction interdite

Carte réalisée avec QGIS 3.28.5-Firenze.

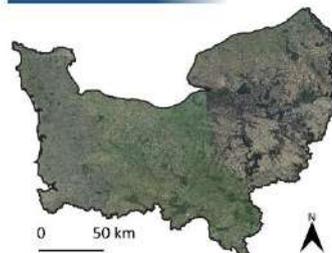
Emplacement du projet : C:\Users\PY\Documents\PRELE\La-Fresnay-au-sauvage\SIG\PROJETS\La_Fresnaye-2023.qgz

Protocole PRELE 2023 - Vallon du Vivier

Tancarville, Seine-maritime (76430)



Localisation du site



Légende

Périmètre en libre évolution

PROTOCOLE

- Bornes
- Placettes
- Sous-placettes

Suivi hydrologique

- Piézomètre

HYDROGRAPHIE

- Le Vivier

Sources : Données CEN Normandie - RGE ALTI® ©IGN France / Conception & Réalisation ©CEN Normandie - novembre 2023 / Reproduction interdite



Carte réalisée avec QGIS 3.28.5-Firenze

Emplacement du projet : C:\Users\PY\Documents\PRELE\Le-Vallon-du-Vivier\SIG\PROJETS\Protocole-Terrain-Vallon_Vivier.qgz

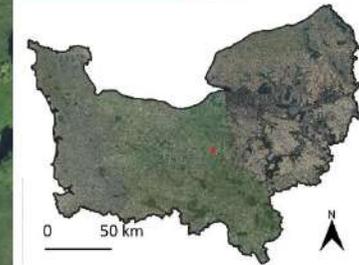


Protocole PRELE 2023 - La Cauchetière

Livarot-Pays-d'Auge, Calvados (14 140)



Localisation du site



Légende

Périimètre du site en libre évolution

PROTOCOLE

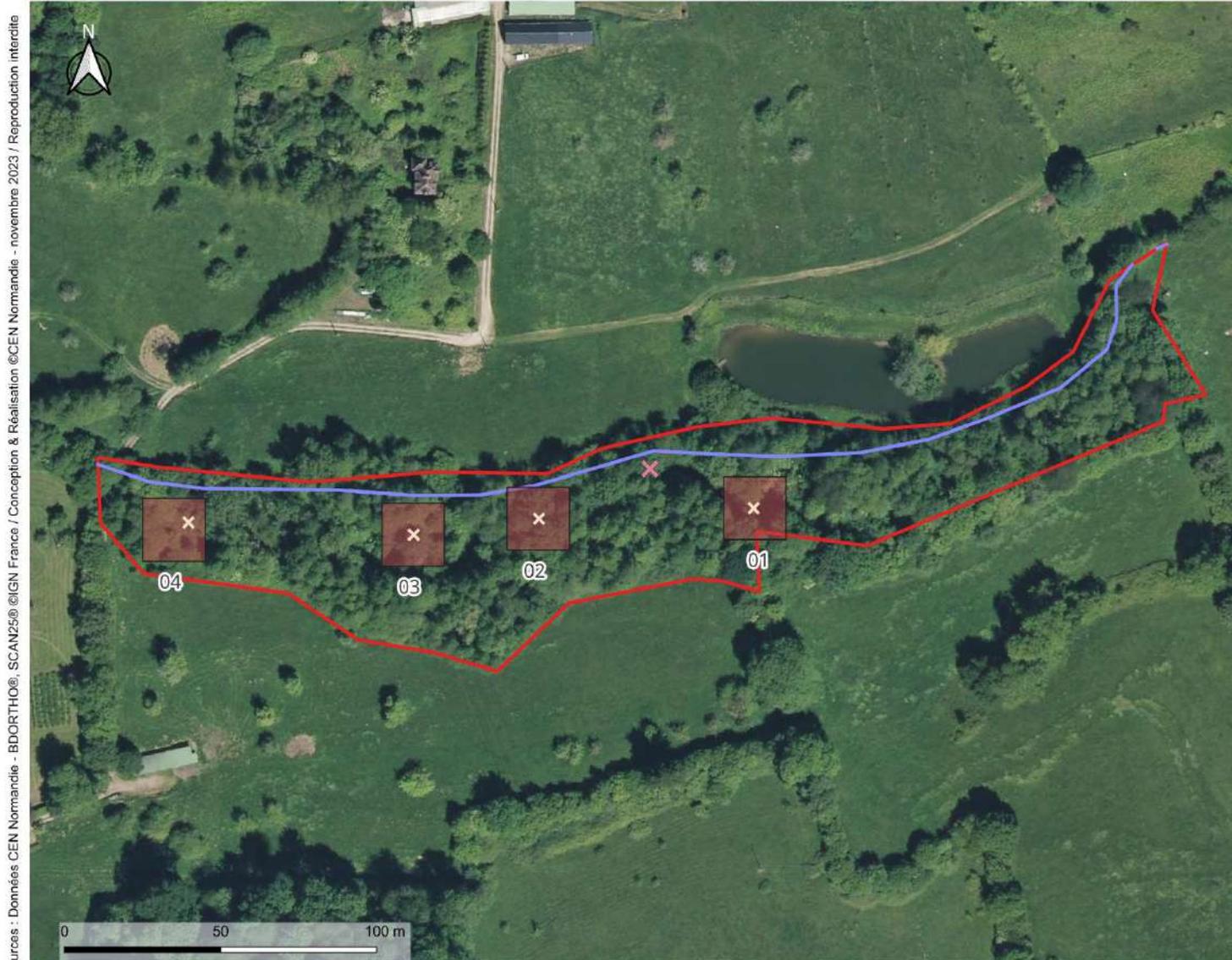
Bornes

Placettes

Piézomètre

HYDROGRAPHIE

Le Douet Fleuri



Sources : Données CEN Normandie - BDORTHO®, SCAN25® @IGN France / Conception & Réalisation ©CEN Normandie - novembre 2023 / Reproduction interdite



Carte réalisée avec QGIS 3.28.5-Firenze.
Emplacement du projet : C:\Users\PY\Documents\PRELE\La-Cauchetière\SIG\La_Cauchetière-2023.qgz

2. État des lieux

Facteurs contextuels

	A1 : Surface du site (en ha)	A2 : Continuité temporelle de l'état boisé (Date de la colonisation forestière)	A4 : Géologie
Vallon du Vivier	7,9	Années 1950	Massif armoricain
La Cauchetière	1,4	Années 1970	Bassin parisien
La Fresnaye-au-Sauvage	6,1	Aulnaie : 1979 Saulaie : 2006	Bassin parisien

Facteurs socio-économiques

Aucune trace d'exploitation forestière n'a été observée dans le Vallon du Vivier. Cette donnée est conforme à notre connaissance de l'histoire du site.

Deux souches issues de l'abattage d'un arbre ont été observées dans le site de la Cauchetière. À la Fresnaye-au-Sauvage, une souche a été observée dans l'aulnaie.

Facteurs édaphiques

Le site du Vallon du Vivier se différencie des deux autres sites-test par la présence d'un horizon histique dans lequel se trouve un horizon minéral réductique. Le sol des deux autres sites est minéral. L'engorgement du sol est plus fort à la Fresnaye qu'à la Cauchetière car l'horizon réductique y est plus développé.

	A5 : Pédologie			
	rédoxisol	réductisol	histosol saprique	histosol mésique
Vallon du Vivier	NA	90	0	28
La Cauchetière	38	105	NA	NA
La Fresnaye-au-Sauvage	10	30	NA	NA

Facteurs hydrologiques

	A6 : Caractéristiques du cours d'eau				A7 : Connectivité longitudinale du cours d'eau	A8 : Connectivité transversale du cours d'eau
	Longueur (m)	Pente (m)	Rang de Strahler	Distance à la mer (km)	Nombre d'obstacles	Nombre d'obstacles
Vallon du Vivier	1200	0,001	1	65	0	0
La Cauchetière	366	0,022	1	14	2	3
La Fresnaye-au-Sauvage	800	0,011	1	106	1	0

3. Intégrité et spontanéité du boisement

Facteurs biotiques

Indicateur B1 Structure verticale de la végétation

L'indicateur B1 prend en compte les strates de végétation dont le recouvrement dans la placette est supérieur à 20 %. Il est calculé par le pourcentage de placettes pour chaque nombre de strates présentes.

Le tableau suivant montre la fréquence du nombre de strates dont le recouvrement est supérieur à 20 % dans les placettes.

Tableau 14 : Pourcentage de nombre de strates dont le recouvrement est supérieur à 20 % dans les placettes

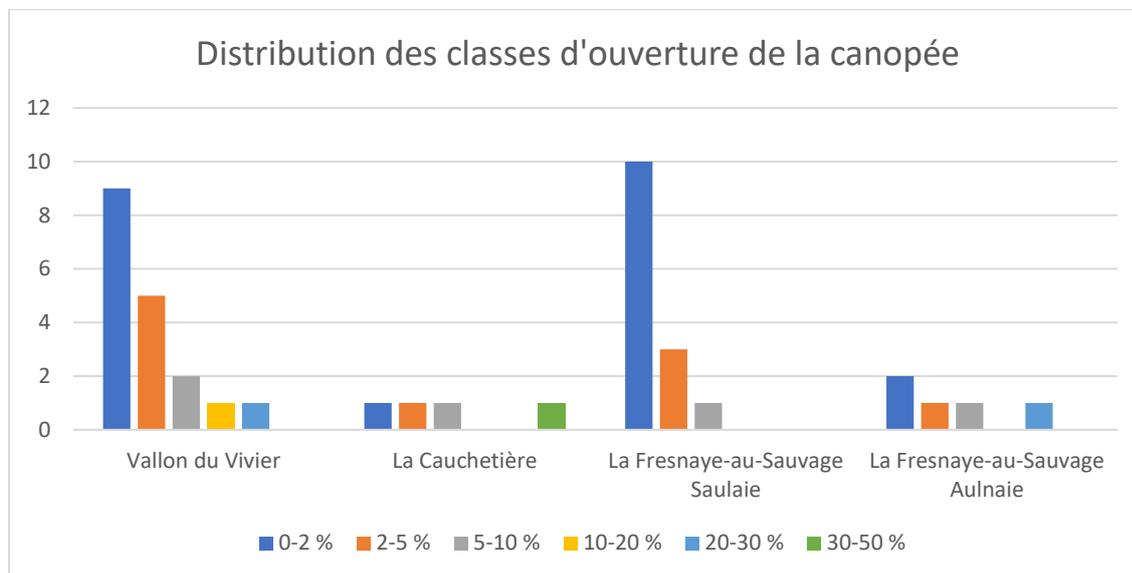
Nombre de strates	1	2	3	4
Vallon du Vivier	0%	17%	28%	56%
La Cauchetière	0%	0%	50%	50%
La Fresnaye-Au-Sauvage : Saulaie	0%	36%	36%	29%
La Fresnaye-Au-Sauvage : Aulnaie	0%	0%	75%	25%

Cet indicateur est complété par le pourcentage de présence de lianes dans les placettes :

	Lianes présentes	Strates de présence	Pourcentage de présence
Vallon du Vivier	Lierre	Herbacée et arbustive	6%
La Cauchetière	Lierre et Clématite	Herbacée, arbustive et arborescente	100%
La Fresnaye-Au-Sauvage : Saulaie	Lierre	Herbacée et arbustive	64%
La Fresnaye-Au-Sauvage : Aulnaie	Lierre	Herbacée, arbustive et arborescente	100%

Indicateur B2 Éclairément en sous-bois

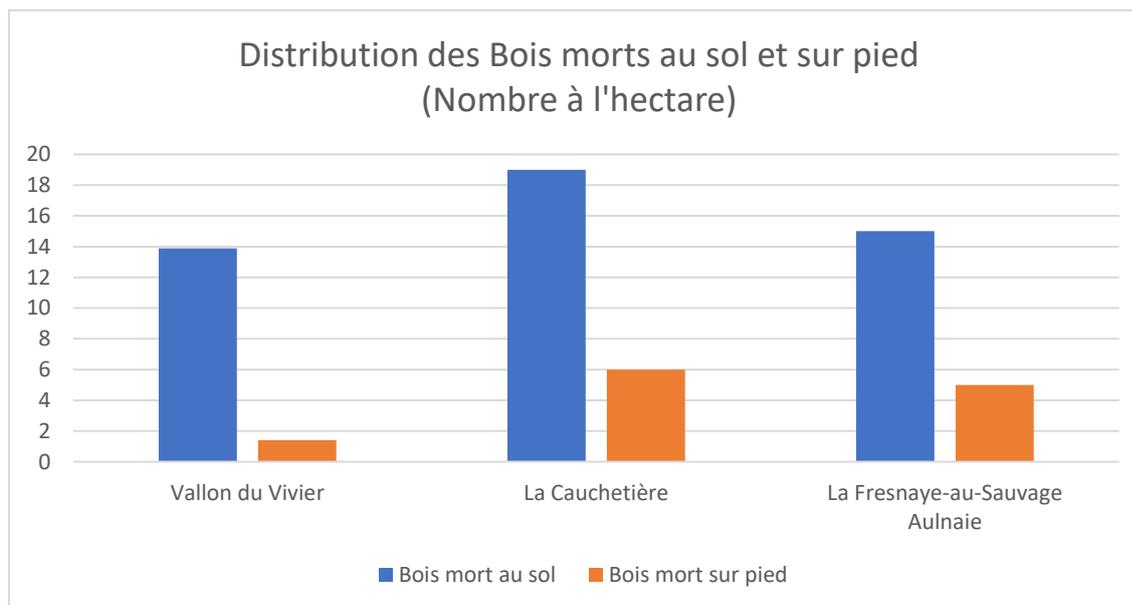
Le pourcentage d'ouverture de la canopée a été calculé pour chaque placette puis regroupés en cinq classes. Le graphique suivant donne le nombre de placettes par classe d'ouverture de la canopée :



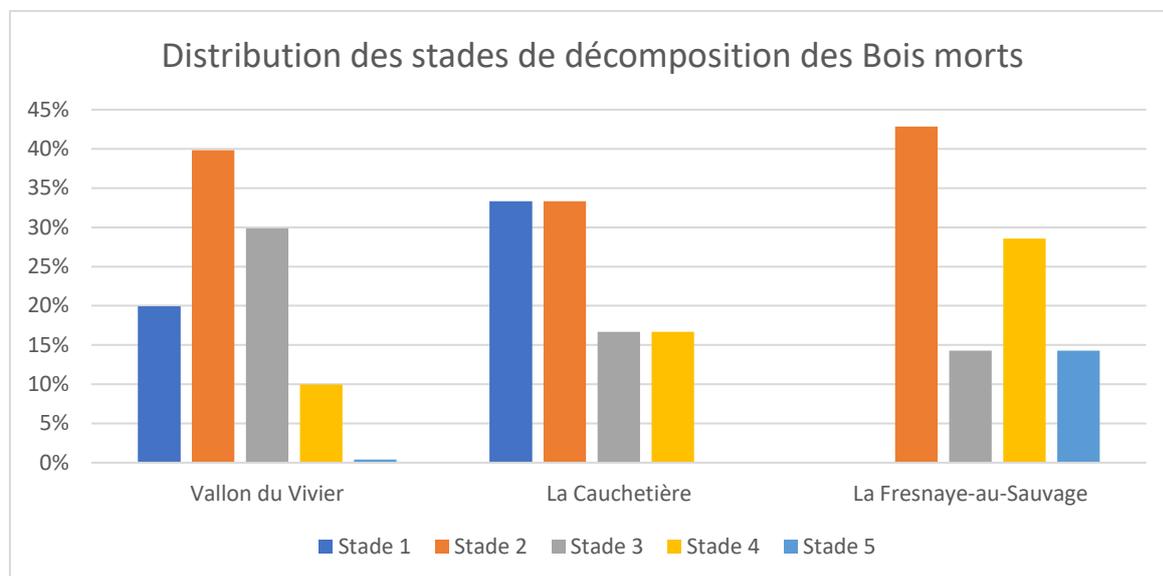
Indicateur B3 Bois mort

La densité des bois morts à l'hectare a été calculé à partir du nombre de bois mort au sol et de bois mort sur pied observés dans les placettes. Puis la moyenne sur l'ensemble du site ou par strate a été calculée selon les cas.

Le graphique suivant montre la quantité de bois morts à l'hectare estimée dans les sites-test. À La Fresnaye-au-Sauvage, aucun bois mort au diamètre supérieur au seuil considéré par le protocole n'a été observé dans la saulaie.



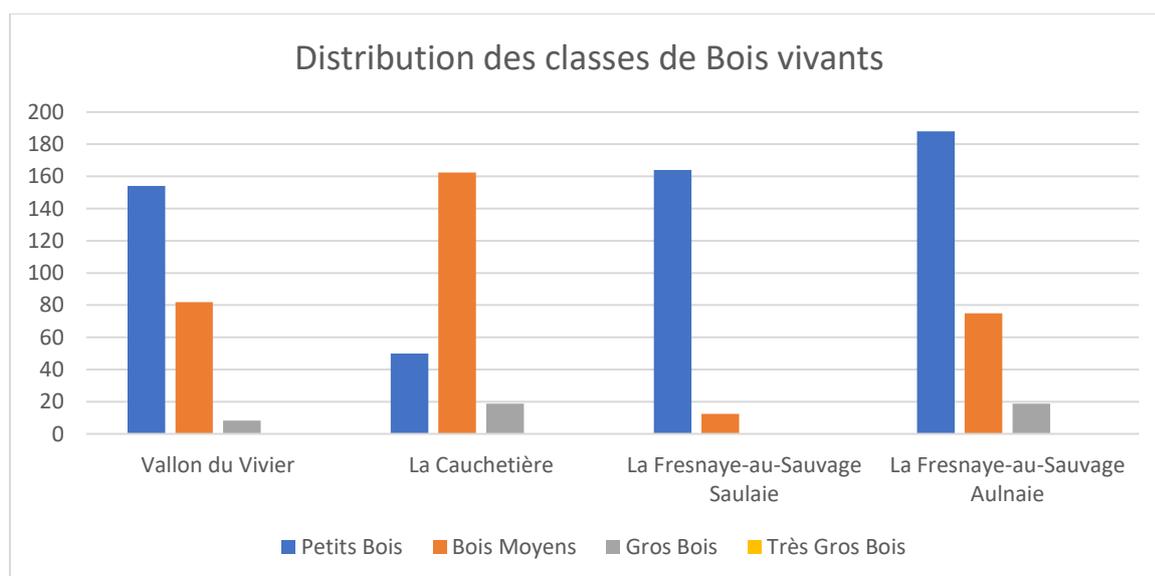
Le graphique suivant montre la proportion de chaque classe de décomposition du bois mort par site. Les Bois morts de stade 5 n'ont été observés que sur le site de la Fresnaye-au-Sauvage, où il n'y a pas de Bois mort de stade 1. *A contrario*, sur les deux autres sites il n'y a aucun Bois mort de stade 5 mais le stade 1 y est bien présent.



Indicateur B4 Bois vivant

Le nombre de bois observés par placette a servi à calculer les quantités de bois vivant par classe de diamètre à l'hectare. Le calcul de la moyenne donne le nombre de bois à l'hectare pour chaque classe de diamètre à l'échelle du site ou de la strate d'échantillonnage.

Aucun Très Gros Bois n'a été observé sur les trois sites-test. Le graphique suivant montre la distribution des classes de Bois vivant à l'hectare.



Il sera possible de retenir comme indicateur pour le critère Bois vivants le nombre de Gros Bois et de Très Gros Bois à l'hectare (Tableau 15).

Tableau 15 : Nombre de Gros Bois et de Très Gros Bois à l'hectare

	Gros Bois (Nombre à l'hectare)	Très Gros Bois (Nombre à l'hectare)
Vallon du Vivier	8	0
La Cauchetière	19	0
La Fresnaye-au-Sauvage	4	0
La Fresnaye-au-Sauvage Saulaie	0	0
La Fresnaye-au-Sauvage Aulnaie	19	0

Indicateur B5 Dendromicrohabitats

Le nombre de dendromicrohabitats à l'hectare a été calculé à partir du nombre de dendromicrohabitats observés par placette. La moyenne a ensuite été calculée pour l'ensemble de chaque site (Tableau 16).

Les structures épiphytiques sont le groupe de dendromicrohabitat le plus fréquemment observé. Les Loupes et les Concavités sont deux autres groupes communs sur les trois sites. Les grands nids de vertébrés et les coulées de sève sont les moins fréquents.

Tableau 16 : Densité de groupes de dendromicrohabitats à l'hectare

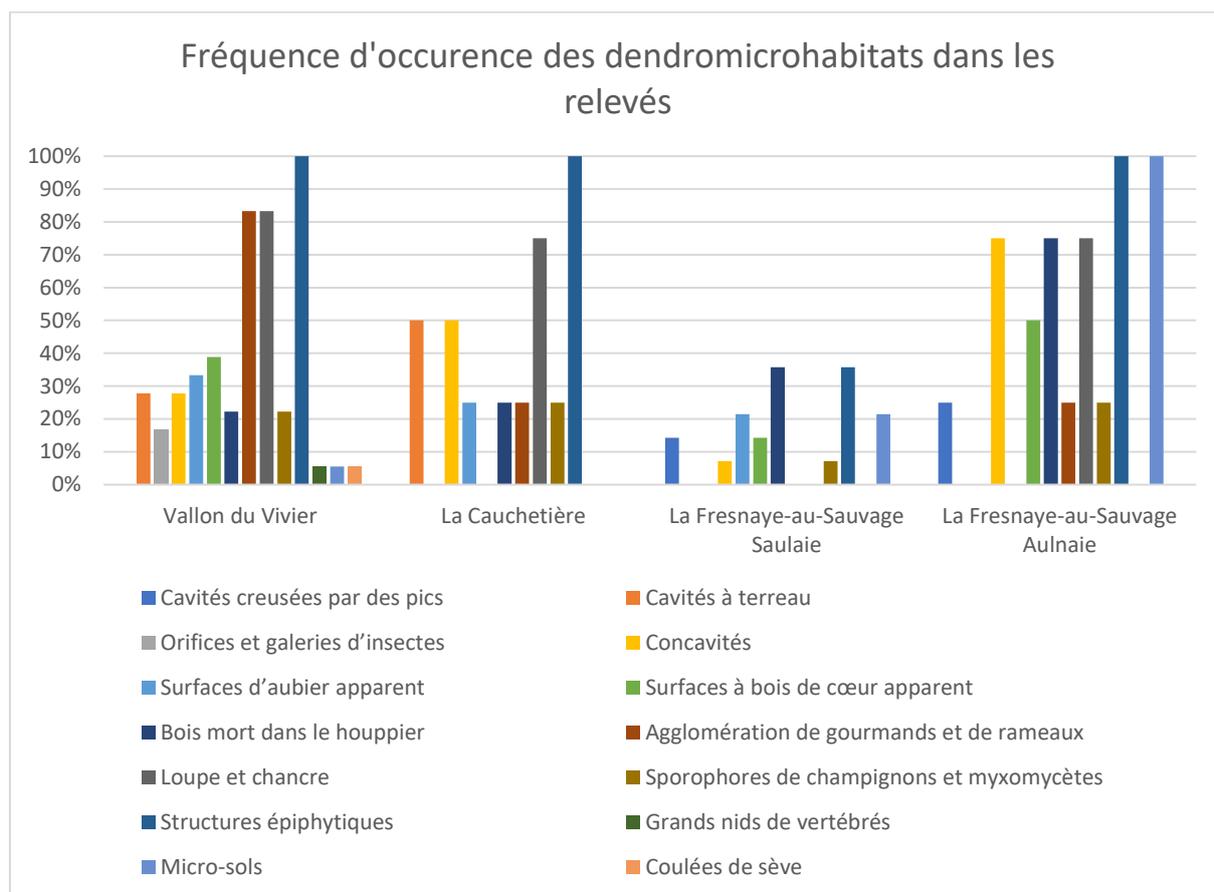
	Vallon du Vivier	La Cauchetière	La Fresnaye- au-Sauvage Saulaie	La Fresnaye- au-Sauvage Aulnaie
Cavités à terreau	0	0	4	6
Cavités creusées par des pics	21	19	0	0
Orifices et galeries d'insectes	4	0	0	0
Concavités	10	25	4	63
Surfaces d'aubier apparent	10	13	5	0
Surfaces à bois de cœur apparent	15	0	4	25
Bois mort dans le houppier	21	6	32	25
Agglomération de gourmands et de rameaux	63	6	0	6
Loupe et chancre	51	38	0	31
Sporophores de champignons et myxomycètes	6	6	2	6
Structures épiphytiques	369	113	163	169
Grands nids de vertébrés	1	0	0	0
Micro-sols	1	0	16	44
Coulées de sève	1	0	0	0

L'indicateur est donné par la fréquence d'occurrence des dendromicrohabitats dans les relevés. La figure suivante montre la répartition de leur fréquence dans les trois sites-test. Dans le Vallon du Vivier, les structures épiphytiques sont présentes dans tous les relevés, les agglomérations de gourmands et de rameaux et les Loupe et chancre sont présentes dans 83 % des relevés.

À la Cauchetière, les structures épiphytiques sont présentes dans tous les relevés et les autres catégories sont beaucoup moins fréquemment observées.

À la Fresnaye-au-Sauvage, les structures épiphytiques, le bois mort dans les houppiers et les micro-sols sont les groupes les plus fréquemment observés. La distribution des types de microhabitats dans les arbres vivants est très différente dans les deux strates de végétation.

Dans les relevés réalisés dans la saulaie de la Fresnaye-au-Sauvage, comparativement aux autres, certains dendromicrohabitats tels que les concavités, les blessures à bois apparent (Aubier apparent et Aubier et bois de cœur apparents) et les micro-sols ont probablement été surestimés. L'évaluation de ce critère dans cette strate était encore en phase de prise en main par les opérateurs. Les valeurs-seuils des dimensions des différents dendromicrohabitats ont été difficiles à appréhender au début de l'application du protocole, ce qui semble être à la source d'erreur.



Indicateur B6 Régénération

L'indicateur régénération est donné par le pourcentage de sous-placettes de régénération où des semis ont été observés et catégorisés (Tableau 17).

C'est le Vallon du Vivier qui est caractérisé par le plus fort indicateur de régénération. Il est en revanche nul à la Cauchetière. À la Fresnaye-au-sauvage, l'indicateur est très différent dans les deux strates. Il est en effet bien plus fort dans l'aulnaie que dans la saulaie.

Tableau 17 : Pourcentage de sous-placettes de régénération qui présentent des semis

Site	Pourcentage de sous-placettes de régénération
Vallon du Vivier	39%
La Cauchetière	0%
La Fresnaye-au-Sauvage	6%

Site	Pourcentage de sous-placettes de régénération
La Fresnaye-au-Sauvage Saulaie	7%
La Fresnaye-au-Sauvage Aulnaie	25%

Facteurs socio-économiques

Indicateur B7 Essences allochtones

L'indicateur Essences allochtones est donné par la fréquence d'apparition des essences allochtones dans les placettes (Tableau 18).

Le Vallon du Vivier est caractérisé par une très forte présence de l'Érable sycomore dans les placettes. Cette essence est aussi présente à la Fresnaye-au-Sauvage mais dans une seule placette.

Tableau 18 : Pourcentage de placettes où se développent des essences allochtones

Site	Pourcentage de recouvrement moyen	Nombre d'essences	Pourcentage de placettes
Vallon du Vivier	18%	1	94%
La Cauchetière	0%	0	0%
La Fresnaye-au-Sauvage	1%	1	6%

Indicateur B8 Espèces exotiques envahissantes

L'indicateur Espèces exotiques envahissantes est donné par fréquence d'apparition des espèces exotiques envahissantes dans les placettes (Tableau 19).

La seule espèce exotique qui ait été identifiées dans les trois sites n'a pas de caractère envahissant.

Tableau 19 : Pourcentage de placettes où se développent des espèces exotiques envahissantes

Site	Nombre d'espèces	Pourcentage de placettes
Vallon du Vivier	1	5,6%
La Cauchetière	0	0%
La Fresnaye-au-Sauvage	0	0%

Facteurs édaphiques

Indicateur B9 Indice Floristique de Fertilité du Sol

Le calcul de l'Indice Floristique de Fertilité du Sol a été donné dans la fiche-critère correspondante donnée plus haut. Le Tableau 20 donne la valeur de cet indice selon les sites.

L'indice est relativement comparable dans les deux strates de la Fresnaye-au-Sauvage et dans le boisement de la Cauchetière. Il est en revanche plus faible dans le site du Vallon du Vivier. Le sol de ce boisement semble plus oligotrophe.

Tableau 20 : Indice Floristique de Fertilité du Sol dans les trois sites-test

Site	Indice floristique de fertilité du sol
Vallon du Vivier	5,6
La Cauchetière	6,12
La Fresnaye-au-Sauvage Saulaie	6,47
La Fresnaye-au-Sauvage Aulnaie	6,22

4. Hydromorphologie

Facteurs contextuels

Indicateur C1 Milieux aquatiques complémentaires au cours d'eau

Le tableau suivant donne le nombre de milieux aquatiques complémentaires au cours d'eau qui ont été observés, ainsi que la proportion de types de milieux observés par rapport à l'ensemble de ceux qui sont recensés.

Le site de la Fresnaye-au-Sauvage présente la plus grande richesse et la plus grande diversité de milieux aquatiques. Le boisement du Vallon du Vivier est lui marqué par deux types de milieux, un étang et un marécage, qui représentent une très grande part de sa superficie. À la Cauchetière, le ruisseau du Douet fleuri est connecté au boisement par de petits annexes aquatiques.

Site	Nombre	Proportions
Vallon du Vivier	2	29 %
La Cauchetière	3	29 %
La Fresnaye-au-Sauvage	9	43 %

Facteurs hydrologiques

Indicateur C2 Faciès d'écoulement du cours d'eau

Tous les types de faciès d'écoulement ont été observés dans les trois sites. Dans celui de la Cauchetière comme à la Fresnaye-au-Sauvage, les plats courants et les radiers sont les plus fréquents. Les proportions sont en revanche inversées pour les mouilles et les plats lenticules. Il y a plus de mouilles à la Cauchetière, et plus de plats lenticules à la Fresnaye-au-Sauvage. Le ruisseau du Gué Blondin à la Fresnaye présente une moins grande succession de faciès d'écoulement que le Douet fleuri à la Cauchetière.

Site	Type Mouille	Plat lenticule	Plat courant	Type Radier/Rapides	Densité (Nombre pour 100 m)
Vallon du Vivier	/	/	/	/	/
La Cauchetière	23%	5%	33%	38%	10,7
La Fresnaye-au-Sauvage	9%	23%	39%	30%	5,5

Indicateur C3 Embâcles

La densité moyenne d'embâcles le long du cours d'eau est la même à la Fresnaye-au-Sauvage et à la Cauchetière. Elle est de 5 embâcles pour 100 m. les embâcles sont néanmoins de plus petites dimensions sur le Gué blondin que sur le Douet fleuri (Tableau 21). Ils ont aussi tendance à obstruer davantage le cours d'eau à la Cauchetière (Tableau 22).

Tableau 21 : Répartition des tailles d'embâcles

Site	Branchages	Tronc de faible diamètre	Tronc de grand diamètre
Vallon du Vivier	/	/	/
La Cauchetière	39%	22%	39%
La Fresnaye-au-Sauvage	40%	60%	0%

Tableau 22 : Répartition des degrés d'obstruction des embâcles en travers du cours d'eau

Site	< 1/2 largeur	≥ 1/2 largeur	Totale
Vallon du Vivier		/	/
La Cauchetière	11%	28%	61%
La Fresnaye-au-Sauvage	25%	28%	48%

Indicateur C4 Position de la nappe

Les piézomètres ont été installés au mois de septembre 2023, à la faveur de la réalisation du sondage pédologique. Les résultats sont donc analysés pour la période entre octobre 2023 et septembre 2024. La complexité des données oblige à les représenter sous plusieurs formes. Les résultats piézométriques sont mis en parallèles avec les données météorologiques issues de la station météorologique de Météo France la plus proche des sites.

Tableau 23 : Localisation des stations météorologiques situées à proximité des sites-test.

Site	Station météo	Distance
La Fresnaye-au-Sauvage	La Fresnaye-au-Sauvage	2.3 km
La Cauchetière	Le Château (Livarot-Pays-d'Auge)	3,8 km
Vallon du Vivier	Goderville	17 km

LA FRESNAYE-AU-SAUVAGE

Les données piézométriques montrent des niveaux d'eau supérieurs à la surface du sol à plusieurs reprises pendant l'année. Le niveau de l'eau dans l'ancien étang varie de -95 cm sous la surface du sol à 171 cm au-dessus de la surface du sol. Cela représente un battement de nappe très important, alors que le battement varie plus couramment de -84.0475 à -86.512 cm (valeurs des quartiles).

L'analyse des données a montré l'existence de données aberrantes par des fluctuations de plusieurs dizaines de centimètres en quelques heures. Cela concerne en particulier la nuit du 15 au 16 janvier 2024 où dans une durée de deux heures, la profondeur de la nappe passe de -88,634 à +150,344. Une autre variation brutale du niveau piézométrique se produit le 2 décembre de 71.656 cm à -87.343 cm. Hors de ces deux périodes, le maximum est atteint à 46 cm au-dessus de la surface du sol.

Après correction de ces données, l'amplitude de la nappe varie de -95 cm à +46 cm, soit 141 cm. La moyenne, de -70 cm de profondeur est largement supérieure à la médiane (-86 cm), ainsi qu'aux deux quartiles (Figure 12).

Le détail des niveaux d'eau mensuels (Figure 14) montre des battements de nappe plus importants du mois de novembre au mois de février que les reste de l'année. Les variations de niveaux d'eau sont faibles de mars à octobre. En outre, les minima montent une très faible variabilité d'un mois à l'autre.

L'examen de la chronique annuelle des niveaux piézométriques (Figure 13 **Error! Reference source not found.**) montre plusieurs périodes d'inondation de l'ancien étang. La courbe montre une valeur-plancher au-dessus de laquelle oscille le niveau de la nappe. Ce niveau piézométrique se retrouve chaque mois après une remontée de nappe. Les valeurs de remontées de la nappe, largement supérieures à celles de ce plancher, explique pourquoi la moyenne est supérieure aux quartiles.

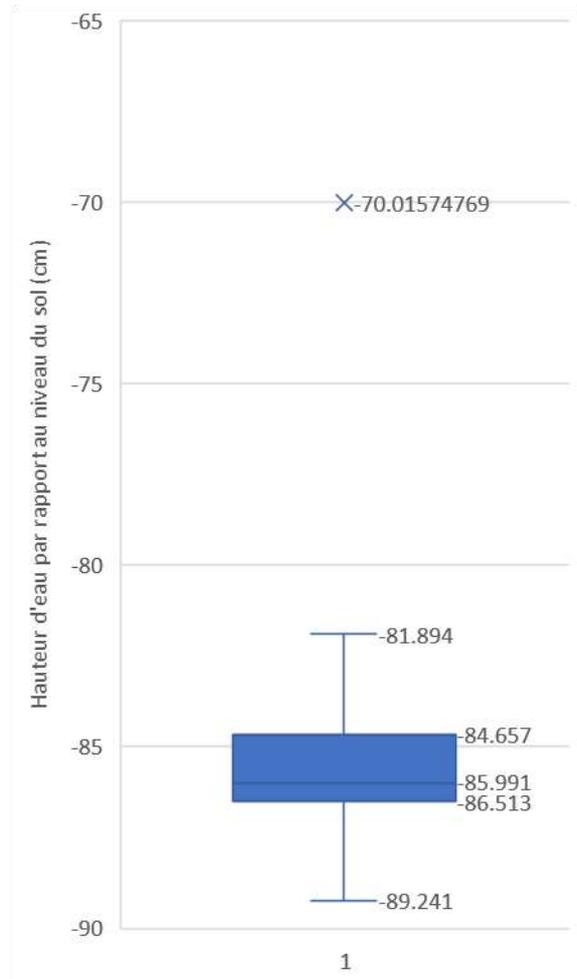


Figure 12 : Boîte à moustache représentant les variations annuelles du niveau de la nappe de l'ancien étang de la Fresnaye-au-sauvage

Le tableau suivant récapitule les hauteurs d'eau maximales au-dessus du niveau du sol pendant les périodes d'inondation.

Tableau 24 : hauteurs maximales de la nappe de l'ancien étang de la Fresnaye-au-Sauvage (au-dessus du niveau du sol)

Période	Maximum
16-22 novembre	31,8 cm
9-14 décembre	32,4 cm
2-8 janvier	32,2 cm
13-14 janvier	46,7 cm
17-20 janvier	32,3 cm
26 février - 4 mars	31,8 cm

Des remontées de nappe ont également lieu du 10 au 17 février, le 5 avril, les 21-22 mai et du 12 au 16 juillet. Les augmentations du niveau de la nappe sont rapides. Elles sont suivies d'une décrue plus lente.

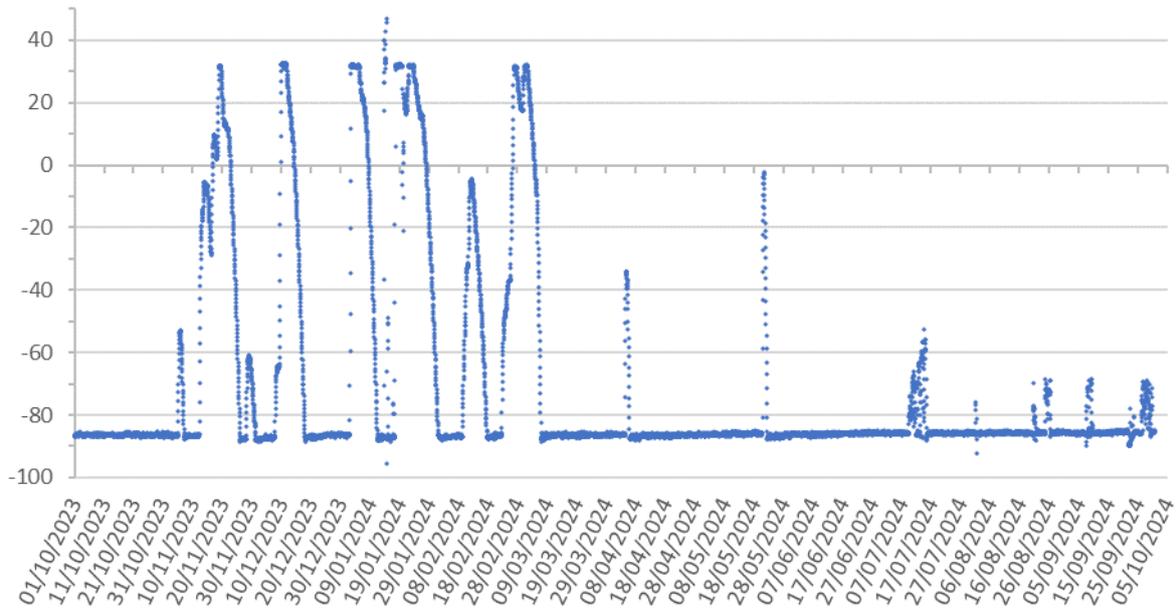


Figure 13 : Niveaux piézométriques du 1^{er} octobre 2023 au 30 septembre 2024. Les niveaux sont exprimés en cm, le 0 représentant le niveau du sol.

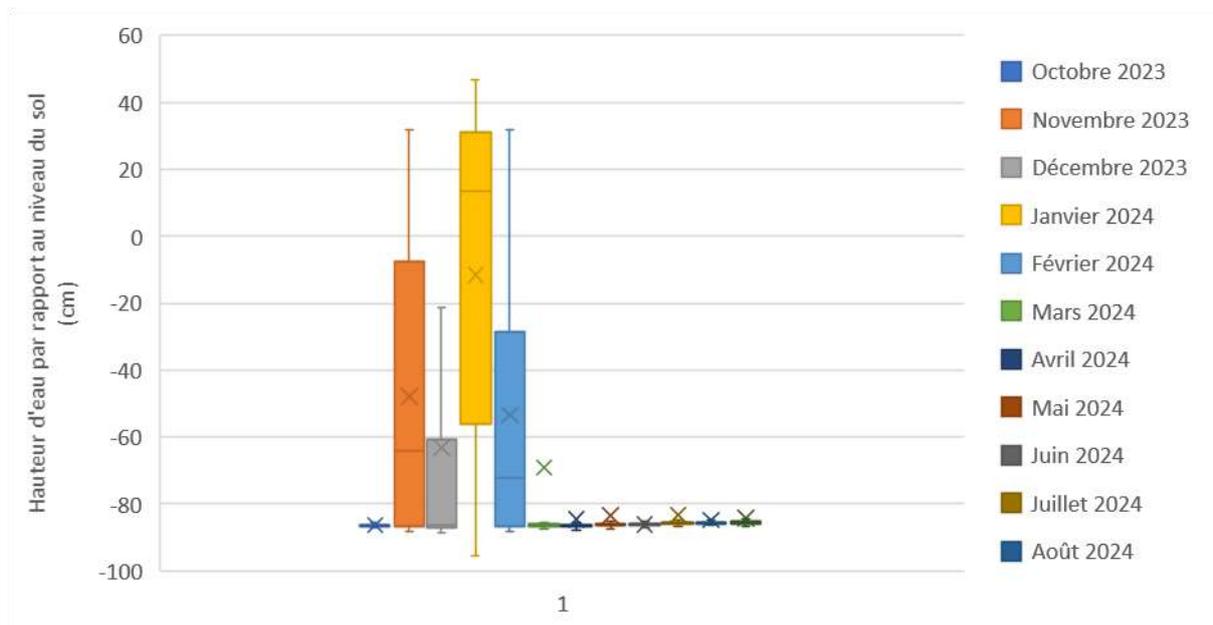


Figure 14 : Niveaux d'eau mensuels de l'ancien étang de la Fresnaye-au-sauvage

Les précipitations mensuelles sont supérieures à 80 mm du mois de septembre au mois de février (Figure 15). Pendant cette période, les précipitations ont été inférieures au mois de décembre. De mars à août, les hauteurs mensuelles de précipitations varient de 60 à 80 mm. Le mois de mai montre cependant un pic de précipitations, dû à plusieurs forts épisodes pluvieux (1^{er}, 16, 20 et 30 mai, hauteurs de précipitations supérieures à 10 mm).

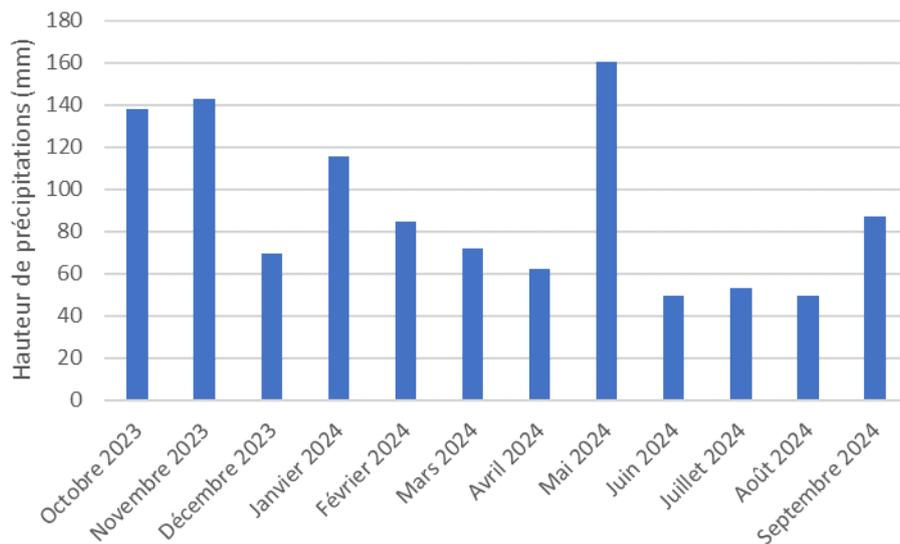


Figure 15 : Hauteurs mensuelles de précipitations enregistrées à la station météorologique de la Fresnaye-au-Sauvage (61) d'octobre 2023 à septembre 2024 (Informations créées à partir de données de Météo-France)

La Figure 16 montre que les périodes d'inondation de l'ancien étang se produisent pendant les mois où les précipitations sont les plus élevées. La diminution des précipitations au mois de décembre se traduit par une hauteur et un battement de nappe inférieurs aux autres mois de l'hiver, comme le montre la Figure 14. Cependant, l'augmentation des précipitations ne provoque pas systématiquement de remontées de nappe. Ainsi, le mois de mai ne montre pas de remontée de nappe exceptionnelle par leur ampleur ou par leur durée.

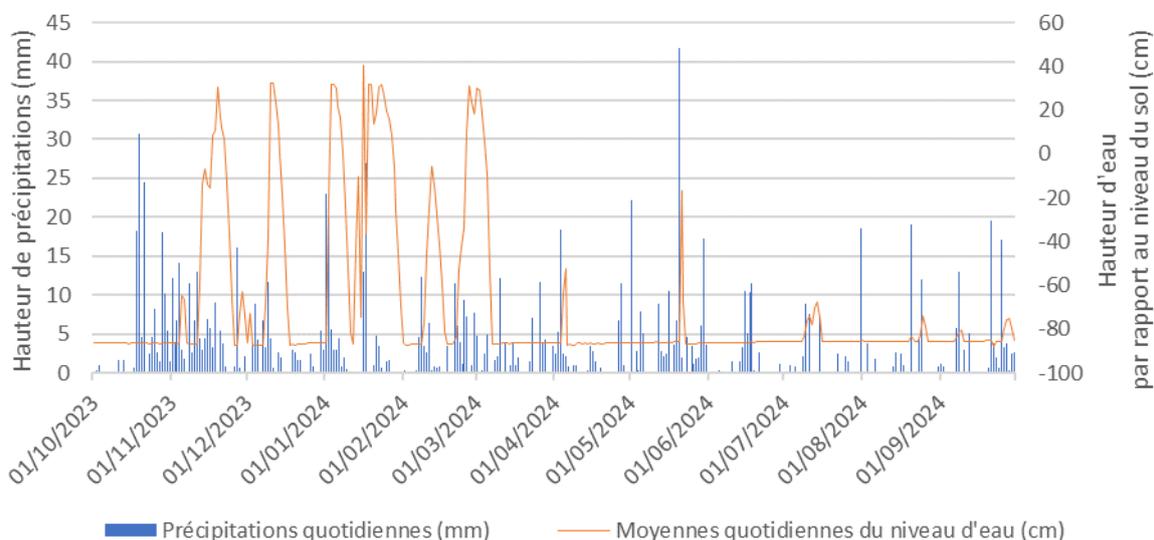


Figure 16 : Diagramme des précipitations quotidiennes et des hauteurs de la nappe de l'ancien étang

Il semble donc difficile de mettre en relation directe les remontées de nappe avec de fortes précipitations. Le décalage entre un épisode pluvieux et une remontée de nappe est variable d'une fois à l'autre. Les variations de hauteur de la nappe sont probablement liées au bassin versant en amont de l'ancien étang.

Le piézomètre a été placé à quelques mètres du cours d'eau sur un replat en bas de pente. Le niveau piézométrique est inférieur à la cote du sol pendant la quasi-totalité de l'année. La profondeur moyenne de la nappe alluviale, proche de la médiane, se situe à 45 cm en-dessous du niveau du sol (Figure 17). Le niveau d'eau varie de -91,7 cm de profondeur à 17 cm au-dessus du niveau du sol. L'amplitude de battement de la nappe est plus couramment de 12 cm (quartiles). La période de submersion a duré 12 heures du 19 au 20 janvier 2024. Cette observation est corroborée par l'examen de la chronique annuelle (Figure 18). Elle est marquée par des événements en dents de scie correspondant probablement à des phénomènes météorologiques. Il se produit des remontées de nappe plus importantes de septembre à mars, jusque vers 20 à 30 cm du sol, avec ponctuellement un débordement du ruisseau.

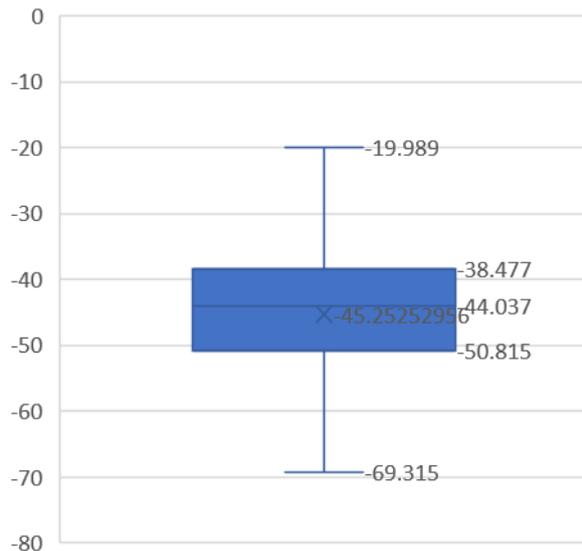


Figure 17 : Boîte à moustache représentant les variations annuelles du niveau de la nappe

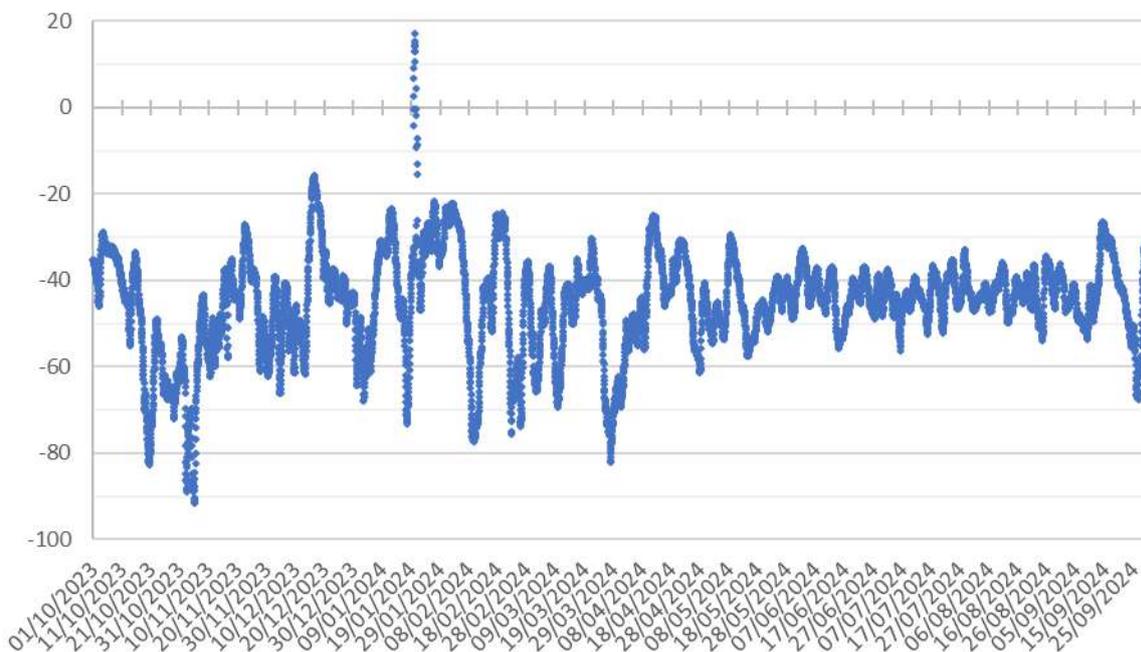


Figure 18 : Niveaux piézométriques du 1^{er} octobre 2023 au 30 septembre 2024. Les niveaux sont exprimés en cm, le 0 représentant le niveau du sol.

Le détail des niveaux d'eau mensuels (Figure 19) montre que l'amplitude de battement de la nappe est plus grande de septembre à mars, alors qu'il diminue du 1^{er} avril au 31 août. La médiane du niveau piézométrique varie peu entre ces deux périodes hydrologiques.

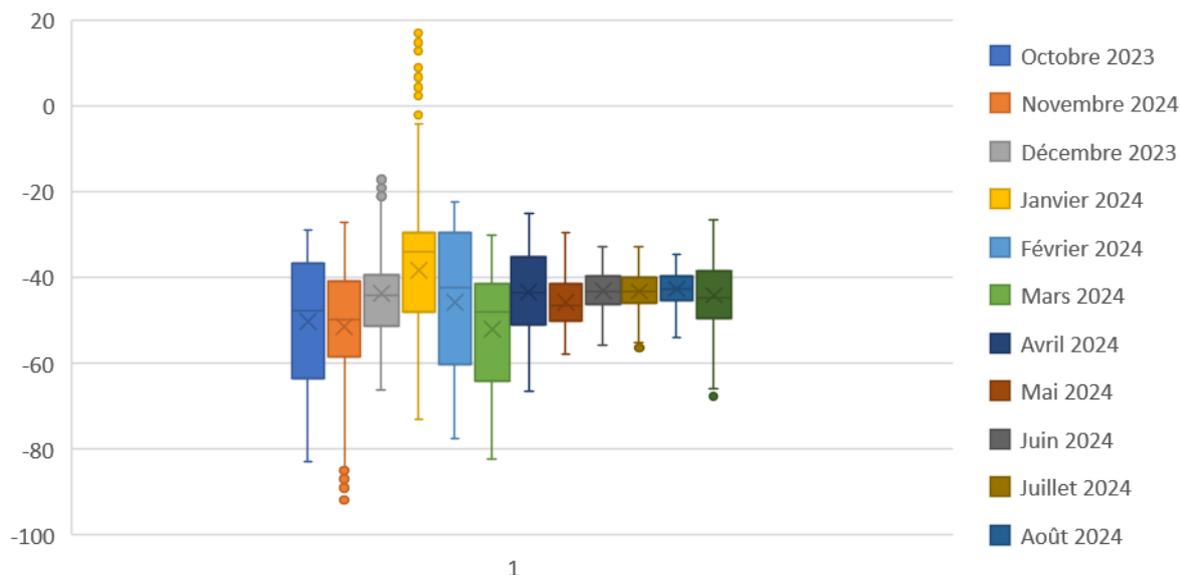


Figure 19 : Niveaux d'eau mensuels du site de la Cauchetière

Pendant la période considérée, la pluviométrie a été maximale au mois de mai 2024 et minimale au mois de juin 2024 (Figure 20).

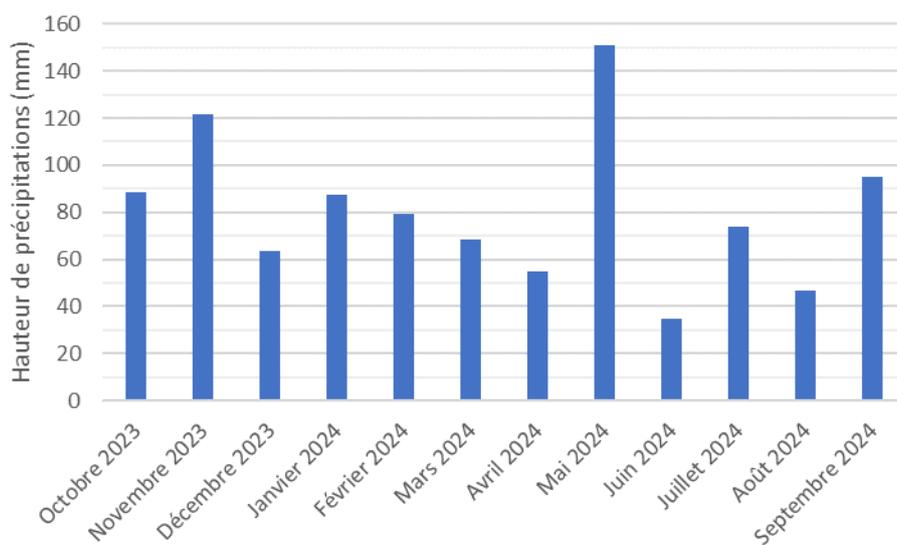


Figure 20 : Hauteurs mensuelles de précipitations enregistrées à la station météorologique de Livarot-Pays-d'Auge (14) d'octobre 2023 à septembre 2024 (Informations créées à partir de données de Météo-France)

Il semble difficile de mettre en relation directe les remontées de nappe avec de fortes précipitations (Figure 21). Les variations de hauteur de la nappe sont probablement liées au bassin versant en amont du site en libre évolution.

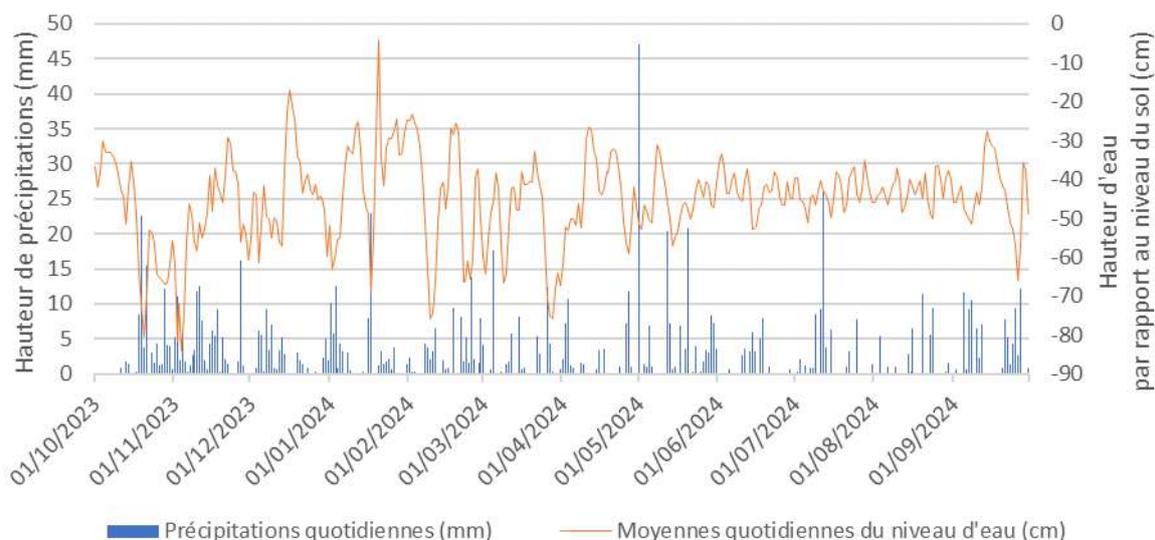


Figure 21 : Diagramme des précipitations quotidiennes et des hauteurs de la nappe

VALLON DU VIVIER

Les sondes piézométriques n'ont pas pu être posées dans le Vallon du Vivier malgré l'installation d'une infrastructure adaptée.

Indicateur C5 Connectivité transversale du cours d'eau

Dans les trois sites, les valeurs de rapport l/p sont inférieures à 3. Le lit des cours d'eau est donc incisé.

À la Fresnaye-au-Sauvage comme à la Cauchetière, la pente des berges est moyenne à forte. La pente des berges n'a pas été mesurée au Vallon du Vivier lors de l'application d'un protocole CARHYCE réalisé par le PNR des Boucles de la Seine normande au printemps 2024.

Tableau 25 : Mesure amont de la connectivité transversale du cours d'eau

Site	Rapport largeur/profondeur	Pente berge rive droite	Pente berge rive gauche
La Cauchetière	1,56	≥ 45°	[11° - 45°[
La Fresnaye-au-Sauvage	2,14	≥ 45°	≥ 45°
Vallon du Vivier	0,26		

Tableau 26 : Mesure aval de la connectivité transversale du cours d'eau

Site	Rapport largeur/profondeur	Pente berge rive droite	Pente berge rive gauche
La Cauchetière	0,68	≥ 45°	[11° - 45°[
La Fresnaye-au-Sauvage	2,41	[11° - 45°[≥ 45°
Vallon du Vivier aval	0,47		
Vallon du Vivier aval bis	0,78		

Facteurs édaphiques

Indicateur C6 Indice Floristique d'Engorgement

Le calcul de l'Indice Floristique d'Engorgement a été donné dans la fiche-critère correspondante donnée plus haut. Les résultats sont exposés dans le tableau suivant :

Site	Indice floristique d'engorgement
Vallon du Vivier	7,03
La Cauchetière	5,65
La Fresnaye-au-Sauvage Saulaie	6,59
La Fresnaye-au-Sauvage Aulnaie	6,02

C'est au Vallon du Vivier que l'Indice Floristique d'Engorgement est le plus fort. Dans le boisement de la Fresnaye-au-Sauvage, l'indice est également supérieur à 5,7 dans les deux strates. Mais il est inférieur à ce seuil dans le boisement de la Cauchetière.

5. Continuités et pressions

Facteurs contextuels

Indicateur D1 Boisement

Le tableau suivant montre la proportion de surface boisée dans les sites-test en libre évolution.

Site	Proportion de surface boisée
Vallon du Vivier	99 %
La Cauchetière	92 %
La Fresnaye-au-Sauvage	95 %

Dans le Vallon du Vivier, la surface non-boisée est constituée d'une cressonnière. À la Cauchetière, il reste une végétation d'ourlet et de roncier. À la Fresnaye, dans la une partie du site en libre évolution composée d'une mosaïque de roselière et de cariçaie n'a pas encore été colonisée par les boisements.

Indicateur D2 Clairières, trouées au sein du boisement

Le tableau suivant montre la proportion de trouées et de clairières dans les boisements.

Site	Proportion de trouées et clairières
Vallon du Vivier	7 %
La Cauchetière	12 %
La Fresnaye-au-Sauvage	3 %

À la Fresnaye-au-Sauvage, quelques clairières parsèment le boisement, principalement dans l'aulnaie. Le boisement de la Cauchetière voit l'effondrement de nombreux frênes atteints de chalarose qui occasionne de nombreuses trouées. Les clairières du vallon du Vivier sont principalement composées d'une roselière.

Facteurs de pression et de connectivité

D3

Pression d'artificialisation

Site	Indicateur de pression de pratiques agricoles
Vallon du Vivier	25 %
La Cauchetière	13 %
La Fresnaye-au-Sauvage	15 %

D4

Pression de pratiques agricoles

Site	Indicateur de pression de pratiques agricoles
Vallon du Vivier	59 %
La Cauchetière	29 %
La Fresnaye-au-Sauvage	49 %

II. Fiches d'analyse

1. Intégrité et spontanéité du boisement

Facteurs biotiques

L'interprétation des résultats se fait dans un premier temps par comparaison des placettes situées dans une même strate d'échantillonnage. Il est aussi possible de comparer les strates entre elles. Dans un deuxième temps, la comparaison des résultats se fait pour chaque placette d'un temps t à un temps $t+1$.

Indicateur B1 Structure verticale de la végétation

Méthode de calcul

Dans un premier temps, le nombre de strates dont le recouvrement est supérieur à 20 % est calculé par placette. Ensuite, l'indicateur est donné par la fréquence d'apparition du nombre de strates dans les placettes.

Clés d'interprétation

L'interprétation des résultats se fait d'abord par comparaison d'une placette à une autre à un même temps t . Si le recouvrement des strates est différent d'une placette à une autre, cela montre une grande hétérogénéité de la structure verticale du boisement.

La structuration verticale de la végétation se met en place pendant l'installation des essences qui composent la strate arborescente. Le nombre de strates et leur densité sont liés à la diversité des classes d'âges des essences présentes (DECOCQ *et al.*, 2021). Les phases d'effondrement, de régénération et d'établissement sont les plus riches en strates. Durant les phases de croissance et d'apogée, la densité de la strate arborescente limite le développement des strates basses.

L'effet de lisière en bordure de boisement sera aussi favorable au développement des strates herbacées. La largeur du boisement humide en bord du cours d'eau a donc un effet sur le développement de la strate herbacée. Pour la même raison, la proximité de l'emplacement des placettes par rapport à la lisière du boisement joue aussi un rôle dans le recouvrement de sa strate herbacée (EMBERGER *et al.*, 2013).

Indicateur B2 Éclairement en sous-bois

Méthode de calcul

Le pourcentage d'ouverture de la canopée est calculé pour chaque placette. Les résultats sont regroupés en cinq classes :

- 0-2 %
- 2-5 %
- 5-10 %
- 10-20 %
- 20-30 %
- 30-50 %

L'indicateur B2 est donné par la distribution de l'abondance de chaque classe.

Clés d'interprétation

La bibliographie sur l'évolution du degré d'ouverture du couvert végétal au cours du cycle sylvigénétique est très succincte. Tout au plus permet-elle de décrire une relation entre la surface terrière et l'ouverture du couvert végétal. Mais les connaissances ne sont applicables que dans les peuplements réguliers (BALANDIER *et al.*, 2010) et de préférence dans les boisements de résineux (BAUDRY *et al.*, 2013).

Dans le cycle sylvigénétique, la phase de croissance voit la canopée se fermer. La quantité de lumière en sous-bois doit donc diminuer durant cette phase. L'éclairement augmente ensuite de manière plus ou moins progressive dans les phases suivantes d'apogée et de désintégration (ROSSI & VALLAURI, 2013).

Indicateur B3 Bois mort

Méthode de calcul

Pour chaque placette, le nombre de bois mort par placette est ramené à une densité à l'hectare pour les deux catégories au sol et sur pied. L'indicateur calcule la moyenne pour chaque strate d'échantillonnage du boisement. La variation du nombre de bois morts au sol et sur pied est évaluée par un test exact de Fisher.

L'indicateur comprend la réalisation d'un histogramme des stades de décomposition des bois morts. Pour chaque stade, le nombre de bois par placette est ramené à une densité à l'hectare. La moyenne est ensuite calculée pour chaque stade à l'échelle du boisement. La proportion de chaque stade de décomposition est alors calculée par rapport à l'ensemble des bois morts.

Clés d'interprétation

La quantité de bois mort doit connaître un accroissement au fur et à mesure du suivi. Au cours du cycle sylvigénétique, le volume de bois mort est minimal pendant la phase de croissance. Il augmente jusqu'à un volume maximal pendant la phase de désintégration et diminue ensuite pendant la phase de régénération (LARRIEU & GOSSELIN, 2015) La diversité des classes de taille augmente aussi avec le vieillissement du boisement. Le même phénomène se produit pour les stades de dégradation du bois

mort. Dans les forêts les plus naturelles, le bois mort varie de 40 m³/ha à plus de 200 m³/ha. Le volume de bois mort varie généralement entre 10 et 30 % du volume de bois total (VALLAURI *et al.*, 2015).

La présence des cinq stades montre que le boisement tend à évoluer selon une dynamique naturelle vers une complexification croissante des communautés (ROSSI & VALLAURI, 2013).

Indicateur B4 Bois vivant

Méthode de calcul

Pour chaque catégorie, le nombre de Bois vivant par placette est ramené à une densité à l'hectare. La moyenne de la densité de chaque catégorie de Bois vivant à l'hectare est calculée pour chaque strate d'échantillonnage.

Un histogramme de distribution de chaque classe de bois est élaboré pour chaque strate.

L'indicateur est donné par le nombre de Gros Bois et de Très Gros Bois à l'hectare.

Indicateur B5 Dendromicrohabitats

Méthode de calcul

L'indicateur est constitué de deux paramètres. Le premier, la richesse de dendromicrohabitats, est donné par le nombre de catégories de dendromicrohabitats présentes par strate d'échantillonnage. Le deuxième est la fréquence d'occurrence de chaque catégorie par placette.

Clés d'interprétation

Le suivi mettra en évidence l'évolution du nombre de catégories de dendromicrohabitats. Ce paramètre caractérise la richesse de dendromicrohabitats

L'augmentation de la richesse et de la diversité des dendromicrohabitats marquent l'impact positif de la libre évolution sur la conservation et le développement de la biodiversité forestière. Ce phénomène témoigne d'une plus grande naturalité.

Les essences pionnières et post-pionnières contractent rapidement des dendromicrohabitats (BÜTLER *et al.*, 2020). Puisque les stades climaciques des boisements humides rivulaires sont constitués de ces dernières essences, il faut s'attendre à une apparition assez rapide de ces structures et à leur évolution d'un stade du suivi à un autre.

Dans une forêt naturelle, la diversité et l'occurrence des arbres porteurs de microhabitats est supérieure à 10/ha (ROSSI & VALLAURI, 2013). Certains dendromicrohabitats vont pouvoir nous donner une information qualitative sur la naturalité du boisement. Plus la densité d'arbres-habitats est forte dans le peuplement forestier, plus la biodiversité associée aux dendromicrohabitats s'en trouve favorisée. Les fructifications de champignons sur les arbres vivants, les fentes et les coulées de sève sont les dendromicrohabitats les plus rares. Par ailleurs, la bibliographie montre que ces structures sont plus présentes le long des berges des cours d'eau (BÜTLER *et al.*, 2020). Le nombre de dendromicrohabitats augmente dans une forêt en réserve biologique intégrale depuis la phase de désintégration jusqu'à celle de son apogée. Leur diversité est également minimale en phase de désintégration. Elle augmente ensuite en phase de régénération pour chuter ensuite en phase de croissance, puis croître jusqu'à la phase d'apogée (LARRIEU & GOSSELIN, 2015).

Indicateur B8 Régénération

Méthode de calcul

L'indicateur est donné par la proportion de sous-placettes de régénération où des semis ont été observés par rapport à l'ensemble des sous-placettes de régénération.

Clés d'interprétation

Le suivi de la régénération est un indicateur de la phase du cycle sylvigénétique dans laquelle se trouve le boisement. Elle est présente en phase de désintégration ainsi qu'en phase de régénération. C'est également un marqueur d'événements exceptionnels car la chute d'arbre crée une ouverture dans la canopée favorable à l'expression des semis. Dans ce cas, il va de pair avec la présence de bois mort.

Si la fréquence des placettes de régénération varie de manière significative, le sens de l'évolution donne des informations sur la phase du cycle sylvigénétique du boisement. Une augmentation témoigne d'une entrée en phase de désintégration, tandis qu'une diminution signifie la fin de la phase de régénération et l'entrée progressive en phase d'établissement.

La localisation des sous-placettes de régénération indique les zones du boisement où s'établissent des phases de désintégration et de régénération. À l'intérieur d'une sous-placette, le nombre de semis diminue au fur et à mesure de l'avancée de la phase de régénération.

Facteurs socioéconomiques

Indicateur B6 Essences allochtones

Méthode de calcul

L'indicateur est calculé par la fréquence d'apparition des essences allochtones dans les placettes.

Clés d'interprétation

Si la différence entre les deux dates de suivi est significative, la dynamique d'évolution des essences allochtones est estimée lors du suivi par la tendance suivie par leur fréquence d'apparition dans les placettes.

Indicateur B7 Espèces exotiques envahissantes

Méthode de calcul

L'indicateur est calculé par la fréquence d'apparition des espèces exotiques envahissantes dans les placettes.

Clés d'interprétation

Si la différence entre les deux dates de suivi est significative, la dynamique d'évolution des espèces exotiques envahissantes est estimée lors du suivi par la tendance suivie par leur fréquence d'apparition dans les placettes.

Facteurs édaphiques

Indicateur B9 Indice Floristique de Fertilité du sol

Méthode de calcul

Pour analyser si la différence de résultats entre deux dates de suivi est significative, le test utilisé est le test non-paramétrique des rangs signés de Wilcoxon. Ce test compare statistiquement les valeurs des placettes et permet alors de mettre en évidence que la fertilité de la placette a varié dans l'intervalle de temps écoulé au cours du suivi. La comparaison des histogrammes des placettes donne le sens de l'évolution de la fertilité du sol (COLLECTIF RHOMEQ, 2014).

Clés d'interprétation

Les valeurs diagnostiques reflètent plus un facteur de productivité globale liée à la disponibilité en nutriments qu'un aspect précis du cycle des deux principaux nutriments. Pour chaque strate d'échantillonnage, l'indice de fertilité de sols des placettes est utilisé pour établir la valeur médiane de l'ensemble des placettes et l'histogramme des valeurs des placettes. Les valeurs des indices à partir desquels on établit la valeur médiane de chaque strate d'échantillonnage.

La valeur diagnostique de fertilité est corrélée positivement avec une disponibilité en nutriments (azote et phosphore). La gamme de variation va de 1 (site très pauvre en nutriments) à 9 (sites très riches).

2. Hydromorphologie

Facteurs contextuels

Indicateur C1 Milieux aquatiques complémentaires au cours d'eau

Méthode de calcul

L'indicateur est calculé par la proportion de milieux aquatiques observés sur l'ensemble des types relevés par le protocole. Le suivi observe si cette proportion a augmenté.

Clés d'interprétation

Le suivi de ce critère permet de mettre en évidence si la libre évolution est une méthode de gestion qui augmente la diversité des milieux humides au sein des boisements rivulaires. Avec le vieillissement du boisement en libre évolution, la quantité de bois mort doit connaître un accroissement. La chute d'arbres sénescents peut créer une microtopographie source de nouveaux habitats aquatiques.

En outre, la présence de bois mort au sol du boisement lors de crues du cours d'eau est une source de turbulences qui peuvent remanier la surface du sol en créant et en modifiant les micro-habitats. La diversification des milieux aquatiques complémentaires au cours est un marqueur de la connectivité du boisement au cours d'eau.

Facteurs hydrologiques

Indicateur C2 Faciès d'écoulement du cours d'eau

Méthode de calcul

L'indicateur est donné par la fréquence d'observation des quatre grands types de faciès d'écoulement et par leur densité calculée par le nombre de faciès pour 100 m de longueur de cours d'eau.

Clés d'interprétation

L'objectif de l'analyse de ce critère est de savoir si la libre évolution favorise la diversification des faciès d'écoulement du cours d'eau, et donc des micro-habitats aquatiques. Son interprétation est à mettre en parallèle avec le critère C3 suivant.

Indicateur C3 Embâcles

Méthode de calcul

Trois paramètres caractérisent l'indicateur :

- La densité des embâcles, calculée par le nombre d'embâcles pour 100 m de linéaire de cours d'eau
- La fréquence des catégories de taille des embâcles
- La fréquence des catégories de degré d'obstruction des embâcles

Clés d'interprétation

Le nombre et la taille d'embâcles sont corrélés à l'augmentation de la maturité du boisement qui voit l'augmentation de la quantité et des dimensions du bois mort. Il faut donc s'attendre à une augmentation de la taille des embâcles et de leur degré d'obstruction du cours d'eau.

L'interprétation de ce critère est à mettre en relation avec le critère C2. L'augmentation du nombre d'embâcle est un des facteurs qui peuvent expliquer une diversification des faciès d'écoulement. La présence d'embâcles et la diversité des faciès d'écoulement sont sources de micro-habitats dans le cours d'eau.

Indicateur C4 Position de la nappe

Méthode de calcul

Les calculs sont effectués sur les valeurs du 1^{er} septembre de l'année n-1 au 31 août de l'année n, période qui correspond à l'année hydrologique. L'ensemble des données horaires enregistrées sont utilisées pour le calcul des valeurs statistiques descriptives de la distribution des niveaux de la nappe : médiane, 1^{er} et 3^{ème} quartile, minimum et maximum. Ces valeurs sont utilisées pour construire une boîte à moustache qui constitue la représentation graphique de l'indicateur. La médiane des profondeurs constitue la valeur indicatrice de l'année (COLLECTIF RHOMEO, 2014). Cette même opération peut être répétée pour les deux saisons hydrologiques : hiver et été.

Il est aussi possible de réaliser des boîtes à moustaches mensuelles qui permettent d'observer la dynamique de la nappe au cours de l'année. La chronique annuelle dresse la physionomie de la dynamique de la nappe au cours de l'année. Celle-ci peut être synthétisée sous forme de boîtes à moustaches mensuelles. Enfin il est souhaitable de comparer la représentation de ces données avec les données pluviométriques de Météo France.

Clés d'interprétation

Le suivi de ce critère permet d'évaluer l'évolution de la profondeur et du battement de la nappe. Avec la croissance des arbres, leurs prélèvements dans la nappe vont probablement augmenter. Le niveau de la nappe risque de s'abaisser d'une date de suivi à la suivante.

L'interprétation de ce critère est à mettre en relation avec le critère C7. Le pourcentage d'humine mesuré par cet indicateur informe sur le fonctionnement hydrologique de la nappe, notamment sur ses variations piézométriques.

Il est également à mettre en relation avec le critère B10. La saturation du sol en eau peut causer la diminution de la quantité d'azote total du sol puisqu'elle favorise les processus de dénitrification (PIEGAY *et al.*, 2003). Par conséquent, l'abaissement du niveau de la nappe peut provoquer une augmentation de l'azote total du sol.

Indicateur C5 Connectivité transversale du cours d'eau

Méthode de calcul

L'indicateur est calculé par le rapport largeur/ profondeur. Il s'interprète avec les trois classes de valeur de pente des berges (faible, moyenne et forte).

Clés d'interprétation

D'un point de vue hydromorphologique, le rapport largeur/profondeur est un indicateur de l'activité géodynamique d'un cours d'eau. Ainsi, les cours d'eau à dynamique plutôt active, caractérisés par des processus érosifs latéraux importants et des apports solides assez élevés, ont des rapports l/p plutôt forts (20 ou plus). Les rivières en tresses ont souvent des rapports l/p proches de 100 ou supérieurs. Un rapport l/p < 3 associé à une pente des berges très fortes est le marqueur d'une incision du lit.

Le rapport l/p donne aussi des indications sur la cohésion des berges. Plus celles-ci sont cohésives, plus les cours d'eau sont étroits et profonds. La végétation rivulaire et la cohésion des berges jouent dans le même sens en favorisant l'érosion verticale aux dépens de l'érosion latérale ou l'inverse (MALAVOI & BRAVARD, 2010). L'incision du chenal entraîne une diminution de la connexion hydraulique à la nappe et de la fréquence d'inondation du boisement. Elle peut alors influencer l'évolution de la végétation, en modifiant les conditions d'alimentation en eau et en favorisant des espèces plus mésophiles. (DUFOUR & PIEGAY, 2006).

Plus la pente de la berge est faible plus elle sera franchissable facilement par les animaux terrestres (FNE AuRA, 2019).

Facteurs édaphiques

Indicateur C6 Indice Floristique d'Engorgement

Méthode de calcul

L'indice de niveau d'engorgement est traduit par les valeurs calculées pour chaque placette. Pour une application ponctuelle, l'indicateur consiste à calculer la valeur moyenne des placettes à l'échelle du site.

Pour le suivi dans le temps, il faudra s'assurer que les calculs sont effectués sur les mêmes couples de placettes. Pour analyser si la différence de résultats entre deux dates de suivi est significative, le test utilisé est le test non-paramétrique des rangs signés de Wilcoxon. Ce test compare statistiquement les valeurs des placettes et permet alors de mettre en évidence que la fertilité de la placette a varié dans l'intervalle de temps écoulé au cours du suivi. La comparaison des histogrammes des placettes donne le sens de l'évolution de la fertilité du sol (COLLECTIF RHOMEO, 2014).

Clés d'interprétation

Selon PERRIN *et al.*, 2023 il existe une valeur-seuil pour déterminer le caractère humide d'une zone. Cette valeur d'Ellenberg s'élève à 5,7, avec une incertitude comprise entre 5,5 et 5,9.

L'interprétation de cet indicateur complète les analyses de sol effectuées dans la partie Facteurs de formation végétale. Il doit également être interprété en fonction des mesures piézométriques de battement de la nappe.

3. Continuités et pressions

Facteurs contextuels

Critère D1 Boisement

Méthode de calcul

Le suivi de cet indicateur peut présenter trois cas :

- La surface de boisement est stable,

- La surface du boisement a augmenté,
- La surface du boisement a diminué.

Dans les cas d'augmentation ou de diminution de surface, le pourcentage de cette variation sera calculé.

Clés d'interprétation

L'augmentation de la surface boisée peut être limitée par l'existence de facteurs limitant locaux : édaphique, climatique... La diminution de la surface du boisement peut être liée à son cycle sylvigénétique : des perturbations accidentelles provoquent des effondrements d'arbres. Il apparaît alors des clairières et des trouées au sein du boisement. Ce dernier indicateur est estimé par le critère D2. Les Indicateur D1 et D2 sont à mettre en relation avec les Indicateur B3, B4 et B8.

Critère D2 Clairières, trouées au sein du boisement

Méthode de calcul

Le suivi de cet indicateur met en évidence si des trouées se sont produites dans le boisement ou si des clairières sont apparues ou ont régressé. Il s'interprète selon trois cas :

- La surface des clairières est stable
- La surface des trouées a augmenté
- La surface des trouées a diminué

Dans les cas d'augmentation ou de diminution de surface, le pourcentage de cette variation sera calculé.

Clés d'interprétation

L'augmentation de la surface des trouées peut être due à deux raisons. En phase de désintégration se produisent des effondrements d'arbres sénescents. En outre, le boisement peut suivre une dynamique régressive à cause d'événements perturbateurs (DECOCQ *et al.*, 2021). Quand la surface des clairières est stable, le boisement est sans doute dans une phase d'établissement, de croissance ou d'apogée. Cette surface peut diminuer dans les phases de régénération et d'établissement. Pour suivre le cycle sylvigénétique du boisement, les critères D1 et D2 sont à mettre en relation avec les critères B3, B4 et B8.

Facteurs de connectivité

Critère D3 Pression d'artificialisation

Clés d'interprétation

L'analyse de cet indicateur utilise les variations du pourcentage de surface sous pression d'artificialisation dans la zone tampon. Toute évolution de la valeur de la pression d'artificialisation est une traduction directe de :

- La construction ou destruction d'un bâtiment, d'une route ou d'une voie ferrée,
- La modification de surface d'un bâtiment,
- L'évolution du type d'une route (ex : passage d'une à deux voies par exemple).

L'augmentation de la pression d'artificialisation traduit donc une diminution de la connexion du boisement humide rivulaire avec les corridors écologiques et les autres habitats naturels. À l'inverse, cette connectivité est renforcée par la diminution de la pression d'artificialisation (COLLECTIF RHOMEO, 2014).

Clés d'interprétation

Une augmentation de la valeur de surface de pratiques agricole impactantes est la traduction d'une augmentation de la pression sur le fonctionnement du boisement humide rivulaire. D'une date de suivi à une autre, les valeurs de l'indicateur peuvent augmenter ou diminuer en fonction d'une évolution des pratiques agricoles sur les parcelles. Une augmentation de la valeur de l'indicateur traduit donc un impact négatif sur le fonctionnement hydrologique et biologique du boisement (COLLECTIF RHOMEO, 2014).

III. Fiche récapitulative

1. Site de la Fresnaye-au-Sauvage

Le site de la Fresnaye-au-Sauvage a fait l'objet d'un échantillonnage stratifié. L'indicateur de régénération B8 est le plus fort dans l'aulnaie que dans la saulaie. Cela est corroboré par l'indicateur D2 (Clairières et trouées au sein du boisement). Les clairières et les trouées sont nombreuses et de grande taille dans cette strate du boisement. Elle bénéficie donc d'un plus fort éclaircissement qui favorise le développement de semis. En outre, celle-ci est aussi la plus anciennement boisée (indicateur A2). La plus grande maturité de ce boisement est aussi montrée par l'indicateur Bois mort B3, également plus fort dans l'aulnaie. D'autre part, il ne faut pas oublier que l'aulnaie représente un stade post pionnier par rapport à la saulaie qui est un stade pionnier de colonisation forestière. Outre leur différence de maturité, les deux strates d'échantillonnage ne sont donc pas au même stade dynamique de la succession écologique.

Le cours d'eau de la Fresnaye-au-Sauvage est moins incisé que les cours d'eau des deux autres sites-test. Il est donc plus connecté au boisement, malgré de fortes pentes de berge. Cela se traduit par l'indicateur C1 qui montre une grande diversité de milieux aquatiques complémentaires au cours d'eau.

La pression d'artificialisation dans le bassin versant du site est faible alors que la pression agricole y est beaucoup plus forte.

2. Site de la Cauchetière

Le site de la Cauchetière est caractérisé par la forte densité de bois moyens et de gros bois ainsi que de bois mort au sol par rapport aux deux autres sites. Les bois morts sont présents dans les premiers stades de décomposition. Les frênes sont fragilisés par la chalarose. Les chutes d'arbres provoquent l'apparition de clairières où se développent d'importants ronciers. Le site comporte exclusivement des essences autochtones. L'indicateur C8 montre l'absence de régénération dans ce boisement.

Pour l'indicateur C6, la valeur moyenne de l'indicateur à l'échelle du site est dans la zone d'incertitude de la valeur-seuil de définition d'une zone humide. Les résultats des placettes individuelles que deux d'entre eux sont dans cette zone, l'un nettement en dessous et l'autre nettement au-dessus. La pente du boisement est très forte et les résultats des placettes semblent corrélés avec leur altitude.

Le prélèvement de sol et le suivi piézométrique ont été effectués aux plus basses altitudes du boisement. Ils mettent en évidence une hydromorphie du sol dès les 38 cm. Les résultats auraient été différents si le prélèvement et le suivi avaient été réalisés à plus haute altitude dans le boisement.

Comparativement aux deux autres sites-test, la Cauchetière est soumise à de faibles pressions d'artificialisation et de pratiques agricoles.

3. Site du Vallon du Vivier

Le site du vallon du Vivier est caractérisé par une diversité d'habitats allant de milieux très ouverts à des boisements post pionniers en passant par des saulaies arbustives. La densité de bois à l'hectare est donc remarquablement faible. Les dendromicrohabitats qui caractérisent le boisement sont les agglomérations de gourmands et de rameaux et les Loupes et chancres. Les aulnes, qui constituent l'essence principale dans le site, montrent très fréquemment ce type de DMH. Les lianes sont très peu présentes.

L'indice de fertilité du sol montre la caractère oligotrophile de ce boisement. Ce résultat est bien en rapport avec l'habitat du site et l'indicateur A5 qui met en évidence un sol tourbeux. Les caractéristiques pédologiques du site expliquent aussi le fort indice floristique d'engorgement.

Le ruisseau du Vivier est en surlargeur avérée. Malgré cela, les pentes de berges sont abruptes, marquant une forme d'incision du lit du cours d'eau.

Le vallon du Vivier est lui soumis à de fortes pressions à l'échelle de son bassin versant, tant sur le plan agricole que de l'artificialisation des sols.

Conclusion

Ce protocole de suivi des boisements humides rivulaires en libre évolution est le premier suivi scientifique mis en œuvre au sein du PRELE. Grâce à la mise en application de ses critères sur le terrain, il nous apporte une meilleure connaissance des techniques d'étude des boisements au Conservatoire d'Espaces Naturels de Normandie. De plus, la connaissance des boisements humides rivulaires en libre évolution s'en trouve améliorée. Les conditions stationnelles de ce type de boisement et les essences qui les constituent sont bien différentes de celles des vieilles forêts ou de forêts exploités pour la production de bois. La mise en place de ce protocole a donc répondu à des questions posées au démarrage de sa conception, notamment en ce qui concerne la transposition des indicateurs utilisés dans d'autres protocoles forestiers. Enfin, le test du protocole sur trois sites dans différents contextes a fait l'objet d'une amélioration continue sur le terrain.

Le protocole présente quelques faiblesses dans les critères de suivi du cours d'eau. Ils semblent à première vue peu utiles pour expliquer les dynamiques écologiques en cours dans les boisements humides rivulaires en libre évolution. Les milieux aquatiques complémentaires au cours d'eau ont une valeur descriptive, tout comme le recensement des faciès hydromorphologiques. La description des embâcles est trop détaillée pour les analyses que nous pouvons en faire. Il manque également des indicateurs de connectivité écologiques pour suivre l'intégration des boisements humides rivulaires en libre évolution dans la trame verte et bleue.

Avoir la possibilité de donner des notes à chaque indicateur est une piste d'amélioration du protocole. À l'issue de chaque campagne d'application du suivi, une note globale pourra être attribuée au site étudié. La répétition du suivi tous les dix ans mettra alors en évidence une évolution de la note. Cette dernière peut être définie de manière globale ou par thématique qui regroupe plusieurs indicateurs. Cela pourra prendre place dans l'amélioration continue du protocole au fur et à mesure qu'il sera appliqué dans les prochaines années dans de nouveaux sites.

L'avenir de ce protocole est d'abord sa mise en œuvre dans d'autres sites. Il faudra ensuite répéter ce suivi 10 ans après dans ces mêmes sites, en 2033 en ce qui concerne les trois sites test décrits ici. Des analyses statistiques pourront alors mettre en évidence les trajectoires écologiques qui suivront les trois sites étudiés.

Bibliographie

BALANDIER P., MARQUIER A., PERRET S., COLLET C. C. & COURBAUD B., 2010. – Comment estimer la lumière dans le sous-bois forestier à partir des caractéristiques dendrométriques des peuplements? *Rendez-vous techniques ONF*, (27-28) : 52-58.

BAUDRY O., CHARMETANT C., COLLET C. & PONETTE Q., 2013. – MESURER L'OUVERTURE DU COUVERT ET ESTIMER LA DISPONIBILITÉ EN LUMIÈRE EN FORÊT FEUILLUE AU MOYEN DU DENSIMÈTRE CONVEXE. *Forêt wallonne*, (126) : 17-28.

BÜTLER R., LACHAT T., KRUMM F., KRAUS D. & LARRIEU L., 2020. – Connaître, conserver et promouvoir les arbres-habitats. *Not. prat.*, (64) : 12.

COLLECTIF RHOME0., 2014. – *La boîte à outils de suivi des zones humides : RhoMeo.*, 148 p.

DAJOUX M., GILLES C. & RUFFION J., 2020. – *Guide de préservation des ripisylves*. FNE AuRA, 64 p.

DARDILLAC A., BUCHET J., CATTEAU E. & DUHAMEL F., 2019. – *Guide des végétations des zones humides de Normandie orientale*. Conservatoire Botanique National de Bailleul, Bailleul, 624 p.

DECOCQ G., DUPOUEY J.-L. & BERGES L., 2021. – Dynamiques forestières à l'ère anthropocène : mise au point sémantique et proposition de définitions écologiques. *Revue forestière française*, **73** (1) : 21-52 doi : 10.20870/revforfr.2021.4993.

DOUVILLE C. & WAYMEL J., 2019. – Observatoire des plantes vasculaires exotiques envahissantes de Normandie. *DREAL Normandie / Région Normandie. Conservatoire botanique national de Bailleul / Conservatoire botanique national de Brest*, : 20p + annexes.

DUFOUR S. & PIEGAY H., 2006. – Forêts riveraines des cours d'eau et ripisylves : spécificités, fonctions et gestion. *Revue Forestière Française*, (4) : 339-350 doi : 10.4267/2042/6704.

DUFOUR S. & PONT B., 2006. – Protocole de suivi des forêts alluviales : l'expérience du réseau des Réserves naturelles de France. *Revue Forestière Française*, (1) doi : 10.4267/2042/5721.

ELLENBERG H., WEBER H. E., DÜLL R., WIRTH V., WERNER W. & PAULISSEN D., 1992. – Zeigerwerte von Pflanzen Mitteleuropas. Ed 3. *Scripta Geobotanica*, **18** : 1-258.

EMBERGER C., LARRIEU L. & GONIN P., 2013. – *Dix facteurs clés pour la diversité des espèces en forêt. Comprendre l'Indice de Biodiversité Potentielle (IBP). Document technique*. Paris : Institut pour le développement forestier, 56 p.

FNE AURA., 2019. – *Préserver et restaurer les ripisylves : un enjeu de biodiversité*. FNE Auvergne-Rhône-Alpes, 43 p.

GONIN P., LARRIEU L., BAIGES T., MIOZZO M. & COREZZOLA S., 2022. – *Définition de l'Indice de Biodiversité Potentielle pour les forêts françaises (IBP Fr v3.0)*. CNPF, INRAE Dynafor, 11 p.

HILL M. O., MOUNTFORD J. O., ROY D. B. & BUNCE R. G. H., 1999. – *Ellenberg's indicator values for british plants. ECOFACT Volume 2 Technical Annex*. Huntingdon : Institute of terrestrial ecology. DETR environment transport regions. Centre for ecology and hydrology. Natural environment research council, 46 p.

IGN – INSTITUT NATIONAL DE L'INFORMATION GEOGRAPHIQUE ET FORESTIERE., Définitions. <https://inventaire-forestier.ign.fr/spip.php?rubrique166> Consulté le 29/11/2022.

JULVE P., 1998. – Index botanique, écologique et chorologique de la Flore de France. Version 2022. *Programme Catminat*, <http://philippe.julve.pagesperso-orange.fr/catminat.htm>.

KRAUS D., BÜTLER R., LACHAT T., LARRIEU L., MERGNER U., PAILLET Y., RYDKVIST T., SCHUCK A. & WINTER S., 2016. – *Katalog der Baummikrohabitate - Referenzliste für Feldaufnahmen.* .

LANDOLT E., BÄUMLER B., ERHARDT A., HEGG O., KLÖTZLI F., LÄMMLER W., NOBIS M., RUDMANN-MAURER K., SCHWEINGRUBER F., THEURILLAT J.-P., URMI E., VUST M. & WOHLGEMUTH T., 2010. – *Flora indicativa. Ökologische Zeigerwerte und biologische Kennzeichen zur Flora der Schweiz und der Alpen. Ecological indicators values and biological attributes of the flora of Switzerland and the Alps.* 2^e éd., Bern : Haupt, 376 p.

LARRIEU L. & GONIN P., 2016. – *Présentation de l'indice de biodiversité potentielle (IBP).* CNPF-IDF, INRA Dynafor, 4 p.

LARRIEU L. & GOSSELIN M., 2015. – *Des peuplements en libre évolution permanente pour la conservation de la bio-complexité des forêts.* .

LARRIEU L., PAILLET Y., WINTER S., BÜTLER R., KRAUS D., KRUMM F., LACHAT T., MICHEL A. K., REGNER Y. B. & VANDEKERKHOVE K., 2018. – *Tree related microhabitats in temperate and Mediterranean European forests: A hierarchical typology for inventory standardization. Ecological Indicators, 84* : 194-207 doi : <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.08.051>.

LAVILLE L. & JUHEL C., 2017. – *Identification des végétations de zones humides par bassin versant, l'Orne et la Dives.* Agence de l'eau Seine Normandie / Région Normandie., Villers-Bocage, 34 p.

LE LAY Y.-F. & PIEGAY H., 2007. – *Le bois mort dans les paysages fluviaux français : éléments pour une gestion renouvelée. L'Espace géographique, Tome 36* (1) : 51-64 doi : 10.3917/eg.361.0051.

MACIEJEWSKI L., 2016. – *État de conservation des habitats forestiers d'intérêt communautaire : évaluation à l'échelle du site Natura 2000 (version 2).* Paris, France : Muséum national d'histoire naturelle, Service du Patrimoine naturel, 49 p.

MALAVOI J.-R. & BRAVARD J.-P., 2010. – *Éléments d'hydromorphologie fluviale.* Onema, 224 p.

PERRIN G., RAPINEL S., CHOISNET G., CLEMENT B., BOUZILLE J.-B. & HUBERT-MOY L., 2023. – *La démarche Ellenberg : une alternative simple et robuste à la démarche réglementaire pour la délimitation des zones humides en France métropolitaine. Sciences Eaux & Territoires, (43)* : 37-42 doi : 10.20870/Revue-SET.2023.43.7506.

PIEGAY H., PAUTOU G. & RUFFINONI C., 2003. – *Les forêts riveraines des cours d'eau : écologie, fonctions et gestion.* CNPF-IDF, 464 p.

RESERVES NATURELLES DE FRANCE., 2012. – *Notice pour la mise en place et la saisie des données du protocole de suivi dendrométrique des réserves forestières.* .

ROSSI M. & VALLAURI D., 2013. – *Évaluer la naturalité. Guide pratique version 1.2.* Marseille : WWF, 154 p.

TOMASINI J., 2002. – Introduction aux différentes techniques d’inventaires forestiers. *Prosilva France*, : 4p.

VALLAURI D., ROSSI M. & CATEAU E., 2015. – La nature en forêt : qualités clés à conserver. *Revue Forestière Française*, (2) : Fr.], ISSN 0035 doi : 10.4267/2042/57904.

WASSON J.-G., CHANDESRIIS A., PELLA H., SAUQUET E. & MENGIN N., 2003. – *Typologie des cours d’eau*. Irstea, 48p. p.

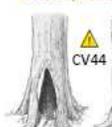
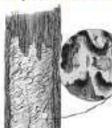
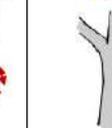
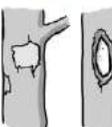
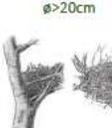
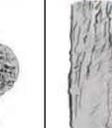
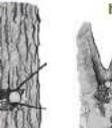
Annexes

Annexe 1 : Fiche d'identification des dendromicrohabitats

Annexe 2 : Fiches de terrain

Annexe 3 : Résultats bruts obtenus sur les sites-test

Annexe 1 : Fiche d'identification des dendromicrohabitats

CV1 - LOGES DE PICS				CV2 - CAVITÉS À TERREAU						
<p>Petite taille ø < 4cm</p>  <p>CV11 1011 64 - CLASSE A</p>	<p>Taille moyenne ø = 4-7cm</p>  <p>CV12 1012 36 - CLASSE A</p>	<p>Grande taille ø > 10cm</p>  <p>CV13 1013 63 - CLASSE A</p>	<p>"Flûte" de pic ø > 3cm, > 3 loges</p>  <p>CV14 1014 64 - CLASSE A</p>	<p>De pied ø > 10cm, contact sol</p>  <p>CV21 1021 150 - CLASSE A+</p>	<p>De tronc ø > 10cm, sans contact</p>  <p>CV22 1022 120 - CLASSE A+</p>	<p>Semi-ouverte ø > 30cm</p>  <p>CV23 1023 32 - CLASSE B</p>	<p>Cheminée contact sol ø > 30cm</p>  <p>CV24 1024 80 - CLASSE A+</p>	<p>Idem sans contact sol ø > 30cm</p>  <p>CV25 1025 70 - CLASSE A</p>		
CV3 - INSECTES		CV4 - CONCAVITÉS à fond dur (I= profondeur □= surface)			DE1 - BOIS-MORT dans le HOUPPIER (I= longueur)					
<p>Trous ø > 2cm ou nbrx petits trous □ > A5</p>  <p>CV31 1031 12 - CLASSE C</p>	<p>Dendrotelme ø > 15cm, sec ou en eau</p>  <p>EP32</p> <p>CV41 1041 48 - CLASSE A+</p>	<p>Trous nourrissage pics I > 10cm ø > 10cm</p>  <p>CV42 1042 16 - CLASSE C</p>	<p>De tronc à fond dur I > 10cm ø > 10cm</p>  <p>CV43 1043 12 - CLASSE C</p>	<p>Racinaire à fond dur I > 10cm ø > 10cm, toit < 45°</p>  <p>CV21</p> <p>CV44 1044 12 - CLASSE C</p>	<p>Branches mortes ø > 10cm ou ø > 3cm et > 10% de la couronne</p>  <p>consigne</p> <p>DE11 1071 12 - CLASSE C</p>	<p>Cime morte ø > 10cm à la base</p>  <p>DE12 1072 45 - CLASSE A</p>	<p>Vestige charpentière ø extr. > 20cm + I > 50cm</p>  <p>DE13 1073 25 - CLASSE B</p>	<p>Branche creuse ø > 10cm</p>  <p>CV26 1026 24 - CLASSE B</p>		
IN1 - AUBIER APPARENT (I= profondeur □= surface ↔=largeur I= longueur)				IN2 - AUBIER ET BOIS DE CŒUR APPARENTS (I= profondeur □= surface ↔=largeur I= longueur)						
<p>Bois sans écorce □ > A5</p>  <p>IN11 1051 4 - CLASSE D</p>	<p>Blessure due au feu □ > A4</p>  <p>IN12 1052 35 - CLASSE B+</p>	<p>Abrî : écorce décollée déc > 1cm ↔ > 10cm I > 10cm</p>  <p>IN13 1053 23 - CLASSE B</p>	<p>Poche : écorce décollée déc > 1cm ↔ > 10cm I > 10cm</p>  <p>IN14 1054 30 - CLASSE B</p>	<p>Cime brisée Tige ø > 20cm à la base</p>  <p>IN21 1061 10 - CLASSE D</p>	<p>Bris de charpentière bois de cœur □ > A5</p>  <p>IN22 1062 5 - CLASSE C</p>	<p>Fente ↔ > 1cm I > 10cm I > 30cm</p>  <p>IN23 1063 18 - CLASSE C</p>	<p>Fente par la foudre ↔ > 1cm I > 10cm I > 30cm</p>  <p>IN24 1064 40 - CLASSE A</p>	<p>Fente dans une fourche I > 30cm</p>  <p>IN25 1065 18 - CLASSE C</p>		
GR - EXCROISSANCES (I= épaisseur)				FU - SPOROPOHORES DE CHAMPIGNONS et myxomycètes (□= surface)						
<p>Balaï de sorcière ø > 50cm</p>  <p>GR11 1081 6 - CLASSE D</p>	<p>Gourmands/Brogne > 5 rameaux</p>  <p>consigne</p> <p>GR12 1082 9 - CLASSE D</p>	<p>Loupe ø > 20cm I > 10cm</p>  <p>GR21 1091 6 - CLASSE D</p>	<p>Chancres ø > 20cm ou ø⁴ partie tronc</p>  <p>GR22 1092 8 - CLASSE D</p>	<p>Poly-pore à tubes ligneux ø > 5cm ou N > 10</p>  <p>FU11 1101 42 - CLASSE B</p>	<p>Poly-pore à t. non ligneux ø > 5cm ou N > 10</p>  <p>FU21 1111 30 - CLASSE B</p>	<p>Agaricales pulpeuses, à lamelles ø > 5cm ou N > 10</p>  <p>FU22 1112 27 - CLASSE B</p>	<p>Pyrénomycètes ø > 5cm ou □ > 100 cm²</p>  <p>FU23 1113 32 - CLASSE B+</p>	<p>Myxomycètes visqueux ø > 5cm</p>  <p>FU24 1114 14 - CLASSE C</p>		
EP1 - PLANTES ET LICHENS épiphytiques ou parasites (□= surface I= épaisseur)					EP2 - NIDS		EP3 - MICROSOOLS		EX1 - EXSUDATS (I= longueur)	
<p>Bryophytes □ > 75% du tronc</p>  <p>seuil</p> <p>EP11 1121 10 - CLASSE D</p>	<p>Lichens foliacés/fr² □ > 10% tronc</p>  <p>EP12 1122 36 - CLASSE B</p>	<p>Lierre ou lianes □ > 10% tronc</p>  <p>EP13 1123 12 - CLASSE C</p>	<p>Fougères > 5 frondes</p>  <p>EP14 1124 11 - CLASSE D</p>	<p>Gui ø > 20cm</p>  <p>EP15 1125 20 - CLASSE C</p>	<p>Nid de vertébrés ø > 20cm</p>  <p>EP21 1131 6 - CLASSE D</p>	<p>Nid d'invertébrés</p>  <p>EP22 1132 63 - CLASSE A+</p>	<p>Microsol d'écorce</p>  <p>EP31 1141 12 - CLASSE C</p>	<p>Microsol de houppier</p>  <p>CV41</p> <p>EP32 1142 36 - CLASSE B+</p>	<p>Coulée active sève I > 10 cm</p>  <p>EX11 1151 30 - CLASSE B</p>	<p>Coulée ab² résine I > 10 cm</p>  <p>EX12 1152 2 - CLASSE D</p>

MICRODENDROHABITATS FORESTIERS - LISTE DE REFERENCE DES TYPES
recherches WSL 99 p. LYCÉE AGRICOLE PUBLIC DE SÈES - R. JÉGAT - 2024

Source : Bötter, R., Lachat, T.; Krumm, F., Kraus, D., Larissi, L., 2020 : Guide de poche des dendromicrohabitats. Description et seuils de grandeur pour leur inventaire. Birmensdorf, Institut fédéral de la dernière ligne pour chaque type renvoie au score et à la classe d'originalité (A est la classe la plus élevée) - Score calculé selon le nombre de taxons, la rareté en Europe et la vitesse de remplacement.

Annexe 2 : Fiches de terrain



PROTOCOLE DE SUIVI DES BOISEMENTS HUMIDES RIVULAIRES EN LIBRE ÉVOLUTION

Fiche de terrain

État des lieux

Généralités

Nom du site :

Commune :

Date :

Observateur :

Pédologie	Classe d'hydromorphie	Profondeur d'apparition
Coordonnées GPS du prélèvement		
	Latitude (Y)	Longitude (X)

Obstacles artificiels à l'écoulement	Type	Coordonnées GPS	
		Latitude (Y)	Longitude (X)
1			
2			
3			
4			
5			

Type d'obstacles : 1=Pont ; 2=Buse ; 3=Seuil ; 4=Barrage ; 5=Epis

Présence de souches	Coordonnées GPS	
	Latitude (Y)	Longitude (X)
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		

Présence de digues	Rive	Type	Position	Coordonnées GPS	
				Latitude (Y)	Longitude (X)
1			Amont		
			Aval		
2			Amont		
			Aval		
3			Amont		
			Aval		
4			Amont		
			Aval		

Type de digues : 1=Palplanches ; 2=Levée en terre ; 3=Enrochement ; 4=Maçonnerie



PROTOCOLE DE SUIVI DES BOISEMENTS HUMIDES RIVULAIRES EN LIBRE ÉVOLUTION

Fiche de terrain

Suivi du cours d'eau

Généralités

Nom du site :

Commune :

Date :

Observateur :

Milieux aquatiques complémentaires au cours d'eau	
sur une largeur de 10 m de rives	Nombre
Source ou suintement	
Ruisseau, fossé humide	
Chenaux multiples	
Étang, lagune ou plan d'eau peu profond	
Mare	
Tourbière	
Zone marécageuse	

Connectivité latérale du cours d'eau	Amont			Aval				
	Mesure (en cm)	Coordonnées GPS		Mesure (en cm)	Coordonnées GPS			
Hauteur plein bord (p)		Y			Y			
Largeur plein bord (l)		X			X			
		Amont			Aval			
		Rive	≥ 45°	[11° - 45°[< 11°	≥ 45°	[11° - 45°[< 11°
Inclinaison moyenne de la pente de la berge	Droite							
	Gauche							

Faciès d'écoulement du cours d'eau				
	Type Mouille	Plat lentique	Plat courant	Type Radier/Rapide
Nombre				

Embâcles				
Tailles d'embâcles	Branchages		Tronc de faible diamètre (< 37,5 cm)	Tronc de grand diamètre (≥ 37,5 cm)
Nombre d'embâcles				
Obstruction du lit mineur	< 1/2 largeur	≥ 1/2 largeur	Totale	
Nombre d'embâcles				



PROTOCOLE DE SUIVI DES BOISEMENTS HUMIDES RIVULAIRES EN LIBRE ÉVOLUTION

Fiche de terrain

Suivi des placettes

Heure de début	<input type="text"/>
Heure de fin	<input type="text"/>

Généralités

Photos : N E S W

Nom du site : Commune : Date : Observateur :

Identifiant Placette : Coordonnées GPS : Latitude (Y) Longitude (X) Pente (% ou °) :

Structure verticale de la végétation	Strate herbacée basse	Strate herbacée haute	Strate arbustive	Strate arborescente	Inventaire floristique →	Nom d'espèce	Caractère allochtone	Caractère EEE
	Hauteur de strate	< 0,75 m	0,75 m à 1,5 m	< 7 m		> 7 m		
Pourcentage de recouvrement par classes de 10 %								
Présence de lianes								
Éclairage en sous-bois								
	Visée Nord	Visée Est	Visée Sud	Visée Ouest				
Nombre de points								
Bois mort								
	Stade de décomposition							
	1	2	3	4	5			
au 17,5 cm ≤ Ø < 30 cm								
sol Ø ≥ 30 cm								
sur 17,5 cm ≤ Ø < 30 cm								
pied Ø ≥ 30 cm								

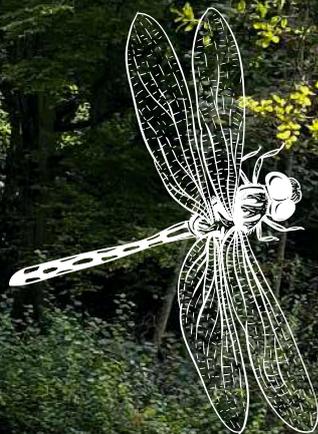
Annexe 3 : Résultats bruts obtenus sur les sites-test

Ancien étang de La Fresnaye-au-Sauvage

Placette	B1 : Structure verticale de la végétation					B2 : Éclaircement en sous-bois	B3 : Bois mort					B4 : Bois vivant					B5 : Dendromicrohabitats										B6 : Essences allochtones	B7 : Espèces exotiques envahissantes	B8 : Régénération																				
	Recouvrement des strates			Lianes			Pourcentage d'ouverture de la canopée	Nombre d'arbres morts au sol	Nombre d'arbres morts sur pied	Nombre d'arbres par stade de décomposition					Nombre d'arbres par catégorie de diamètre					Nombre d'arbres porteurs vivants										Sous-placette Nord			Sous-placette Sud																
	herbacée basse	herbacée haute	arborescente	arborescente	arborescente					Strates de présence	Espèces présentes	Stade 1	Stade 2	Stade 3	Stade 4	Stade 5	Perche	Petits bois	Bois moyen	Gros bois	Très gros bois	Cavités creusées par des pics	Cavités à terreau	Orifices et galeries d'insectes	Concavités	Surfaces d'aubier apparent			Surfaces à bois de cœur apparent	Bois mort dans le houppier	Agglomération de gourmands et de rameaux	Loupe et chancre	Sporophores de champignons et myxomycètes	Structures épiphytiques	Grands nids de vertébrés	Micro-sols	Coulées de sève	Pourcentage de recouvrement	Classe 0	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 0	Classe 1	Classe 2	Classe 3			
S01	1h25	70	20	30	70	Lierre	herbacée basse	1%						40	20	1	0	0	1					4				4	1	0	Absence																		
S02	1h10	40	40	40	70	Lierre	herbacée et arborescente	0%						37	11	0	0	0					3					5	0	Absence																			
S03	0h59	60	20	50	0			4%						0	1	1	0	0									?	0	Absence																				
S04	1h25	30	60	100	10	Lierre	herbacée et arborescente	0%						59	3	0	0	0									?	0	Absence																				
S05	1h10	60	10	100	20	Lierre	herbacée et arborescente	2%						54	4	1	0	0					1						0	Absence																			
S06	0h59	30	10	90	0	Lierre	herbacée basse	0%						29	5	0	0	0								5	3	0	Absence	3	0	0	0																
S07	1h10	60	10	100	20	Lierre	herbacée et arborescente	1%						51	5	1	0	0											0	Absence																			
S08	1h10	100	10	10	90			2%						72	2	0	0	0											0	Absence																			

La Cauchetière

Placette	B1 : Structure verticale de la végétation		B2 : Éclaircement en sous-bois	B3 : Bois mort					B4 : Bois vivant		B5 : Dendromicrohabitats										B6 : Essences allochtones	B7 : Espèces exotiques envahissantes	B8 : Régénération													
	Recouvrement des strates	Lianes		Nombre d'arbres morts au sol	Nombre d'arbres morts sur pied	Nombre d'arbres par stade de décomposition					Nombre d'arbres		Nombre d'arbres porteurs vivants										Sous-placette Nord	Sous-placette Sud												
Identifiant	Durée d'observation	herbacée basse	herbacée haute	arbusive	arborescente	Espèces	Strates	Pourcentage d'ouverture de la canopée	Stade 1	Stade 2	Stade 3	Stade 4	Stade 5	Perche	Petits bois (PB)	Bois moyen (BM)	Gros bois (GB)	Très gros bois (TGB)	Cavités creusées par des pics	Cavités à terreau	Orifices et galeries d'insectes	Concavités	Surfaces d'aubier apparent	Surfaces à bois de cœur apparent	Bois mort dans le houppier	Agglomération de gourmands et de rameaux	Loupe et chancre	Sporophores de champignons et myxomycètes	Structures épiphytiques	Grands nids de vertébrés	Micro-sols	Coulées de sève	Pourcentage de recouvrement			
01	0:59	60	80	90	50	Lierre	les 3	5%	0	0	0	0	0		4	3			2			1	2		1		4	1	1				0	Absence		
02	1:10	60	0	40	60	Lierre et Clématite	les 3	2%	2	3	3	1	3	1	2	3	12				3					1		10					0	Absence		
03		70	0	100	50	Lierre et Clématite	les 3	6%	1	0	2	6	2	0	4	8									1	1		4					0	Absence		
04		50	30	60	30	Lierre et Clématite	les 3	36%		1	0	1	0	0	3	1	2			1								3					0	Absence		



Conservatoire
d'espaces naturels
Normandie

 WWW.CEN-NORMANDIE.FR



 contact@cen-normandie.fr

 Site de Rouen : 02.35.65.47.10 & Site de Caen : 02.31.53.01.05

SIÈGE SOCIAL ET ADMINISTRATIF : 4 rue Nicéphore Niépce, 76300 Sotteville-lès-Rouen

SITE DE CAEN : 320 quartier du Val, 14200 Hérouville-Saint-Clair