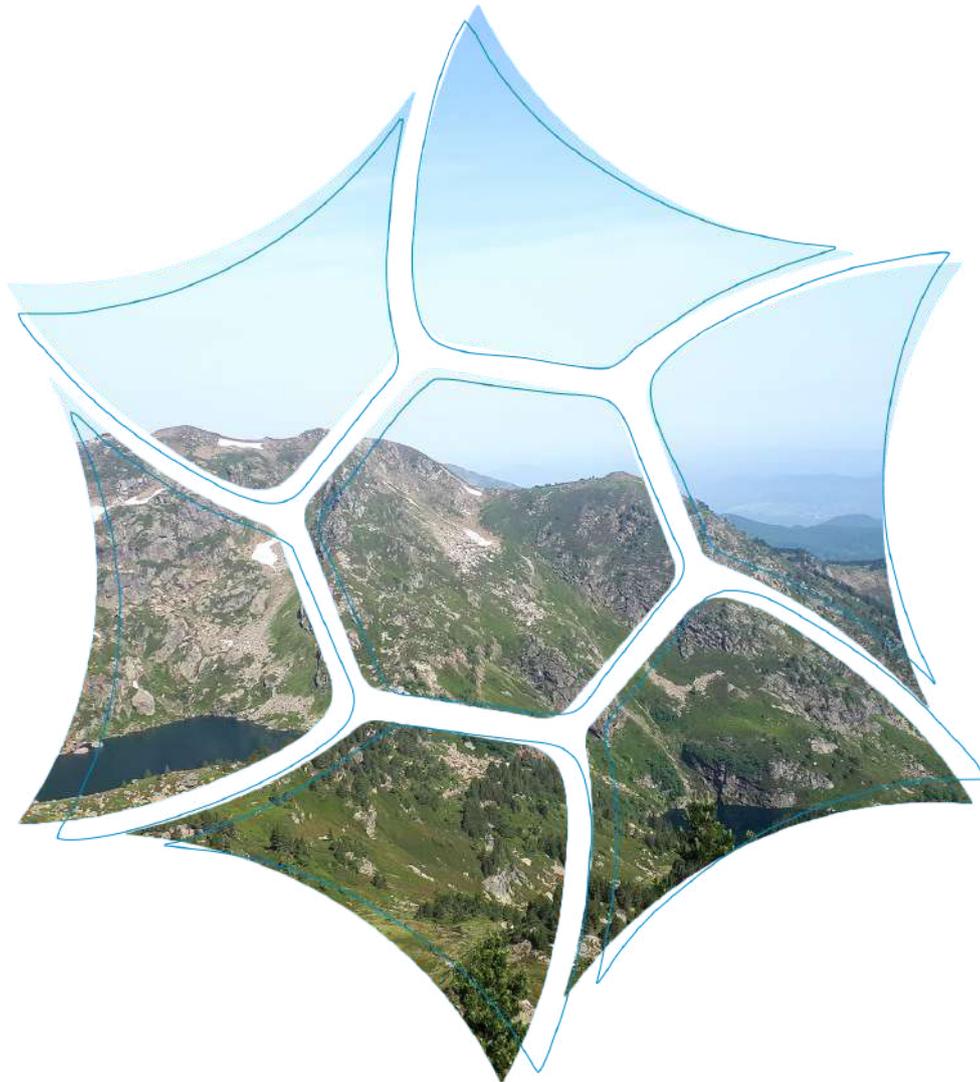


MASTER 2 Mention GAED, parcours GEMO
Mémoire de stage 2023

Étude de l'État de conservation et de la fonctionnalité des éco-complexes tourbeux de la Réserve Naturelle Régionale du Massif de Saint-Barthélemy



Thirsa VAN DER VEEN

Soutenu le 05/09/2023

Tuteur de stage : Laurent SERVIERE
Enseignant référent : Didier GALOP

Remerciements

Je remercie tout d'abord Laurent Servière pour la confiance qu'il me donne pour la deuxième année consécutive. Je le remercie pour les nombreuses opportunités qu'il m'offre pour me former, participer aux rencontres d'experts et pour la suite de mon parcours professionnel. Je lui suis reconnaissante pour le temps qu'il m'a accordé, pour le partage de ses connaissances et les échanges riches que nous avons pu avoir sur le sujet complexe des tourbières.

Je remercie Didier Galop pour l'attention qu'il a porté à mon mémoire et pour le temps qu'il a accordé à la relecture de ce dernier.

Je remercie Xavier Pasquier pour le partage de ses inventaires de terrain, qui a pu m'éclairer notamment sur les méthodes de collecte des données pour le suivi des tourbières, et m'apporter une meilleure connaissance de la RNR.

Je remercie Lou Dumaine pour le partage de ses connaissances sur les effets du changement climatique sur la Réserve du massif de Saint-Barthélemy. Je lui suis reconnaissante pour son soutien et ses précieux conseils.

Je remercie Loïc Wieczorek pour son aide pour l'installation de matériel de mesure et ses conseils techniques précieux pour les commandes de matériel.

Je remercie Ronan Abhervé pour sa pédagogie. Il m'a permis d'aborder le sujet complexe de l'hydrologie en partageant son expertise dans ce domaine pour lequel je n'avais que peu de connaissances. Je lui suis reconnaissante pour le temps qu'il a accordé à nos échanges et à la relecture de mes interprétations de l'hydrologie des tourbières.

Je remercie également Clément Roques pour le partage de ses connaissances et l'intérêt qu'il porte à l'apport de son travail sur la connaissance des tourbières qui s'y trouvent.

Je remercie Grégory Bernard pour le partage de ses connaissances et l'opportunité qu'il m'offre de me former auprès d'experts des tourbières.

Je remercie Thomas Cuypers pour le temps qu'il m'a accordé pour l'explication de son travail sur les synusies orthoptériques, dont le contenu me paraissait, au premier abord, aussi complexe que le terme qui le désigne. Je lui suis reconnaissante pour les réflexions qu'on a pu partager sur l'utilisation des outils et l'interprétation que l'on peut faire des résultats obtenus.

Je remercie Cécile Brousseau pour le partage de ses connaissances de la flore des tourbières, et le partage systématiques des nouvelles qui lui parviennent concernant l'étude des tourbières.

Je remercie Vincent Lacaze pour l'apport de son expertise sur les populations d'odonates des tourbières.

Enfin je remercie Jocelyn Bordeneuve pour son soutien et sa relecture.

Résumé

Les écosystèmes tourbeux représentent un des enjeux prioritaires de la Réserve Naturelle Régionale du massif de Saint-Barthélemy qui en présente une grande diversité. Une des responsabilités de la RNR est d'évaluer l'efficacité de sa gestion de ces tourbières. Pour cela l'amélioration des connaissances de leur fonctionnement et le suivi de leur état de conservation est indispensable. Des indicateurs de l'état de la structure, de la composition, des fonctions et de l'altération du milieu ont été sélectionnés grâce à des outils de référence : la boîte à outils de suivi des zones humides du bassin Rhône-Méditerranée (Collectif, 2014) et la méthodologie d'EEC du MNHN (Epicoco & Viry, 2015). Depuis 2018, trois écosystèmes tourbeux ont fait l'objet d'études et de collectes de données. Elles permettent la réalisation d'une synthèse des connaissances du fonctionnement des tourbières et d'une première évaluation de leur état de conservation (EEC).

La tourbière de la Grenouillère présente une mosaïque d'habitats avec une partie reposant sur un lac et une partie de bas-marais au nord. Elle est essentiellement minérotrophe et bénéficie d'écoulements souterrains et de surface important provenant de la grande longueur de versant qui la surplombe. Les résultats indiquent un état de conservation moyen pour sa structure et sa composition, bon à très bon pour ses fonctions et une faible altération. **La tourbière du Soularac** est une tourbière de tête de bassin composée d'un bombement ombrothrophe, bordé par des zones de bas-marais alimentées par des sources. Elle est alimentée essentiellement par les eaux de pluies. Les résultats indiquent un état moyen de sa structure et sa composition, bon pour ses fonctions et une faible altération. **La complexe tourbeux du Lasset** regroupe une typologie diversifiée de zones humides dont une partie de bas-marais acide. Il est situé en fond de vallée donc bénéficie d'écoulements souterrains et de surface avec le cours d'eau du Lasset qui le traverse. Les résultats indiquent un état moyen pour sa structure et sa composition, moyen à bon pour ses fonctions et une altération faible à moyenne.

L'interprétation des indicateurs de suivi est complexe du fait du manque de valeurs de références et certains indicateurs nécessitent une adaptation pour le suivi de tourbières montagnardes. Cependant, les résultats obtenus avec le calcul d'indicateurs validés scientifiquement et la synthèse des études menées, permettent de caractériser le fonctionnement des tourbières et de produire un état initial de leur état de conservation.

Abstract

Peat ecosystems represent one of the major issues of the Regional Nature Reserve of the Saint-Barthélemy massif which presents a great diversity of peats. One of RNR's responsibilities is to assess the effectiveness of its management of these peatlands. For this, the improvement of knowledge of their functioning and the monitoring of their state of conservation is essential. Indicators of the state of its structure, its composition, its functions and alteration were selected using reference tools: the Rhone-Mediterranean Basin Wetland Monitoring Toolkit (Collectif, 2014) and the MNHN's state of conservation assessment methodology (Epicoco & Viry, 2015). Since 2018, three peat ecosystems have been the subject of studies and data collection. They allow a synthesis of knowledge of the functioning of peatlands and a first evaluation of their state of conservation.

The Grenouillère peat presents a mosaic of habitats with a part resting on a lake and a part of fen on the north. It is a minerotrophic peat that benefits from significant underground and surface runoff from the long slope that overlooks it. The results indicate an average state of conservation of its structure and composition, a good to very good state for its functions and a low level of alteration.

The Soularac peat is a head of watershed peat, composed of an ombrothrophic dome, bordered by fen areas fed by springs. The results indicate an average state of its structure and composition, a good state of its functions and a low level of alteration. **The peaty complex of the Lasset** includes a diverse typology of wetlands including a part of fen. It is located at the bottom of the valley so it benefits from underground flows and surface flows with the Lasset river that crosses it. The results indicate a medium state for its structure and composition, a medium to good state for its functions and a low to medium alteration level.

The interpretation of the results is complex due to the lack of reference values, and some indicators require adaptation for the monitoring of montane peatlands. However, the results obtained with the calculation of scientifically validated indicators and the synthesis of the studies conducted, allow to characterize the functioning of peatlands and to produce an initial state of their conservation.

Sommaire

Introduction.....	1
I- Contexte.....	2
I – 1_ La RNR du Massif de Saint-Barthélemy.....	2
I – 1_a) L'ANA-CEN Ariège, une association polyvalente.....	2
I – 1_b) La gestion de la RNR.....	3
I – 2_ Les spécificités de RNR du Massif de Saint-Barthélemy et de ses tourbières.....	6
I – 2_a) Une réserve située au sein d'un massif singulier.....	6
I – 2_b) Le rôle de la réserve au sein du bassin versant.....	7
I – 2_c) Des complexes tourbeux uniques, riches en biodiversité.....	8
I – 2_d) Activités socio-économiques influençant la réserve et ses tourbières.....	9
I – 2_e) La gestion des tourbières de la RNR.....	12
II- Les tourbières, écosystèmes à enjeux multiples.....	12
II – 1_ Les écosystèmes tourbeux.....	12
II - 1_a) Définitions.....	12
II - 1_b) La turfigénèse.....	14
II - 1_c) L'hydrologie des tourbières.....	15
II - 1_d) La répartition des tourbières.....	16
II – 1_e) Un enjeu environnemental prioritaire.....	17
II – 2_ L'étude des tourbières.....	18
II - 2_a) L'important réseau d'étude des tourbières.....	18
II - 2_b) L'évolution de l'étude des tourbières.....	19
II – 3_ La gestion des tourbières.....	21
II-3_a) Le maintien des tourbières.....	22
II-3_b) La restauration des tourbières.....	22
II - 4_ Des outils de référence pour l'évaluation de l'état de conservation des tourbières.....	23
II – 5_ Les missions.....	24
II – 5_a) L'indispensable amélioration des connaissances des tourbières.....	24
II – 5_b) L'organisation des missions.....	24
III_ Matériel et méthode.....	26
III – 1_ Les tourbières étudiées.....	26
III – 2_ Les études menées.....	27
III – 2_a) Études hydrologiques.....	27
III – 2_b) Étude du stock de carbone.....	28
III – 2_c) Étude paléoécologique.....	29
III – 2_d) Étude des bryophytes.....	29
III – 3_ Les indicateurs de suivi.....	30
III – 3_a) Indicateurs et compilation des données.....	30
III - 3_b) Indicateurs de fonctions et processus.....	31
III - 3_c) Indicateurs de composition et structure.....	33
III - 3_d) Indicateurs d'altération.....	35
III – 3_e) Interprétation des indicateurs.....	36
IV_ Résultats.....	37
IV – 1_ La tourbière de la Grenouillère.....	37
IV – 1_a) Synthèse des connaissances.....	37
IV – 1_b) L'état de conservation de la tourbière de la Grenouillère.....	45
IV – 1_c) Interprétation de l'état de conservation.....	52
IV – 2_ La tourbière du Soularac.....	53

IV – 2_a) Synthèse des connaissances.....	53
IV - 2_b) État de conservation de la tourbière du Soularac.....	58
IV – 2_c) Interprétation de l'état de conservation.....	65
IV – 3_Le complexe tourbeux du Lasset.....	66
IV – 3_a) Synthèse des connaissances.....	66
IV – 3_b) État de conservation de la tourbière du Lasset.....	71
IV – 3_c) Interprétation de l'état de conservation.....	82
V- Discussion.....	83
V - I_ Apports et limites des indicateurs.....	83
V – II_ Des missions complexes mais formatrices.....	86
Conclusion.....	87
Bibliographie.....	88

Table des tableaux

Tableau 1 : répartition des missions entre l'ANA-CEN Ariège et la commune de Montségur.....	4
Tableau 2 : calendrier prévisionnel.....	26
Tableau 3 : indicateurs retenus, données produites pour l'évaluation de l'état de conservation des tourbières.....	31
Tableau 4 : valeurs seuil pour l'interprétation des notes indicatrices obtenues.....	37
Tableau 5 : synthèse des informations obtenues par l'étude paléoécologique de la Grenouillère (Goubet & Goubet, 2023), (Doyen, 2022).....	44
Tableau 6 : évaluation des indicateurs de l'état de conservation de la tourbière de la Grenouillère.....	54
Tableau 7 : synthèse des informations obtenues par l'étude paléoécologique de la tourbière du Soularac (Goubet & Goubet, 2023), (Doyen, 2022).....	58
Tableau 8 : évaluation des indicateurs de l'état de conservation de la tourbière du Soularac.....	67
Tableau 9 : évaluation des indicateurs de l'état de conservation du complexe tourbeux du Lasset.....	82

Table des figures

Figure 1 : historique de l'ANA-CEN Ariège, ANA-CEN Ariège.....	2
Figure 2 : organigramme de l'ANA-CEN Ariège, ANA-CEN Ariège.....	2
Figure 3 : localisation de la RNR du Massif de Saint-Barthélemy.....	3
Figure 4 : méthode du plan de gestion de la RNR, tableau de bord, 2020.....	5
Figure 5 : géologie simplifiée des Pyrénées, Michel De Saint-Blanquat, CNRS/Observatoire Midi-Pyrénées.....	7
Figure 6 : périmètres d'inventaires et classements en faveur de la biodiversité aux alentours de la RNR (Laurent Servièrè, 2017).....	7
Figure 7 : part des différents milieux de la RNR.....	8
(Laurent Servièrè, 2017).....	8
Figure 8 : les tourbières de la RNR au sein du bassin versant du Lasset.....	8
Figure 9 : périmètre de la RNR et de la carrière.....	10
de talc de Trimouns.....	10
Figure 10 : Schémas du fonctionnement hydrologique des principaux types des tourbières (d'après G.M. Steiner, Manneville et al., 1999).....	14
Figure 11 : modèles de structures pédologiques des tourbières (Goubet 2014).....	16
Figure 12 : répartition des tourbières dans le monde, (Xu & al , 2018).....	17
Figure 13 : répartition des tourbières et de leur connaissance en France (Pilloix, 2019).....	18
Figure 14 : disciplines nécessaires à l'étude des tourbières (Cholet, 2010).....	21
Figure 15 : localisation des complexes tourbeux de la RNR inclus dans l'étude.....	27
Figure 16 : tourbière de la Grenouillère, 06/2023 Thirsa VAN DER VEEN.....	38
Figure 17 : environnement passé (1950) et actuel de la tourbière de la Grenouillère.....	38
Figure 18 : cartographie des habitats de la tourbière de la Grenouillère (Laurent Servièrè).....	39
Figure 19 : transects de sondage de profondeur de tourbe et d'eau de la tourbière de la Grenouillère.....	40
Figure 20 : profil longitudinal de la profondeur de la tourbe et de l'eau de la tourbière de la Grenouillère.....	40
Figure 21 : profil transversal de la profondeur de la tourbe et de l'eau de la tourbière de la Grenouillère.....	41
Figure 22 : modélisation des écoulements de sub-surface alimentant la tourbière de la Grenouillère (Ronan Abhervé, Clément Roques, laboratoire CHYN).....	42
Figure 23 : localisation des prélèvements pour les dosages du Radon et concentrations mesurées (Ronan Abhervé, Clément Roques, laboratoire CHYN).....	42
Figure 24 : transect suivi pour la réalisation des sondages pédologiques sur la tourbière de la Grenouillère.....	45
Figure 25 : localisation des placettes d'inventaires floristiques sur la tourbière de la Grenouillère.....	45
Figure 26 : valeurs d'hygrométrie de la tourbière de la Grenouillère par points de sondages.....	46
Figure 27 : indices floristiques d'engorgement par placettes sur la tourbière de la Grenouillère.....	46
Figure 28 : occurrence des valeurs indicatrices des espèces détectées sur la tourbière de la Grenouillère.....	47
Figure 29 : indices de fertilité du sol par placettes sur la tourbière de la Grenouillère.....	47
Figure 30 : nombre d'occurrences des valeurs indicatrices de trophie des espèces détectées sur la tourbière de la Grenouillère.....	48
Figure 31 : localisation des transects parcourus pour l'inventaire des odonates sur la tourbière de la Grenouillère.....	49
Figure 32 : localisation des points d'écoute pour l'inventaire des amphibiens sur la tourbière de la Grenouillère.....	49
Figure 33 : indices de qualité floristique par placettes sur la tourbière de la Grenouillère.....	51
Figure 34 : nombre d'occurrences des coefficients de conservatismisme des espèces détectées sur la tourbière de la Grenouillère.....	51
Figure 35 : taux de recouvrement des habitats de la tourbière de la Grenouillère (Thirsa van der Veen), issus de la cartographie des habitats (Laurent Servièrè).....	52
Figure 36 : diagramme de recouvrement du transect phytodynamique de la tourbière de la Grenouillère (Julien Aït El Mekki, Laurent Servièrè, ANA-CEN Ariège).....	52

Figure 37 : tourbière du Soularac, 06/2023, Thirsa VAN DER VEEN.....	55
Figure 38 : <i>environnement passé (1950) et actuel de la tourbière du Soularac</i>	55
Figure 39 : cartographie des habitats de la tourbière du Soularac (Laurent Servièrè).....	56
Figure 40 : modélisation des écoulements de subsurface alimentant la tourbière du Soularac.....	57
(Ronan Abhervé, Clément Roques, laboratoire CHYN).....	57
Figure 41 : localisation des placettes d'inventaires floristiques de la tourbière du Soularac.....	59
Figure 42 : indices floristiques d'engorgement par placettes sur la tourbière du Soularac.....	59
Figure 43 : indices d'hydromorphie par placettes de la tourbière du Soularac.....	60
Figure 44 : nombre d'occurrences des valeurs indicatrices d'humidité des espèces détectées sur la tourbière du Soularac.....	60
Figure 45 : indices de fertilité par placettes sur la tourbière du Soularac.....	61
Figure 46 : occurrence des valeurs indicatrices de fertilité des espèces détectées sur la tourbière du Soularac.....	61
Figure 47 : localisation des transects parcourus pour l'inventaire des odonates sur la tourbière du Soularac.....	62
Figure 48 : localisation du point d'écoute pour l'inventaire des amphibiens sur la tourbière du Soularac.....	62
Figure 49 : indices de qualité floristique par placettes sur la tourbière du Soularac.....	64
Figure 50 : occurrences des coefficients de conservatisme des espèces détectées sur la tourbière du Soularac.....	64
Figure 51 : taux de recouvrement des habitats de la tourbière du Soularac (Thirsa van der Veen) à partir de la cartographie des habitats (Laurent Servièrè).....	65
Figure 52 : diagramme de recouvrement du transect phytodynamique de la tourbière du Soularac (Julien Aït El Mekki, Laurent Servièrè, ANA-CEN Ariège).....	65
Figure 53 : complexe tourbeux du Lasset, 06/2023, Thirsa VAN DER VEEN.....	68
Figure 54 : <i>environnement passé (1950) et actuel du complexe tourbeux du Lasset</i>	68
Figure 55 : cartographie des habitats du complexe tourbeux du Lasset (Laurent Servièrè).....	69
Figure 56 : modélisation des écoulements de subsurface alimentant le complexe tourbeux du Lasset.....	70
(Ronan Abhervé, Clément Roques, laboratoire CHYN).....	70
Figure 57 : localisation des prélèvements pour les dosages du Radon et concentrations mesurées sur le complexe tourbeux du Lasset (Ronan Abhervé, Clément Roques, laboratoire CHYN).....	70
Figure 58 : transects suivis pour la réalisation des sondages pédologiques du complexe tourbeux du Lasset.....	72
Figure 59 : valeurs d'hygrométrie du complexe tourbeux du Lasset par points de sondages, transect 1.....	72
Figure 60 : valeurs d'hygrométrie du complexe tourbeux du Lasset par points de sondages, transect 2.....	72
Figure 62 : localisation des placettes d'inventaires floristiques sur le complexe tourbeux du Lasset.....	74
Figure 63 : indice floristique d'engorgement par placettes.....	74
Figure 64 : occurrences des valeurs indicatrices d'humidité des espèces détectées sur le complexe tourbeux du Lasset.....	75
Figure 65 : indices de fertilité floristique par placettes sur le complexe tourbeux du Lasset.....	75
Figure 66 : occurrences des valeurs indicatrices de trophie des espèces détectées sur le complexe tourbeux du Lasset.....	76
Figure 68 : localisation des points d'écoute et transects parcourus pour l'inventaire des amphibiens sur le complexe tourbeux du Lasset.....	77
Figure 69 : indices de qualité floristique par placettes sur le complexe tourbeux du Lasset.....	79
Figure 70 : occurrence des coefficients de conservatisme des espèces détectées sur le complexe tourbeux du Lasset.....	79
Figure 71 : taux de recouvrement des habitats du complexe tourbeux du Lasset (Thirsa van der Veen) à partir de la cartographie des habitats (Laurent Servièrè).....	80
Figure 72 : diagramme de recouvrement du transect phytodynamique du complexe tourbeux du Lasset (Julien Aït El Mekki, Laurent Servièrè, ANA-CEN Ariège).....	80

Liste des sigles et abréviations

ANA-CEN : Association des Naturalistes d'Ariège, Conservatoire d'Espaces Naturels

CBNPMP : Conservatoire Botanique National des Pyrénées et Midi-Pyrénées

CCPO : Communauté de Communes du Pays d'Olmes

EEC : Evaluation de l'Etat de Conservation

FCEN : Fédération des Conservatoires d'Espaces Naturels

GES : Gaz à effet de serre

I2M2 : Indice Invertébrés Multi-Métriques

I2PA : Indice d'Intégrité du Peuplement d'Amphibiens

INPN : Inventaire National du Patrimoine Naturel

IMGC : International Mire Conservation Group

IPS : International Peat Society

KTH : Kultureller TrockenHorizont

MNHN : Museum National d'Histoire Naturelle

MNPs : Micro-fossiles Non Polliniques

OFB : Office Français de la Biodiversité

OGS : Opération Grand Site

OHM : Observatoire Homme-Milieu

OLT : Objectif à Long Terme

OPCC : Observatoire Pyrénéen du Changement Climatique

RNF : Réserves Naturelles de France

RNR : Réserve Naturelle Régionale

SANDRE : Service d'Administration National des Données et Référentiels sur l'Eau

SNOt : Service National d'Observation tourbières

SOeS : Service de l'observation et des statistiques

STELI : Suivi TEmporel des Lbellules

Introduction

Les tourbières sont des écosystèmes présentant de nombreux enjeux liés aux nombreuses fonctions qu'elles remplissent. Ces écosystèmes accueillent une biodiversité particulièrement riche et spécifique : elles ont été identifiées par la convention de Ramsar comme le type de zone humide représentant le plus important support de biodiversité (Convention de Ramsar sur les zones humides, 2018). Les tourbières présentent également des enjeux socio-économiques de grande importance par les services écosystémiques qu'elles rendent. Lorsqu'elles ne sont pas dégradées, elles assurent un rôle de régulation des flux hydriques et gazeux (Bernard, 2016). Leur préservation est donc une priorité pour répondre aux stratégies nationales et internationales de lutte contre le changement climatique et ses impacts sur la ressource en eau, auxquels elles seraient pourtant particulièrement sensibles. De plus, leur propriété d'archive naturelle, permettant l'accès à des connaissances de leur histoire et de celle de leur environnement, leur confère une grande utilité pour la compréhension de la réaction des milieux face à des changements environnementaux.

La topographie et les particularités climatiques des environnements montagnards sont favorables à la formation de tourbières. Les tourbières de montagne sont souvent difficilement accessibles, elles sont donc plus nombreuses à être faiblement dégradées et à pouvoir assurer les fonctions qui leur sont propres. Cependant, elles sont également moins connues (Cholet & Magnon, 2010). L'amélioration des connaissances de ces milieux et leur conservation est donc un enjeu important des territoires montagnards.

La Réserve Naturelle Régionale du Massif de Saint-Barthélemy, co-gérée par l'ANA – CEN Ariège, présente une grande diversité de milieux tourbeux qui ont été identifiés comme un enjeu de conservation prioritaire. L'un des objectifs à long terme défini dans le plan de gestion de la réserve est l'amélioration de l'état de conservation et de fonctionnalité de ces complexes tourbeux. La RNR a pour mission d'évaluer l'efficacité de la gestion qui est menée pour répondre à cet objectif. Pour cela, le suivi de l'état de conservation des tourbières est indispensable. Une série d'indicateurs a été identifiée dans le plan de gestion de la RNR, en prenant le parti de favoriser une approche fonctionnelle et non patrimonialiste : l'objectif est de prendre en compte l'ensemble des processus biotiques et abiotiques assurant le maintien de ces milieux, et pas seulement la faune et la flore patrimoniale qui en dépend. Depuis la création de la réserve en 2015, diverses études ont été menées par des bureaux d'études et laboratoires de recherche pour améliorer la connaissance du fonctionnement de trois complexes tourbeux : la tourbière de la Grenouillère, la tourbière du Soularac et le complexe tourbeux du Lasset ; et des protocoles de collecte de données pour le suivi de leur état de conservation ont été déployés depuis 2018.

2023 est l'année d'évaluation intermédiaire du plan de gestion de la réserve, c'est dans ce cadre que les missions suivantes m'ont été confiées : la production d'une première évaluation de l'état de conservation des milieux tourbeux, l'amélioration de la compréhension de leur fonctionnement, et l'évaluation de la pertinence des indicateurs sélectionnés dans le plan de gestion pour leur suivi. Les missions consistent donc à réaliser une synthèse des rapports d'études menées sur les tourbières de la réserve, évaluer leur état de conservation par le calcul et l'analyse des indicateurs, et une analyse critique des apports et limites de ces indicateurs.

Cette étude a donc pour objectif de répondre aux questions suivantes : **Quel est l'état de conservation des principaux complexes tourbeux de la RNR du massif de Saint-Barthélemy ? Les indicateurs sélectionnés sont-ils pertinents pour cette évaluation et le suivi à long terme de l'état de conservation de ces milieux ?**

Ce mémoire présente pour chaque tourbière étudiée une synthèse des connaissances, une évaluation de leur état de conservation et de fonctionnalité, puis une évaluation de la pertinence des indicateurs sélectionnés pour cette évaluation.

I- Contexte

I – 1_ La RNR du Massif de Saint-Barthélemy

I – 1_a) L'ANA-CEN Ariège, une association polyvalente

L'ANA-CEN Ariège créée en 1988 est une association à but non lucratif de loi 1901. Le CEN est créé en 1992 et obtiendra l'agrément conservatoire en 2015. Elle est également labellisée Centre Permanent pour l'Initiative à l'Environnement (CPIE) en 2006.

Les dates à retenir

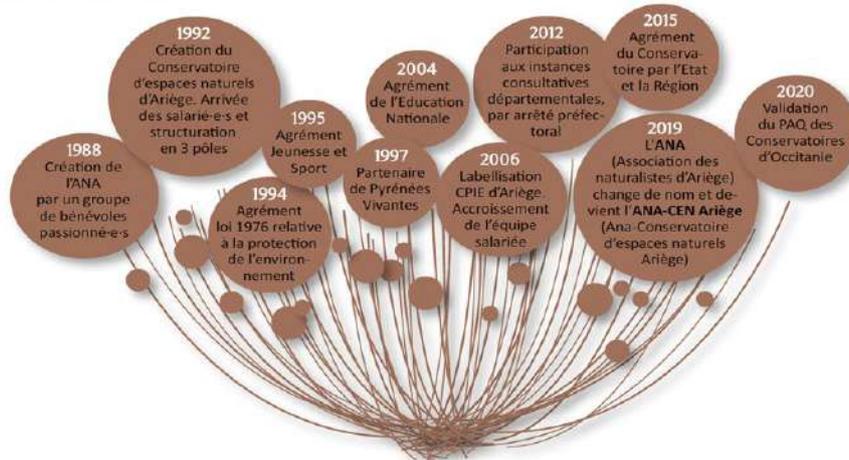


Figure 1 : historique de l'ANA-CEN Ariège, ANA-CEN Ariège

Par ces différents labels l'association répond à quatre missions principales qui sont :

- enrichir la connaissance dans le domaine des sciences naturalistes
- mettre les connaissances naturalistes et scientifiques à la disposition du grand public dans le respect de l'éthique morale et scientifique
- protéger les milieux naturels et les espèces en tenant compte des enjeux liés aux activités humaines
- permettre aux acteurs du territoire de prendre en compte et de valoriser la biodiversité locale.

Pour répondre à ces missions l'association est divisée en trois pôles : le pôle étude et gestion, le pôle éducation à l'environnement, communication et vie associative puis le pôle administratif. L'ensemble compte 32 équivalents salariés à temps plein permettant de regrouper de nombreuses compétences : expertise naturaliste, médiation territoriale, communication, animation, géomatique, coordination de projet, direction... Une équipe renforcée chaque année par des services civiques et stagiaires.

L'association est dirigée par un conseil d'administration composé de 23 bénévoles dont 7 font partie du bureau. C'est ce bureau qui possède le plus haut niveau hiérarchique de la structure, c'est à lui que la direction se réfère pour la prise de décisions au sein de l'association.

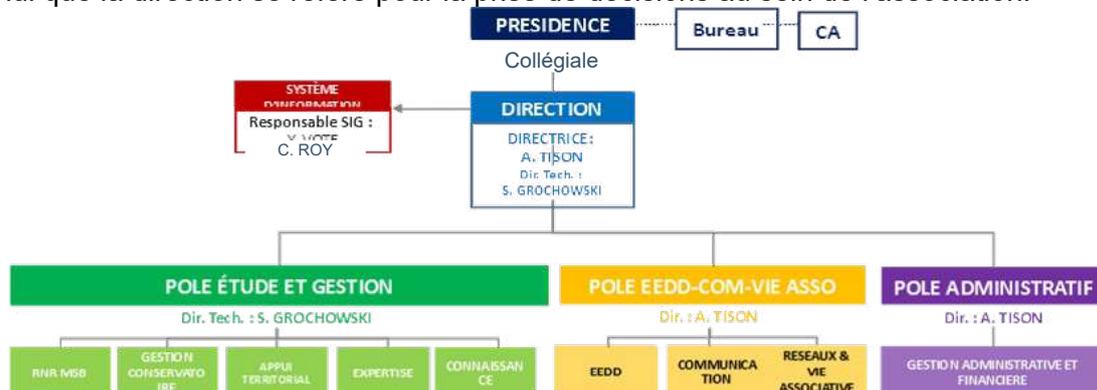


Figure 2 : organigramme de l'ANA-CEN Ariège, ANA-CEN Ariège

L'ANA-CEN Ariège peut également compter sur ses plus de 500 adhérents et ses nombreux bénévoles pour mener à bien ses missions qu'elle déploie sur l'ensemble du département ariégeois.

La diversité des missions de l'association l'amène à avoir une multitude de sources de financement. La majorité de ses financements provient des subventions (83%) et des ventes de produits ou de service comme les animations, les études et les expertises (13%). Les subventions proviennent principalement de la région (26%), de l'Europe (20%) et des agences de l'eau (14%), les adhésions bien que nombreuses ne représentent qu'1% des subventions.

Pour atteindre ses objectifs, l'association mène différents types d'actions :

- La réalisation d'études et expertises pour enrichir la connaissance dans le domaine des sciences naturalistes du territoire : participation à la recherche scientifique, réalisation d'états initiaux de l'environnement
- La gestion des espaces naturels pour concilier la conservation du patrimoine naturel et l'utilisation des espaces par l'humain, avec la mise en place d'aires protégées selon un principe d'intendance de l'environnement, par la maîtrise foncière ou contractuelle. L'association est actuellement gestionnaire de 2500ha de zones naturelles.
- La sensibilisation, l'éducation et la formation à la préservation et au respect de l'environnement, auprès de divers publics par le biais d'animations, de formations, de la réalisation de supports de communication, etc.
- L'accompagnement des territoires et la valorisation de la biodiversité pour intégrer les enjeux environnementaux dans les politiques publiques.
- Dans le cadre de ces actions l'ANA-CEN Ariège est également devenue co-gestionnaire de la RNR du Massif de Saint-Barthélemy et a ainsi intégré le réseau RNF.

I – 1_b) La gestion de la RNR

➤ Une co-gestion entre l'ANA-CEN Ariège et la commune de Montségur

La RNR du Massif de Saint-Barthélemy est située dans les Pyrénées ariégeoises dans la région Occitanie. Elle se trouve exclusivement sur le territoire de la commune de Montségur faisant partie de la Communauté de Commune du Pays d'Olmes (CCPO).

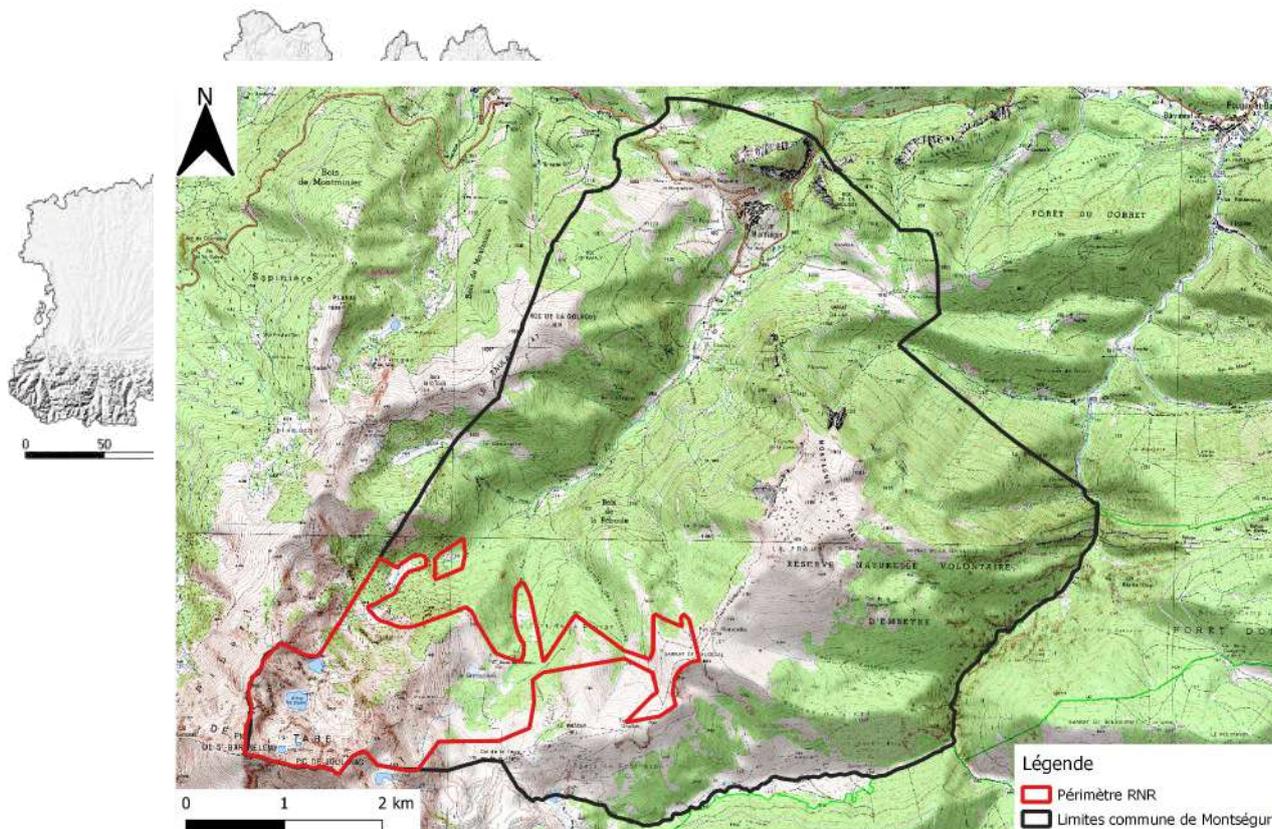


Figure 3 : localisation de la RNR du Massif de Saint-Barthélemy

Créée en 2015, la réserve est co-gérée par l'ANA-CEN Ariège et la commune de Montségur. Initialement le territoire de la réserve appartenait à un exploitant forestier privé. C'est en 2009 avec l'aide de plusieurs financeurs, dont la région Occitanie, que la commune de Montségur a acheté les terrains comprenant lacs, zones humides et estives, dont la biodiversité remarquable a permis le classement du territoire en RNR. En 2011 la mairie a fait appel à l'ANA – CEN Ariège pour la réalisation des inventaires relatifs au dossier de création de la réserve, et en 2015 la délibération de classement de la réserve établit la répartition de missions entre les deux co-gestionnaires.

Tableau 1 : répartition des missions entre l'ANA-CEN Ariège et la commune de Montségur

Commune de Montségur	ANA-CEN 09
<ul style="list-style-type: none"> - Pilotage stratégique de la gestion - Cohérence et intégration des projets de la RNR sur le territoire - Pilotage des projets d'aménagement des infrastructures d'accueil - Missions de gardiennage et de surveillance - Mission de police : constat des infractions, organisation des usages et gestion des conflits d'usage - Participation à l'ensemble des missions de la RNR (études, travaux, entretien, communication, éducation...). 	<ul style="list-style-type: none"> - Mission de gestion conservatoire de la RNR - Recrutement du conservateur - Élaboration et mise en œuvre du plan de gestion - Planification, organisation et exécution : <ul style="list-style-type: none"> → Inventaires et suivis scientifiques, programmes de recherche → Coordination des missions de police de la nature → Opérations techniques → Réalisation et entretien des équipements de la RNR → Missions d'accueil du public et éducation à la nature

Ainsi l'équipe permanente de la RNR est aujourd'hui constituée de :

- Laurent SERVIERE, conservateur, ANA-CEN Ariège
- Xavier PASQUIER, animateur garde technicien, ANA-CEN Ariège
- Loïc WIECZOREK, animateur garde technicien saisonnier, mairie de Montségur

Chaque année des stagiaires et/ou services civiques viennent renforcer l'équipe, et plus ponctuellement des chargés de projets peuvent être recrutés comme Lou DUMAINE, actuellement chargée de projet pour l'adaptation de 5 RNR pyrénéennes aux changements climatiques.

➤ *Budget*

La réserve fonctionne avec environ 145 000€ par an. Les investissements de la région représentent 80 % des subventions de la RNR. Les 20 % restants correspondent généralement à de l'autofinancement. Environ 75 % des dépenses correspondent à des frais de fonctionnement (salaires, matériel, prestations, déplacements, bénévolat, services...), les 25 % restants correspondent à des frais d'investissement par la réalisation de travaux, d'études et l'achat de matériel.

➤ *Les missions des gestionnaires de la RNR*

« Les réserves naturelles ont pour vocation de préserver des milieux naturels fonctionnels, écologiquement représentatifs et à forte valeur patrimoniale. »(RNF).

Pour répondre à cette vocation, les gestionnaires de la RNR ont trois missions : protéger, gérer et faire découvrir.

La mission de faire découvrir est essentielle, elle permet de répondre en partie aux missions de protéger et gérer le territoire de la réserve. La communication sur la richesse patrimoniale de la réserve et les actions menées pour sa protection, est un élément clé pour l'ancrage territorial de réserve et la sensibilisation du grand public. La RNR du massif de Saint-Barthélemy présente des intérêts pédagogiques multiples qui sont valorisés par le biais de cette mission : géologiques, paysagers, patrimoniaux (habitats, faune et flore) et culturels.

Un plan de gestion mis en place sur une période de 10 ans (2018 – 2027) définit les éléments du patrimoine pour lesquels la RNR présente une responsabilité, les objectifs de conservation de ces éléments et les stratégies et actions que la réserve doit mettre en œuvre.

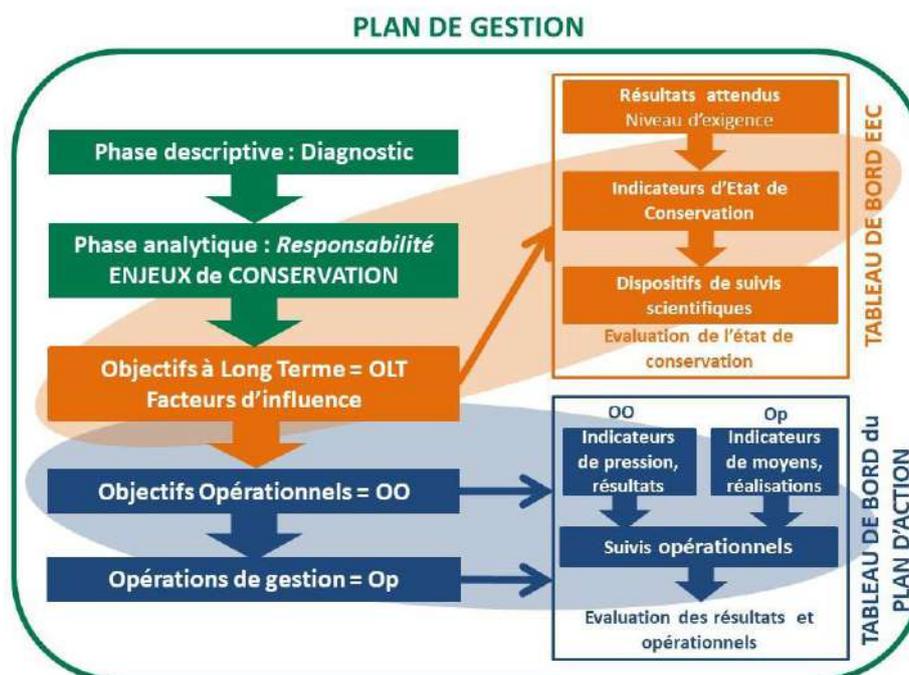


Figure 4 : méthode du plan de gestion de la RNR, tableau de bord, 2020.

Les missions de la réserve impliquent tout d'abord l'amélioration des connaissances de son patrimoine naturel : toute stratégie de préservation doit s'appuyer sur une meilleure connaissance scientifique de l'écosystème dans son intégrité.

Cette connaissance permet de définir les responsabilités de la réserve grâce au croisement de trois paramètres : la valeur patrimoniale, la représentativité et la fonctionnalité. Ensuite la mise en relation de ces responsabilités avec les facteurs d'influence permet de dégager les enjeux de conservation, qui sont les suivants pour la RNR du massif de Saint-Barthélemy :

- **les écosystèmes tourbeux**
- la naturalité des milieux d'altitude
- la naturalité des milieux forestiers
- l'intégrité et le rôle fonctionnel des milieux lacustres et cours d'eau
- l'éco-complexes pelouses et landes montagnardes

La naturalité correspond au degré d'anthropisation du milieu naturel, elle favorise la fonctionnalité et la résilience des milieux.

La mission de gestion de la réserve répond aux enjeux de conservation définis précédemment. Elle est établie par des Objectifs à Long Terme (OLT) qui visent à atteindre ou maintenir un état de conservation de référence :

- **améliorer l'état de conservation et l'intégrité fonctionnelle des milieux tourbeux**
- améliorer l'état de conservation de l'éco-complexe « pelouses et landes montagnardes »
- optimiser la naturalité des milieux alpins et rocheux
- optimiser l'intégrité écologique et fonctionnelle des milieux lacustres et des cours d'eau
- optimiser la naturalité des milieux forestiers
- **faire de la RNR un laboratoire à ciel ouvert, territoire de recherche et d'expérimentation pour la connaissance de la biodiversité et de la fonctionnalité des milieux naturels**
- favoriser l'ancrage territorial de la RNR

Pour parvenir à ces objectifs, un plan d'action est établi et suivi à l'aide d'un tableau de bord. Les actions menées par la réserve sont nombreuses et peuvent consister par exemple à réaliser des inventaires et suivis, mener des travaux de restauration, coordonner les missions de police de l'environnement, etc.

L'objectif de faire de la réserve un laboratoire à ciel ouvert, permet de contribuer à l'amélioration des connaissances scientifiques dans diverses disciplines (naturalisme, géologie, hydrologie...), concernant les différents milieux identifiés comme enjeux prioritaires de la réserve. Les nombreux projets de recherche appliqués sur la réserve ont permis de mettre en place un grand nombre d'études dont plusieurs concernent le fonctionnement et l'évolution des tourbières en lien notamment avec les changements globaux actuels :

- application du protocole de l'observatoire des lacs et tourbières sentinelles → suivi de l'évolution des lacs et tourbières dans le contexte de changements climatiques
- CIMaE (FNE Haute-Savoie) → étude de l'évolution des zones humides d'altitude avec les changements climatiques
- étude des mécanismes d'écoulement des eaux souterraines par la création de modèles d'écoulement (OSUR et CHYN)
- ORCHAMP (LECA) → étude de l'impact des changements climatiques grâce au suivi de l'évolution de plusieurs paramètres selon un gradient altitudinal (végétation, humidité du sol...)
- Combes à neige (CBNPMP) → suivi de l'évolution des combes à neige avec les changements climatiques
- SpatialTreeP → étude de la dynamique spatiale de la limite supérieure de la forêt subalpine en lien avec les changements climatiques

De plus, la RNR a été équipée de divers instruments pour la production de données pouvant être réinvesties pour la recherche et/ou le suivi de la réserve à long terme : piézomètres, stations hydrologiques, station météorologique, dataloggers de température...

I – 2_ Les spécificités de RNR du Massif de Saint-Barthélemy et de ses tourbières

I - 2_ a) Une réserve située au sein d'un massif singulier

La RNR se trouve sur le massif du Saint-Barthélemy, un massif avancé dans les terres car il est situé sur la plaque Européenne, alors que la majorité du massif pyrénéen se trouve sur la plaque ibérique. Cette situation isolée en fait une zone refuge pour de nombreuses espèces alpines : le massif du Saint-Barthélemy est le seul massif nord-pyrénéen présentant un étage alpin. Le massif est traversé par la faille de Trimouns, au cœur de laquelle se trouve une immense veine de talc. Cette faille de contact partage la réserve entre les calcaires du Massif de la Frau à l'Est et les migmatites à l'Ouest au pied du Pic de Soularac. Cet ensemble confère à la réserve une grande diversité d'habitats, de faune et de flore selon leur affinité pour les milieux acides ou basiques. À cela s'ajoute un fort degré de naturalité qui a permis le maintien de ces milieux dont le fonctionnement est peu, voire non-dépendant des activités humaines. Ces particularités font de la RNR une véritable sentinelle pour le suivi de l'impact de changements globaux actuels comme le changement climatique.

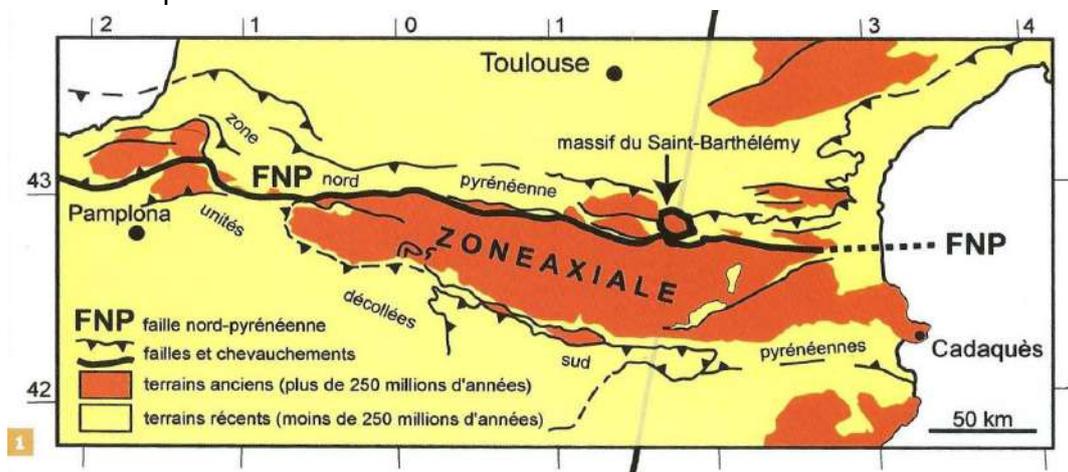


Figure 5 : géologie simplifiée des Pyrénées, Michel De Saint-Blanquat, CNRS/Observatoire Midi-Pyrénées.

Les particularités géologiques et géomorphologiques du massif en font un ensemble écologique d'intérêts, ayant justifié plusieurs classements avant la création de la réserve. La RNR a été établie à cheval sur deux ZNIEFF de type 1 et au sein d'une ZNIEFF de type 2. La partie Est de la réserve couvrent une zone Natura 2000 caractérisée par son importante diversité avifaunistique montagnarde. On trouve à proximité de la RNR le site conservatoire d'Embeyre également géré par l'ANA-CEN Ariège, dont les enjeux principaux sont liés aux habitats de pelouses calcicoles, forestiers et souterrains. Enfin, la réserve se trouve également à proximité de la Réserve Biologique Intégrale (RBI) des Gorges de la Frau dont l'enjeu principal est lié à la libre évolution des peuplements forestiers. L'ANA-CEN Ariège, par le périmètre d'influence de la RNR, est grandement impliquée dans la gestion de cet ensemble. Il présente, entre autres, plusieurs complexes tourbeux dont la structure a pu devenir gestionnaire par le biais de conventions de gestions. Il est primordial pour la structure d'assurer la cohérence de la gestion de ces sites d'intérêt au sein du massif.

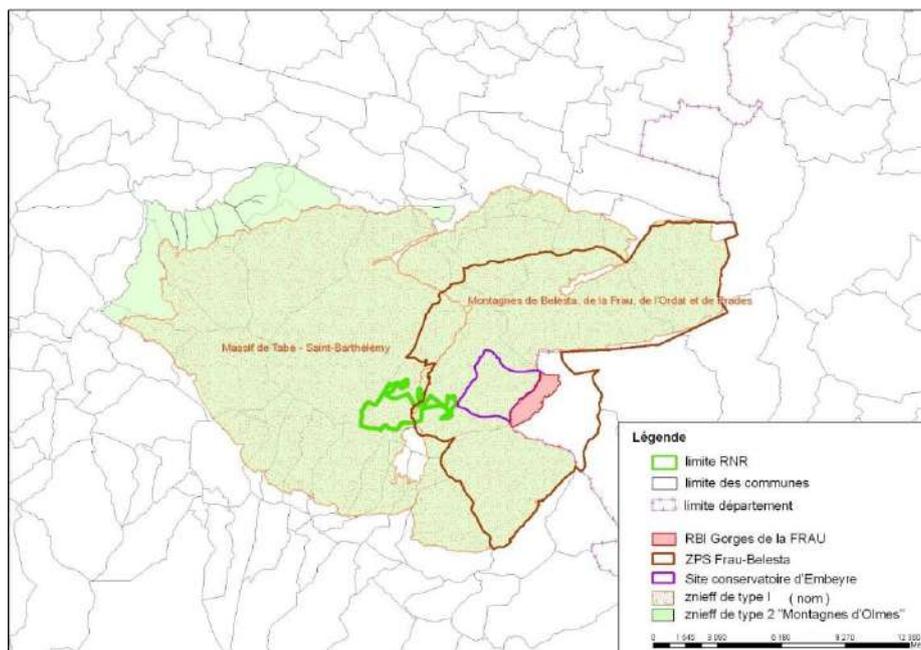


Figure 6 : périmètres d'inventaires et classements en faveur de la biodiversité aux alentours de la RNR (Laurent Servièrre, 2017)

I – 2_b) Le rôle de la réserve au sein du bassin versant

La RNR du massif de Saint-Barthélémy est située en tête de bassin versant et s'étend sur 1000m de dénivelé. Elle regroupe des milieux appartenant à tous les étages montagnards avec environ 53 % d'étage montagnard, 45 % d'étage subalpin et ponctuellement l'étage alpin. Elle regroupe ainsi divers milieux : landes, forêts, pelouses, habitats rocheux et zones humides. Les landes et forêts sont dominantes et les zones humides faiblement représentées (environ 5%), mais elles ont toute leur importance dans le fonctionnement hydrologique de la réserve et du bassin versant qui en découle. Parmi ces zones humides, une grande diversité de milieux tourbeux a été identifiée, dont la tourbière du Soularac, qui présente un bombement ombrothrophe relativement rare dans le massif Pyrénéen.

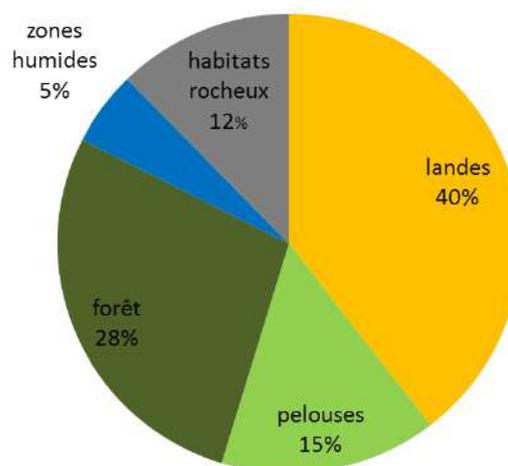


Figure 7 : part des différents milieux de la RNR (Laurent Servièrre, 2017)

Le versant nord de la RNR est caractérisé par une morphologie glaciaire. La tête du bassin versant est un cirque glaciaire ayant permis la formation d'étangs et du complexe tourbeux du Soularac, grâce à la formation de zones d'accumulation d'eau mais aussi à la présence de sources, cours d'eau et ruissellements. Des ombilics et replats topographiques succèdent au cirque glaciaire, c'est sur l'un de ces replats que la tourbière du Lasset a pu se former. La tourbière de la Grenouillère s'est formée grâce à la présence d'une cuvette lacustre.

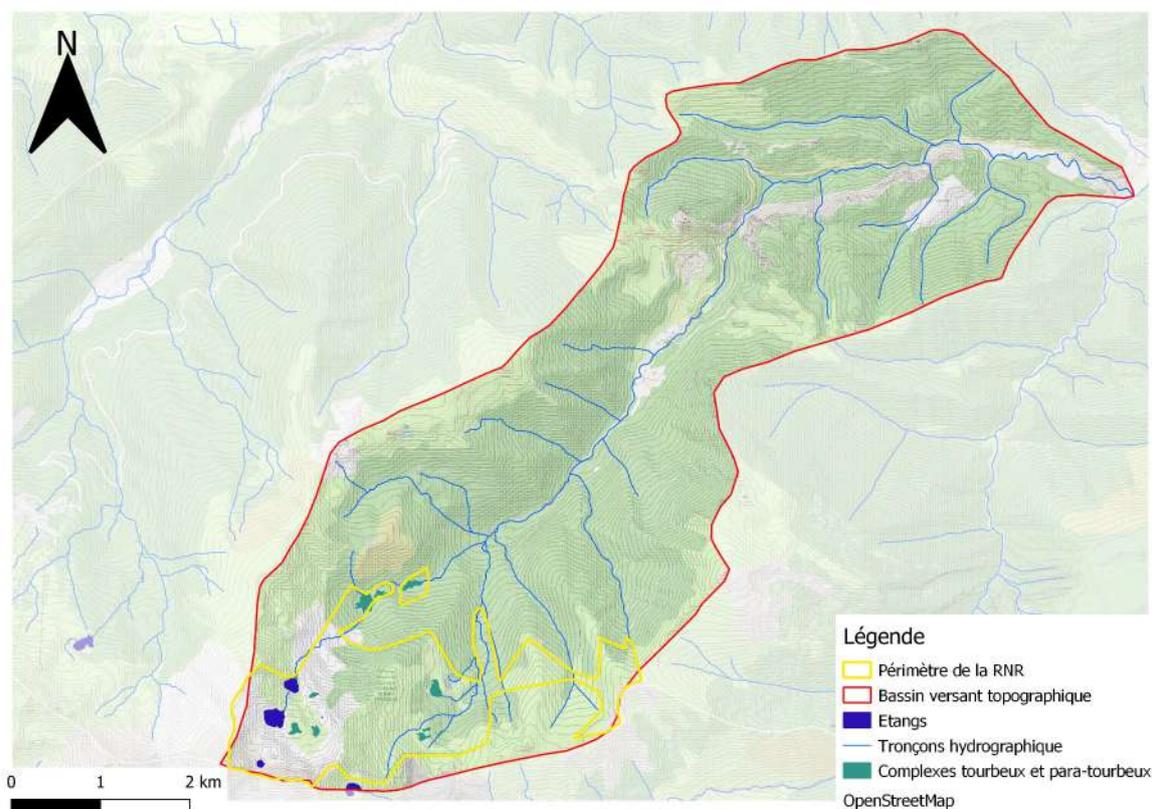


Figure 8 : les tourbières de la RNR au sein du bassin versant du Lasset

Deux cours d'eaux prennent source au sein de la RNR. Le cours d'eau du Lasset, prend source dans le cirque glaciaire, où se trouvent trois lacs et plusieurs milieux tourbeux et paratourbeux. Le Fontfrède, qui se jette en aval de la RNR dans le cours d'eau du Lasset, est alimenté par de nombreuses sources mais aussi l'exutoire de la tourbière de la Grenouillère. La position en tête de bassin versant des tourbières implique qu'elles ont un rôle dans le régime hydrique et la qualité de l'eau circulant en aval.

I – 2_c) Des complexes tourbeux uniques, riches en biodiversité

La singularité de la réserve est la présence d'un grand nombre de types de tourbières différentes : bas marais acides et alcalins (très petite surface, ne sont actuellement pas étudiés), tourbière de pente, de source, haute (relativement rare dans les Pyrénées), et le lac-tourbière de la grenouillère. Cette diversité est accentuée par leur exposition à des contextes climatiques différents liés à leur localisation à des altitudes différentes, et au sein de contextes géomorphologiques différents : la tourbière du Soularac étant située dans un cirque glaciaire exposée au nord, est sujette à un enneigement bien plus important que les autres tourbières, lui conférant des propriétés hydrologiques et floristiques particulières.

De plus, les tourbières de la RNR n'ont pas subi de perturbations anthropiques massives telles que des travaux d'extraction de tourbe, de drainage, ou encore de perturbations hydrologiques liées à la présence d'une station de ski. Ni les tourbières, ni leur bassin versant en aval n'ont fait l'objet d'aménagements. La tourbière du Soularac en particulier, est très faiblement anthropisée : les pratiques pastorales sont quasiment absentes du cirque glaciaire, seule la divagation occasionnelle d'un troupeau d'ovins est constatée et ne semble pas occasionner une fréquentation de la tourbière. Elle représente donc un véritable témoin de l'évolution naturelle des tourbières de milieux montagnards. Les autres complexes tourbeux font aujourd'hui l'objet de pratiques

pastorales, dont l'impact pourra être mieux connu grâce aux diverses études et l'évaluation de leur état de conservation.

Ces tourbières présentent une multitude d'habitats, dont certains sont d'intérêts communautaires comme les buttes à sphaignes colorées ou les radeaux à *Menyanthes trifoliata* et *Potentilla palustris*.

Ces habitats tourbeux et para-tourbeux spécifiques induisent le développement d'une flore inféodée au milieu pauvres et acides, dont certaines espèces rares présentent des enjeux patrimoniaux. L'une d'elles est protégée au niveau national : la Drosera à feuilles rondes ; et une autre l'est niveau régional : la Linaigrette vaginée.

En ce qui concerne les amphibiens, les espèces présentes sont communes : *Rana temporaria*, *Bufo spinosus* et *Lissotriton helveticus*, essentiellement. Bien que communes, ces espèces sont protégées au niveau national, la préservation de leur habitat est une priorité. Le Calotriton des Pyrénées (*Calotriton asper*), espèce endémique des Pyrénées, classée vulnérable sur la liste rouge des amphibiens de France métropolitaine, se trouve dans les cours d'eau en aval des tourbières. Cette espèce est très dépendante du régime hydrique et de la qualité chimique des cours d'eau, qui sont en partie liés au rôle fonctionnel des tourbières.

C'est également le cas du Desman des Pyrénées, espèce classée en danger sur les listes rouges mondiales et européennes, et vulnérable à l'échelle nationale. Les pièges à fèces positionnés pour détecter le Desman sur la RNR montrent que tous les ruisseaux et ruisselets inventoriés sont utilisés, et la quantité et la fréquence du marquage suggère la présence d'une population abondante de l'espèce.

Les tourbières accueillent une grande diversité d'invertébrés, dont certaines espèces ont une niche écologique très étroite comme *Leucchorinia dubia* et *Coenagrion hastulatum*. Elles accueillent également un grand nombre d'espèces liées aux zones humides comme *Stethophyma grossum*, orthoptère appréciant particulièrement les milieux tourbeux. Les tourbières sont également des milieux favorisés pour la présence de reliques glaciaires rares comme le Nacré de la Bistorte (rhopalocère protégé à l'échelle nationale).

La diversité et l'abondance de l'entomofaune font également des tourbières un milieu attractif pour l'alimentation de nombreuses espèces d'oiseaux et de chiroptères insectivores. Grâce notamment au lancement du projet Altichiro (projet d'amélioration des connaissances des chiroptères d'altitude dans les Alpes et les Pyrénées), une activité de chasse des chiroptères très importante au niveau des zones humides, notamment de la tourbière de la grenouillère a été détectée. Elle semble être une zone d'abreuvement et d'alimentation qui pourrait avoir une réelle responsabilité pour le maintien d'espèces montagnardes au sein de la RNR et ses alentours proches.

I - 2_d) Activités socio-économiques influençant la réserve et ses tourbières

➤ *Pastoralisme*

Les pratiques pastorales présentent de nombreux enjeux communs avec la gestion conservatoire des zones humides de la RNR : maintien de la ressource fourragère, des habitats et de leur fonctionnalité, limitation des dynamiques ligneuses ou herbacées, préservation de la qualité de l'eau... Pour les préserver, un plan de gestion pastoral a été mis en œuvre suite à l'actualisation du diagnostic pastoral des estives, réalisée en collaboration avec la Fédération Pastorale d'Ariège (FPA). L'objectif de ce plan étant de soutenir l'amélioration des pratiques pastorales et les fonctions trophiques et écosystémiques des milieux. Environ 200 bovins pâturent sur la partie basse de la réserve. Les écosystèmes aquatiques de la zone, comprenant les complexes tourbeux de la Grenouillère et du Lasset, ainsi que de nombreux cours d'eau, représentent une source d'abreuvement non négligeable pour les troupeaux qui peuvent y occuper des surfaces importantes. En principe, il n'y a pas de pastoralisme sur le cirque glaciaire, la tourbière du Soularac est donc préservée de cette pression, cependant on note la divagation de quelques troupeaux ovins environnants. La présence des troupeaux peut être source de nombreuses perturbations pouvant être bénéfiques :

- maintien de certains habitats grâce à l'influence de l'abrutissement

- formation d'une microtopographie favorable à la diversification du milieu et des gradients d'humidité, grâce au piétinement superficiel par les troupeaux
- maintien, grâce au décapage localisé, d'espaces favorables aux espèces pionnières des tourbières comme *Drosera rotundifolia* ou *Lycopodiella inundata*, ou certaines espèces faunistiques comme *Cordulia arctica*.

Cependant, le pastoralisme peut également avoir un impact négatif, si la charge pastorale est trop importante :

- compactage et tassement des sols, augmentation la minéralisation de la tourbe par retournement des horizons supérieurs et déstructuration ou destruction des formations de buttes à sphaignes, dégradation des berges... induits par le sur-piétinement. Ces perturbations peuvent ensuite entraîner une modification des communautés floristiques, des habitats faunistiques et une modification des écoulements de surface
- l'eutrophisation des sols et de l'eau par apports organiques et azotés des excréments, peut avoir des conséquences sur les communautés végétales et animales dépendantes de la qualité de l'eau, mais également des conséquences sanitaires sur les troupeaux liées à la consommation d'eau contaminée.
- abrutissement ou destruction d'espèces végétales patrimoniales.

Deux perturbations majeures ont été identifiées sur la réserve. Une piste carrossable conduit à la cabane pastorale située à proximité de la Grenouillère. Sa création a impliqué l'installation d'une buse sous l'exutoire de cette dernière, qui est à l'origine d'une discontinuité du cours d'eau rendant la tourbière inaccessible à certaines espèces. En 2022, le suivi de l'indice invertébrés multi-métriques (I2M2) a montré la présence d'une charge organique anormale sur le cours d'eau du Fontfrède en aval de la tourbière de la Grenouillère.

Dans ce cadre, des actions concrètes ont pu être mises en œuvre :

- amélioration des équipements pastoraux (notamment l'accès à l'eau avec l'installation d'abreuvoirs pour limiter l'accès des troupeaux aux zones humides)
- instauration d'un gardiennage des troupeaux avec l'embauche d'un vacher par le groupement pastoral de Montségur
- restauration des milieux agropastoraux (réouverture de milieux).

➤ Chasse

La chasse est peu pratiquée au sein de la réserve, elle y a cependant engendré le développement de populations denses de sanglier. Le retournement de la terre qu'ils pratiquent pour s'alimenter sont source de perturbations pouvant être bénéfiques ou néfastes. Sur la tourbière du Lasset où le retournement de larges zones est observé, une dégradation de certains habitats et une des modifications des lits des cours d'eau traversant la tourbière et observée. Cependant, il semble avoir également un impact positif grâce à l'effet d'étrépage ayant permis une dynamisation de la végétation.

➤ Pêche

La pratique de la pêche au sein de la RNR est concentrée sur les lacs et le cours d'eau du Lasset, avec une intensité modérée. Seuls quelques pêcheurs locaux remontent le cours d'eau jusqu'au complexe tourbeux. Depuis 2018 les lacs de la réserve ne sont plus empoisonnés. Cependant, population de Rotengle, espèce exogène pouvant entraîner un déséquilibre de la chaîne trophique, persiste dans la tourbière de la Grenouillère. Cette espèce se reproduit au sein de la tourbière alors que l'altitude élevée du site ne lui est pas favorable. Des actions de désempoisonnement par pêche électrique sont donc menées pour essayer d'éliminer, ou au moins éviter l'augmentation, de cette population.

➤ Autres activités de loisir

La RNR est fréquentée tout au long de l'année pour les activités de randonnée estivale et hivernale (raquettes et ski de randonnée). La station de ski des Monts-d'Olmes située à moins de 5km des limites de la réserve facilite l'accès à la RNR pour ces pratiques. Cette fréquentation est source de diverses perturbations : piétinement, feux, bivouac et déchets.... Celles-ci peuvent

entraîner une dégradation de la flore et le dérangement de la faune. La réserve a donc mis en place un plan de fréquentation et un plan de circulation pour assurer la protection du patrimoine de la réserve.

➤ *Le Tourisme*

La RNR est comprise dans le territoire de l'Opération Grand Site de Montségur qui est gérée par la Communauté de Commune du Pays d'Olmes (CCPO). Les OGS sont des outils mis en place par le ministère de la transition écologique pour orienter des territoires remarquables par leurs paysages et leur patrimoine culturel, vers une gestion durable du tourisme. Ils impliquent une valorisation du patrimoine culturel géologique, paysager et naturel. L'ANA-CEN Ariège est en charge des projets de l'OGS liés à la biodiversité via la RNR.

Les tourbières présentent un important enjeu culturel, il est primordial pour leur préservation de porter à connaissance la sensibilité de ces milieux, ainsi que leur valeur écologique et leurs services écosystémiques. La valeur touristique du territoire peut être une opportunité pour cet enjeu.

➤ *Exploitation de la carrière de talc de Trimouns*

La carrière de talc de Trimouns, plus grande carrière de talc du monde, se trouve en limite sud de la RNR. Elle est exploitée d'avril à octobre (période non enneigée) depuis plus de 20 ans. Son exploitation entraîne plusieurs pressions sur le territoire : risque de colmatage des cours d'eau, réduction des surfaces agro-pastorales, rupture de continuités écologiques, dérangement sonore... et l'impact paysager est évidemment marqué. La carrière de talc ne se situe pas sur le même versant que la réserve, elles sont séparées par des limites topographiques qui limitent les impacts environnementaux sur la RNR. Cependant il est possible qu'elle impacte le bassin contributif de la tourbière de la grenouillère, l'étude hydrologique permettra d'évaluer l'existence et l'importance de cet impact.

Des projets d'agrandissement de la carrière sont en cours, l'ANA-CEN Ariège est chargée de la gestion des zones compensatoires liées à cette extension. Cette gestion est étroitement liée à celle de la réserve avec des enjeux de maintien des continuités écologiques avec la RNR.



Figure 9 : périmètre de la RNR et de la carrière de talc de Trimouns

Le massif de Saint-Barthélémy présente un concentré de la diversité montagnarde et de ses enjeux, mais aussi des activités socio-économiques spécifiques à ces milieux malgré une apparente forte naturalité. Le contexte de la réserve traduit la diversité des enjeux liés aux tourbières et donc l'importance d'œuvrer pour leur conservation. La diversité des tourbières et de leurs contextes environnementaux, font de la RNR un site particulièrement intéressant pour l'étude des tourbières montagnardes et leur fonctionnement, notamment dans le contexte de changement climatique actuel. En effet, la position du massif sur la plaque Européenne, et la situation d'isolation des milieux et des espèces que cela induit, fait de la réserve un site sentinelle pour l'observation des effets des changements climatiques. L'étude interdisciplinaire de la fonctionnalité des tourbières, menée en collaboration avec de nombreux partenaires, dont plusieurs laboratoires de recherche, permet de répondre à l'objectif d'améliorer l'état de conservation et la fonctionnalité des tourbières de la RNR, en cohésion avec les activités socio-économiques du territoire ; mais aussi à l'objectif d'améliorer les connaissances scientifiques de ces milieux.

I – 2_e) La gestion des tourbières de la RNR

Le choix qui a été fait pour la gestion des tourbières de la RNR est de préserver leur fonctionnalité plutôt que leur patrimonialité. Compte tenu de l'apparente intégrité de ces milieux, du fait de la faible pression anthropique, bien qu'inégale selon les tourbières, la stratégie de gestion choisie est la libre évolution. Cette stratégie implique de comprendre en amont le fonctionnement des milieux sous tous leurs aspects avant d'intervenir pour la réduction ou la suppression d'une pression anthropique : il est indispensable de comprendre leur rôle dans la fonctionnalité éco-hydrologique du milieu avant d'agir sur ces dernières.

Face aux premiers déséquilibres observés sur la charge organique de la tourbière de la Grenouillère, des premières mesures ont été prises, notamment pour l'adaptation aux changements climatiques :

- installation d'un réseau d'abreuvoirs pour limiter la fréquentation des tourbières par les troupeaux et projet de mise en exclos de la tourbière de la Grenouillère
- réalisation de pêches électriques sur la tourbière de la Grenouillère avec la fédération des pêcheurs de l'Ariège dans le but d'éradiquer, ou au moins réduire la population de Rotengles de cette tourbière
- l'interdiction de quitter les chemins de randonnée balisés qui évitent les zones tourbeuses et limitent ainsi leur piétinement. La réglementation définit également les zones de bivouac et de feu autorisées enfin de protéger les zones sensibles et limiter l'impact de ses activités à des zones restreintes (figure 23)

L'étude des changements climatiques et leur impact futur sur les tourbières mène à une réflexion sur la nécessité de changer de stratégie de gestion pour le maintien de la fonctionnalité des tourbières de la RNR. En effet, la réalisation du diagnostic de vulnérabilité de la RNR face au changement climatique a permis de mettre en évidence une forte vulnérabilité pour les milieux tourbeux de la RNR qui sont sujets à une forte exposition, et présentent une forte sensibilité aux changements climatiques. Bien que des actions de gestion directe pour le maintien des conditions hydrologiques des tourbières soient difficilement envisageables, des restrictions plus fortes des activités anthropiques, qui risquent d'augmenter du fait de leur propre adaptation, pourraient atténuer les effets de l'assèchement des tourbières (Dumaine et al, en cours de publication). Une amélioration des connaissances du fonctionnement passé et actuel des tourbières est indispensable, afin de pouvoir évaluer les trajectoires futures de ces milieux.

II- Les tourbières, écosystèmes à enjeux multiples

II – 1_ Les écosystèmes tourbeux

II - 1_ a) Définitions

Une tourbière est une zone humide caractérisée par la formation de tourbe induite par l'accumulation de matière organique non dégradée. Cette accumulation est possible grâce à une saturation en eau (bilan hydrique positif) créant des conditions d'anoxie : c'est l'absence d'oxygène qui empêche la matière organique de se dégrader ((Triplet, 2022), (Epicoco & Viry, 2015), (Cholet & Magnon, 2010)). Les tourbières sont qualifiées d'éco-complexes car elles correspondent davantage à un réseau d'écosystèmes tourbeux qu'à un seul écosystème. Elles sont généralement formées de plusieurs unités fonctionnelles compartimentées (hauts-marais, bas marais...) avec des fonctionnements différents mais interdépendants : buttes, gouilles, tremblants, chenaux... (Cholet & Magnon, 2010).

Ces milieux ont une évolution lente, leur dynamique naturelle est une minéralisation progressive de la tourbe, permettant l'installation d'une flore vasculaire conduisant progressivement à la fermeture du milieu par l'installation d'une forêt. Cependant leur évolution peut être grandement accélérée face à des événements comme les sécheresses ou à des pressions anthropiques (Cholet & Magnon, 2010).

Il existe différents types de tourbières définis en fonction de leurs processus de formation et leur fonctionnement hydrologique actuel. Actuellement, selon leur processus de formation on admet la typologie simplifiée suivante :

- les tourbières ombrogènes : formation par l'accumulation de végétation tourbeuse alimentée par les eaux de pluie, le brouillard ou la neige
- les tourbières topogènes : situées dans des dépressions topographiques, elles se forment grâce à l'accumulation d'eau provenant de ruissellements et d'une nappe affleurante
- les tourbières limnogènes : formation par la colonisation d'une pièce d'eau par des radeaux végétaux
- les tourbières soligènes : formation par l'accumulation des eaux de ruissellement, de suintement ou de source. Elles sont généralement situées en tête de bassin versant.
- les tourbières fluviogènes : formation grâce à l'eau provenant de la nappe alluviale et des crues (Crassous & Karas, 2007).
- les tourbières anthropogènes : tourbières formées suite à une accumulation d'eau induite par la création de barrages ou au creusement de bassins (ex : bassin de pisciculture)(Cholet & Magnon, 2010).

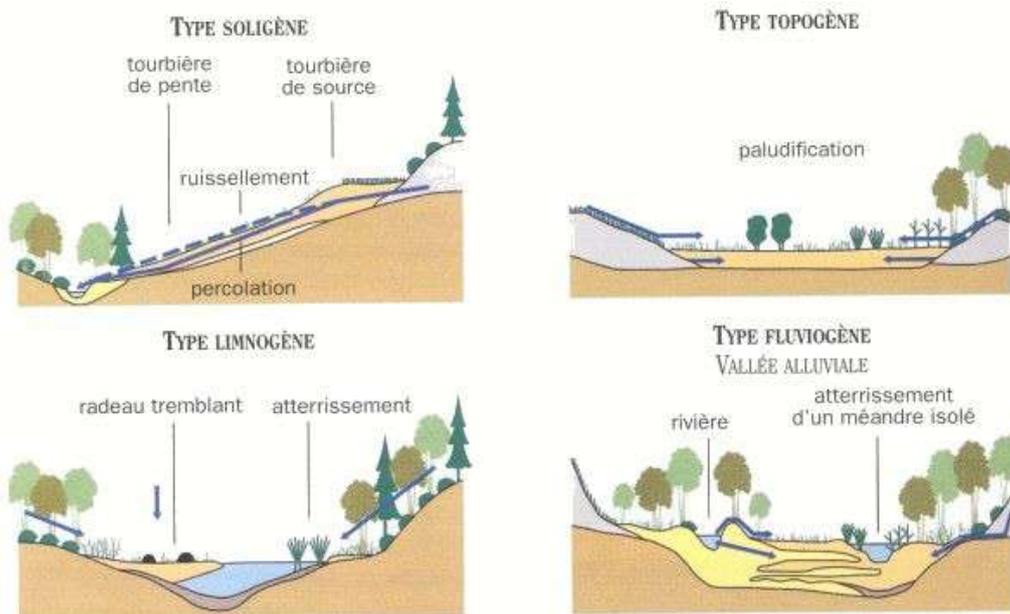


Figure 10 : Schémas du fonctionnement hydrologique des principaux types des tourbières (d'après G.M. Steiner, Manneville et al., 1999)

Et la suivante selon leur fonctionnement hydrologique actuel (Cholet & Magnon, 2010, Epicoco & Viry, 2015):

- **les tourbières ombrotrophes** (= tourbières hautes) : tourbières alimentées par les eaux de pluie non minéralisées et acides.
- **les tourbières minérotrophes** (= tourbières basses ou hauts marais) : tourbières alimentées par des écoulements superficiels, hypodermiques (dans le sol de surface) et/ou sous-terrains, qui se chargent en minéraux avant d'atteindre les tourbières. Selon les milieux traversés (substrat rocheux, pédologique, apports anthropiques) ces tourbières peuvent être acides ou alcalines.
- **les tourbières mixtes** (ombrotrophes + minérotrophes) : mosaïque de tourbières hautes et basses, ces tourbières sont alimentées par les écoulements et les eaux de pluie. C'est le type de fonctionnement qui est le plus fréquent. Les interactions entre les différents composants de ses tourbières sont mal connues : est-ce qu'un type se développe au détriment de l'autre ?

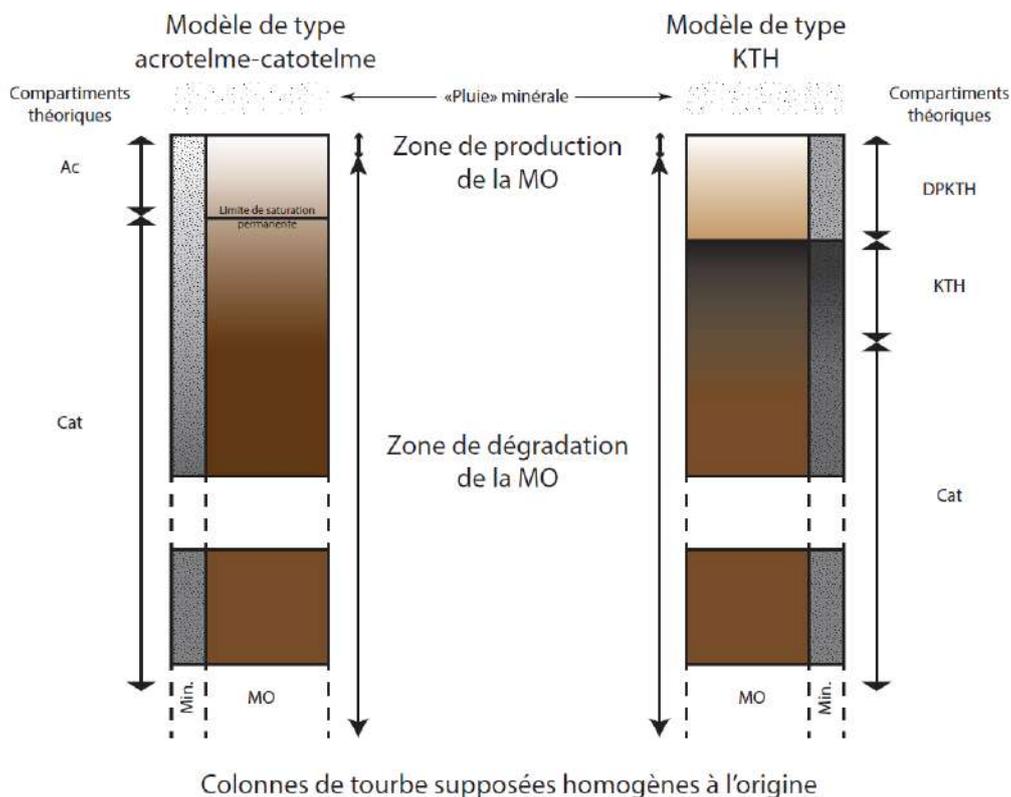
De même, la classification des tourbières dans ces catégories est bien souvent complexe. Par exemple une tourbière haute peut être le résultat d'une tourbière haute active ou de la dégradation d'un bas-marais ayant conduit à l'installation d'un bombement de sphaignes (Cubizolle, Goubet, & Manneville, 2020).

II - 1_b) La turfigénèse

La turfigénèse ou tourbification désigne le processus de formation de la tourbe. Elle ne se limite pas seulement à la formation de matière organique, elle correspond à un processus complexe de formation d'un sol tourbeux : l'histosol. Ce processus correspond à un bilan de production et de dégradation de matière organique et minérale en faible proportion. Les processus de formations ont lieu en surface (végétaux) et subsurface (racines), alors que les processus de dégradation se font sur toute la colonne de tourbe. La vitesse de formation de tourbe est extrêmement variable (Goubet, 2014).

Dans ces processus on admet deux types de structure de tourbe : système acrotelme-catotelme et les systèmes KTH (Kultureller TrockenHorizont). L'acrotelme correspond à la couche supérieur des tourbières, elle est soumise aux fluctuations de la nappe phréatique et se trouve donc périodiquement dans des conditions aérobies. La dégradation de la matière organique y est soumise à une dégradation plus rapide : les organismes vivants sont concentrés dans cette couche (<https://floraquebeca.qc.ca/acrotelme/>). Le catotelme, situé sous l'acrotelme, est la couche la plus épaisse, c'est là que s'accumule la matière organique, les processus de décomposition y sont très lents (<https://floraquebeca.qc.ca/catotelme/>).

Le concept de KTH est un concept récent qui ne fait pas l'unanimité au sein de la communauté scientifique. Il décrit un horizon particulièrement dense et sombre riche en particules minérales, se situant en surface ou en sub-surface. Il peut être couvert de végétaux peu dégradés qu'il sépare d'une couche de tourbe peu dense et saturé en eau en permanence. Le KTH se forme par un tassement de la tourbe induit généralement par des activités agropastorales (Goubet, 2016).



Ac: acrotelme
 Cat: catotelme
 KTH : kultureller Trockenhorizont
 DPKTH: dépôt postérieur au KTH
 MO: matière organique.
 Min. : taux de particules minérales

Figure 11 : modèles de structures pédologiques des tourbières (Goubet 2014)

La formation de tourbe est possible grâce à la présence de végétation turfigène correspondant à des espèces de sphaignes comme *Sphagnum capillifolium*, *Sphagnum russowii*, *Sphagnum papillosum*, *Sphagnum compactum*, mais aussi de flore vasculaire comme *Eriophorum vaginatum*. La flore vasculaire n'est pas à négliger car elle constitue un apport de matière organique de surface comme les sphaignes, mais aussi de subsurface avec leur système racinaire, qui est parfois majoritaire dans la tourbe (Wallén, 1986). Les processus de dégradation proviennent du lessivage des composés solubles par l'eau et de la dégradation par les bactéries et la fonge saprophytique. Il y a très peu de dégradation animale (insectes, vers...) dans les tourbières. La dégradation par les organismes saprophytiques intervient lorsque les conditions d'anoxie et d'acidité ralentissant l'activité de ces organismes sont altérées. La vitesse de la dégradation est dépendante des espèces végétales constituant la tourbe. La capacité de résistance de la dégradation des espèces est dépendante d'un grand nombre de paramètres : nature des composés (feuilles, tiges, racines...) du taux de phosphore et d'azote (qui facilitent la décomposition), et du taux d'acides polyuroniques (qui défavorise la décomposition). Les sphaignes sont considérées comme particulièrement résistantes à la décomposition (van Breemen, 1995). Il existe aussi au sein des parois de sphaignes des structures particulièrement peu dégradables par les micro-organismes (Verheoven et Liefveld, 1997). La vitesse de dégradation et donc dépendante de la submersion en eau, de la nature de la matière organique et de la micro-topographie.

II - 1_ c) L'hydrologie des tourbières

L'eau est une composante indispensable et indissociable des tourbières, c'est la disponibilité de l'eau qui détermine les dynamiques de turfigénèse et de dégradation de la tourbe, et ainsi les flux chimiques. On distingue pour les tourbières l'eau de surface et l'eau contenue dans la tourbe. On peut distinguer 3 types d'eaux dans la tourbe :

- eau libre : eau qui circule dans la tourbe
- eau liée (=eau retenue) : c'est l'eau qui entoure comme une gaine les éléments végétaux de la tourbe, elle est retenue par des forces statiques
- eau de constitution : eau contenue dans les cellules végétales

La part des différentes eaux est définie par le type de tourbe : très dégradée ou non, qui détermine la porosité de l'histosol. Cette porosité varie également en fonction de la pression (physique et atmosphérique) exercée sur ce sol, elle peut donc varier donc sur des temps courts. L'eau circule au sein de la tourbe, ce sont de mouvements lents qui se déroulent majoritairement dans la couche superficielle (5 premiers centimètres), mais aussi en profondeur en cas de présence de fissures liées à la sécheresse (Cholet & Magnon, 2010). La capacité de stockage confère aux tourbières un rôle déterminant sur le fonctionnement hydrologique des bassins versant. En effet elles jouent un rôle de tampon dans les dynamiques d'écoulement et de vidange des nappes. La capacité de stockage des tourbières est définie par leur forme, leur taille et leur épaisseur (Porteret, 2008).

Le fonctionnement hydrologique de surface est défini par le positionnement de la tourbière dans le bassin versant. Les tourbières de tête de bassin versant sont le point de départ d'un réseau hydrographique. Les tourbières de vallées sont souvent traversées par un ou plusieurs cours d'eau qui peuvent l'alimenter ou la drainer selon le niveau de la nappe, leur fonctionnement peut changer selon les saisons. Dans le cas des tourbières bombées, l'eau s'écoule du sommet du bombement vers la périphérie de la tourbière (Cholet & Magnon, 2010).

II - 1_d) La répartition des tourbières

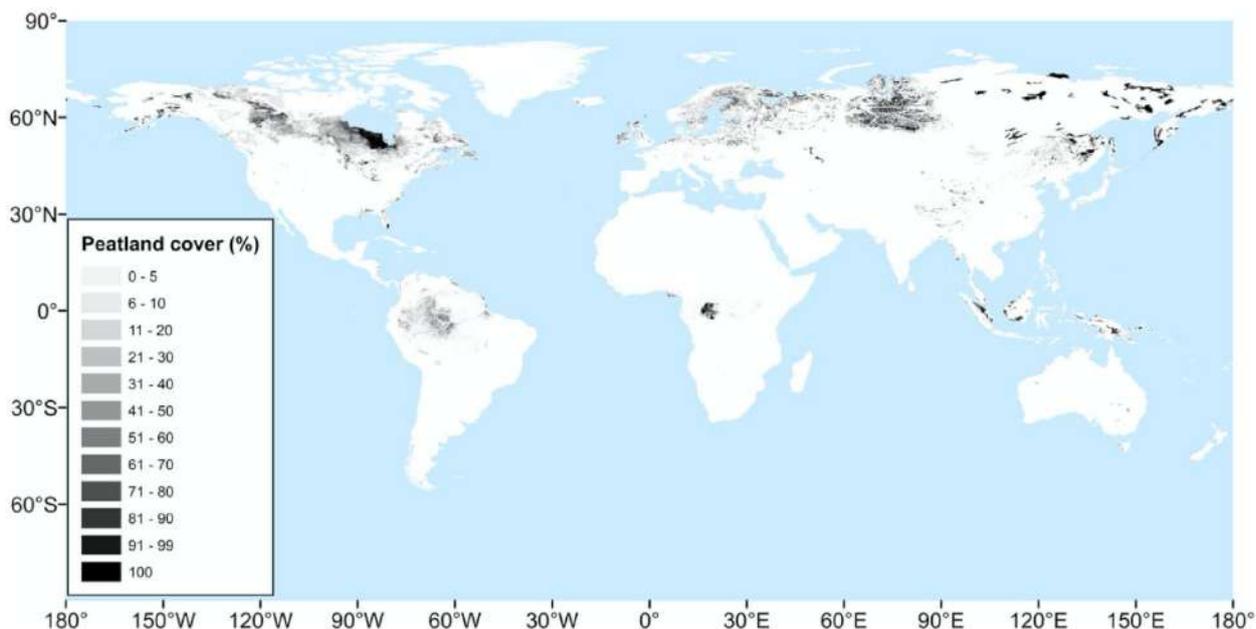


Figure 12 : répartition des tourbières dans le monde, (Xu & al , 2018)

Des tourbières sont présentes sur la quasi-totalité du monde. La présence d'écosystèmes tourbeux est dépendante d'une quantité suffisante en eau, sous forme de précipitations, écoulements ou brouillard, et d'une température suffisamment élevée pour la présence de végétation. Elle sont donc absentes seulement des zones arides et couvertes en permanence par la glace. Leur nombre est cependant plus important dans les zones boréales et tropicales où les conditions d'humidité sont particulièrement favorables.

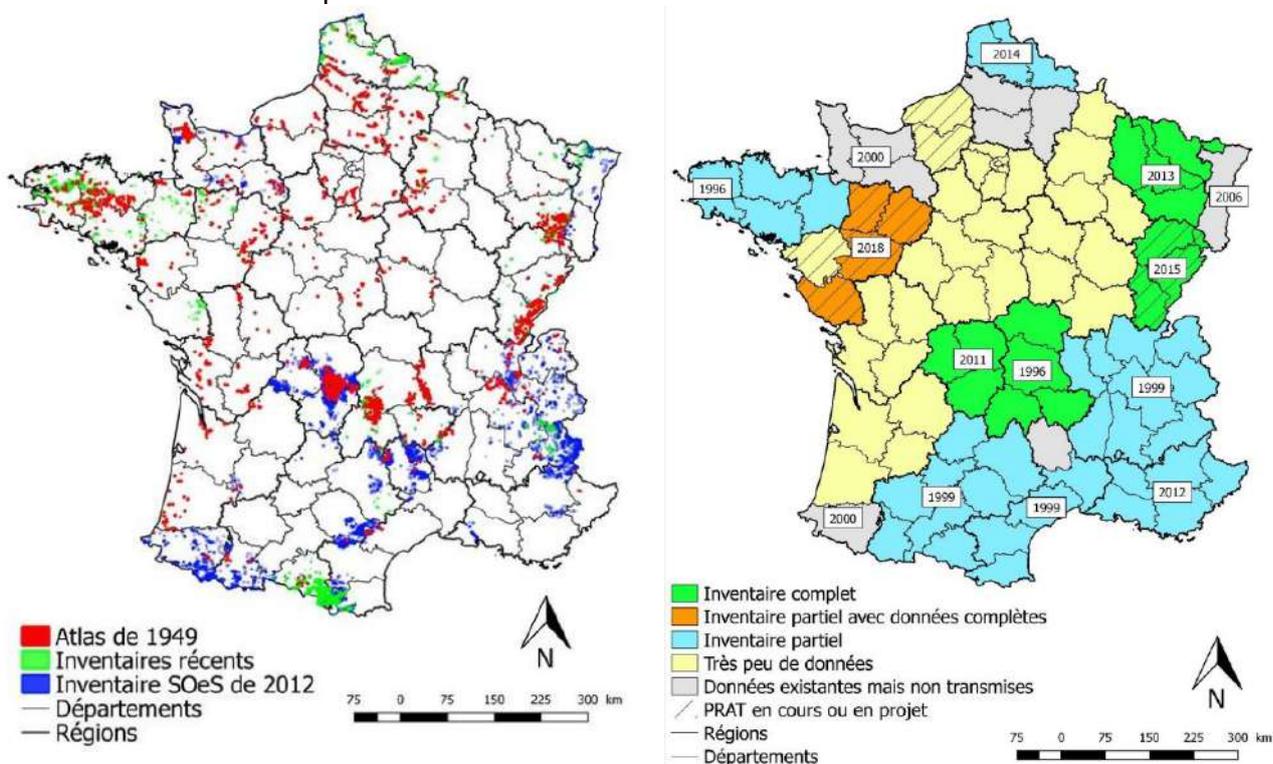


Figure 13 : répartition des tourbières et de leur connaissance en France (Pilloix, 2019)

La connaissance de la répartition des tourbières est aujourd'hui incomplète et inégale au sein du territoire : les principales connaissances sont issues de l'atlas des mines de 1949 qui avait pour but d'identifier les tourbières exploitables. C'est pourquoi les territoires montagnards ont fait l'objet

d'études récentes complémentaires (figure 15). Cependant, la carte de répartition provisoire montre une concentration particulièrement importante de ces milieux dans les environnements montagnards : la pluviométrie plus importante et les variations topographiques y sont particulièrement favorables à la formation des tourbières. Les territoires montagnards ont donc une réelle responsabilité pour la conservation des écosystèmes tourbeux à l'échelle nationale.

Une actualisation des données sur la répartition des tourbières en France est en cours dans le cadre de la thèse de Lise Pinault (université de Franche-Comté) qui vise à évaluer le stock de carbone représenté par les tourbières à l'échelle nationale.

A échelle plus locale, le Life-Nature « tourbière de Midi-Pyrénées » initié en 1995 a permis une amélioration de la connaissance de la localisation des tourbières et des usages dont elles font l'objet. En Ariège, un inventaire des zones humides a été mené par l'ANA-CEN Ariège et le PNR des Pyrénées ariégeoises qui a permis d'identifier également de nombreux complexes tourbeux.

II – 1_e) Un enjeu environnemental prioritaire

➤ Une biodiversité remarquable

Les tourbières, comme la grande majorité des zones humides sont des milieux particulièrement favorable au développement d'une biodiversité riche. Elles sont donc fréquentées par de nombreuses espèces communes des zones humides, mais aussi des espèces sténoèces adaptées aux conditions d'anoxie, d'acidité et d'oligotrophie des tourbières. Ces dernières accueillent donc une flore spécifique, dont certaines espèces sont particulièrement rares et protégées comme *Drosera rotundifolia* (Julve, 1996). La présence de cette flore spécifique induit également la présence d'une entomofaune spécialisée qui peut effectuer son cycle de vie uniquement en milieux tourbeux comme *Leucocohrinia dubia*, odonate pondant dans les tapis de sphaignes. La conservation de ces espèces dépend donc directement de la conservation des habitats tourbeux (BOUDOT & GRAND, 2017).

➤ De nombreux services écosystémiques

Les tourbières, de part leur fonctionnement ont un rôle important dans le régime hydrologique des bassins versants. Leur végétation (notamment les sphaignes dans le cas des tourbières acides) a une grande capacité de stockage d'eau, et la complexité de leur topographie permet de retenir de l'eau sous forme de gouilles, flaques... Elles peuvent donc ralentir et atténuer les phénomènes de crue (Cubizolle & al, 2020). Elle peuvent également avoir un rôle important à jouer lors de la période d'étiage : l'eau contenue dans les tourbières est relarguée plus progressivement dans la saison. Elles peuvent également jouer un rôle de filtration de l'eau, les végétaux retenant en partie les polluants.

L'absence de dégradation de matière organique induit une absence de libération du carbone qu'elle contient. Les tourbières stockent environ 25 % du carbone contenu dans le sol alors qu'elles ne représentent que 3 % de la surface mondiale (Loisel et al., 2021).

Cependant, lorsque les tourbières sont dégradées elles relâchent le carbone stocké dans l'atmosphère (Rosset et al, 2022). Actuellement il est estimé qu'environ 5 à 10 % des émissions de carbone d'origine anthropique provient des tourbières dégradées. La limitation des émissions de gaz à effet de serre est aujourd'hui une priorité pour atténuer l'intensité des changements climatiques. Or, les changements climatiques représentent eux-mêmes des pressions supplémentaires auxquelles les tourbières pourraient s'avérer particulièrement vulnérable du fait de la réduction de la ressource en eau (Loisel et al., 2021).

Les conditions d'anoxie et d'acidité empêchant l'activité de micro-organismes qui dégradent habituellement la matière organique, les dépôts de matière environnante ne sont que très faiblement pas dégradés. Les dépôts environnementaux qui se déposent à la surface de la tourbe sont emprisonnés au sein de cette dernière au cours des processus de turfigénèse. Leur étude peut donc traduire de la succession des espèces faunistiques et floristiques présentes dans le passé, et ainsi témoigner de l'évolution de l'environnement biotique et abiotique des tourbières. Elle peut notamment permettre d'identifier des événements brutaux : assèchements, incendies... Ces milieux sont donc de véritables archives naturelles, qui peuvent permettre de comprendre les dynamiques passées et leurs causes, et ainsi de mieux comprendre et appréhender les dynamiques actuelles et futures des écosystèmes (Githumbi, 2022).

II – 2_ L'étude des tourbières

II - 2_ a) L'important réseau d'étude des tourbières

La dynamisation de l'étude des tourbières a mené à la formation d'un important réseau d'expert, chercheurs et gestionnaires à plusieurs échelles.

➤ *Échelle internationale*

- International Peat Society (IPS) et International Mire Conservation Group (IMCG) : ce sont des réseaux de travail regroupant de nombreux pays qui sont dédiés à la centralisation des connaissances et données scientifiques, la mise en relation des experts et la participation à l'aide à la décision.

- projets Interreg : grâce à l'établissement de réseaux d'étude internationaux, plusieurs projets à large échelle ont été développés pour l'amélioration des connaissances et de la gestion des tourbières. En Europe, le projet CarePeat, faisant suite au projet PeatWarm, permet l'amélioration des connaissances sur les flux de GES des tourbières et de procéder à la restauration hydrologique de tourbières. L'objectif est de fournir une méthodologie unifiée pour l'évaluation du stockage et des flux de carbone, et de créer un label bas carbone pour les tourbières, permettant le financement de leur restauration par le biais du marché carbone.

- Le Life Anthropofens est un projet transfrontalier entre les Hauts-de-France et la Wallonie ayant pour but d'améliorer l'état de conservation des complexes tourbeux de ces territoires, avec notamment la mise en réseau des principaux acteurs de la gestion des tourbières du territoire.

➤ *Échelle nationale*

- Le Pôle Relais Tourbières (PRT), créé en 2001 est dirigé par la Fédération des Conservatoires d'Espaces Naturels (FCEN). Il a pour principaux objectifs de synthétiser les connaissances des milieux tourbeux, avec la veille des publications scientifiques, et de les porter à connaissance. Le PRT mène ces missions grâce à la publication de synthèses bibliographiques, et l'organisation de séminaires et colloques, qui permettent de créer un lien entre les chercheurs et gestionnaires travaillant sur ces milieux.

- Le groupe d'étude des tourbières (GET) est association loi de 1901 fondée en 1986, qui regroupe des scientifiques, naturalistes et gestionnaires d'espaces naturels, dans le but de mener des réflexions communes sur des retours d'expériences, portant sur la connaissance et la protection des écosystèmes tourbeux.

- Service National d'Observation tourbières (SNOt) est décliné de l'observatoire des zones critiques. Le SNOt dispose d'un réseau de sites labellisé par le CNRS et l'INSU en 2011, ils sont au nombre de quatre :

- tourbière de la Guette
- tourbière de Frasne
- tourbière de Landemarais
- tourbière de la Bernadouze (SEEGMA de l'OHM du Haut Vicdessos).

L'objectif du SNOt est d'élaborer des méthodes d'étude des stocks et flux de GES. Leur développement est mené au sein de tourbières ayant subi ou subissant encore des pressions anthropiques créant des dysfonctionnements : drainage (Guette et Frasne), extraction (Landemarais), pâturage (Bernadouze). Ils ont pour objectif d'intégrer prochainement de nouveaux sites : PNR des marais du Contentin et PNR de Brière. Le SNOt étant un service, les données produites sur les sites pilotes sont mises à disposition grâce à un système d'information accessible en ligne.

- Plateforme nationale milieux humides : créée en 2019 et animée par le Forum des marais Atlantiques, cette plateforme a pour objectif de banqueriser les données existantes à l'échelle nationale sur les zones humides en général. On peut donc également y trouver des informations spatiales sur les tourbières : localisation, pré-localisation... et localisation des sites faisant l'objet de suivis et d'études. Cette base de données est disponible par visualisation en ligne ou avec un logiciel cartographique grâce à des flux wms.

➤ *Échelle biogéographique*

- le Life "Réhabilitation des services écosystémiques des tourbières du Jura face aux changements climatiques" est un projet initié en 2022 qui durera jusqu'en 2029. Il donne suite au Life "Réhabilitation fonctionnelle des tourbières du massif jurassien franc-comtois", mené de 2014 à 2020, qui avait pour objectif la réhabilitation fonctionnelle d'un grand nombre de tourbières du massif. L'objectif de ce second Life est de réduire les émissions de GES provoquées par la dégradation des tourbières en restaurant leur fonctionnement hydrologique.
- Le projet de recherche CIMaE est porté par l'association FNE Haute-Savoie, il a pour but d'étudier les effets des changements climatiques sur les zones humides d'altitude du massif Pyrénéen et des Alpes.
- Le projet REPLIM est un projet porté par l'OPCC qui a pour but d'améliorer les connaissances des processus biotiques et abiotiques des lacs et tourbières des Pyrénées nécessaires à la gestion et la conservation de ces milieux dans un contexte de changement climatique. Le projet consiste donc au déploiement d'un réseau de surveillance de l'évolution de ces milieux face au changement climatique.

Un projet de création d'Observatoire Pyrénéen des Tourbières Sentinelles a été initié en 2021 : il regroupe une multitude de structures travaillant à l'étude des milieux tourbeux Pyrénéens : ANA-CEN 09, Andorra Research + Innovation (ARI), laboratoires de recherche impliqués en Ariège et en Andorre notamment dans l'Observatoire Homme-Milieu (OHM) Pyrénées-Haut Vicdessos (CHYN, GEODE, ECOLAB, OSUC, OSUR, IPREM), l'Observatoire de la Zone Critique (OZCAR) dont le SNOt et l'Observatoire Pyrénéen du Changement Climatique. L'objectif de cet observatoire est d'étudier davantage le fonctionnement de ces milieux et leur vulnérabilité en contexte de changement climatique. Pour cela, grâce à la création d'un projet Life, un réseau de sites sentinelles et de sites pilotes sera déployé, selon un gradient altitudinal et un gradient climatique (d'Est en Ouest), sur lesquels des paramètres de suivis communs seront étudiés. L'objectif étant d'acquérir des données hautes-fréquences et standardisées dans les différents domaines d'études nécessaires à la compréhension et au suivi de l'évolution des milieux tourbeux.

II - 2_ b) L'évolution de l'étude des tourbières

L'étude de la faune et de la flore est généralement centrale dans le métier des gestionnaires d'aires protégées. Or, une augmentation de biodiversité, qui pourrait sembler positive, peut être induite par une diversification de micro-habitats résultant de phénomènes d'atterrissement et de minéralisation synonymes d'altération de la tourbe. La tourbière perd dans ce cas ses autres rôles : régulation hydrique, stockage de carbone... Une tourbière peut, au contraire, présenter un bon fonctionnement hydrologique et pourtant n'accueillir qu'une faible diversité, cela peut être observé par exemple dans le cas de discontinuités écologiques. Elle rend dans ce cas tout de même de nombreux services écosystémiques et présente ainsi tout autant d'enjeux de conservation (Cholet & Magnon, 2010).

Les techniques d'acquisition des connaissances de ces milieux ont grandement évolué au fil du temps (Collectif, 2023). Alors que précédemment les tourbières étaient majoritairement étudiées comme des écosystèmes fermés isolés, elles sont aujourd'hui considérées comme un écosystème complexe, c'est à dire comme un ensemble de milieux dont les fonctionnements sont interdépendants. Aujourd'hui, la prise en compte du bassin versant en amont, et des alentours des tourbières est considéré comme indispensable pour l'étude de leur fonctionnalité et leur état de conservation. La fonctionnalité est aujourd'hui placée au centre de l'étude des tourbières. Une approche pluridisciplinaire est indispensable pour prendre en compte l'ensemble des facteurs biotiques et abiotiques influençant les tourbières (Cholet & Magnon, 2010), (Figure 14).

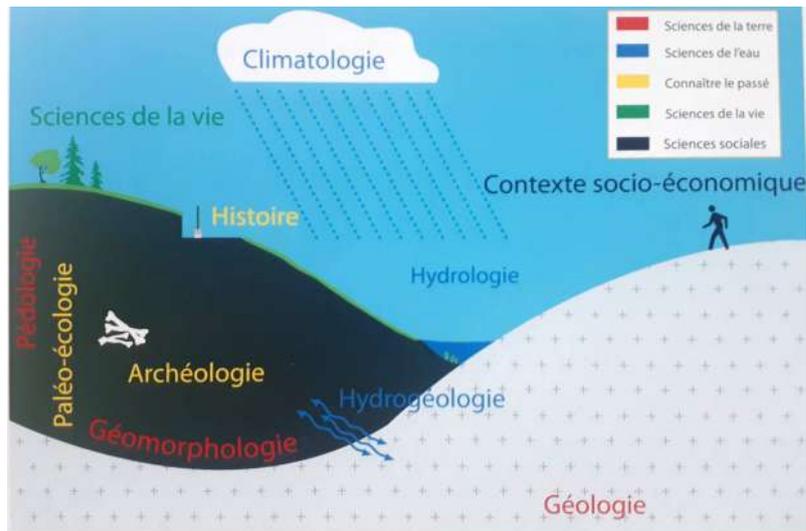


Figure 14 : disciplines nécessaires à l'étude des tourbières (Cholet, 2010)

➤ *Biologie*

De nombreux indicateurs biologiques interviennent dans l'évaluation de l'état de conservation et de fonctionnalité des tourbières. L'intégrité des cortèges d'espèces inféodées aux milieux tourbeux traduit le maintien de leurs spécificités et donc leur état de conservation. Les tourbières sont des milieux complexes qui ne peuvent pas être caractérisés uniquement avec les taxons classiquement étudiés au sein des zones humides (amphibiens, odonates, flore...). En effet, certains taxons dont l'étude est plus complexe comme les bryophytes, les algues, les amibes à thèque, les champignons, les bactéries... ont un rôle clé dans le fonctionnement des tourbières. Ces communautés ont généralement une réponse plus rapide face à des perturbations des milieux et pourraient permettre d'anticiper la réaction des autres communautés (flore, macro-faune) plus lentes (Cholet, 2010).

➤ *Géologie*

Les caractéristiques géologiques locales, à proximité directe des tourbières sont déterminantes. Le support des tourbières influence la perméabilité de ces dernières. Leur connaissance est indispensable à la compréhension des raisons de la formation des tourbières ainsi qu'à leur fonctionnement hydrologique actuel.

➤ *Pédologie*

L'histosol (sol formé par l'accumulation de tourbe) est un témoin des dynamiques de turfigénèse passées : des strates de tourbe brune ou noires traduisent une minéralisation temporaire, alors que des strates de tourbe claires et fibreuses traduisent une décomposition ralentie et/ou une production active de tourbe. L'étude de la succession de ces strates en lien avec les contextes environnementaux passés permettent d'évaluer les perturbations subies par les milieux par le passé ainsi que leurs réponses à ces perturbations (Servière, 2021).

➤ *Paléoécologie*

Les tourbières sont de véritables archives naturelles. Les conditions d'anoxie et d'acidité assurent la conservation des éléments de l'environnement qui se déposent dans les tourbières. Les macro-restes et des pollens conservés dans la tourbe sont d'excellents indicateurs de l'évolution de l'environnement des tourbières et des perturbations naturelles (incendies, sécheresses...) ou anthropiques (pâturage, brûlage, drainage...) auxquelles elles ont pu être soumises par le passé (Githumbi, 2022).

➤ *Hydrologie*

La présence d'eau est primordiale pour le fonctionnement des tourbières. L'état de conservation et de fonctionnalité des tourbières y est directement lié. Ainsi la compréhension des processus hydrologiques et leur variation au cours du temps déterminant la quantité et la qualité de l'eau du

milieu est indispensable pour leur gestion. Une tourbière en bon état de fonctionnement ne devrait pas présenter des variations de niveau d'eau excédent 30 cm. A partir de 40-50cm de baisse de niveau d'eau, il est considéré qu'une tourbière est en difficulté hydrologique (Lindsay & al, 2019).

➤ *Chimie*

Les flux chimiques dans les tourbières sont complexes et encore mal compris. Or, les phénomènes d'eutrophisation liés au phosphore, mais également potentiellement au calcium et à la quantité d'azote contenue dans l'eau, doivent être pris en compte dans l'étude de l'état de conservation des tourbières. Les études des flux de carbone sont elles nombreuses car le rôle de stockage de carbone présente un grand intérêt pour l'homme dans la régulation des changements climatiques, cependant leur caractérisation demeure difficile : méthodes coûteuses, demandant des moyens techniques et humains importants (Collectif, 2023).

➤ *Climatologie*

Le climat est un des facteurs dominants de la disponibilité en eau. L'étude du climat passé, associée à l'étude des dynamiques de turfigénèse passées, permet d'évaluer les réponse d'un milieu tourbeux face à des variations climatiques ; et ainsi de mieux appréhender l'impact que pourraient avoir les changements climatiques futurs avec l'étude des projections climatiques.

➤ *Socio-économie*

Comme pour la grande majorité des espaces « naturels », l'homme participe à l'évolution des tourbières et parfois même à leur création. Les dynamiques de turfigénèse, d'atterrissement ou de fermeture des milieux peuvent être grandement influencées par les activités humaines comme l'extraction de tourbe (plus vraiment d'actualité en France) ou le pastoralisme. L'étude des pratiques passées associés aux études pédologiques et paléoécologiques des tourbières permettent d'appréhender la réponse des tourbières à ses activités. L'étude des activités actuelles est indispensable à l'établissement de mesures de gestion adaptées aux tourbières : des pratiques comme le pastoralisme peuvent dégrader les tourbières ou au contraire assurer leur maintien. Il est indispensable de connaître le contexte socio-économique des milieux pour mieux comprendre l'impact des activités humaines sur les tourbières, mais aussi pour permettre l'intégration des mesures de gestion et/ou restauration dans le territoire.

Il demeure de nombreuses lacunes dans les connaissances sur les boucles de rétro-actions existant entre les différents paramètres biotiques et abiotiques. Ces lacunes doivent être convenablement prises en compte pour l'étude, le suivi et la gestion des milieux tourbeux. C'est pourquoi le principe de précaution est de rigueur et que la collecte d'un maximum de données est d'actualité. La réalisation d'études complètes des tourbières demande donc la disponibilité d'un grand nombre de compétences que de nombreuses structures gestionnaires ne possèdent pas en interne, d'où l'importance de la création des réseaux d'étude des tourbières.

II - 3_ Des outils de référence pour l'évaluation de l'état de conservation des tourbières

L'état de conservation est le résultat d'un ensemble de facteurs biotique et abiotiques, dont résultent la **structure**, la **composition** et la **fonctionnalité** du milieu. Il est considéré comme favorable si sa structure et les fonctions nécessaires à son maintien ou son extension, et à la survie des espèces qui lui son inféodées, sont maintenues (Triplet 2022, Epicoco 2015). Le diagnostic de l'état de conservation est établi par comparaison à un état de référence.

La structure correspond à l'organisation spatiale et temporelle des individus et communautés faunistiques et floristiques d'un écosystème. La composition correspond à la diversité de ces éléments et leur représentativité au sein de l'écosystème (Triplet, 2022). Ces deux paramètres sont faciles à caractériser par le biais d'inventaires faunistiques et floristiques.

La fonctionnalité correspond à l'ensemble des fonctions écologiques d'une composante qui permettent d'assurer le maintien de son rôle dans un écosystème. Pour les habitats, la

fonctionnalité correspond à leur rôle à plusieurs échelles : production primaire, réservoir de biodiversité/corridor écologique, zone refuge... qui sont assurés dans le cas des tourbières par les flux de matière, notamment de l'eau et sa qualité : ils permettent le maintien de la qualité des conditions permettant la réalisation d'une partie ou de l'ensemble du cycle de vie des espèces inféodées à cet habitat (Triplet, 2022, Collectif, 2021).

La caractérisation de ces éléments étant complexe, des méthodologies ont été développées proposant des indicateurs de suivi validés scientifiquement.

➤ *La boîte à outils RhoMéO (Collectif, 2014)*

Le programme RhoMéO, porté par le CEN Rhône-Alpes, a été initié en 2009 sur le territoire Rhône-Méditerranée pour répondre aux politiques locales (Directive Cadre sur l'Eau (DCE), Plan National en faveur des Zones Humides (PNAZH), SDAGE) de non dégradation des zones humides, pour lesquelles le suivi de leur l'état de conservation est nécessaire. L'objectif de ce programme était de développer une méthodologie reproductible, avec la sélection par un comité scientifiques d'indicateurs validés scientifiquement, et de mettre à disposition des outils opérationnels pour son application. La boîte à outils RhoMéO a donc été créée. Elle regroupe des fiches descriptives des indicateurs de suivi, des fiches techniques pour l'application des protocoles de collecte de données et pour le calculs des indicateurs, ainsi qu'une calculatrice permettant de réaliser ces calculs de manière automatique. La robustesse scientifique de la boîte à outil est démontrée et unique en ce qui concerne l'évaluation de l'état de conservation des zones humides.

Depuis 2013, d'autres bassins versants ont déployé cette boîte à outils en travaillant d'abord à son adaptation : création des listes d'espèces de référence et adaptation de la calculatrice (exemple de LigéO sur le bassin de la Loire). Depuis 2009, la FCEN est porteuse le programme MhéO qui vise à assurer la partage et l'harmonisation des suivis et de l'évaluation des fonctions des zones humides à l'échelle nationale, c'est une des actions du PNAZH. Dans ce même but, le Service d'Administration National des Données et Référentiels sur l'Eau (SANDRE) œuvre à la création d'un dictionnaire d'acquisition des données de pré-localisation, d'inventaire et de suivi des zones humides, qui reconnaît la validité protocoles et indicateurs RhoMéO.

Un travail a été initié pour adapter la boîte à outils au territoire Adour Garonne en 2022, permettant aujourd'hui d'avoir des listes d'espèces de référence adaptées pour le calcul d'indicateurs reposant sur des listes de référence. Il n'existe cependant pas encore de calculatrice adaptée.

La BAO permet d'obtenir un total de 13 indicateurs. Une classification des milieux a été établie pour une sélection optimale des indicateurs (Annexe 1 : classification des milieux humides). Les milieux concernés par l'étude sur les complexes tourbeux de la RNR sont des tourbières acide (7.2 dans la classification), 12 indicateurs sur les 13 existants sont adaptés à leur étude. Cependant tous les indicateurs ne sont pas pertinents pour l'étude des tourbières en contexte montagnard, et la boîte à outils RhoMéO ne prend en compte que peu d'éléments de fonctionnalité (l'objectif étant que l'outil soit accessible financièrement et à des non-spécialistes), d'autres indicateurs développés plus spécifiquement pour les milieux tourbeux existent et sont notamment référencés dans la méthodologie d'évaluation de l'état de conservation (EEC) des tourbières du MNHN (Epicoco & Viry, 2015).

➤ *La méthodologie d'EEC du MNHN (Epicoco & Viry, 2015)*

La méthode d'EEC a été développée par le MNHN dans le cadre de la création de protocoles uniques pour l'EEC des habitats d'intérêt communautaires. C'est un des éléments qui doit être obligatoirement renseigné dans les rapports à la commission européenne au titre de l'application de la Directive Faune Flore et Habitats (Epicoco & Viry, 2015). Cette méthodologie propose une liste d'indicateurs et des clés pour leur interprétation. Une première sélection d'indicateurs avait été menée par la réalisation de recherches bibliographiques, de manière à représenter les signes de dégradation ou d'amélioration de l'état de conservation des tourbières. Ces indicateurs ont ensuite été testés sur plusieurs sites situés dans le Parc Naturel Régional (PNR) du Ballon des Vosges et au sein du PNR des Pyrénées Catalanes. Ces deux étapes ont permis d'aboutir à une sélection d'indicateurs dont la validité scientifique et la représentativité des l'état de conservation des tourbières est prouvée (Epicoco & Viry, 2015).

II – 5_ Les missions

II – 5_a) L'indispensable amélioration des connaissances des tourbières

La nécessité d'adapter les pratiques de gestion des tourbières pour favoriser leur conservation est évaluée grâce aux connaissances de ces milieux et de leur état de conservation. Dès la création de la réserve des études et des collectes de données ont été menées à cet effet. Cependant, la création de la RNR étant récente, les nombreux éléments de connaissance n'ont pas encore été analysés.

L'évaluation de la fonctionnalité d'un écosystème est complexe, notamment pour les milieux tourbeux pour lesquels la caractérisation des flux relève encore de questions de recherche. Cependant leur étude est indispensable si l'on veut évaluer l'état de conservation du milieu sans en avoir une vision erronée (Cholet, 2010). C'est pourquoi, après la sélection de quelques indicateurs de fonctionnalité simples, la réalisation d'études par des bureaux d'études experts a été demandé, et l'inclusion des tourbières dans des programmes de recherche a été favorisée.

La synthèse des connaissances et l'analyse critique des indicateurs sélectionnés après la première EEC est cruciale pour identifier la pertinence des indicateurs, mais aussi les manques de connaissances qui persistent sur les tourbières de la réserve et qui seraient nécessaires à l'adaptation des pratiques de gestion, notamment dans une démarche d'adaptation aux changements climatiques.

C'est pourquoi le travail présenté vise à répondre aux questions suivantes : **Quel est l'état de conservation des principaux complexes tourbeux de la RNR du massif de Saint-Barthélemy ? Les indicateurs sélectionnés sont-ils pertinents pour cette évaluation et le suivi à long terme de l'état de conservation de ces milieux ?**

II – 5_b) L'organisation des missions

Le sujet des tourbières est complexe, leur étude nécessite d'acquérir des compétences dans de nombreux domaines : écologie, hydrologie, pédologie... et de se familiariser avec les outils disponibles pour leur étude. Une première phase importante de bibliographie est donc nécessaire.

La seconde phase est la synthèse des connaissances par la rédaction d'une synthèse des rapports d'études réalisés sur les tourbières de la réserve.

Après ces phases d'acquisition de connaissances, la réalisation de l'EEC peut-être commencée avec dans un premier temps la compilation des données disponibles afin de pouvoir identifier et planifier la collecte de données complémentaires.

Ces collectes de données complémentaires sur le terrains sont ajoutées aux missions d'accompagnement des scientifiques sur la réserve pour la collecte des données nécessaires à leur programme de recherche.

Les indicateurs sont ensuite calculés et analysés à l'aide des méthodologie proposées par la boîte à outils RhoMéO et la méthodologie d'EEC du MHNH.

Pour finir, la pertinence des indicateurs est évaluée grâce à l'analyse de leurs apports et limites.

Tableau 2 : calendrier prévisionnel

	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août
1_Bibliographie						
Tourbières						
Conservation						
Fonctionnalité						
Indicateurs						
2_Synthèse des études						
Hydrologie (Agerin)						
Hydrologie (CHYN)						
Bryologie (CBNPMP)						
Paléoécologie (Cabinet Goubet, paléobotab)						
3_Collecte de données						
Cartographie zones dégradées						
Hydrologie, mission (CHYN)						
Pédologie						
4_Traitement des données						
Compilation des données disponibles						
Adaptation de la calculatrice MÉO						
Calcul des indicateurs						
Analyse						
Etude de la pertinence des indicateurs						
5_Rédaction						
Etat de l'art						
Mémoire						
Préparation soutenance						
Formations						
Journées techniques Carepeat						

III_ Matériel et méthode

Chaque tourbière a son fonctionnement hydrologique, biogéochimique et son rythme de turfigénèse propre, il est donc nécessaire dans le cadre de cette étude de considérer les spécificités de chacune en reproduisant le même protocole sur les différents éco-complexes.

III – 1_ Les tourbières étudiées

Parmi la multitude de milieux tourbeux identifiés sur la réserve, trois éco-complexes ont été identifiés comme prioritaires pour faire l'objet d'un suivi : la tourbière du Soularac, le complexe tourbeux du Lasset et la tourbière de la Grenouillère (Figure 15 : localisation des sites tourbeux de la RNR inclus dans l'étude). Le complexe du Lasset regroupe de nombreux habitats de zones humides, dont un bas-marais présentant une accumulation de tourbe inégale 30 à 70cm. Cependant sa classification comme tourbière a été remise en question du fait notamment de sa faible épaisseur de tourbe et de sa morphologie. Elle pourrait être décrite comme un placage tourbeux, ayant une faible capacité d'accumulation de tourbe (dire d'expert, Daniel Gilbert). Cependant le complexe du Lasset présente des caractéristiques (acidité, accumulation de matière organique, hygrométrie...), et des enjeux écologiques et fonctionnels communs aux tourbières qui justifie l'importance de son étude. Elle est donc appelée « complexe tourbeux » pour éviter toute confusion, et son état de conservation est évalué de la même manière que les autres tourbières.

La délimitation des zones étudiées repose sur la cartographie des habitats de la réserve : on considère que, compte tenu des plans d'échantillonnages créés pour représenter les différents habitats des tourbières, les résultats obtenus sont représentatifs de l'évolution de l'ensemble des éco-complexes. La cartographie des habitats de la tourbière du Soularac ayant été finalisée au cours du mois de juillet 2023, les contours présentés dans cette partie sont plus larges que les habitats tourbeux en tant que tel.

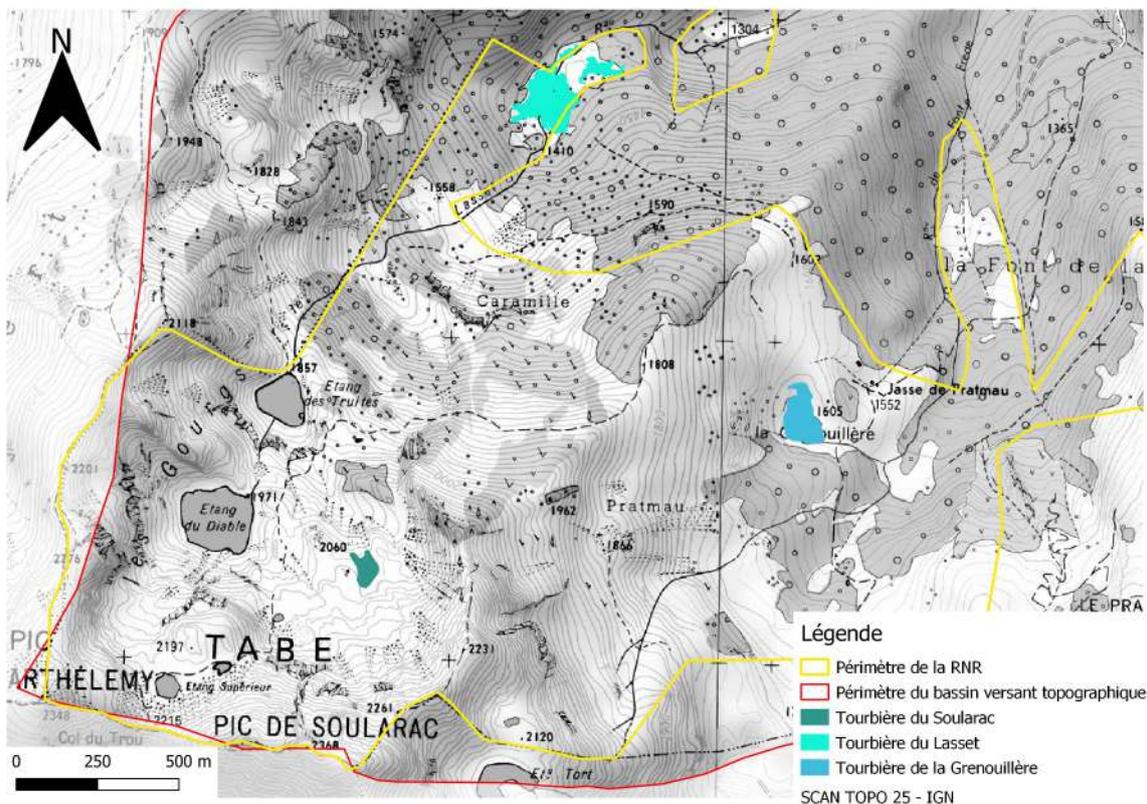


Figure 15 : localisation des complexes tourbeux de la RNR inclus dans l'étude

La définition de la zone d'étude du complexe tourbeux du Soularac a posé de nombreuses questions. Un ensemble de milieux tourbeux et para-tourbeux morcelés, comprenant des entités

de petites tailles, avec une diversité de fonctionnements se situe dans le cirque glaciaire : bas marais, habitats para-tourbeux, laquets, et notamment la tourbière bombée. Il était, dans un premier temps, question de considérer ces unités comme faisant parti d'un ensemble pour deux raisons :

- leur localisation à faible distance les unes des autres et au sein du même cirque glaciaire font qu'elles ont le même bassin contributif
- du fait de leur petite taille et de l'absence d'eau libre sur certaines unités, la caractérisation de l'état de conservation ne pourrait pas être possible avec l'ensemble des indicateurs applicables sur les autres tourbières de la réserve.

Cependant, la collecte de données n'est pas homogène. Il semble plus juste de ne pas extrapoler les résultats de la tourbière bombée, à un ensemble d'unités pour lesquelles il n'y a que très peu de données (pas de données pédologiques, floristiques et hydrologiques sur les autres unités).

Le complexe tourbeux du Lasset et la tourbière de la Grenouillère étant des ensembles continus, ont fait l'objet d'acquisition de données homogènes et peuvent être considérées dans leur ensemble.

Ces trois complexes tourbeux sont représentatifs de la diversité des habitats tourbeux de la RNR et permettront, à long terme, de suivre l'évolution de différents types de tourbières, situées à différentes altitudes.

III – 2_ Les études menées

L'opportunité s'est présentée sur la RNR d'approfondir les connaissances sur la fonctionnement des tourbières, grâce au travail de collaboration avec différentes structures expertes et laboratoires de recherche. Les méthodes utilisées sont décrites brièvement mais ne sont pas détaillées dans ce mémoire, puisqu'elles ont fait ou feront l'objet de publications ultérieurement. Une synthèse des résultats est présentée pour l'appréhension du fonctionnement et de l'état de conservation des tourbières dans leur ensemble.

III – 2_a) Études hydrologiques

Actuellement, le fonctionnement hydrologique des tourbières est davantage étudié grâce au laboratoire CHYN (université de Neuchâtel), qui travaille à la modélisation des écoulements d'eau souterraines du bassin du Lasset. La collecte des données pour la mise au point du modèle a été initiée en 2020, et s'est poursuivie au cours d'une mission au mois de juillet 2023, à laquelle j'ai pu participer. Les données obtenues à ce jour permettent de confirmer les résultats de simulation du premier modèle développé. Bien qu'ils soient cohérent avec les observations sur le terrain, la calibration du modèles est toujours en cours de finalisation grâce aux données complémentaires acquises au cours de la mission du CHYN de 2023 : topographie de la roche mère (mesures de résistivité), physico-chimie des eaux des tourbières et des sources qui les alimentent, étude des isotopes dans l'eau et la végétation, et suivi des régimes hydrologiques des nappes et cours d'eau (stations hydrologiques et piézomètres). Les résultats de modélisation présentés dans ce mémoire ne sont donc pas définitifs, mais permettent d'illustrer des premiers éléments de compréhension du fonctionnement hydrologique des tourbières de la RNR.

Le modèle hydrogéologique 3D de la zone d'étude est développé à partir du logiciel MODFLOW (USGS, 2021) capable de simuler des écoulements souterrains dans l'aquifère. L'établissement de ce modèle repose sur l'hypothèse que les écoulements de surface sont négligeables au sein de ce bassin versant granitique. Les apports de surface des tourbières ne sont donc pris en compte qu'en fin de traitement de données, grâce à des données modélisées de recharge de nappe et de ruissellement (Abhervé et al., 2023). Le modèle est discrétisé en 3D, à partir des données de la topographie de surface (résolution 5m, source : RGE ALTI <https://geoservices.ign.fr/rgealti>), et d'un fond plat à 0 m d'altitude. Une recharge moyenne de 500 mm/an a été appliquée à la surface du modèle. Les propriétés hydrauliques de l'aquifère ont été estimées à partir de multiples données (cartographie du réseau hydrographique, datation des eaux dans les sources, concentration en radon).

➤ *Cartographie du réseau hydrographique*

Le réseau hydrographique a été précisément cartographié lors des campagnes de terrain. Les sources ont aussi été identifiées. La méthode de calibration consiste à reproduire au mieux le réseau hydrographique et les sources observées à partir des zones de résurgence simulées – que l'on fait ruisseler à la surface selon la topographie pour obtenir un réseau hydrographique simulé continu.

➤ *Datation des eaux dans les sources*

La datation des eaux a été menée par mesure de concentration des chlorofluorocarbones (CFC) et des hexafluorures de soufre (SF6) au niveau des différentes sources localisées préalablement sur le terrain et simulée par la modélisation : ces gaz de synthèse sont présent dans l'atmosphère depuis les années 1940, et persistent dans l'atmosphère depuis avec une diminution lente de leur concentration ; la comparaison entre la concentration contenue dans l'eau et la chronologie de celle contenue dans l'atmosphère permet de dater les eaux de subsurface (Vergnaud, 2019).

➤ *Concentration en radon*

Des mesures de concentration de radon ont été réalisées sur des eaux prélevées au niveau des sources et au sein de la tourbière afin de confirmer le signal d'arrivée d'eau souterraine. Le radon est un gaz noble produit par la roche (initialement l'uranium) avec une demi-vie très courte de 3,8 jours. Au contact de l'atmosphère, le radon dissout dans l'eau dégaze rapidement vers l'atmosphère, où la concentration reste quasi nulle. Ainsi, des concentrations élevées en radon dans un plan d'eau, un ruisseau ou une source, traduisent l'origine souterraine des eaux prélevées (Abhervé, 2022).

Une première analyse du fonctionnement hydrologique des tourbières a été fournie par le bureau d'étude Agerin (Anglade & Bourrières, 2020) à partir des premières données piézométriques obtenues en 2019. Ces premiers résultats produits d'après une seule année de données sont à considérer avec grande précaution, mais ils permettent d'avoir un premier aperçu des variations des niveaux d'eau à l'échelle d'une année, et donc de faciliter l'analyse du fonctionnement hydrologique des tourbières étudié grâce à la modélisation des écoulements des bassins versants des tourbières. L'obtention de données sur un temps plus long pourra permettre de mieux connaître l'intensité des variations inter-saisonnières des niveaux d'eau, et donc de mieux évaluer la vulnérabilité des tourbières aux épisodes de sécheresse qui seront amenés à être plus longs.

III – 2_b) Étude du stock de carbone

Dans le cadre de l'évaluation du stockage de carbone des tourbières en France mené par Lise Pinault pour sa thèse, une estimation du stock de carbone est en cours sur les tourbières de la Grenouillère et du Soularac. Des échantillons ont été prélevés à intervalles réguliers sur toute la longueur de 3 carottes de tourbe par tourbière (Jacotot et al, 2021). Le complexe tourbeux du Lasset présente une épaisseur de tourbe trop faible pour qu'il soit pris en compte dans l'étude : la quantité de carbone stockée est considérée comme négligeable pour l'estimation du stock national. Les résultats de cette étude seront disponible en fin d'année 2023, ils ne pourront donc pas être présentés dans ce mémoire.

III – 2_c) Étude paléoécologique

La compréhension du fonctionnement des tourbières a pu ensuite être améliorée grâce à l'étude de leur fonctionnement et de leur environnement passé : des études des pollens, et des macro-restes et des micro-fossiles non polliniques (MNPs) ont été menées sur les tourbières de la Grenouillère et du Soularac. Elles n'ont pas été menées sur le complexe tourbeux du Lasset en raison de sa faible épaisseur de tourbe.

Sur la tourbière de la Grenouillère, 11 carottes de tourbe ont été prélevées. Parmi celles-ci deux carottes ont été sélectionnées pour leur richesse en matière organique : une carotte de 2m et une seconde de 3m de profondeur. Sur la tourbière du Soularac, une seule carotte de 1m de long a été prélevée. Ce sont donc au total 3 carottes qui ont été analysées pour l'étude paléoécologique.

L'étude des pollens et des MNPs, a été menée par Elise Doyen (Paléobotanab). Pour la tourbière de la Grenouillère, 29 échantillons ont été prélevés sur la carotte de 3m, et 20 sur la carotte de 2m, 11 échantillons ont été étudiés sur la carotte du Soularac. Les MNPs qui ont été recherchés sont les suivants : les spores de champignons coprophiles et carbonicoles notamment pour leur caractère indicateur d'activité pastorales, et les micro-organismes de milieux humides et aquatiques pour leur caractère indicateur des conditions hydrologiques.

L'analyse des macro-restes a été menée par le cabinet Pierre Goubet. Des échantillons ont été prélevés sur chacune des carottes tous les 10cm, en commençant à -7cm pour éviter la couche supérieure.

Une série de datations au carbone 14 ont ensuite été réalisées par le Centre de Datation par le Radiocarbone (laboratoire ArAr) à quatre niveaux stratigraphiques clés identifiés par Pierre Goubet sur la carotte de 3m de la Grenouillère :

- à 27cm : profondeur correspondant à l'arrêt de la couche identifiée comme un KTH.
- à 167 cm : profondeur correspondant au début de l'ériophoraie (apparition des limbes d'*Eriophorum vaginatum* dans la tourbe)
- à 247 : profondeur correspondant à la bas de la formation d'un tremblant
- à 297m : profondeur correspondant à la bas du dépôt lacustre.

L'objectif de ces datations et de connaître les périodes auxquelles ont eu lieu des changements déterminants dans la végétation de la tourbière, afin notamment d'en évaluer les liens avec l'évolution des activités anthropiques.

III – 2_d) Étude des bryophytes

Les bryophytes représentent une composante biologique ayant un rôle fondamental dans le fonctionnement des tourbières. Un inventaire de ces dernières a été mené par Marta Infante Sanchez (CBNPMP) en 2020. Des stations de prospections ont été réparties sur les tourbières de façon à recouvrir les différents habitats de ces dernières. 24 stations ont été prospectées sur la tourbière de la Grenouillère, 20 sur la tourbière du Soularac et 14 sur le complexe tourbeux du Lasset où les prospections ont été concentrées sur la zone d'habitat de bas-marais (les autres habitats ne présentant pas particulièrement de bryoflore).

Une synthèse des rapports des différentes études est présentée dans ce mémoire, dans le but d'appréhender le fonctionnement passé et actuel des différentes tourbières dans leur globalité, et de mettre en relation ces connaissances avec les indicateurs de l'état de conservation de ces dernières.

III – 3_ Les indicateurs de suivi

III – 3_a) Indicateurs et compilation des données

Les indicateurs pour le suivi de l'état de conservation des tourbières de la RNR ont été définis dans le plan de gestion de cette dernière à la création de la réserve. Le conservateur de la RNR a sélectionné ces indicateurs en se basant notamment sur la boîte à outils RhoMéo (Collectif, 2014) et la méthode d'évaluation des habitats d'intérêts communautaires du MNHN (Epicoco & Viry, 2015). 22 indicateurs avaient été identifiés et des protocoles ont été mis en place à partir de 2018 pour la collecte des données nécessaires au suivi. Tous n'avaient finalement pas été retenus et l'indicateur de flux de carbone a été ajouté. Il était donc, dans un premier temps, nécessaire d'identifier les indicateurs retenus et d'identifier et compiler les données produites.

Tableau 3 : indicateurs retenus, données produites pour l'évaluation de l'état de conservation des tourbières

	Indicateurs	Retenu ?	Source	Années d'application du protocole			Données complètes ?	Généralisable en 2023
				Grenouillère	Soularac	Lasset		
Composition, structure	Indice d'intégrité du peuplements d'odonates	oui	RhoMéO	2018		2018	oui	oui
				2019	2019	2019	oui	
				2020	2020	2020	oui	
				2021	2021	2021	oui	
	Indice d'humidité stationnelle (orthoptères)	oui	RhoMéO	2019		2019	oui	oui
				2020	2019	2020	oui	
	Présence de Rhopalocères remarquables	non, non pertinent pour les tourbières de la RNR						
	Activité et présence des coléoptères coprophages	non, manque de références						
	Intégrité du peuplement de syrphes	non, manque de références						
	Indice d'Intégrité du Peuplement d'Amphibiens	oui	RhoMéO	2019	2019	2019	non	oui
				2020	2020	2020	oui	
	Abondance de la flore patrimoniale	Non						
Indice de qualité floristique	oui	RhoMéO	2018	2018	2018	oui	oui	
Indice de colonisation par la Molinie	oui	EEC – MNHN	2018	2018	2018	oui (cartographie des habitats)	oui	
Recouvrement de la surface par les Bryophytes turfigènes	Non							
Indice d'évolution des habitats	oui	EEC – MNHN	2018	2018	2018	oui	non, nécessite comparaison avec données 2024	
Indice d'évolution des successions végétales	oui	EEC – MNHN	2018	2018	2018	oui	non, nécessite comparaison avec données 2024	
Fonction, processus	Indice pédologique du niveau d'humidité du sol	oui	RhoMéO	2018	2018	2018	oui	oui
	Indice floristique du niveau d'engorgement	oui	RhoMéO	2018	2018	2018	oui	oui
	Indice piézométrique de dynamique hydrologique de la nappe	oui	RhoMéO	2020-2021	2020-2021	2020-2021	non	non, nécessite chronologie longue
				2021-2022	2021-2022	2021-2022	oui	
				2022-2023	2022-2023	2022-2023	oui	
	Dynamique hydrologique de la nappe – substance humiques	Non, indicateur invalidé						
	Indice floristiques de fertilité du sol	oui	RhoMéO	2018	2018	2018	oui	oui
Indice de flux de carbone par mesure de la turfigénèse	oui	EEC – MNHN					non, nécessite chronologie longue	
Indice d'eutrophisation	Non, indicateur invalidé							
Altérations	Indice de colonisation arborée	oui	EEC – MNHN	2018	2018	2018	oui	oui
	Indice de colonisation arbustive	oui	EEC – MNHN	2018	2018	2018	oui	oui
	Indice d'érosion	oui	EEC – MNHN	2023	2023	2023	oui	oui
	Indice de destructuration	oui	EEC – MNHN	2023	2023	2023	oui	oui

Indicateurs non retenus

Les inventaires d'odonates et d'amphibiens ont été poursuivis en 2022 et 2023, cependant elles ne pourront pas être utilisées pour évaluer l'évolution des populations comparativement aux premières données utilisées pour l'état de conservation, car les plans d'échantillonnages ont été modifiés. Le choix a été fait de ne plus appliquer les protocoles RhoMéO mais les protocoles de suivi correspondant à des programmes nationaux de suivi de ces taxons : le STELI (Suivi TEm porel des Libellules, protocole du programme Vigienature du MNHN) pour les odonates et le POPAmphibiens (programme de surveillance nationale porté par l'UMS PatriNat et l'OFB) pour les amphibiens. Ces données seront traitées ultérieurement après étude de l'indicateur le plus pertinent à utiliser pour traduire ces données.

Au total, 15 indicateurs ont été retenus, mais 4 indicateurs ne peuvent pas être générés en 2023. Deux indicateurs nécessitent l'obtention de longues chroniques de données :

- l'indicateur de dynamique hydrologique de la nappe (piézomètre), qui demande une chronique de 5 ans, puisqu'il correspond à la valeur de la pente de la droite de régression linéaire des niveaux annuels médians sur une période de 5 ans.

- l'indicateur de flux de carbone : la tufigénèse est un processus long, des variations de hauteur de tourbe ne pourraient être observées que tous les 5 à 10 ans.

Les deux autres qui sont l'évolution du taux de recouvrement des habitats et l'évolution des successions végétales, sont générés par comparaison entre deux campagnes d'inventaires. Les résultats de la première campagne d'inventaires seront tout de même présentés, ils correspondent l'état initial auquel seront comparés les résultats des campagnes futures.

Les 15 indicateurs retenus sont présentés ci-dessous, et les protocoles complexes pour la collecte des données se trouvent en annexe (Annexe 2 : protocoles pour la production des données nécessaires aux indicateurs RhoMéO). Les ressources scientifiques justifiant de la validité de chacun des protocoles et la représentativité de chaque indicateur sont citées dans les fiches protocoles annexées. Il est important de noter que tous les protocoles appliqués sont répétables. Pour un suivi limitant des biais, il est important de les reproduire sur les mêmes lieux (d'où l'importance de la cartographie des points de relevé) et aux mêmes dates.

III - 3_b) Indicateurs de fonctions et processus

➤ *Niveau d'humidité des sols - indicateur BAO RhoMéO I01*

Cet indicateur décrit le niveau d'humidité des horizons supérieurs du sol. La collecte des données a été menée par la réalisation des sondages en suivant des transects traduisant les gradients d'humidité des tourbières : gradient topographique et gradient de saturation du sol en eau. Ainsi 11 sondages ont été réalisés sur la tourbière de la Grenouillère, 14 sur la tourbière du Lasset et 5 sur le complexe tourbeux du Soularac. Il est conseillé de répéter ce protocole tous les 5 à 10. Dans le cadre de milieux comme les tourbières de la réserve où les perturbations anthropiques sont faibles, un suivi tous les 10 ans semble suffisant.

Un première campagne de collecte de données avait été menée en 2018 à l'aide d'une tarière d'Edelman, cependant, la perte d'information liée à la destruction de la tourbe extraite par l'outil rendait la lecture des résultats non concluante. Le choix a donc été fait pour la tourbière de la Grenouillère et le complexe tourbeux du Lasset de recommencer la collecte des données en 2023, à l'aide d'une tarière gouge permettant une meilleure lecture des limites des différents horizons.

Pour chaque horizon identifié, la régularité des limites, la texture, la structure, la présence d'éléments grossiers, le niveau d'humidité, l'indice de Von-Post et le taux de dégradation de matière organique sont notés (Annexe 2). L'indicateur ne nécessitant pas de liste de référence, les données sont saisies dans la calculatrice RhoMéO, et l'indicateur est généré automatiquement. L'indicateur obtenu est une valeur comprise entre 0 et 6, la valeur 0 représentant un sol non hydromorphe et la valeur 6 un totalement saturé en permanence.

➤ *Indice floristique d'engorgement - indicateur RhoMéO I02*

Pour l'évaluation de cet indicateur un protocole d'inventaire floristique a été établi avec la mise en place de placettes de 16m², il doit être répété tous les 5 ans. Cet indicateur permet d'évaluer le niveau de la nappe à l'échelle des placettes d'inventaire floristiques et à l'échelle des tourbières. Il permet donc de visualiser spatialement les variations du niveau de la nappe. Chaque espèce floristique présente des affinités différentes pour les milieux selon leur degré d'engorgement. L'optimum de chaque espèce a été évalué pour la création d'un référentiel des valeurs indicatrices de l'humidité édaphique des espèces floristiques. Le Conservatoire botanique National des Pyrénées et Midi-Pyrénées (CBNPMP) a publié au mois d'août 2023 un référentiel adaptée aux espèces floristiques du Bassin Adour-Garonne (Largier et al., 2023). L'indicateur est généré pour chaque placette par le calcul de la moyenne des valeurs indicatrices des espèces détectées, pondérées par leur abondance. Il est ensuite généré pour le site en calculant la médiane des indices floristiques d'engorgement de chaque placette. L'indice d'engorgement obtenu est une valeur comprise entre 1 et 10, plus l'indicateur obtenu est proche de 10, plus l'engorgement du site étudié est important.

➤ *Dynamique hydrologique de la nappe - indicateur RhoMéO I03*

Le suivi de la dynamique hydrologique est fait grâce à l'installation de piézomètres enregistrant quotidiennement, de manière automatique et continue, la hauteur de la nappe. Bien qu'en principe un piézomètre par tourbière soit suffisant (Collectif, 2014), deux piézomètres ont été installés sur les tourbières de la Grenouillère et du Lasset, et un sur la tourbière bombée du Soularac (Annexe 3 : localisation des piézomètres et hauteurs d'installation). Les piézomètres ont été placés selon les gradients hydrologiques présentés par les tourbières.

La hauteur de la nappe d'eau est déterminante pour la disponibilité en eau pour la végétation et pour les dynamiques de turfigénèse ou d'atterrissement dans le cas de tourbières dégradées. L'objectif de cet indicateur est de caractériser la dynamique de la nappe d'eau dans le sol, il correspond à la valeur de la pente de la droite de régression linéaire des niveaux annuels médians, sur une période de 5 ans. Les graphiques de représentation de la médiane permettent également, avec la représentation des quartiles, d'évaluer l'évolution des amplitudes de variations de la nappe, ainsi que l'évolution des valeurs extrêmes. L'indicateur ne pourra pas être généré en 2023 car la RNR dispose seulement d'une chronique de données complètes sur 2 années (il ne doit pas manquer plus de 10 % des données sur une année afin que l'indicateur soit représentatif).

➤ *Humidité du milieu, orthoptères - indicateur RhoMéO I09*

Pour générer cet indicateur, des chronoventaires ont été réalisés sur deux années consécutives : l'ensemble des tourbières est parcouru dans un temps impartit et toutes les espèces d'orthoptères détectées sont notées. Le protocole doit être répété soit 2 années consécutives tous les 6 ans, soit 3 années consécutives tous les 10 ans afin de limiter les biais de variations inter-annuelles qui sont marquées pour ce taxon (Collectif, 2014). Le protocole a été appliqué sur deux années consécutives sur la tourbière de la Grenouillère et sur le complexe tourbeux du Lasset, mais il n'a été appliqué que sur une seule année sur la tourbière du Soularac. Il est possible que toutes les espèces de cette tourbière n'aient pas été détectées. Les orthoptères présentent l'avantage d'avoir une réaction rapide aux perturbations des milieux et donc aux variations d'humidité stationnelle. Cet indicateur repose sur l'affinité des différentes espèces d'orthoptères pour les milieux humides. Il correspond au ratio entre les valeurs indicatrices d'hygrophilie des espèces détectées au cours des inventaires, et ceux des espèces potentiellement présentes. Une liste de référence indexant les valeurs indicatrices de chaque espèce a été établie pour les bio-régions concernées par le programme RhoMéO, et n'était donc pas adaptée au territoire Pyrénéen. C'est pourquoi Thomas Cuypers, expert en orthoptères à l'ANA-CEN Ariège a travaillé à la création d'une liste de référence adaptée, grâce à l'étude des synusies orthoptériques des différentes zones humides suivies par l'ANA-CEN Ariège (Annexe 4: liste de référence des espèces d'orthoptères potentiellement présentes sur la RNR du massif de Saint-Barthélémy). Il s'est cependant aperçu grâce aux synusies que la présence des espèces est probablement davantage lié à l'altitude qu'au degré d'humidité du milieu. Les résultats seront donc à considérer avec une grande précaution.

➤ *Indice floristique de fertilité du sol – indicateur RhoMéO I06*

L'indice floristique de fertilité du sol est calculé grâce aux mêmes inventaires floristiques que l'indicateur floristique d'engorgement. Cet indicateur permet d'évaluer la richesse en nutriment d'une zone humide, et ainsi d'en appréhender la productivité et la vulnérabilité à l'eutrophisation. Chaque espèce floristique présente un optimum en fonction de la disponibilité en nutriments. Il a été évalué pour la création d'un référentiel des valeurs indicatrices de fertilité des espèces floristiques. Le CBNPMP a publié au mois d'août 2023 un référentiel adapté aux zones humides du Bassin Adour-Garonne (Largier et al., 2023). L'indicateur est généré pour chaque placette par le calcul de la moyenne des valeurs indicatrices des espèces détectées pondérées par leur abondance. Il est ensuite généré pour le site en calculant la médiane des indices floristiques de fertilité de chaque placette. La valeur indicatrice obtenue est comprise entre 1 et 5, plus la valeur indicatrice est proche de 5, plus le milieu est riche et donc potentiellement perturbé.

➤ *Indice de flux de carbone - indicateur EEC du MNHN*

Les flux chimiques au sein des tourbières sont complexes, la caractérisation exhaustive des échanges gazeux entre les tourbières et l'atmosphère est aujourd'hui encore inaccessible (matériel coûteux, moyens humains et techniques importants), alors que le rôle de stockage de GES est un enjeu prioritaire de la préservation des tourbières (Collectif, 2023). Il existe cependant un moyen simple d'évaluer si une tourbière est en phase d'émission ou de stockage de carbone : la mesure de la turfigénèse. Cette mesure indique si la tourbière est en bon état de fonctionnement avec une production active de tourbe et donc un stockage de carbone, ou au contraire une diminution de la hauteur de tourbe liée à sa dégradation et donc un relargage de carbone dans l'atmosphère et de composés carboniques sous forme dissoute dans les eaux d'écoulement (Goubet, 2014).

Pour cela, des tiges de mesures vont être posées dans les différentes unités fonctionnelles des tourbières, il y en aura donc deux sur la grenouillère (une sur la zone de tremblant, une sur la zone de bas-marais), une sur la tourbière du Lasset (l'ensemble étant constitué d'un bas-marais), et deux sur le complexe tourbeux du Soularac (une sur le bombement et une sur la partie bas-marais). Les tiges doivent être situées à proximité des piézomètres afin de pouvoir mettre en relation la turfigénèse et le niveau de la nappe d'eau. Ces tiges, ancrées dans la roche socle de la tourbière, sont équipées de rondelles affleurant la surface de la tourbe au moment de l'installation du dispositif. Le suivi de la turfigénèse est ensuite réalisé par la mesure de l'écart entre la rondelle témoin de surface et la surface de la tourbe. L'indicateur correspond donc à une unité de longueur. Le protocole appliqué est celui établi par l'IUCN National Committee for the United Kingdom (NCUK) dans le cadre du programme « Eyes on the bog » (Lindsay et al., 2019).

III - 3_c) Indicateurs de composition et structure

➤ *Intégrité du peuplement d'odonates – indicateur RhoMéO I10*

L'évolution des populations d'odonates spécifiques aux milieux tourbeux est un bon indicateur de perturbation ou d'altération des habitats. L'inventaire des odonates sur les tourbières est effectué par transects d'observation. Il est conseillé dans la mesure du possible de répéter le protocole annuellement, cela permet une meilleure détection des modifications de populations. L'intégrité est évaluée par un ratio entre le nombre d'espèces observées et le nombre d'espèces attendues. Les espèces attendues sont référencées dans une liste construite en fonction de l'aire de répartition des espèces et leur affinité avec les différents habitats odonatologiques une liste avait été constituée pour le département de l'Ariège dans le cadre du programme RhoMéO, mais une seconde a été constituée pour le bassin Adour-Garonne dont l'Ariège fait partie. Après comparaison des listes, consultation de bibliographie et échanges avec des experts, le choix a été fait d'utiliser la liste établie pour le bassin Adour-Garonne (Laporte & Bailleux, 2021). L'indicateur correspond au pourcentage d'espèces attendues ayant été détectées sur les sites, son calcul nécessite donc dans un premier temps la transformation des données brutes en données de présence/absence. Le peuplement d'odonates d'un site est considéré comme intègre si l'indicateur obtenu est supérieur à 65 %.

➤ *Intégrité du peuplement d'amphibiens – indicateur RhoMéO I11*

L'évolution des peuplements d'amphibiens est un bon indicateur de modification de la qualité du milieu, notamment de la qualité de l'eau. Les amphibiens sont inventoriés par le biais de points d'écoute et dans certains cas de transects d'observation. Il est conseillé de répéter les inventaires tous les 3 ans minimum, mais il est possible de le répéter annuellement pour une meilleure robustesse des de l'indicateur. L'Indice d'Intégrité du Peuplement d'Amphibiens (I2PA) est calculé par la somme de trois paramètres : l'indice de diversité de Simpson, la sténoécie brute et la sténoécie relative.

L'indice de Simpson représente la probabilité que deux individus détectés correspondent à la même espèce (Collectif, 2014). Il est calculé grâce à la formule suivante :

$$D = \sum Ni(Ni-1)/N(N-1)$$

Ni correspond au nombre d'individus de l'espèce donnée

N correspond au nombre total d'individus

La sténoécie brute correspond au ratio entre le nombre d'espèces détectées sur le site étudié et le nombre d'espèces pouvant être détectées dans le département. Ces dernières sont référencées dans une liste établie par la Société Herpétologique de France (SHF), dans le cadre de l'adaptation de la boîte à outils au territoire Adour-Garonne.

La sténoécie relative correspond au ratio entre le nombre d'espèces détectées sur le site étudié et le nombre d'espèces dont la présence est connue sur le territoire du site d'étude. Ces espèces sont listées à partir de la consultation des données de l'Inventaire National du Patrimoine Naturel (INPN), où la présence des espèces est référencées sur des mailles de 10 km².

Les trois paramètres correspondent à des valeurs comprises entre 0 et 1, l'I2PA correspond donc à une valeur comprise entre 0 et 3.

➤ *Indice de qualité floristique - indicateur RhoMéO I08*

L'indice de qualité floristiques permet d'illustrer la présence de flore caractéristique des milieux tourbeux en bon état de conservation. Il témoigne à la fois de perturbations anormales du fonctionnement du milieu (hydrologie, trophie...) et de la richesse des tourbières en espèces inféodées aux zones humides. Cet indice est calculé grâce aux mêmes inventaires floristiques que l'indicateur floristique d'engorgement (I02). Pour chaque espèce un coefficient de conservatisme a été attribué selon une grille décisionnelle élaborée dans le cadre du programme RhoMéo (Collectif, 2014). Le coefficient de conservatisme est attribué selon divers critères : l'indigénat (les espèces exogènes ont systématiquement un coefficient de conservatisme égal à 0), la stratégie de vie des espèces (stratégie de Grime), la valeur indicatrice d'humidité édaphique et la fréquence en zones humides. Le CBNPMP a publié au mois d'août 2023 un référentiel adaptée aux zones humides du Bassin Adour-Garonne (Largier et al., 2023). L'indicateur est généré pour chaque placette par le calcul de la moyenne des coefficients de conservatisme des espèces détectées, pondérées par leur abondance. Il est ensuite généré pour le site en calculant la médiane des indices floristiques d'engorgement de chaque placette. Plus l'indice est élevé, plus la qualité floristique du site d'étude est bonne. Un indice élevé signifie la présence importante d'espèces floristiques inféodés aux zones humides, supportant faiblement les perturbations hydrologiques et chimiques, ce qui traduit un bon état de la zone humide.

➤ *Recouvrement par la Molinie – indicateur EEC du MNHN*

La Molinie est une espèce indicatrice d'assèchement et d'eutrophisation modérée, l'espèce est particulière adaptée aux milieux ayant un niveau d'eau changeant, alternant phases de sécheresse et phases humides (Epicoco & Viry, 2015). Sa présence est donc signe d'une dégradation du fonctionnement hydrologique et/ou de déséquilibre chimique au sein des tourbières. L'indicateur de recouvrement par la Molinie correspond pourcentage de surface des tourbières où l'espèce est dominante. Il est évalué grâce à la surface cartographiée comme « molinaie » dans la cartographie des habitats de ces dernières.

➤ *Indicateur de l'intégrité des habitats – indicateur EEC du MNHN*

L'indicateur d'intégrité des habitats correspond au taux d'évolution de la surface de ces derniers. Une première cartographie des habitats des tourbières a été menée en 2018. L'évolution des surfaces d'habitats étant lente, la cartographie de ces derniers sera renouvelée tous les 10 ans, il n'est donc pas possible de générer cet indicateur en 2023.

➤ *Indicateur de l'intégrité des successions végétales*

Le suivi de l'évolution des successions végétales au sein des tourbières est effectué grâce à la réalisation d'inventaires des associations floristiques le long de transects phytodynamiques. Ces transects permettent d'identifier tout changement quantitatif ou qualitatif dans les associations de végétaux et donc d'identifier des phénomènes d'évolution d'un milieu vers un autre, tels que l'ourlification (fermeture d'un milieu). Chaque changement de typologie de végétation est noté ainsi que sa distance au point de départ du transect, ainsi, la progression ou régression des différentes formations floristiques pourra être évaluée. Il est conseillé de répéter ces inventaires tous les 5 ans. Un premier inventaire a été mené en 2018, le suivant ne sera mené qu'en 2024, il n'est donc actuellement pas possible d'évaluer l'évolution des successions de végétation, seule une présentation de la répartition actuelle des groupements de végétation sera faite dans ce rapport.

III - 3_d) Indicateurs d'altération

➤ *Indicateurs de colonisation arborée et arbustive – indicateur EEC du MNHN*

Les phénomènes de colonisation arborée et la colonisation arbustive sont des indicateurs de la minéralisation des tourbières. En effet, c'est en cas de conditions plus sèches et d'un enrichissement du sol que les espèces arborées et arbustives peuvent se développer. Les pourcentages de recouvrement des deux strates sont évalués grâce à la cartographie des habitats.

➤ *Indicateurs d'érosion et de destructuration – méthode EEC, MNHN*

Le taux de sol érodé et d'habitat déstructuré sont des indicateurs de l'évolution de l'impact des activités anthropiques, pastorales notamment sur les tourbières. Les surfaces érodées correspondent aux surfaces de sol nu, et les surface déstructurées correspondent aux zones présentant une végétation et/ou une micro-topographie inhabituelle : zones retournées par le piétinement du bétail ou par des sangliers, tourbe déchaussée ou enfoncée... Ces indicateurs reflètent à la fois l'évolution de l'activité pastorale et l'évolution de la capacité de régénération du milieu dans un contexte de changement climatique.

Les indicateurs correspondent au pourcentage de surface de sol nu et de sol déstructuré. Ces pourcentages sont calculés grâce à la cartographie de ces surfaces. Disposant sur l'ensemble des tourbières de la RNR d'images aériennes 3D, obtenues à l'aide d'une caméra multispectrale d'une grande précision, une pré-cartographie des ces zones a pu être réalisée par photo-interprétation. L'utilisation de la télédétection a été envisagée dans le but d'automatiser la procédure, mais bien que la précision de ces images soit importante, la télédétection ne pourrait être utilisée que pour une pré-identification de surfaces de sol nu, bien que la distinction de surface temporairement en eau, ou couverte par des sédiments liés à des écoulements ne peut être faite que sur le terrain. L'identification de surfaces déstructurées est difficile même par photo-interprétation et visualisation sur le terrain. De plus, pour le suivi par la suite, la production d'images par drone ne peut être assurée : l'intervention d'une personne compétente est coûteuse. L'utilisation des images aériennes de précision a donc uniquement servi à pré-identifier des zones à cibler lors de la prospection de terrain, et à délimiter avec une plus grande précision les surfaces érodées ou déstructurées lors de la cartographie finale. Le suivi pourra par la suite être menée par l'actualisation de la cartographie grâce à des prospection de terrain tous les 5 ans.

III – 3_e) Interprétation des indicateurs

Une fois que l'ensemble des indicateurs a été calculé, l'objectif est d'évaluer l'état de conservation de chacune des tourbières. Une classification a été définie dans le tableau de bord pour l'évaluation de l'état de conservation des tourbières, avec des seuils permettant de classer les différents paramètres étudiés d'un état « très mauvais » à « très bon ». La méthodologie d'EEC du MNHN, définit des seuils pour ces classements. Ce n'est pas le cas pour tous les indicateurs de la boîte à outils RhoMéO.

Tableau 4 : valeurs seuil pour l'interprétation des notes indicatrices obtenues

Indicateurs	Evaluation des métriques d'état de conservation					
	Indéterminé	très mauvais	Mauvais	Moyen	Bon	Très bon
	0	1	2	3	4	5
Indice d'intégrité du peuplements d'odonates		< 65 %		65 %	> 65 %	
Indice d'humidité stationnelle (orthoptères)		< 15%		15% < 1 < 35%	30-50	> 50
Intégrité du peuplement d'amphibiens		< 0,8		0,8	> 0,8	
Indice de qualité floristique		<18		18	>18	
Recouvrement de la Molinie		> 50 %	de 25 à 50 %	de 5 à 25%	< 5%	0 %
Indice d'évolution des habitats		Régression		Stabilité	Augmentation	
Indice d'évolution des successions végétales		Régression		Stabilité	Augmentation	
Indice pédologique d'humidité du sol		< 2,5		2,5	> 2,5	
Indice floristique du niveau d'engorgement		< 6,7		6,7	> 6,7	
Indice piézométrique de la dynamique hydrologique de la nappe		<-- tendance d'évolution négative du niveau de nappe		Niveau médian de la nappe	Tendance d'évolution positive du niveau de nappe -->	
Indice floristiques de fertilité du sol		> 2,3		2,3	< 2,3	
Indice de flux de carbone par mesure de l'évolution de la hauteur de tourbe		Régression		Stabilité	Augmentation	
Indice de colonisation arborée		> 50 %	de 25 à 50 %	de 5 à 25%	< 5%	0 %
Indice de colonisation arbustive		> 50 %	de 25 à 50 %	de 5 à 25%	< 5 %	0 %
Indice d'érosion		> 50 %	de 25 à 50 %	de 5 à 25%	< 5%	0 %
Indice de destructuration		> 50 %	de 25 à 50 %	de 5 à 25%	< 5%	0 %

Indicateurs sans valeur seuil définie

En l'absence de valeur seuil définie, j'ai fait le choix de classer les notes indicatrices obtenues comparativement à la moyenne des indicateurs obtenue pour les milieux de tourbières acides des sites tests RhoMéO (Collectif, 2014). Les résultats des sites tests RhoMéO sont à ce jour les seuls éléments de comparaison disponibles pour l'analyse de ces indicateurs. Si la note obtenue est supérieure à la moyenne des sites tests alors l'état est considéré comme bon à très bon, si elle est inférieure l'état est considéré comme mauvais à très mauvais.

IV_Résultats

IV – 1_La tourbière de la Grenouillère

IV – 1_a) Synthèse des connaissances

➤ Présentation générale

La tourbière de la grenouillère est une tourbière limnogène ayant un fonctionnement ombrominérotrophe (Goubet, 2023). Elle présente un groupement complexe de nombreuses unités fonctionnelles : radeaux, tremblants, bombements et bas-marais.



Figure 16 : tourbière de la Grenouillère, 06/2023 Thirsa VAN DER VEEN

La tourbière se trouve à environ 1600m d'altitude. Elle représente une surface d'environ 1,5 ha (14966,6m²) et se trouve sur un socle mixte de migmatites et de micaschistes (Anglade & Bourrières, 2020), et son fond est constitué de boues lacustres (Goubet & Goubet, 2023).

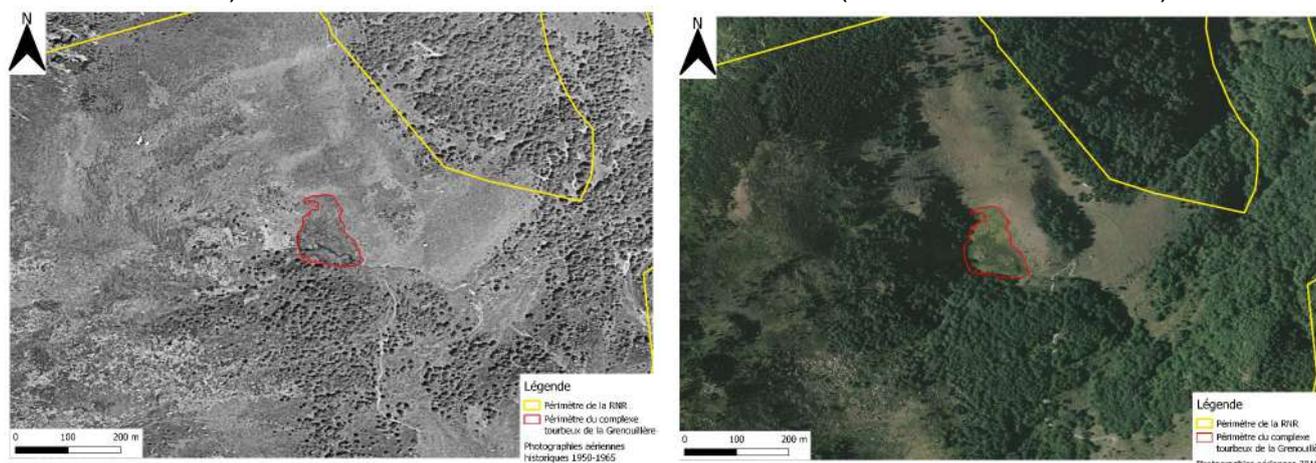


Figure 17 : environnement passé (1950) et actuel de la tourbière de la Grenouillère

La tourbière de la Grenouillère est située sous la limite de la forêt. Cependant, elle se trouvait aux alentours des années 1950 dans un milieu ouvert avec des boisements éparés résultant des pratiques pastorales. Aujourd'hui, la forêt a recolonisé les alentours de la tourbière, elle se trouve donc en limite d'une zone ouverte entourée de boisements denses.

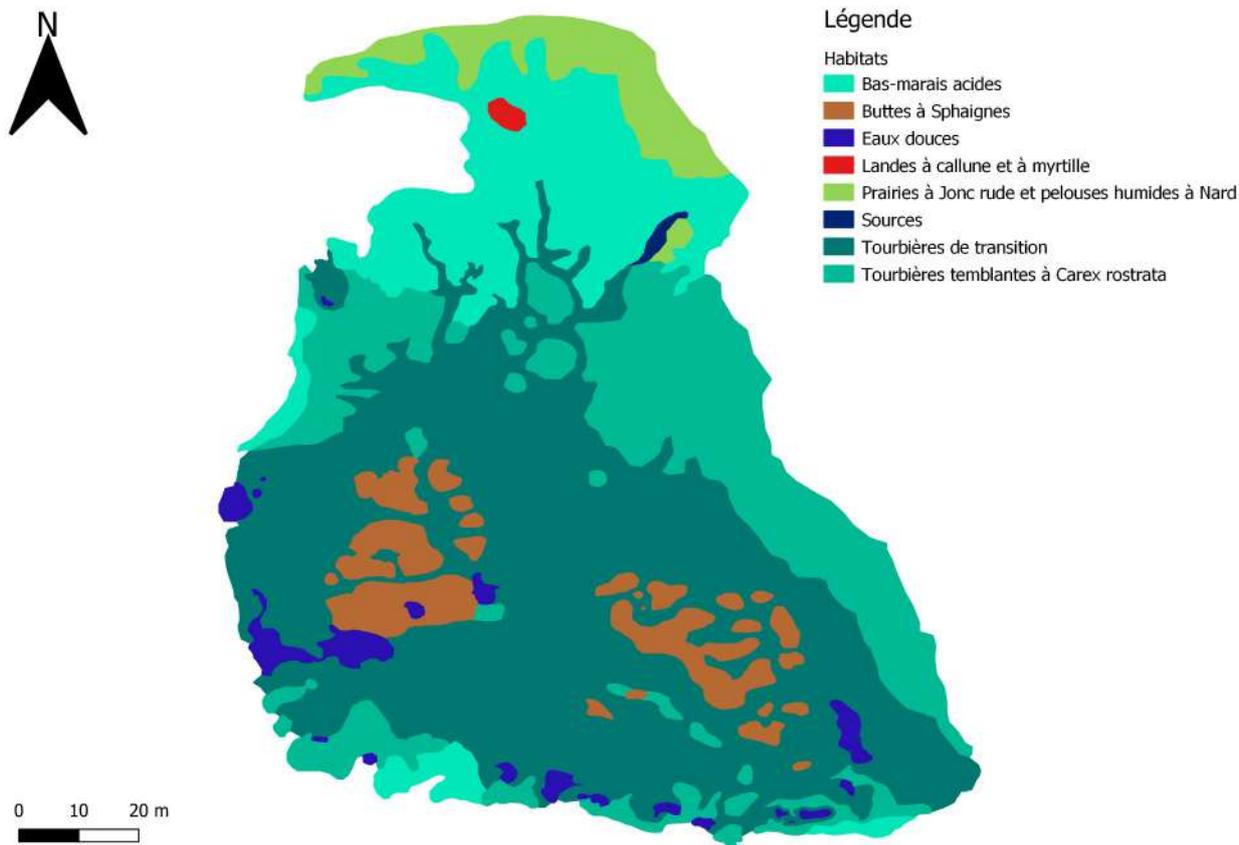


Figure 18 : cartographie des habitats de la tourbière de la Grenouillère (Laurent Servièrè)

La tourbière de la Grenouillère comptabilise 8 types d'habitats (figure 20). Elle est dominée dans la partie sud, par un habitat de tourbière de transition qui présente de manière éparse des buttes à sphaignes, et est bordée par des habitats de tourbières tremblantes à *Carex rostrata*. Ces habitats reposent sur le lac à l'origine de la création de la tourbière, la hauteur de tourbe n'est donc pas continue, ils sont d'intérêt communautaire. Le quart amont de la tourbière est dominée par un bas-marais acide qui est le second habitat le plus représenté, avec en bordure des prairies à Jonc rude et pelouses humides à Nard.

➤ Bryologie

La tourbière de la Genouillère comptabilise 27 espèces de bryophytes représentées en grande majorité par des mousses (24), dont 8 sont des sphaignes qui dominent largement la population bryophytique de la tourbière. Aucune de ces espèces n'est considérée comme menacée dans la région, seules 3 sont considérées comme quasi-menacées. 6 de ces espèces sont minérophiles, les deux autres sont ombrophiles, cela concorde avec le caractère majoritairement minérotrophe de la tourbière.

Un petit patch d'un bryophyte considéré comme envahissant (*Campylopus introflexus*) a été identifié et retiré. Sa présence n'est pas considérée comme inquiétante tant que le piétinement de la zone n'augmente pas (Infante Sanchez, 2021).

Neuf associations bryophytiques différentes ont été détectées sur la tourbière de la Grenouillère. Cette diversité d'associations s'explique par le gradient hygrométrique que présente la tourbière : engorgement, mouvements d'eau et la différence d'accessibilité au bétail. Le pâturage induit des associations végétales pauvrement définies, et les sphaignes peinent à survivre dans la partie nord de la tourbière plus paturée. La partie centrale de la tourbière est engorgée en permanence ce qui empêche le bétail d'y accéder. On y trouve des îlots dominés par des formations de *Polytricho communis* - *Sphagnetum fallacis* où de jeunes bouleaux et pins commencent à s'installer (Infante Sanchez, 2021).

Des sondages de profondeur de tourbe ont été menés à l'aide d'une tige le long d'un transect longitudinal (transect 1) et d'un transect transversal (transect 2) pour évaluer le profil de profondeur de la tourbe et de l'eau de la tourbière de la Grenouillère (figure 21). Les transects ont été répartis de manière à couvrir au mieux les variations de profondeur de la tourbière. La profondeur de tourbe sur les transects sondés sur la tourbière de la Grenouillère est comprise entre 1,30m et 3,50m. La profondeur d'eau, correspondant au lac sur lequel repose la partie sud de la tourbière, atteint au maximum 7,5m.

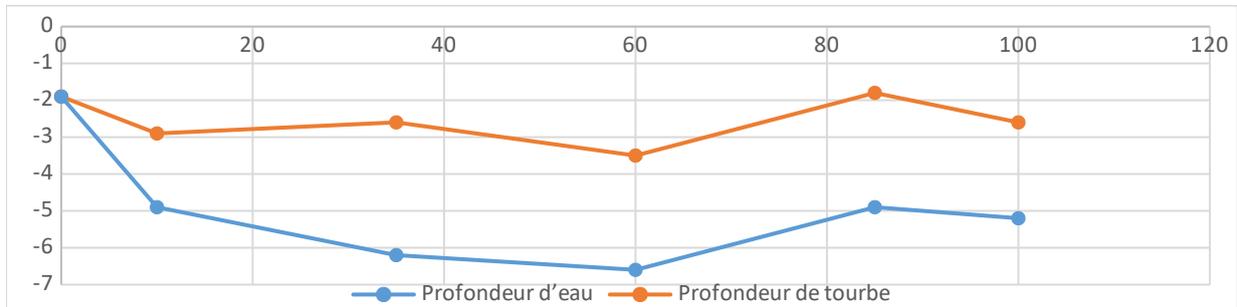


Figure 20 : profil longitudinal de la profondeur de la tourbe et de l'eau de la tourbière de la Grenouillère

La tourbière présente une variation de profondeurs sur le transect longitudinal. Les profondeurs les plus importantes sont au centre du transect. Les profondeurs les plus faibles sont observées sur la partie nord correspondant au bas-marais, où la hauteur de tourbe et la hauteur d'eau sont équivalentes : il n'y a pas d'eau libre sous la tourbe dans cette zone. Dans la partie sud, bien que la profondeur de tourbe redevienne moins importante, la profondeur d'eau demeure considérable. Cependant, la variation de profondeur de tourbe suit la courbe de variation de profondeur du lac (Figure 20).

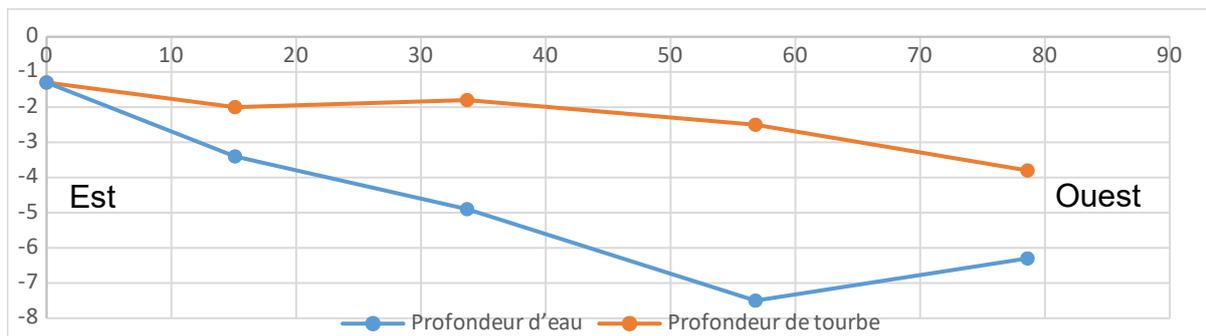


Figure 21 : profil transversal de la profondeur de la tourbe et de l'eau de la tourbière de la Grenouillère

Le transect transversal montre un gradient de profondeur net avec à l'Est des profondeurs moins importantes, où la hauteur de tourbe et la hauteur d'eau sont équivalentes : il n'y a pas d'eau libre sous la tourbe dans cette zone ; et des profondeurs plus importantes à l'ouest. Cependant, sur ce transect la variation de profondeur de tourbe ne suit pas autant la variation de profondeur du lac : dans la partie centrale une faible profondeur de tourbe repose sur une eau bien plus profonde, alors que l'épaisseur de tourbe augmente sur la partie Ouest ou la profondeur du lac diminue.

Les profondeurs d'eau et de tourbe sont inégales au sein de la tourbière, ce qui participe au maintien de la diversité de sa flore et de ses habitats.

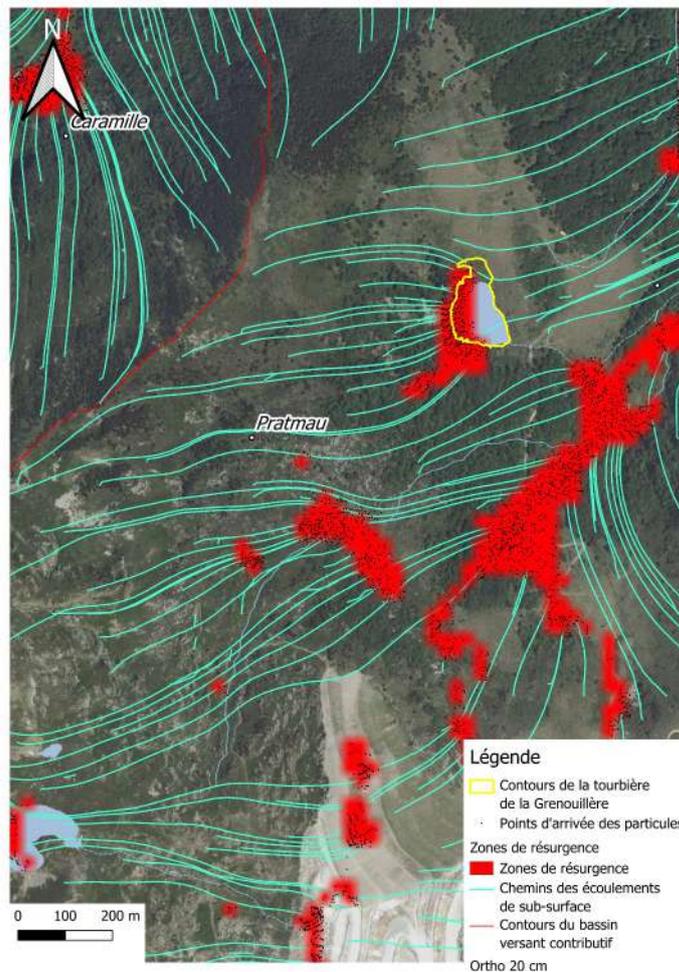


Figure 22 : modélisation des écoulements de sub-surface alimentant la tourbière de la Grenouillère (Ronan Abhervé, Clément Roques, laboratoire CHYN)

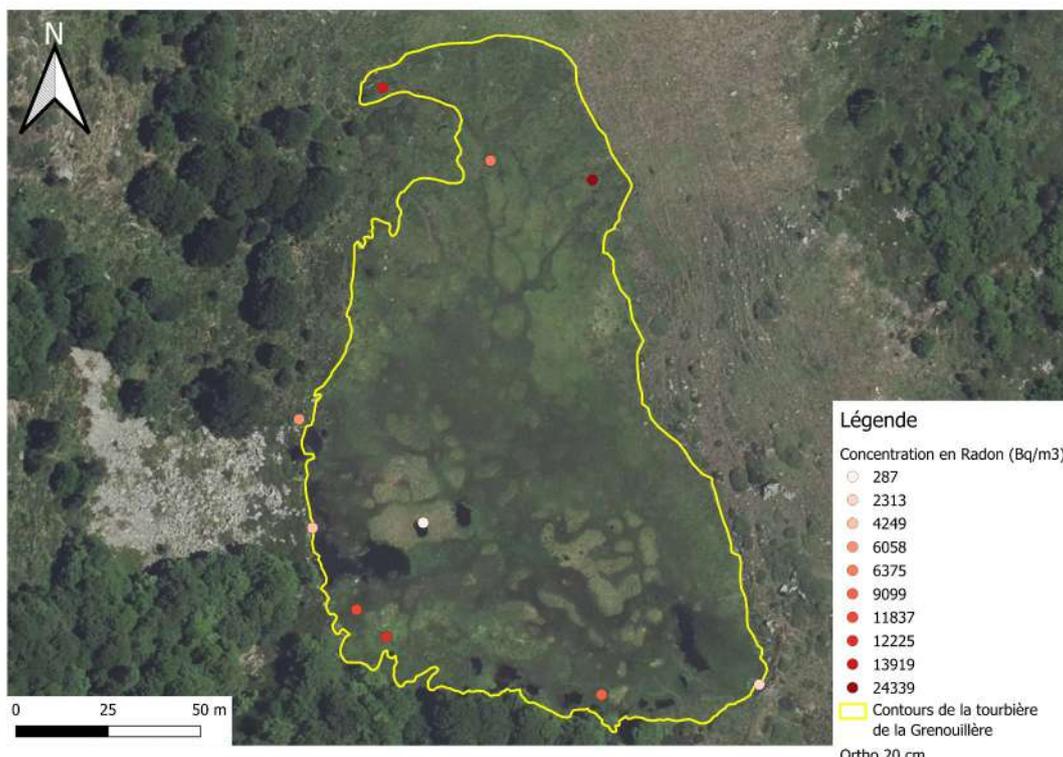


Figure 23 : localisation des prélèvements pour les dosages du Radon et concentrations mesurées (Ronan Abhervé, Clément Roques, laboratoire CHYN)

➤ *Hydrologie*

La tourbière de la Grenouillère est alimentée par un petit cours d'eau intermittent, mais on suppose qu'elle est majoritairement alimentée des écoulements de sub-surface comme en témoigne les sources visibles au nord de la tourbière et les concentrations particulièrement élevées de radon dans les eaux prélevées à différents endroits dans la tourbière (figure). En effet, elles atteignent 12225 Bq/m^3 au sein de la tourbière et 24339 au niveau des sources alimentant la zone de bas-marais de la partie nord de la tourbière. À titre de comparaison des concentrations de 50000 Bq/m^3 ont été détectées dans des puits granitiques en Bretagne (sans contact avec l'atmosphère). La concentration obtenue à l'exutoire est logiquement plus faible en raison du mélange des eaux de l'amont et du dégazage plus important, cependant, la faible concentration de radon au sein de la gouille centrale de la tourbière laisse suggérer que l'eau de celle-ci pourrait être plutôt déconnectée des eaux d'écoulement circulant dans la tourbière. La morphologie en cuvette de la tourbière et la longueur importante du versant constituant son bassin contributif (figure22) sont favorables au drainage et stockage des eaux des écoulement souterrains. Ce phénomène explique la stabilité du niveau d'eau de la tourbière, avec une amplitude annuelle maximale sur la partie amont de 14cm, et un abaissement d'environ 10 cm seulement au cours de la période sèche estivale en 2019. Le caractère fortement imperméable du fond de la tourbière induit par son origine limnogène fait que la tourbière a peu de source de perte hydrique, l'essentielle étant le déversoir alimentant le ruisseau du Font-Frède. Il semble donc que le fonctionnement hydrologique de la tourbière pourrait être plutôt résilient face aux changements climatiques et les périodes de sécheresse plus importantes qui sont attendues à l'avenir.

➤ *Paléoécologie (tableau 5)*

La formation de la tourbière de la Grenouillère a été initiée par la formation d'un lacustre aux environs de 5700-4400 BP, au démarrage des activités anthropiques sur le territoire. Ensuite deux phases de turfigénèse se sont succédées dans un contexte d'intensification des pratiques pastorales : une première avec la formation d'un tremblant il y a environ 4400 ans, et une seconde de nature ombro-minerotrophe il y a environ 3000 ans. Le fonctionnement ombro-minerotrophe d'une tourbière lacustre suite à la formation d'un tremblant est inhabituel, il est certainement dû à la pression pastorale variable mais relativement faible sur la tourbière (Goubet & Goubet, 2023). Ensuite la tourbière a été fortement dégradée au paroxysme du pastoralisme, formant un horizon sombre, compact et minéralisé s'apparentant à un KTH au début du XIX^{ème} siècle. Sur cette couche une tourbière hétérogène s'est recrée, formant « une mosaïque post-pastorale de dépression lacustre à inondation partielle quasi pérenne » (Goubet & Goubet, 2023).

Tableau 5 : synthèse des informations obtenues par l'étude paléocéologique de la Grenouillère (Goubet & Goubet, 2023), (Doyen, 2022).

Profondeur (cm)	Date	Unité	Fonctionnement	Hydrologie	Macro-restes	Pollens	Micro-organismes	Contexte
7-27	Passé récent	Acrothelme	Ombro-minérotrophe	Hétérogène	- Sphaignes et mousses MP1, - peu de changement MP5 : résilience	Augmentation des espèces arborées qui redeviennent dominantes (70%), diminution des herbacées.	Forte occurrence de micro-organismes coprophiles strictes	Pression pastorale inégale au sein de la tourbière.
27-50	1693-1918 (XIX ^{ème} siècle plus probable)	KTH			Système de type boueux probable	Diminution des espèces arborées (taux de 30 à 20 % seulement) et des poacées, augmentation des cypéracées et céréales, espèces rudérales et de la callune	Forte occurrence de micro-organismes coprophiles strictes	Pression pastorale très forte
50-167	D'environ 1019 avant J.-C. à 1693-1918	Unité à Sphagnum et Eriophorum	Ombro-minérotrophe	Hygrométrie changeante	Mélange atypique de végétation ombrotrophe et minérotrophe, Eriophorum vaginatum dominante	Ré-augmentation de la végétation arborée (55%) et de végétation herbacée comme les poacées et certaines espèces rudérales. Diminution de la proportion de cypéracées, et plusieurs phases d'augmentation de la proportion de sphaignes.	Forte occurrence de micro-organismes coprophiles strictes	Pression pastorale variable, signes d'une forte pression à 1m, sans formation de KTH
167-227	d'environ ? À environ 1019	Tremblant	Minérotrophe	Présence d'eau constante	Grande proportion de sphaignes, flore vasculaire dominée par des Carex, part d'Eriophorum également significative mais non dominante. Présence d'une couche au bas avec forte présence de mélianthé : rôle important dans le comblement du lac	Forte diminution de la végétation arborée (minimum à 30%) et des mousses et/ou fougères, forte augmentation des pollens de cypéracées (50%),	Dominance de micro-organismes saprophytes, très faibles occurrence de micro-organismes coprophiles,	Intensification du pâturage associée à un changement climatique marqué : baisse des températures, diminution des écoulements, abaissement de. Dans le cas de la grenouillère c'est certainement davantage l'impact des activités pastorales qui ont conduit au démarrage de la turfigénèse.
227-247	Environ 2436 avant J.-C. à ?	Démarrage de la turfigénèse	Minérotrophe	Présence d'eau constante	alternance de boues lacustres et couches fibreuses	Dominance des arbres (75 %), faible représentation de végétation aquatique, nombreux indices de présence de mousses ou fougères, occurrence de végétation rudérales ou céréales.	Dominance de micro-organismes saprophytes, présence micro-organismes typiques des zones humide. Occurrence très faibles coprophiles strictes	
247-297	Environ - 3700 à environ - 2436 avant J.-C.	Boues lacustres	Minérotrophe	Lac	Présence hétérogène de carex, sphaignes et plantes vasculaires sur les bordures		Dominance de micro-organismes saprophytes, présence de micro-organismes typiques des milieux aquatiques. Occurrence très faibles coprophiles strictes	Environnement forestier dominé par le Sapin, présence également de Boulot et de Pin. Début de la présence d'une réelle pression anthropique

Les diagrammes poliniques et des MNPs ainsi que les résultats de l'identification des macro-restes sont présentés en annexe (Annexe 5 : digrammes poliniques et résultats d'analyses des macro-restes (Goubet & Goubet, 2023), (Doyen, 2022))

La tourbière de la Grenouillère est une tourbière lacustre présentant une mosaïque d'habitats diversifiée et donc à une diversité faunistique et floristiques riche. Le gradient hygrométrique lié à la topographie et l'usage pastoral sont certainement à l'origine de la diversité des structures de surface de la tourbière. L'usage pastoral a notamment conduit à la remise en place d'une la turfigénèse différenciée grâce à pression modérée, inégale dans l'espace mais constante dans le temps. La tourbière de la Genouillère est donc un système en rééquilibrage, l'évaluation de la trajectoire globale du milieu nécessite la compréhension des dynamiques locales des différentes composantes, et l'évaluation de l'impact des activités pastorales dans la dynamique actuelle du milieu.



Figure 24 : transect suivi pour la réalisation des sondages pédologiques sur la tourbière de la Grenouillère



Figure 25 : localisation des placettes d'inventaires floristiques sur la tourbière de la Grenouillère

IV – 1_b) L'état de conservation de la tourbière de la Grenouillère

➤ Fonctionnement et processus

- Niveau d'humidité du sol – indicateur RhoMéO I01

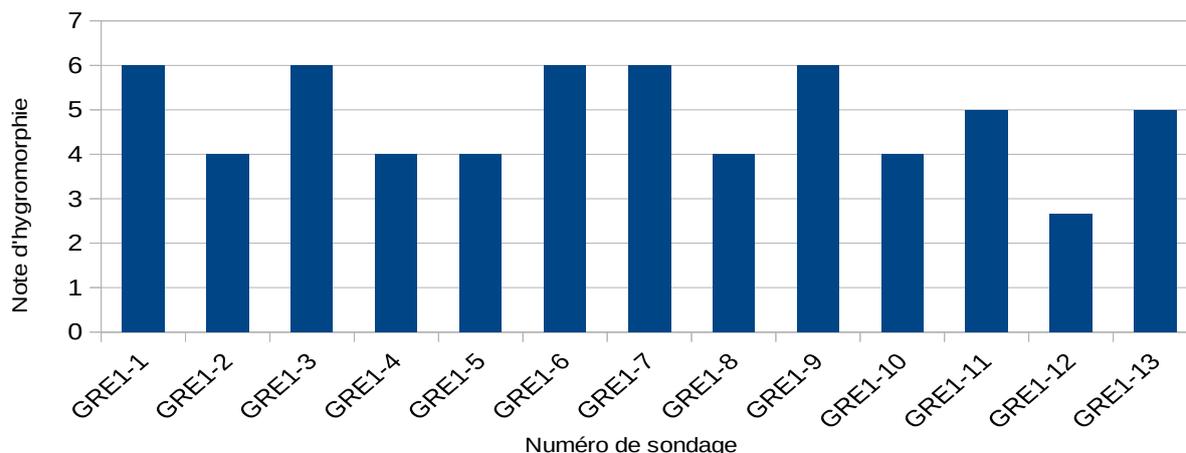


Figure 26 : valeurs d'hygrométrie de la tourbière de la Grenouillère par points de sondages

Les valeurs d'hydromorphie présentées par ce diagramme correspondent aux valeurs attribuées à chaque point de sondage numérotés de 1 à 13, du nord vers le sud le long du transect (figure 26). L'indicateur se situe sur une échelle de 0 à 6, où 0 représente un sol sec et 6 un sol totalement saturé. La valeur d'hydromorphie attribuée à la tourbière de la Grenouillère est de 4,52, alors que la valeur moyenne des indicateurs obtenus sur les sites tests de RhoMéO est de 2,5 (Collectif, 2014). Le niveau d'humidité du sol global du site peut être considéré comme assez élevé. Les variations d'humidité selon les points de sondage concorde avec les observations de terrain : les sondages présentant une note de 6 ont été réalisés dans les zones à *Menyanthes trifoliata* qui sont des zones dont le sol est totalement saturé en eau. Les sondages présentant une note de 4 sont des sondages réalisés dans des zones de buttes à sphaignes. La valeur du point 12 est plus basse certainement car le prélèvement a été fait sur la berge de la tourbière.

- Indice floristique d'engorgement - indicateur RhoMéO I02

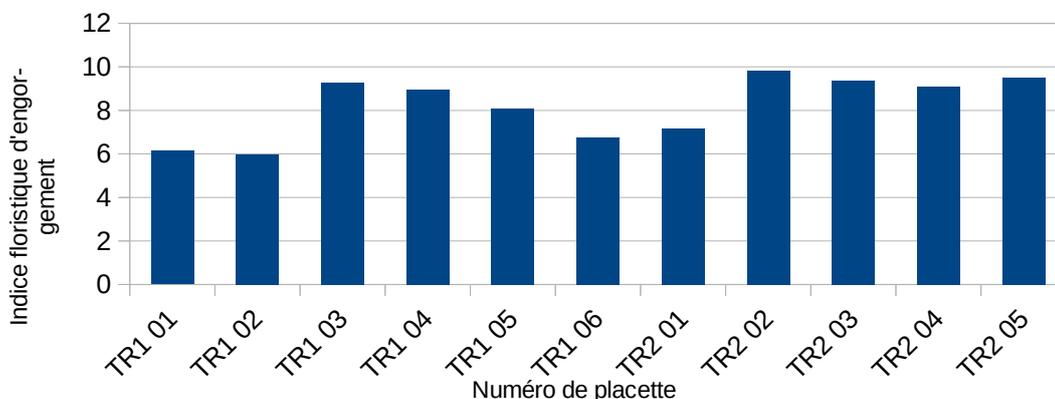


Figure 27 : indices floristiques d'engorgement par placettes sur la tourbière de la Grenouillère

L'indice floristique d'engorgement est de 8,97 pour la tourbière de la Grenouillère. L'indice correspond à une valeur comprise entre 0 et 9, et la moyenne des indicateurs obtenus pour les sites tests RhoMéO est de 6,7 (Collectif, 2014). Le degré d'engorgement de la tourbière de la Grenouillère est élevé. La grande majorité des placettes présentent un indice d'engorgement supérieur à 8. Seules les placettes se situant en bordure de la tourbière présentent un indice d'engorgement légèrement plus faible.

Près de la moitié des espèces détectées ont une valeur indicatrice d'humidité comprise entre 8 qui correspond aux espèces hydrophiles et 9 qui correspond aux espèces amphibies. Environ 20 % des espèces détectées ont une valeur indicatrice de 5 qui sont des espèces mésohydriques (Largier et al., 2023). La tourbière de la Grenouillère présente donc une majorité d'espèces liées à des milieux inondés au moins une partie de l'année.

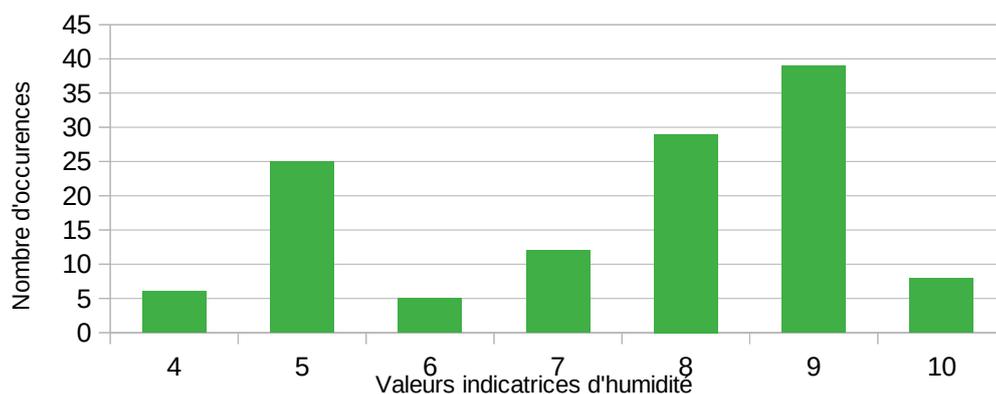


Figure 28 : occurrence des valeurs indicatrices des espèces détectées sur la tourbière de la Grenouillère

- Indice floristique de fertilité du sol – indicateur RhoMéo I06

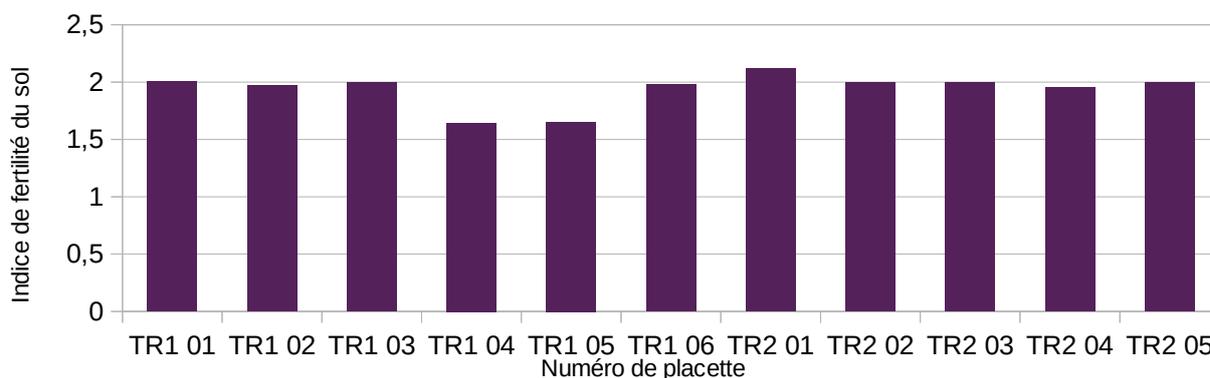


Figure 29 : indices de fertilité du sol par placettes sur la tourbière de la Grenouillère

L'indice floristique de fertilité du sol de la tourbière de la Grenouillère est de 2. L'indicateur correspond à une valeur comprise entre 1 et 5, et la moyenne des valeurs indicatrices obtenue pour les sites testes RhoMéo est 2,3 (Collectif, 2014). L'indice de fertilité de la tourbière est donc plutôt faible.

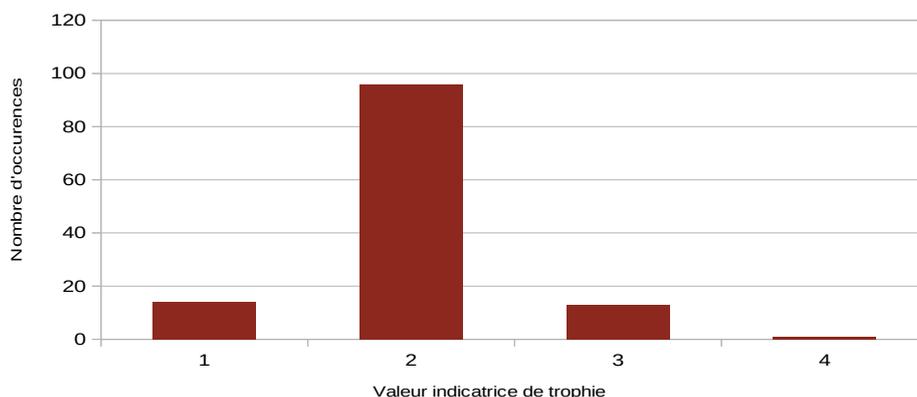


Figure 30 : nombre d'occurrences des valeurs indicatrices de trophie des espèces détectées sur la tourbière de la Grenouillère

Plus de 80 % des espèces détectées sur la tourbière de la Grenouillère présentent une valeur indicatrice de 2. La grande majorité des espèces présentes sur la tourbière sont donc oligotrophes. Si la richesse du milieu venait à augmenter, cette représentation permettra de visualiser la disparition d'espèces oligotrophes et l'apparition de nouvelles espèces plus eutrophes.

Les indices obtenus pour la tourbière de la Grenouillère traduisent un caractère oligotrophe qui correspond à une tourbière en bon état de conservation.

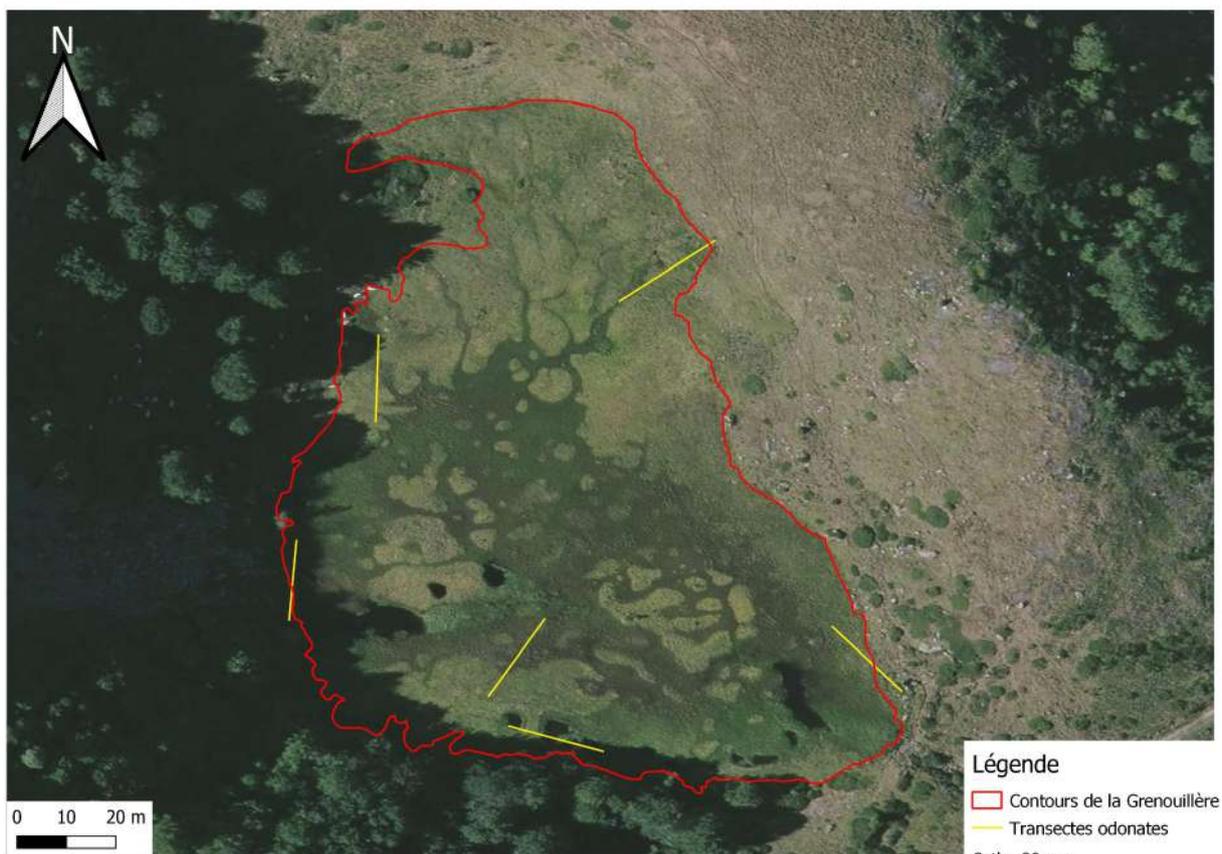


Figure 31 : localisation des transectes parcourus pour l'inventaire des odonates sur la tourbière de la Grenouillère

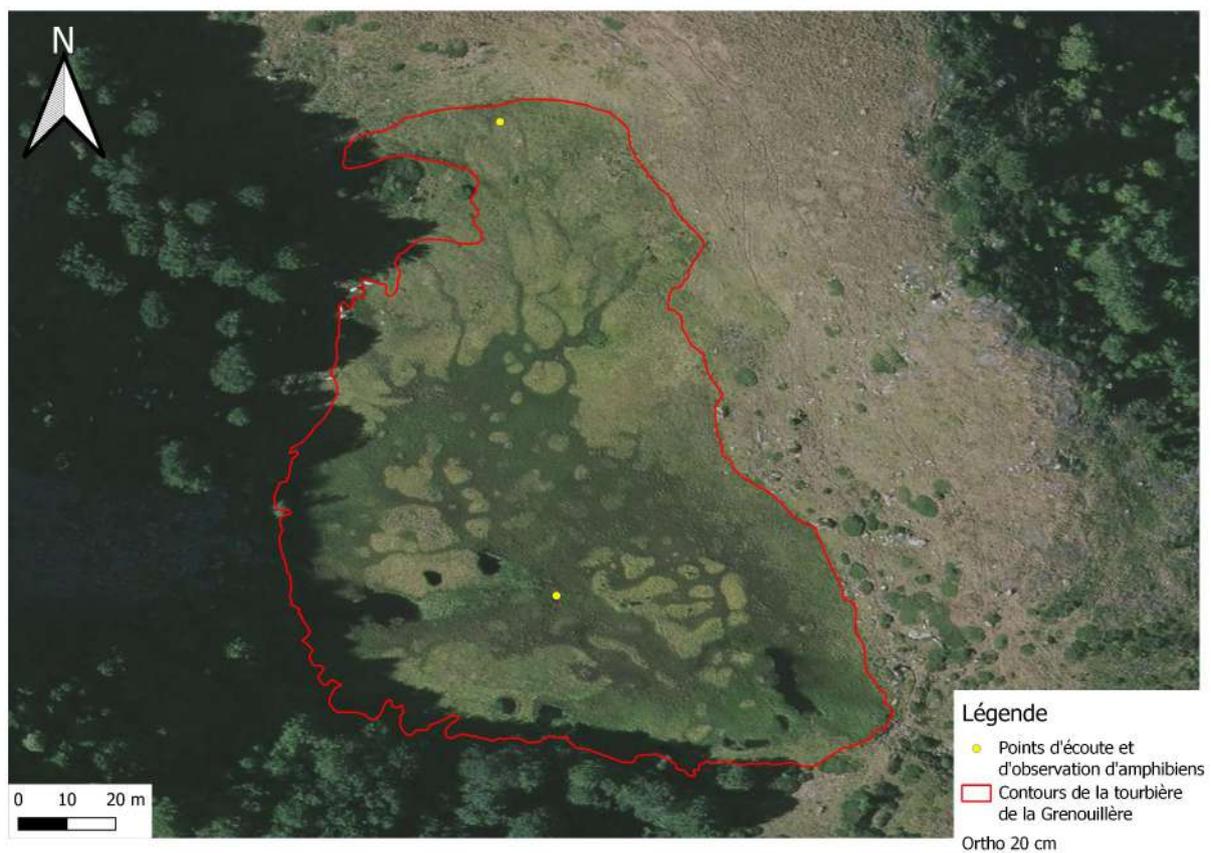


Figure 32 : localisation des points d'écoute pour l'inventaire des amphibiens sur la tourbière de la Grenouillère

➤ Indicateurs de structure et composition

• Intégrité du peuplement d'odonates – indicateur RhoMéO I10

Année	Liste référence	2018	2019	2020	2021
nombre d'espèces	14	10	11	10	10
nombre d'espèces liste de référence		8	7	8	6
nombre d'espèces supplémentaires		2	4	2	4
Indicateur (%)		57	50	57	43

L'indicateur varie d'une années sur l'autre, avec un nombre d'espèce détecté correspondant à la liste de référence qui varie qui varie de 6 à 8. La courte série de données ne permet pas d'évaluer l'évolution de la population d'odonates de la tourbière, mais elle permet de faire un état des lieux de l'intégrité de la population actuelle. Il est considéré qu'un peuplement d'odonates est intègre si l'indicateur obtenu est supérieur à 65 %. Ce n'est pas le cas de la tourbière de la Grenouillère. Parmi les espèces non détectées (Annexe 7 et 8) :

- *Aeschna grandis* est en limite d'aire de répartition, cette espèce est répandue dans les Alpes et le Massif Central, mais sa présence dans les Pyrénées semble restreinte aux Pyrénées Orientales. Il se pourrait qu'elle s'étende vers la RNR qui n'est pas si éloignée, mais son absence n'est pas surprenante.

- *Sympetrum danae* a pu être détectée au cours des inventaires en 2022 et 2023, il se peut que le changement de protocole permette une meilleure détection de l'espèce, elle est en tout cas actuellement présente sur la tourbière

- *Lestes sponsa* est beaucoup plus rare dans le sud de la France que *Lestes dryas* dont l'écologie est proche mais qui est plus particulièrement présente dans les milieux montagnards

- *Somatochlora arctica* et *Somatochlora metallica* sont des espèces inféodées aux tourbières acides. *Somatochlora arctica* est une espèce localisée particulièrement rare mais inféodée aux tourbières d'altitude. L'absence de ces deux espèces spécialisées des milieux tourbeux peuvent traduire un mauvais état de leur habitat ou d'une déconnexion avec les noyaux des autres populations.

• Intégrité du peuplement d'amphibiens – indicateur RhoMéO I11

	2020	2021
Nombre d'espèces contactées	3	3
Indice de diversité de Simpson	0,05	0,05
Sténoécie brute	0,11	0,11
Sténoécie relative	0,25	0,25
I2PA	0,41	0,41

Au cours des deux années d'inventaire, les indicateurs sont identiques bien que les effectifs des soient différents : le nombre d'espèces détectées et leurs proportions sont similaires.

La sténoécie brute est faible, alors que la sténoécie relative est plus élevée : il y a peu d'espèces présentes à l'échelle départementale dont la présence est avérée dans une maille de 10km² comprenant la RNR (openobs, MNHN). D'autre part, les deux listes de référence auxquelles est comparée la liste d'espèces observée sur la grenouillère, présentent des espèces (*Calotriton asper* et *Salamandra Salamandra*) dont l'écologie ne correspond pas aux milieux tourbeux (Speybroeck, 2018).

La valeur d'I2PA que l'on peut obtenir par les calculs est une valeur comprise entre 0 et 3 et la valeur moyenne des valeurs indicatrices obtenue pour les sites tests RhoMéO est de 0,8. L'indice égal à 0,41 obtenu pour la Grenouillère est faible, le peuplement d'amphibiens de la tourbière ne peut pas être considérée comme intègre. La chronique de données n'est pas suffisamment longue pour évaluer une tendance d'évolution des populations d'amphibiens.

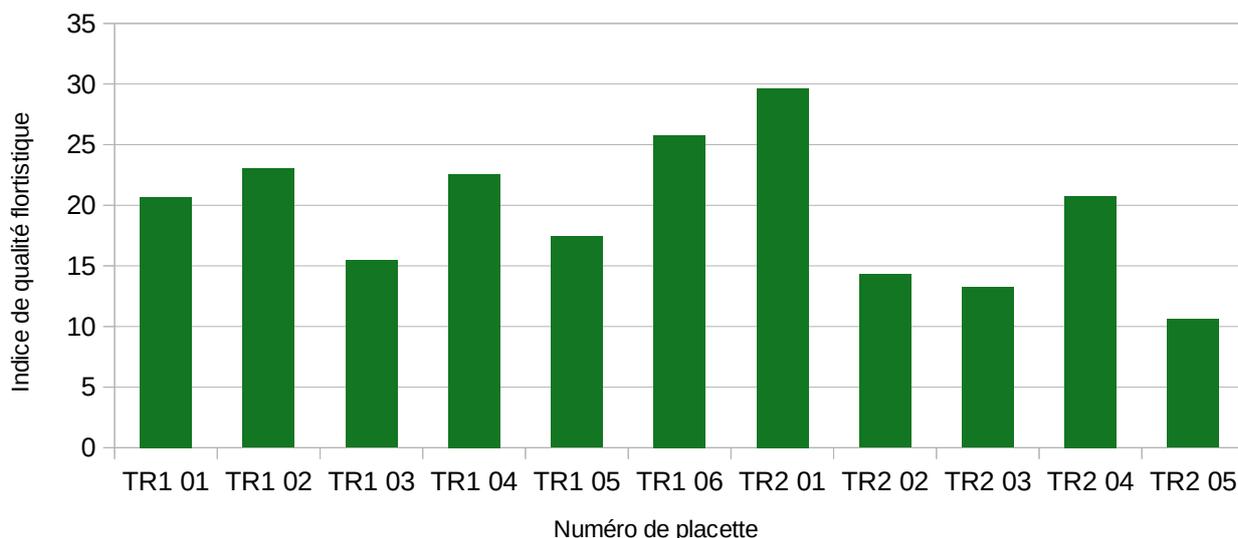


Figure 33 : indices de qualité floristique par placettes sur la tourbière de la Grenouillère

- Indice de qualité floristique - indicateur RhoMéO I08

L'indice de qualité floristique de la tourbière de la Grenouillère est de 20,7. La qualité floristique diffère de manière importante selon les placettes avec des valeurs allant de 13,2 à 29,6 (figure 33). En dehors de la première placette, les placettes du transect n°2 présentent des valeurs indicatrices globalement plus faible. Cette tendance peut s'expliquer par l'accessibilité facilitée de cette zone pour les troupeaux, il est possible qu'elle soit davantage sujette à des perturbations du milieu.

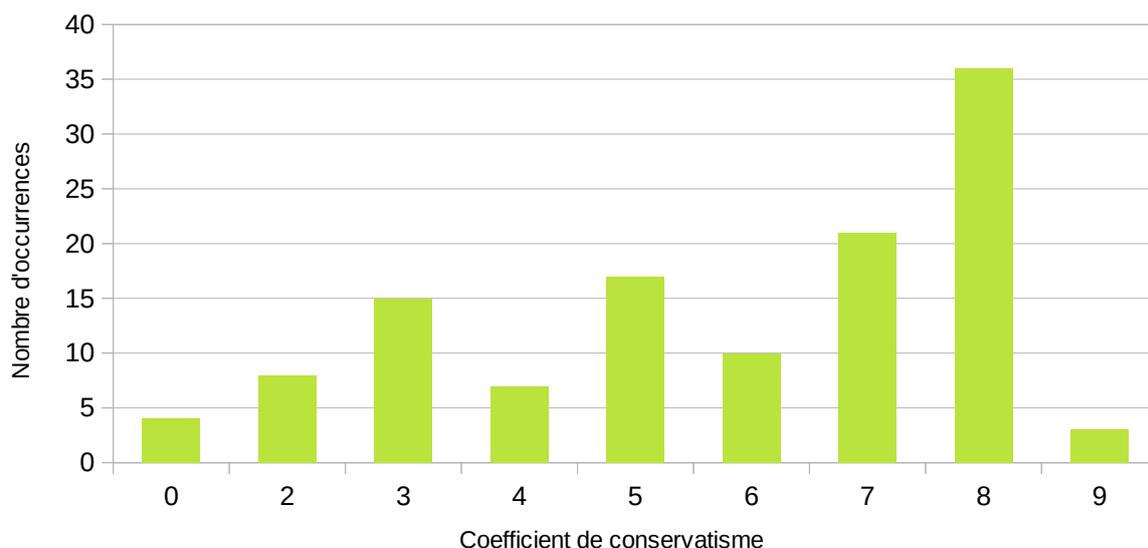


Figure 34 : nombre d'occurrences des coefficients de conservatisme des espèces détectées sur la tourbière de la Grenouillère

Près de la moitié des espèces ont un coefficient de conservatisme compris entre 7 et 8, ce sont des espèces ayant tendance à se développer sur des zones humides en bon état de conservation (Largier et al., 2023). L'autre moitié des espèces sont moins inféodées aux zones humides et peuvent plus facilement s'adapter à des perturbations du milieu.

L'indice de qualité floristique moyen obtenu pour les sites tests RhoMéO est de 18, celui obtenu pour la tourbière de la Grenouillère étant supérieur, la qualité floristique de la tourbière est considérée comme bonne.

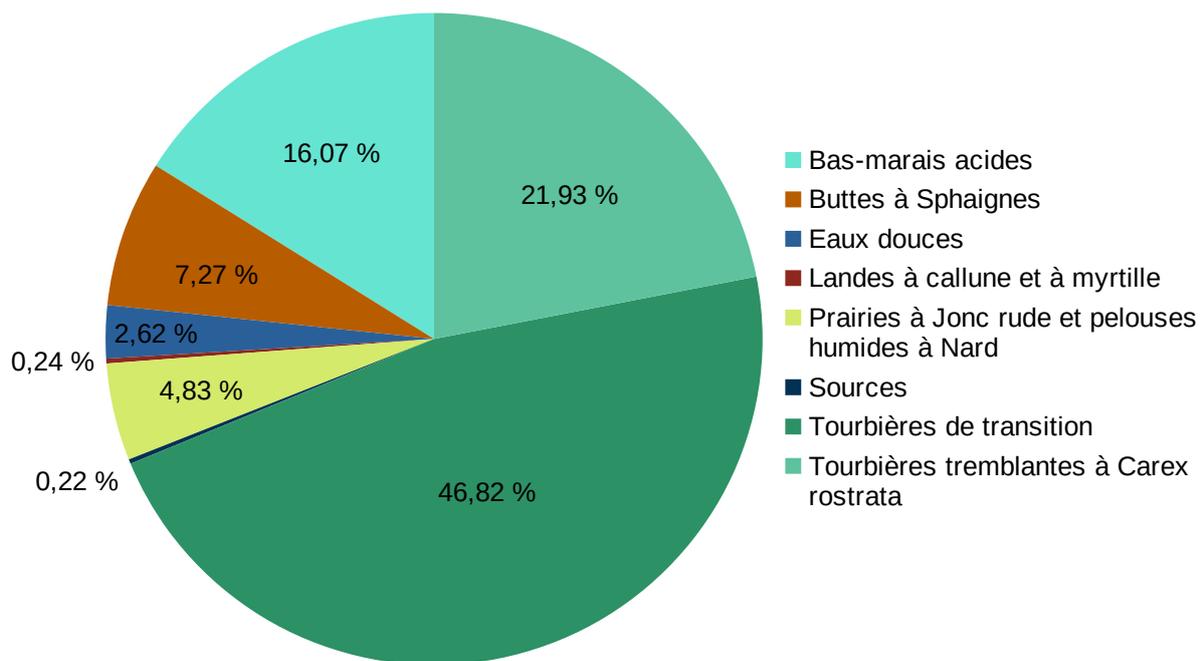


Figure 35 : taux de recouvrement des habitats de la tourbière de la Grenouillère (Thirsa van der Veen), issus de la cartographie des habitats (Laurent Servièrè)

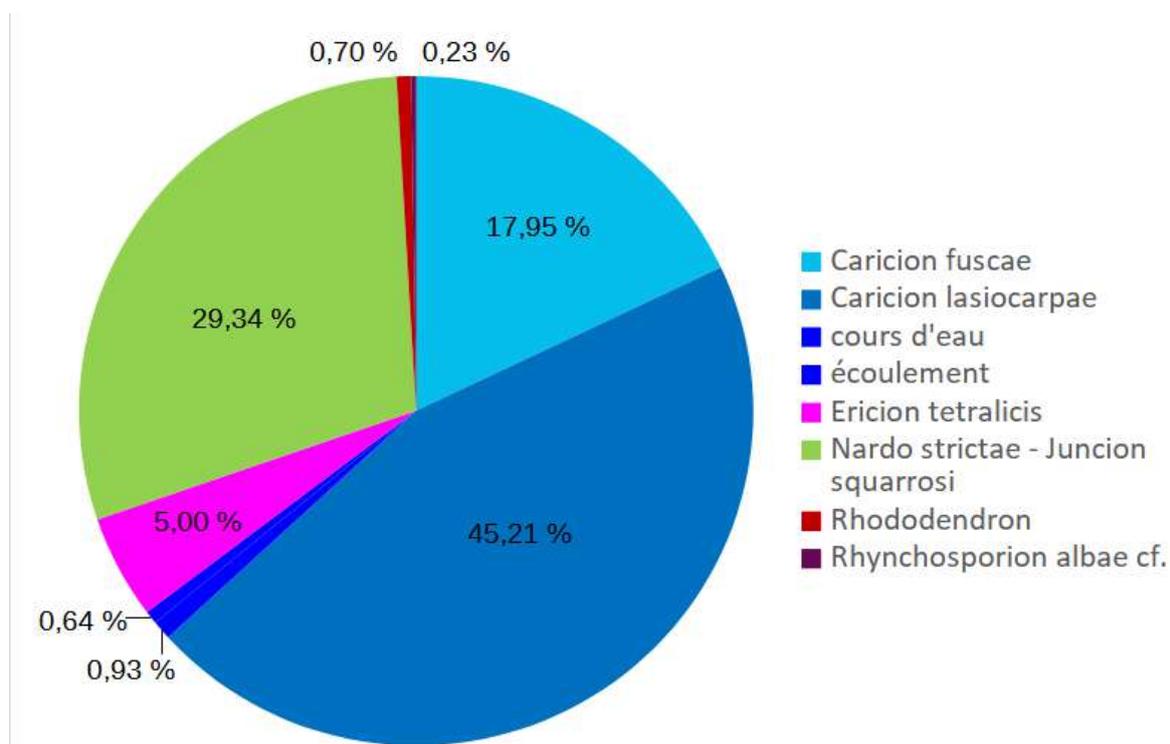


Figure 36 : diagramme de recouvrement du transect phytodynamique de la tourbière de la Grenouillère (Julien Aït El Mekki, Laurent Servièrè, ANA-CEN Ariège)

- **Intégrité des habitats – indicateur EEC du MNHN**

Le taux de recouvrement de chaque habitat a pu être évalué grâce à la cartographie des habitats (figure 35). Ces taux représentent l'état initial pour le suivi de l'évolution des habitats du complexe tourbeux. L'état de conservation de ces derniers ne pourra être évalué qu'après la prochaine actualisation de la cartographie des habitats.

- **Recouvrement par la Molinie – indicateur EEC du MNHN**

L'indicateur de recouvrement par la Molinie de la tourbière de la Grenouillère est de 0 %. La cartographie des habitats n'a pas mené à la mise en évidence de molinaie, il est donc considéré que le recouvrement de la tourbière par la molinie est négligeable : la tourbière ne présente pas de perturbations hydrologiques ou trophiques suffisantes pour l'installation de l'espèce. L'actualisation régulière de la cartographie des habitats permettra cependant d'être vigilants sur l'évolution de l'espèce.

- **Intégrité des successions végétales – indicateur EEC du MNHN**

Sur le transect phytodynamique de la tourbière de la Grenouillère, 6 groupements végétaux ont été identifiés. Le groupement végétal dominant est la Caricion lasiocarpae, suivi de la Caricion fuscae et de la Nardo – Juncion en 2018. Ces données constituent un état initial, c'est l'évolution des pourcentages des différents groupements végétaux qui permettra de suivre les successions végétales. Une analyse de l'évolution dans l'espace pourra également être conduite par la représentation spatiale des habitats le long du transect (Annexe 6 : représentation spatiale des groupements végétaux le long des transects phytodynamiques).

➤ *Indicateurs d'altération*

- **Colonisation arborée – indicateur EEC du MNHN**

L'indice de colonisation arborée de la tourbière de la Grenouillère est 0 % : la cartographie des habitats n'a pas mené à la mise en évidence de surfaces colonisées par une végétation arborée. Cela ne signifie pas que la végétation arborée est absente de la tourbière. Quelques Pins à crochet et Bouleaux sont présents, mais leur faible nombre et leur distribution éparse ne mène pas à la formation d'habitats dominés par ces derniers. L'actualisation régulière de la cartographie des habitats permettra cependant d'être vigilants sur l'évolution de ce type de végétation et donc sur la dynamique de colonisation de la tourbière.

- **Colonisation arbustive – indicateur EEC du MNHN**

La cartographie des habitats a permis de mettre en évidence une zone de végétation arbustive, avec la présence d'une zone de lande à callune et myrtille. Cette zone représente seulement 0,24 % de la surface de la tourbière, la colonisation arbustive y est donc actuellement très faible. La prochaine actualisation de la cartographie de végétation permettra d'évaluer l'évolution de cette zone de végétation arbustive.

- **Indicateurs d'érosion et de destructuration – méthode EEC, MNHN**

La cartographie des surfaces des sols nus et déstructurés devait être réalisée à l'aide d'une prospection de terrain au début du mois de juin, avant la montée des troupeaux, afin de cartographier uniquement les zones dont l'altération est persistante. Le niveau d'engorgement de la tourbière à ce stade de la saison estivale ne permettait pas la visualisation de l'ensemble des zones de la tourbière, dont certaines avaient été ciblées par la pré-cartographie par photo-interprétation. Il a donc été décidé qu'une seconde prospection de terrain serait menée à la fin de la période estivale pour compléter la cartographie. L'indicateur n'a donc actuellement pas pu être calculé.

IV – 1_c) Interprétation de l'état de conservation

Tableau 6 : évaluation des indicateurs de l'état de conservation de la tourbière de la Grenouillère

	Indicateurs	Evaluation des métriques d'état de conservation					
		Indéterminé	très mauvais	Mauvais	Moyen	Bon	Très bon
		0	1	2	3	4	5
Composition, structure	Indice d'intégrité du peuplements d'odonates		2018 → 57 % ; 2019 → 50 % ; 2020 → 57 % ; 2021 → 43 %				
	Indice d'humidité stationnelle (orthoptères)						63,00 %
	Intégrité du peuplement d'amphibiens		0,41				
	Indice de qualité floristique					20,7	
	Recouvrement de la Molinie						0 %
Fonction, processus	Indice pédologique d'humidité du sol					4,13	
	Indice floristique du niveau d'engorgement					8,97	
	Indice floristiques de fertilité du sol					2	
Altérations	Indice de colonisation arborée						0 %
	Indice de colonisation arbustive					0,24	
	Indice d'érosion	Indicateur en cours de calcul	> 50 %	de 25 à 50 %	de 5 à 25%	< 5%	0 %
	Indice de destructuration	Indicateur en cours de calcul	> 50 %	de 25 à 50 %	de 5 à 25%	< 5%	0 %

Sur les 10 indicateurs obtenus, 8 indicateurs indiquent un état de conservation bon à très bon pour la tourbière de la Grenouillère. Seuls les indicateurs d'intégrité des peuplements d'amphibiens et d'odonates indiquent un état de conservation mauvais à très mauvais.

L'état de conservation des paramètres de structure et de composition peut donc être qualifié de moyen. En revanche l'état de conservation des fonctions et processus de la tourbière est bon à très bon, et les premiers indicateurs d'altération obtenus pour l'instant indiquent une faible dégradation de la tourbière.

IV – 2_ La tourbière du Soularac

IV – 2_a) Synthèse des connaissances

La tourbière du Soularac est une tourbière ombrotrophe d'origine soligène, présentant un bombement cumulant 1,40m de tourbe. Il est contournée de part et d'autre par deux suintements formant des zones de bas-marais (Infante Sanchez, 2021).



Figure 37 : tourbière du Soularac, 06/2023, Thirsa VAN DER VEEN

La tourbière du Soularac représente une faible surface d'environ 0,03ha (273,12 m²). Elle repose sur des migmatites à environ 2040m d'altitude, dans une zone de replat du cirque glaciaire de la RNR. Elle se trouve à proximité d'étangs, en tête de bassin versant.

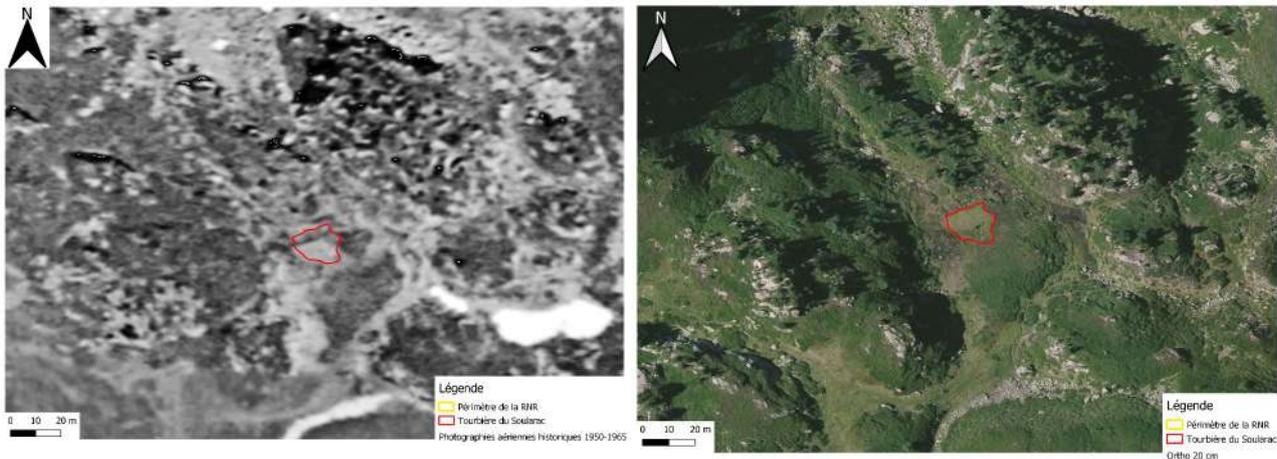


Figure 38 : environnement passé (1950) et actuel de la tourbière du Soularac

La tourbière du Soularac se trouve en milieu sub-alpin semi-ouvert, composé de pelouses, landes et boisement épars de Pin à crochet. L'environnement de la tourbière semble avoir peu évolué depuis les années 1950.

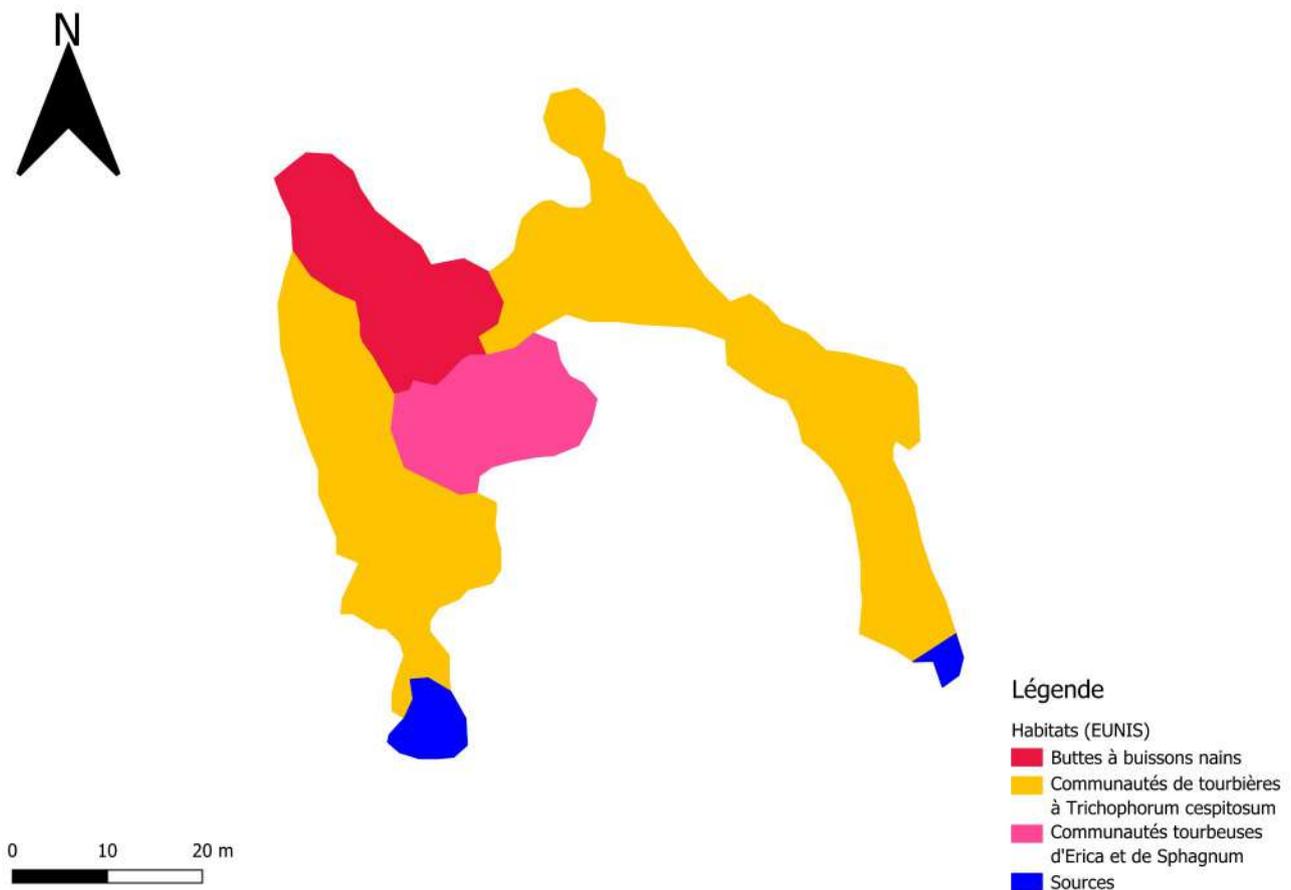


Figure 39 : cartographie des habitats de la tourbière du Soularac (Laurent Serivière)

La tourbière du Soularac est dominée par des l'habitat de communautés de tourbières à *Trichophorum cespitosum*, directement connecté à des sources, qui se trouvent de part et d'autre des communautés tourbeuses d'*Erica* et *Sphagnum* qui constituent la partie bombée de la tourbière. En contre bas de la partie bombée se trouvent des buttes à buisson nain qui représentent également une surface significative de la tourbière.

➤ Bryologie

Sur la tourbière du Soularac, 29 espèces de bryophytes ont été détectées donc 5 espèces de sphaignes. Un tiers des espèces sont des hépatiques, elles constituent une part importante de la biomasse de la tourbière. Deux espèces de sphaignes, *Sphagnum capillifolium* et *Sphagnum russowii* sont ombrophiles, l'une est dominante sur le bombement : c'est une espèce hautement turfigène. Les trois autres espèces sont minérotrophes et se situent en périphérie du bombement. Un espèce d'hépatique, *Cephalozia ambigua*, est classée « en danger », c'est une espèce liée aux habitats de combe à neige acide. Sa présence témoigne de l'enneigement important de la Tourbière. Une autre espèce est classée « vulnérable ».

Malgré sa faible superficie, la tourbière du Soularac présente 9 associations bryophytiques différentes. La butte constitue un gradient de pente, d'hygrométrie et d'ombre (liée à la présence de buissons) favorisant cette diversité. Le sommet du bombement est dominé par l'association de *Ptilidio ciliaris* - *Sphagnetum capillifolii* avec un part de végétation vasculaire importante. Les dépressions bordant le bombement sont dominées par *Sarmentypnion exannulati*, la part de flore vasculaire y est faible. Les dépressions est et ouest présentent ensuite des groupements différents : les deux dépressions ne se rejoignent pas et ne présentent pas les mêmes conditions hydrologique. A l'est, la dépression est parcourues par un ruisseau et le sol est peu profond, à l'ouest la dépression est plus fermée et l'eau s'y accumule, on retrouve donc des associations de bryophytes plus ou moins liées à la présence d'eau courante ou stagnante. Sur les pentes, la formation dominante est *Dicranellion heteromallae Philippi* favorisée par la présence d'ombre générée par les rhododendrons. L'intégrité des bryophytes observés

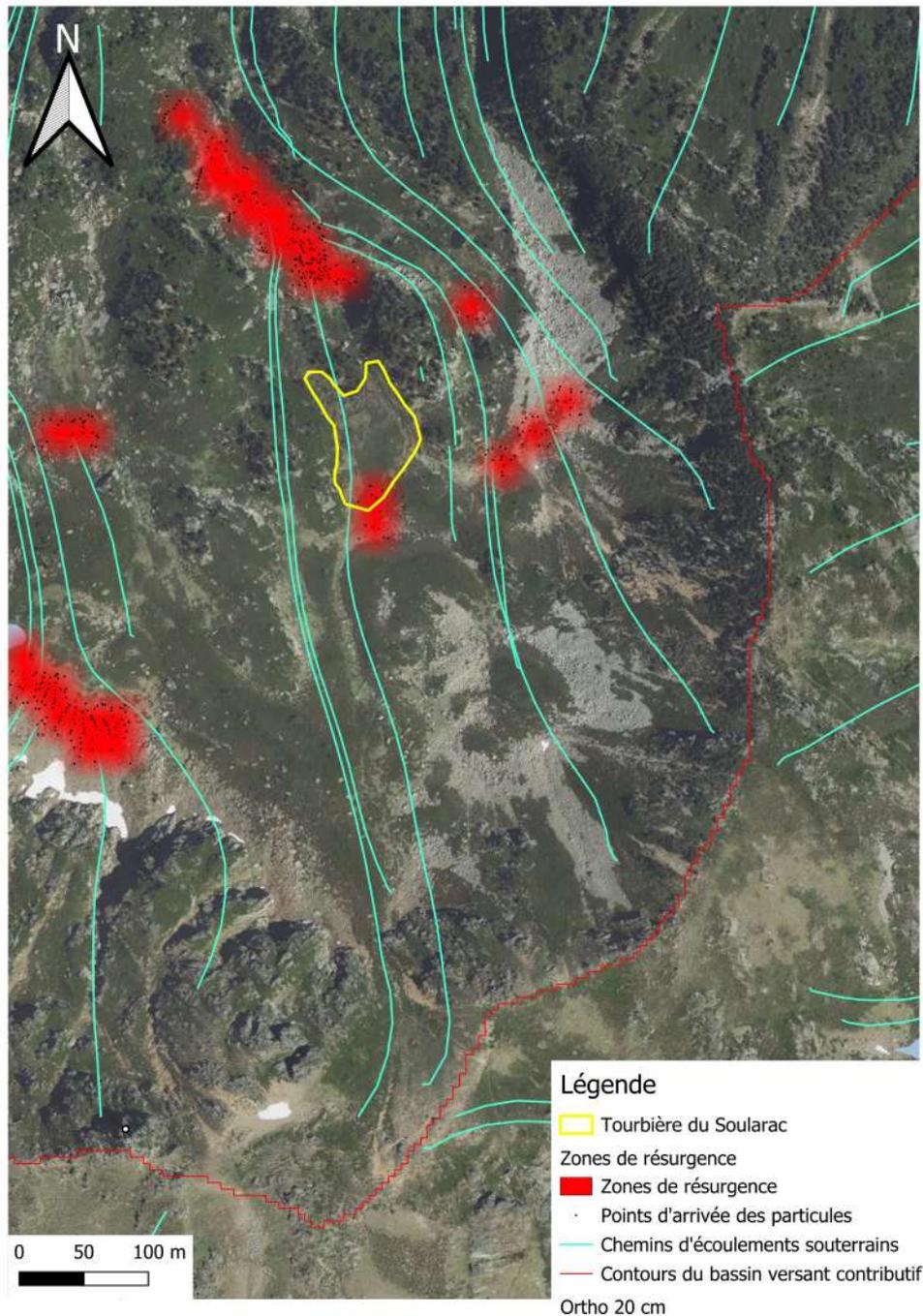


Figure 40 : modélisation des écoulements de subsurface alimentant la tourbière du Soularac (Ronan Abhervé, Clément Roques, laboratoire CHYN)

➤ Hydrologie

La tourbière du Soularac est située en tête de bassin versant, elle bénéficie donc d'un bassin contributif de taille plus restreinte et elle n'est alimentée par un cours d'eau (figure 40). Ces caractéristiques hydrologiques concordent avec le caractère ombrotrophique de la végétation constituant l'habitat de tourbière haute. La possibilité qu'une résurgence alimente la tourbière est envisagée au vu des écoulements sortants au bas de la tourbière (Goubet & Goubet, 2023), et de la forte concentration en Radon mesurée sein de la tourbière (17713 Bq/m^3) (Abhervé et al., 2023), mais ne semble pas être confirmée par la cartographie des zones de résurgence modélisées, qui montre la présence de résurgences en aval de la tourbière uniquement (figure 40). Quoi qu'il en soit, la part d'alimentation en eau la plus importante semble venir des précipitations : le niveau d'eau de la tourbière est très instable avec une amplitude annuelle de 77cm. Les précipitations

neigeuses jouent un rôle prédominant dans son alimentation en eau : le niveau d'eau de la tourbière niveau d'eau fluctue fortement en fonction des périodes de fonte. Le cirque glaciaire présente un enneigement particulièrement important du fait de son exposition et sa morphologie, la tourbière est donc isolée thermiquement sur une longue période et profite d'une alimentation en eau continue lors de la période de fonte. En période sèche estivale de 2019, son niveau d'eau est descendu jusqu'à environ 1m en dessous de la surface (Anglade & Bourrières, 2020).

➤ *Paléoécologie*

Tableau 7 : synthèse des informations obtenues par l'étude paléoécologique de la tourbière du Soularac (Goubet & Goubet, 2023), (Doyen, 2022).

Profondeur (cm)	Unité	Fonctionnement	Contexte hydrologique	Macro-restes	Pollens	Micro-organismes	Contexte
7-37	Tourbière ombrotrophe	Ombrotrophe	Humide	Présence de particules minérales et de charbons. Présence de Sphagnum rubellum caractéristique des tourbières ombrotrophe, présence d'éricacées plus importante.	La végétation arborée redevient dominante (70%), la proportion d'herbacées diminue alors que la présence de sphaignes atteint son maximum.	Dominance de micro-organismes saprophytes, présence considérable d'un micro-organisme associé aux zones humides	Phase de perturbation suivie d'un allègement de la pression pastorale.
37-67	Tourbière à Sphagnum teres et Sphagnum capillifolium	Ombro-minérotrophe	Humidité possiblement plus importante avec un pH plus acide, mais assez similaire à l'humidité de la couche supérieure	Présence dominante de sphaignes dont des espèces ombrotrophes et minérotrophes, présence de callune, mais aussi plantain lancéolé, seigle et autres céréales.	Diminution de la végétation arborée (32%) au profit de la végétation herbacée : espèces prairiales, rudérales et céréalières. Période où la présence de callune est la plus importante. Premières apparitions de Sphaignes et présence de mousses et/ou fougère se maintient.	Dominance de micro-organismes saprophytes	Indices de pâturage encore présents mais en proportion bien moindre. Pâturage très faible.
67-117	Unité basale	Inconnu	Zone humide	Nombreuses particules minérales. Racines non identifiables et racines de ligneux : Pins, Boulots, éricacées. Spindles d'Eryophorum vaginatum. Présence de Neorhabdocoela sp.	Végétation arborée dominante (65 à 85%), la strate herbacée est dominée par les poacées, les éricacées et les cypéracées. Présence continue de mousses et/ou fougères, occurrences régulières de plantes rudérales et de céréales.	Dominance de micro-organismes saprophytes, bonne représentation de deux micro-organismes coprophiles stricts et d'un champignon lié aux tourbières. Présence d'une algue verte aquatique.	Pâturage important

Les diagrammes poliniques et des MNPs ainsi que les résultats de l'identification des macro-restes sont présentés en annexe (Annexe 5 : digrammes poliniques et résultats d'analyses des macro-restes (Goubet & Goubet, 2023), (Doyen, 2022))

L'origine de la tourbière du Soularac demeure inconnue : la couche basale pourrait être de la lande ou de la tourbière, mais il est probable que sa formation ait été possible grâce à une émergence assurant un engorgement de la zone. À cette période des indices montrent une perturbation importante du milieu par un pâturage intense et des brûlis : il est possible que la tourbière repose sur un KTH. Ensuite, l'allègement important de la charge pastorale aurait permis le développement d'une tourbière ombro-minérotrophe avec notamment l'apparition des sphaignes. S'en suit un second dépôt tourbeux essentiellement ombrotrophe qui correspond au fonctionnement actuel de la tourbière (Goubet & Goubet, 2023).

La tourbière du Soularac est une tourbière de tête de bassin composée d'un bombement ombrotrophe au centre, bordée par des zones de bas-marais alimentées par des source. Le caractère ombrotrophe de la zone bombée, qui fait la particularité de la tourbière, pourrait rendre peu résiliente face aux changements climatiques. Cependant, les études paléoécologiques et l'intégrité bryophytique de la tourbière indiquent un fort degré de naturalité de la tourbière et donc une faible dégradation de cette dernière liée aux activités anthropiques.

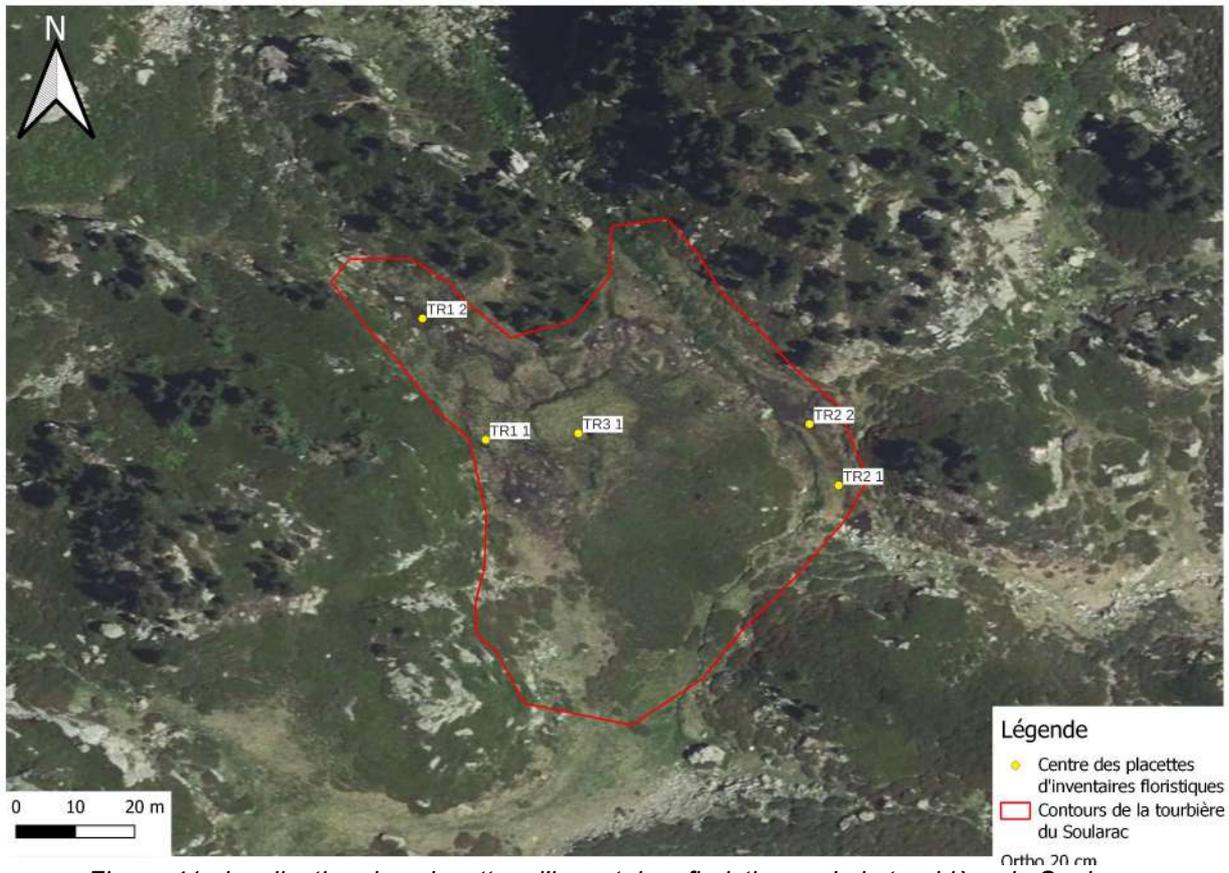


Figure 41 : localisation des placettes d'inventaires floristiques de la tourbière du Souldarac

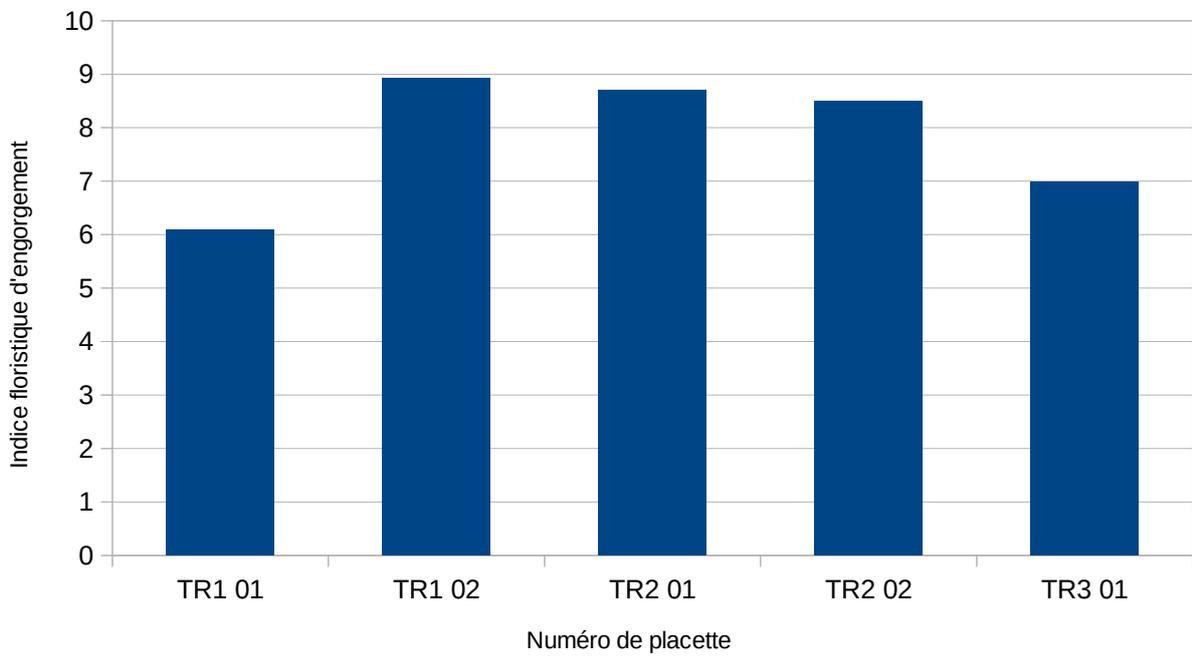


Figure 42 : indices floristiques d'engorgement par placettes sur la tourbière du Souldarac

IV - 2_b) État de conservation de la tourbière du Soularac

- *Fonctionnement et processus*
 - Niveau d'humidité du sol – indicateur RhoMéO I01

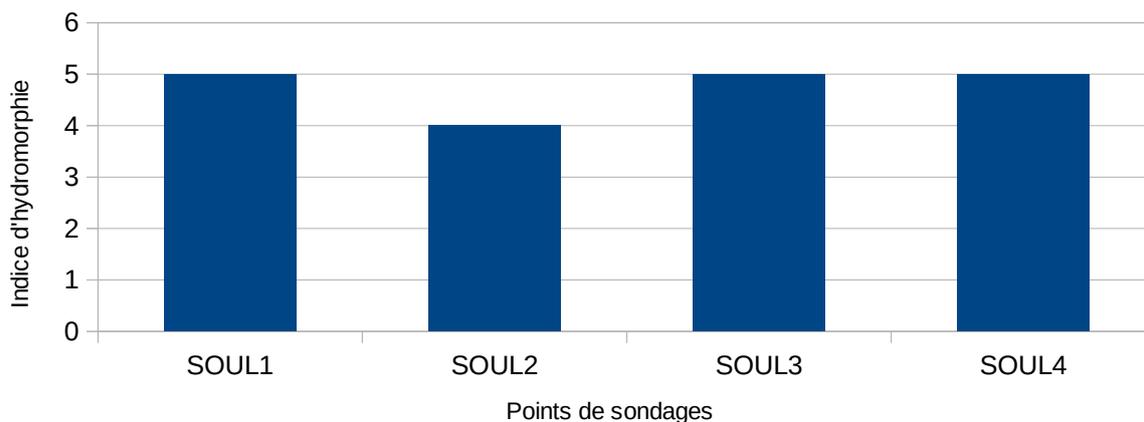


Figure 43 : indices d'hydromorphie par placettes de la tourbière du Soularac

La note d'hydrométrie de la tourbière du Soularac est de 4,75. L'hydrométrie constatée varie peu d'un sondage à l'autre, le niveau d'humidité du sol y est donc plutôt homogène. L'indicateur se situe sur une échelle de 0 à 6, où 0 représente un sol sec et 6 un sol totalement saturé. La valeur d'hydromorphie attribuée à la tourbière de la grenouillère est de 4,52, alors que la valeur moyenne des indicateurs obtenus sur les sites tests de RhoMéO est de 2,5 (Collectif, 2014). Le niveau d'humidité du sol global du site peut être considéré comme assez élevé.

- Indice floristique d'engorgement - indicateur RhoMéO I02

L'indice floristique d'engorgement est de 8,5 pour la tourbière du Soularac. L'indice correspond à une valeur comprise entre 0 et 9, et la moyenne des indicateurs obtenus pour les sites tests RhoMéO est de 6,7 (Collectif, 2014). Le degré d'engorgement de la tourbière de la Grenouillère est élevé.

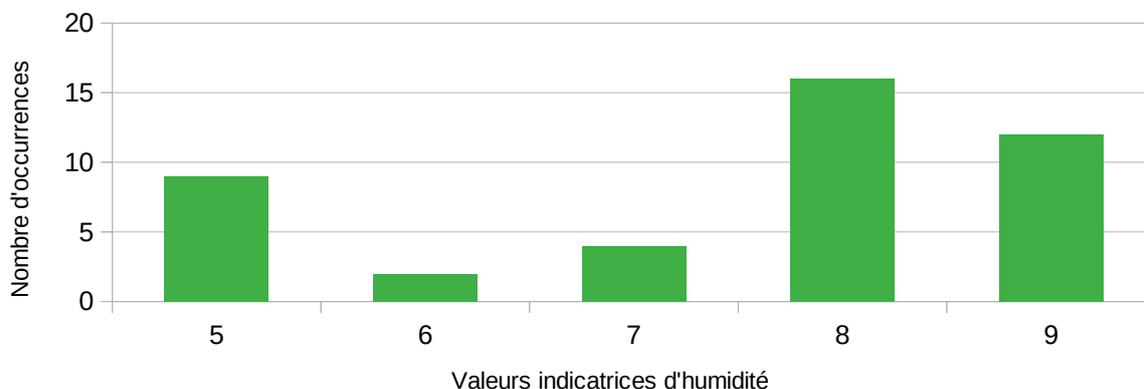


Figure 44 : nombre d'occurrences des valeurs indicatrices d'humidité des espèces détectées sur la tourbière du Soularac

La majorité des espèces détectées (environ 3/4 des espèces) ont une valeur indicatrice d'humidité comprise entre 8 qui correspond aux espèces hydrophiles, et 9 qui correspond aux espèces amphibies. Environ 1/4 des espèces ont une valeur indicatrice de 5, ce sont des espèces mésohydriques (Largier et al., 2023).

Les indices montrent un bon état d'engorgement pour la tourbière du Soularac.

- Humidité du milieu, orthoptères – indicateur RhoMéO I09

	Attendu	Contacté
Nombre d'espèces	24	8
Valeur d'humidité	41	15
Indicateur d'humidité stationnelle		37 %

8 espèces d'orthoptères ont été contactées sur la tourbière du Soularac, L'indicateur d'humidité obtenu est de 37 %. Cette valeur correspond à une humidité stationnelle forte, mais est à la limite d'une humidité stationnelle moyenne (Collectif, 2014). Une évolution de l'indicateur est considérée comme significative lorsqu'elle induit un changement de classe d'humidité, cependant, lorsque la valeur initiale est en limite de deux classes il ne faut pas sur-interpréter ce changement, la prochaine campagne d'inventaire permettra de davantage de confirmer la classe d'humidité de la tourbière que d'évaluer un changement de cette humidité. De plus, pour la tourbière du Soularac, la collecte de données n'a pu être menée que sur une seule année, il est donc possible que l'ensemble des espèces n'ait pas pu être détecté.

- Indice floristique de fertilité du sol – indicateur RhoMéO I06

L'indice floristique de fertilité du sol est de 1,38 pour la tourbière du Soularac. L'indicateur correspond à une valeur comprise entre 1 et 5, et la moyenne des valeurs indicatrices obtenue pour les sites testes RhoMéO est 2,3 (Collectif, 2014).

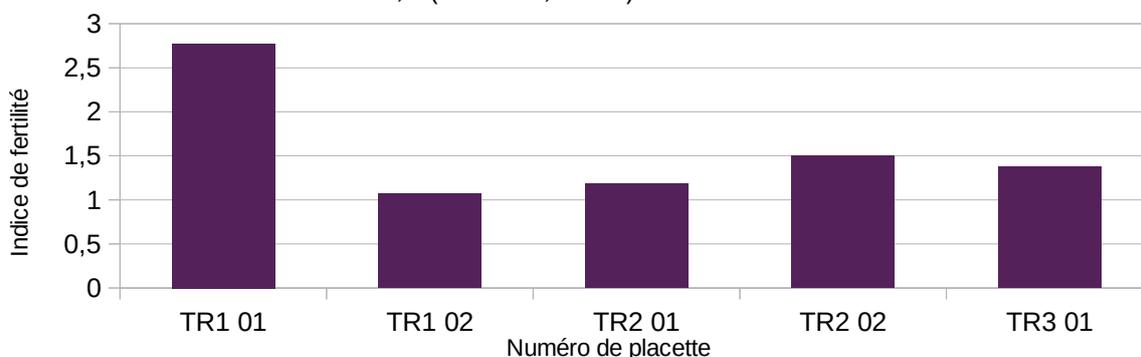


Figure 45 : indices de fertilité par placettes sur la tourbière du Soularac

La placette TR1 01 présente un indice de fertilité plus important, mais celui des autres placettes est plus homogène. Cette valeur est difficile à expliquer.

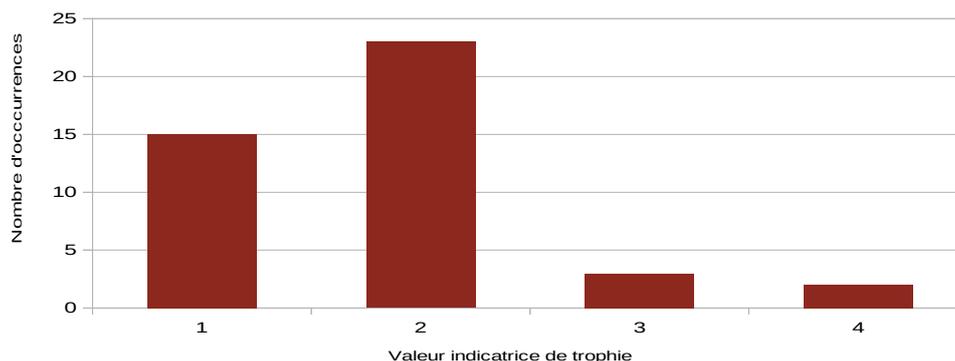


Figure 46 : occurrence des valeurs indicatrices de fertilité des espèces détectées sur la tourbière du Soularac

Près de 90 % des valeurs indicatrices des espèces ont des valeurs indicatrices de fertilité du sol comprises entre 1 et 2, ce sont des espèces oligotrophes à hyper-oligotrophes. Cela signifie que le milieu présente réellement une faible richesse du sol qui empêche l'installation d'espèces nécessitant des milieux fertiles. L'indice obtenu pour la tourbière du Soularac traduit d'un caractère oligotrophe qui correspond à une tourbière en bon état de conservation.

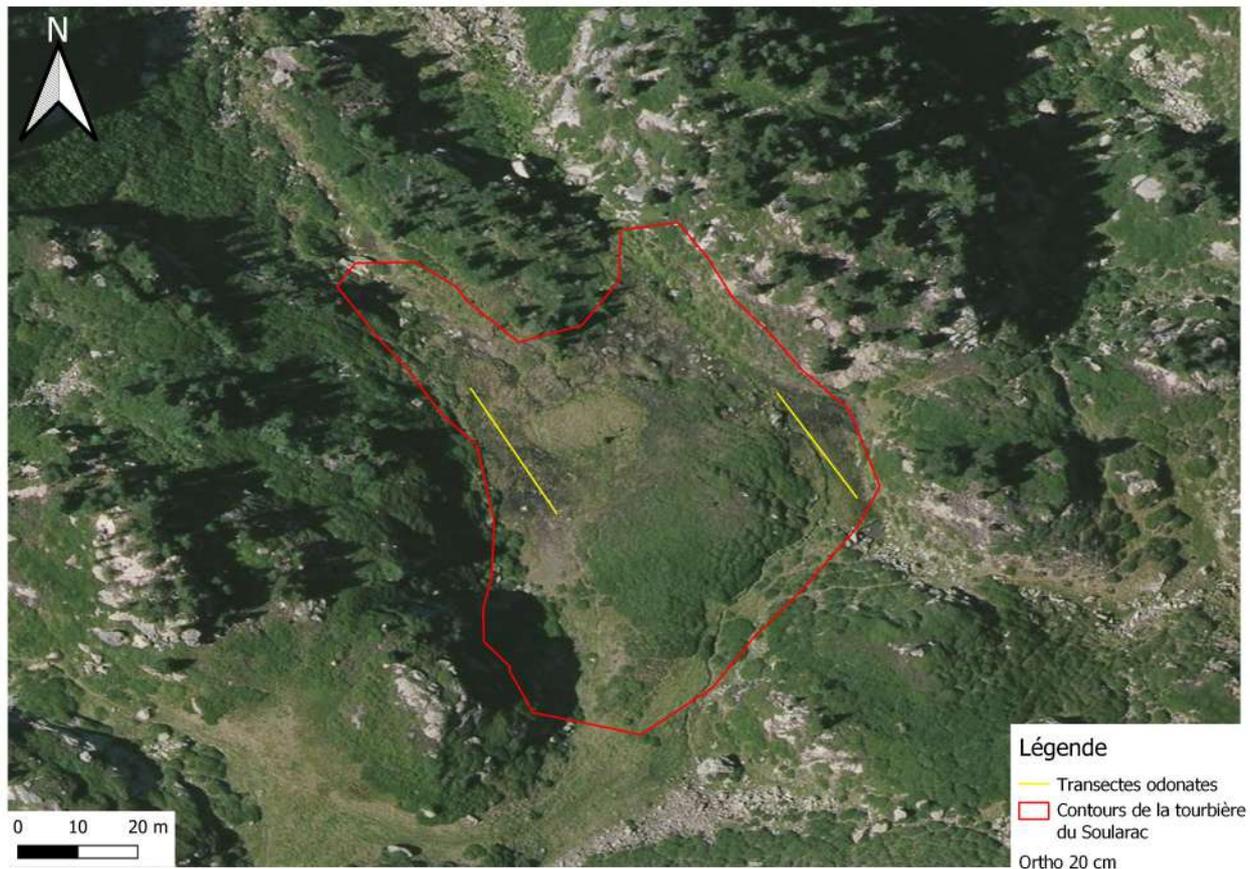


Figure 47 : localisation des transects parcourus pour l'inventaire des odonates sur la tourbière du Soularac

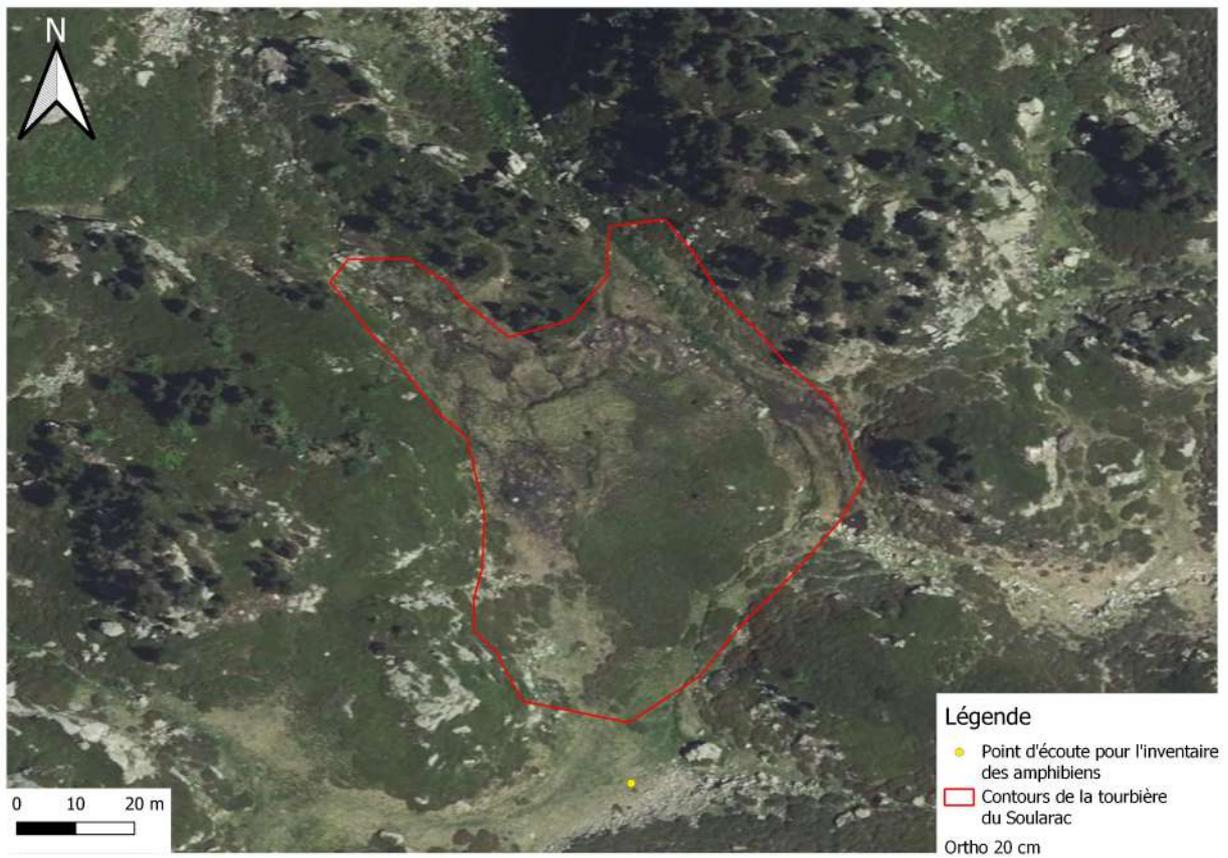


Figure 48 : localisation du point d'écoute pour l'inventaire des amphibiens sur la tourbière du Soularac

➤ Indicateurs de structure et composition

• Intégrité du peuplement d'odonates – indicateur RhoMéO I10

	liste référence	2019	2020	2021
nombre d'espèces	5	5	1	1
nombre d'espèces liste de référence		2	1	1
nombre d'espèces supplémentaires		3	0	0
Indicateur (%)		40	20	20

La première année, le nombre d'espèces détectées est bien plus conséquent que les suivantes, cependant seulement 1 espèce de plus correspond à une espèce de la liste de référence et fait augmenter l'indicateur. L'absence de détection d'une seule espèce conduit à diviser l'indicateur par deux et donc à interpréter un changement important : c'est un biais de l'application du protocole sur des sites présentant une faible richesse spécifique. La chronique de données n'est pas assez longue pour interpréter la diminution du nombre d'espèces détectées. Il est possible qu'elle soit liée à un biais observateur : la première année l'inventaire à été réalisée par un expert en odonates, ce qui n'est pas le cas des années suivantes.

L'indice est inférieur à 65 %, le peuplement d'odonates de cette tourbière n'est pas intègre (Collectif, 2014).

• Intégrité du peuplement d'amphibiens – indicateur RhoMéO I11

	2020	2021
Nombre d'espèces contactées	1	1
Indice de diversité de Simpson	0	0
Sténoécie brute	0,11	0,11
Sténoécie relative	0,25	0,25
I2PA	0,36	0,36

Au cours des deux années de suivi, une seule espèce a été détectée : *Rana dalmatina*. Les valeurs indicatrices sont donc identiques : l'indicateur ne prend pas en compte les effectifs. L'indice de Simpson est donc égal à 0, et les valeurs de sténoécie sont très basses puisqu'une seule espèce des listes de référence est détectée.

La valeur d'I2PA que l'on peut obtenir par les calculs est une valeur comprise entre 0 et 3 et la valeur moyenne des valeurs indicatrices obtenue pour les sites tests RhoMéO est de 0,8. L'indice égal à 0,36 obtenu pour la tourbière du Soularac est faible, le peuplement d'amphibiens de la tourbière ne peut pas être considérée comme intègre. La chronique de données n'est pas suffisamment longue pour évaluer une tendance d'évolution des populations d'amphibiens.

- **Indice de qualité floristique - indicateur RhoMéO I08**

L'indice de qualité floristique est de 16,10 pour la tourbière du Soularac. Plus l'indice est élevé, plus la qualité floristique du milieu est bonne. La moyenne des indicateurs obtenus pour les sites tests RhoMéO est de 18 (Collectif, 2014). La valeur indicatrice obtenue pour la tourbière du Soularac est plutôt faible.

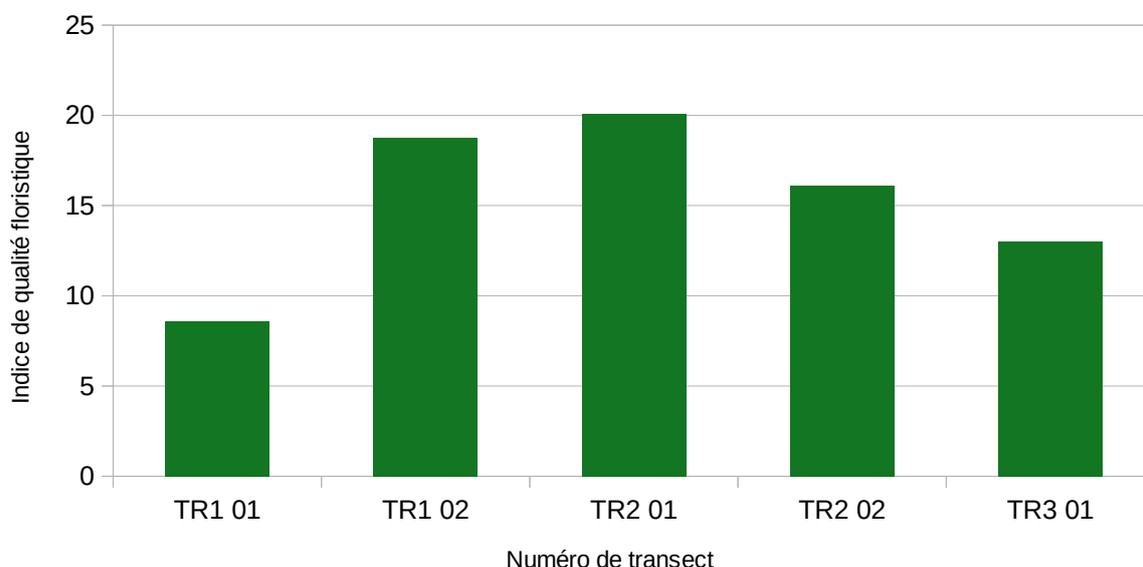


Figure 49 : indices de qualité floristique par placettes sur la tourbière du Soularac

L'indice de qualité floristique est inégal selon les placettes avec des valeurs variant de 8,6 à 20,1.

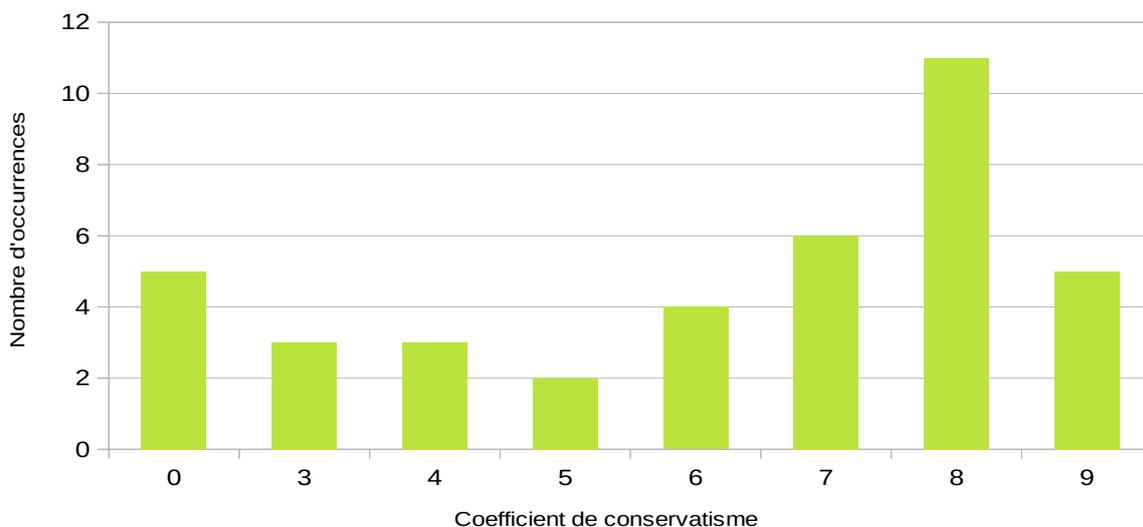


Figure 50 : occurrences des coefficients de conservatisme des espèces détectées sur la tourbière du Soularac

Bien que le coefficient de conservatisme le plus représenté soit de 8, les coefficients des espèces détectées sont très hétérogènes. Cela signifie qu'un nombre assez important d'espèces non inféodées aux zones humides sont capables de se développer sur la tourbière du Soularac. Les valeurs indicatrices obtenues pour la tourbière du Soularac traduisent une mauvaise qualité floristique.

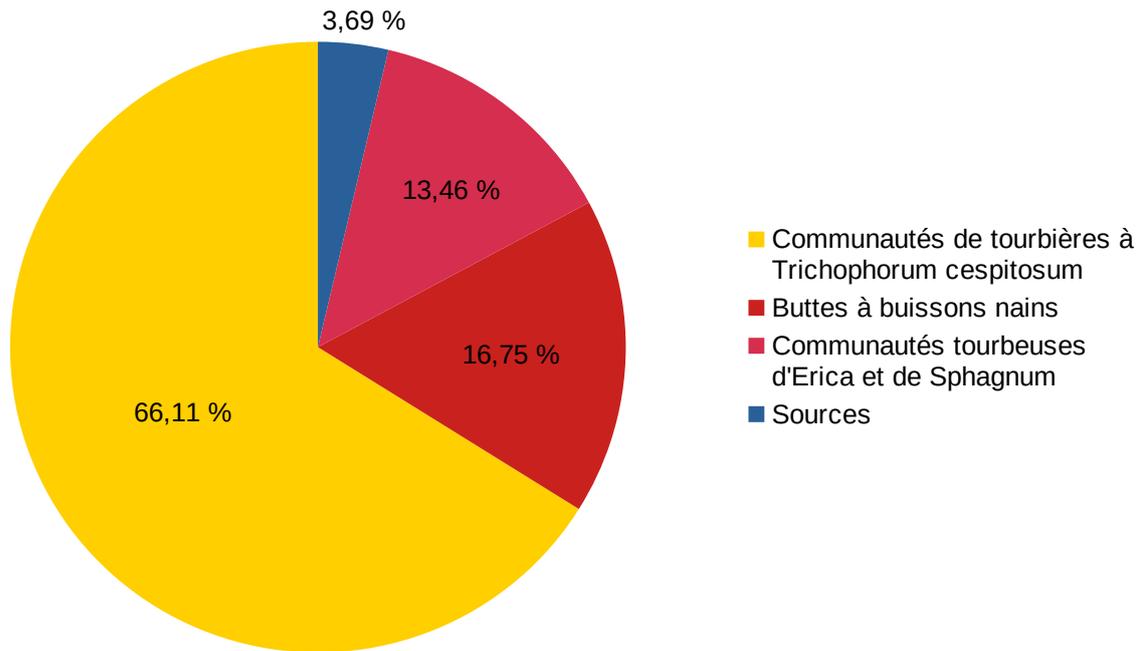


Figure 51 : taux de recouvrement des habitats de la tourbière du Soularac (*Thirsa van der Veen*) à partir de la cartographie des habitats (Laurent Servièrè)

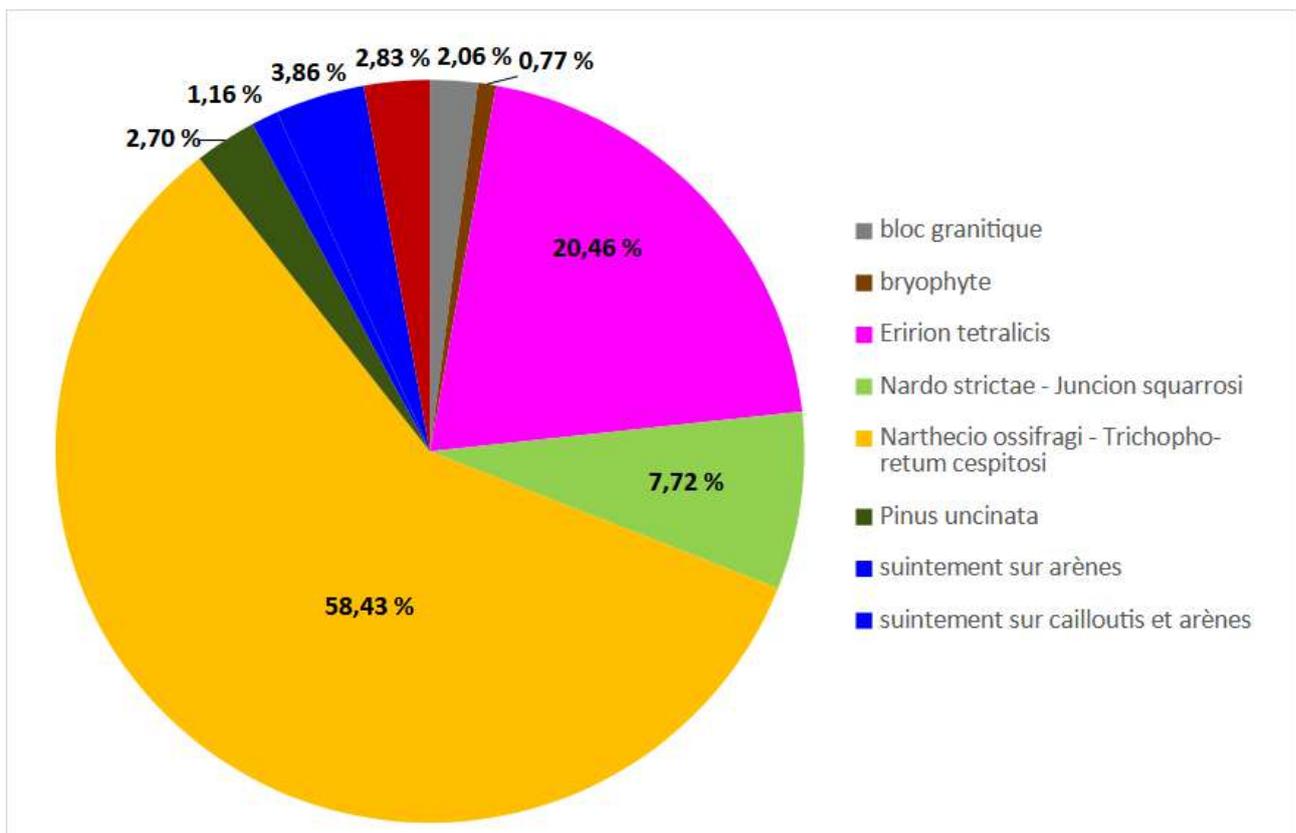


Figure 52 : diagramme de recouvrement du transect phytodynamique de la tourbière du Soularac (Julien Aït El Mekki, Laurent Servièrè, ANA-CEN Ariège)

- **Intégrité des habitats**

Le taux de recouvrement de chaque habitat a pu être évalué grâce à la cartographie des habitats (figure 51). Ces taux représentent l'état initial pour le suivi de l'évolution des habitats du complexe tourbeux. L'état de conservation de ces derniers ne pourra être évalué qu'après la prochaine actualisation de la cartographie des habitats.

- **Recouvrement par la molinie – indicateur de la méthode d'EEC du MNHN**

L'indice de recouvrement de la tourbière par la Molinie est de 0 % : la cartographie des habitats de la tourbière du Soularac n'a pas mené à la mise en évidence de molinaie, il est donc considéré que le recouvrement de la tourbière par la Molinie est négligeable. La tourbière du Soularac ne présente pas des conditions d'assèchement et/ou de minéralisation favorable au développement de l'espèce. L'actualisation régulière de la cartographie des habitats permettra cependant d'être vigilants sur l'évolution de l'espèce.

- **Intégrité des successions végétales**

Sur le transect phytodynamique de la tourbière du Soularac, 5 groupements végétaux ont été identifiés. Le groupement végétal dominant est *Nartecio ossifragi - Trichophoretum cespitosi*, suivi de *Eriion tetralicis* et de *Nardo strictae – Juncion squarrosi* en 2018. Ces données constituent un état initial, et c'est l'évolution des pourcentages qui permettra de suivre l'évolution de chaque habitat. Une analyse de l'évolution dans l'espace pourra également être conduite par la représentation spatiale des habitats le long du transect (Annexe 6 : représentation spatiale des groupements végétaux le long des transects phytodynamiques).

➤ **Indicateurs d'altération**

- **Colonisation arborée – indicateur EEC du MNHN**

L'indice de colonisation arborée de la tourbière du Soularac est 0 % : la cartographie des habitats de la tourbière n'a pas mené à la mise en évidence de surfaces colonisées par une végétation arborée, elle est donc considérée comme négligeable même si la présence ponctuelle d'espèces arborées n'est pas exclue. L'actualisation régulière de la cartographie des habitats permettra cependant d'être vigilants sur l'évolution de ce type de végétation et donc sur la dynamique de colonisation de la tourbière.

- **Colonisation arbustive – indicateur EEC du MNHN**

La cartographie des habitats a permis de mettre en évidence une zone de végétation arbustive, avec la présence de buttes à buissons nains. Cette zone représente 16,75 % de la surface de la tourbière. La colonisation arbustive y est donc moyenne. La prochaine actualisation de la cartographie de végétation permettra d'évaluer l'évolution de cette zone de végétation arbustive.

- **Indicateurs d'érosion et de destructuration – méthode EEC, MNHN**

Les indicateurs d'érosion et de destructuration de la tourbière du Soularac sont de 0 %. Aucune surface de sol nu ou de végétation destructurée n'est observée sur la tourbière. Ce résultat est cohérent avec la quasi-absence d'usages anthropiques de la tourbière et de son environnement.

IV – 2_c) Interprétation de l'état de conservation

Tableau 8 : évaluation des indicateurs de l'état de conservation de la tourbière du Soularac

	Indicateurs	Evaluation des métriques d'état de conservation					
		Indéterminé	très mauvais	Mauvais	Moyen	20	Très bon
		0	1	2	3	4	5
Composition, structure	Indice d'intégrité du peuplements d'odonates		2019 → 40 % ; 2020 → 20 % ; 2021 → 20 %				
	Indice d'humidité stationnelle (orthoptères)					37,00 %	
	Intégrité du peuplement d'amphibiens		0,36				
	Indice de qualité floristique		16,1				
	Recouvrement de la Molinie						0 %
Fonction, processus	Indice pédologique d'humidité du sol					4,75	
	Indice floristique du niveau d'engorgement					8,5	
	Indice floristiques de fertilité du sol					1,38	
Altérations	Indice de colonisation arborée						0 %
	Indice de colonisation arbustive				16,75		
	Indice d'érosion						0 %
	Indice de destruction						0 %

Sur les 12 indicateurs obtenus, 8 indicateurs indiquent un état de conservation bon à très bon pour la tourbière du Soularac. Les indicateurs d'intégrité des peuplements d'amphibiens et d'odonates et l'indice de qualité floristique indiquent un état de conservation mauvais à très mauvais. L'indice de colonisation arbustive indique un état de conservation moyen.

L'état de conservation des paramètres de structure et de composition peut donc être qualifié de moyen. En revanche l'état de conservation des fonctions et processus de la tourbière est bon à très bon, et les indicateurs d'altération obtenus indiquent une faible dégradation de la tourbière.

IV – 3_Le complexe tourbeux du Lasset

IV – 3_a) Synthèse des connaissances

➤ Présentation générale

Le complexe tourbeux du Lasset, d'origine soligène, est traversé par le cours d'eau du Lasset. Il regroupe une diversité de zones humides avec une zone de bas-marais en rive droite, présentant un sol tourbeux d'une épaisseur comprise entre 30 et 70cm, associés à quelques zones de bombements à sphaignes et des zones de prairie humide.



Figure 53 : complexe tourbeux du Lasset, 06/2023, Thirsa VAN DER VEEN

L'ensemble représente une surface d'environ 2,7 ha (27756,996m²) situé à environ 1400m d'altitude. Cette tourbière repose sur des micaschistes sur lesquels se sont déposées des formations alluvionnaires récentes (Anglade & Bourrières, 2020).

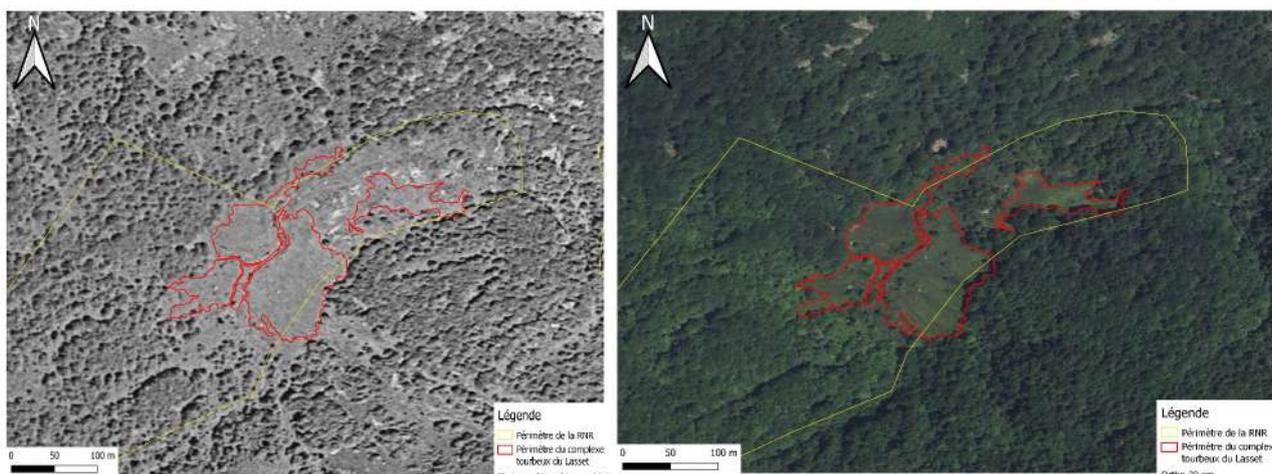


Figure 54 : environnement passé (1950) et actuel du complexe tourbeux du Lasset

Le complexe tourbeux du Lasset se situe en contexte intra-forestier. Bien qu'une densification des boisements environnants est observée, l'environnement de la tourbière n'a pas subi de changements significatifs depuis les années 1950. On peut constater par ailleurs qu'il n'y a pas non plus de dynamique de boisement significative au sein de la tourbière depuis cette date.

➤ Habitats

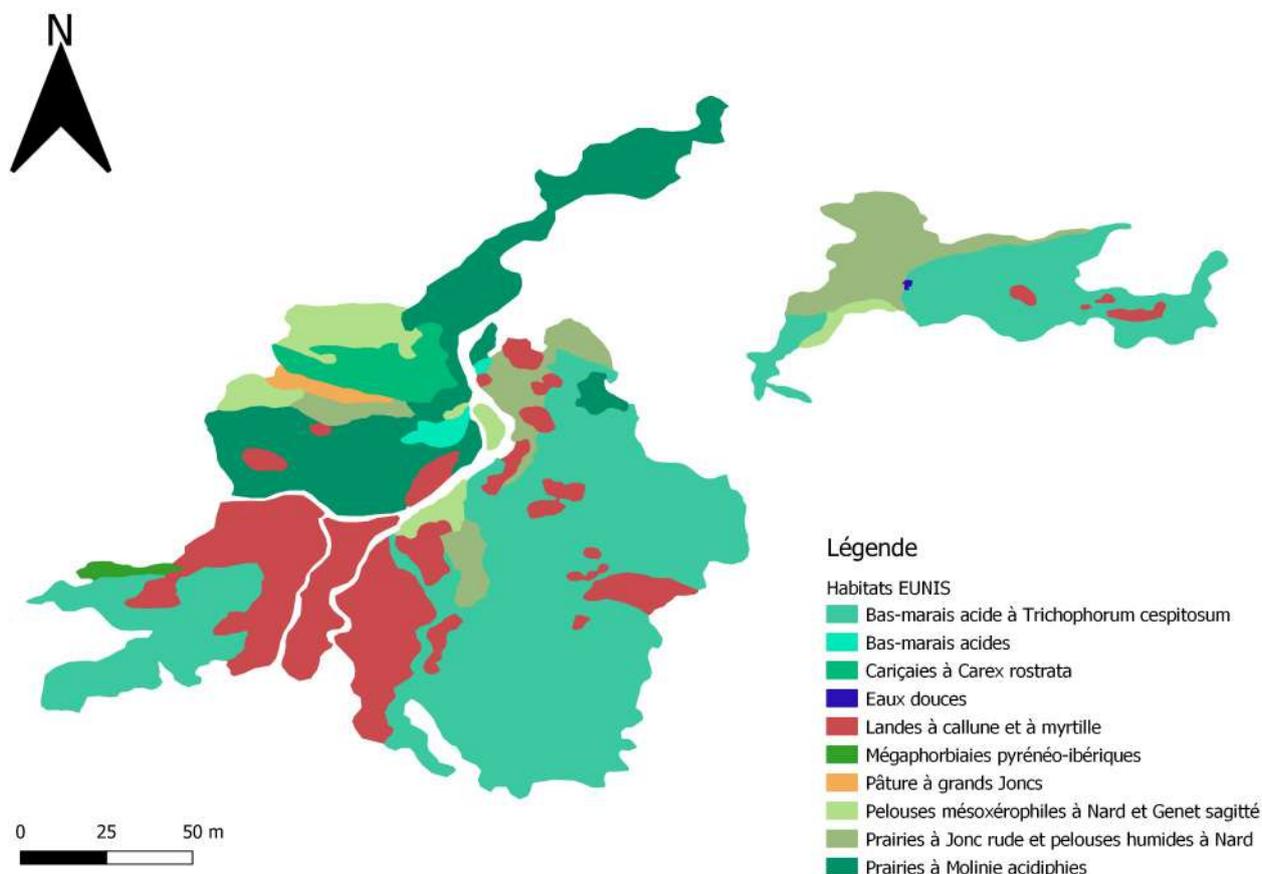


Figure 55 : cartographie des habitats du complexe tourbeux du Lasset (Laurent Servièr)

La tourbière du Lasset présente dix habitats différents. Elle est dominée par l'habitat de Bas-marais acide à *Trichophorum cespitosum* en rive droite du cours d'eau, par des landes à callune et à myrtille en partie amont, et par des prairies à Molinie acidiphile en rive gauche (figure 22).

➤ Bryologie

30 espèces de bryophytes ont été détectées, très largement dominées par les mousses (26 espèces), dont 6 sont des sphaignes. Sur ces 6 espèces seulement 1 est ombrotrophile, les autres sont minérotrophiles. Deux autres espèces de sphaignes sciaphiles ont été détectées au niveau d'une source alimentant la tourbière, elle est située en amont sous couvert forestier. Seule une espèce d'hépatique est considérée comme vulnérable, 4 espèces sont considérées comme quasi-menacées.

5 groupements de bryophytes ont été identifiés sur cette tourbière, deux de plus sont liés à la source située en amont. Une association se trouve sur les rives du ruisseau traversant la zone : *Sphagnetum subsecundi*. Une association est liée à une butte de Genévrier, Callune et Myrtilles : *Aulacomnio palustris* - *Sphagnetalia fallacis*, une autre, *Sarmentypnion exannulati*, aux zones de dépression avec un engorgement plus important. L'association *Sphagnetum subnitento* – *papilloso* se trouve sur la zone de pente. La dernière, *Dicrano bonjeani* - *Climacietum dendroidis*, se trouve sur la partie nord de la zone qui est plus asséchée et donc plus sujette à la présence de bétail et au piétinement qu'elle induit.

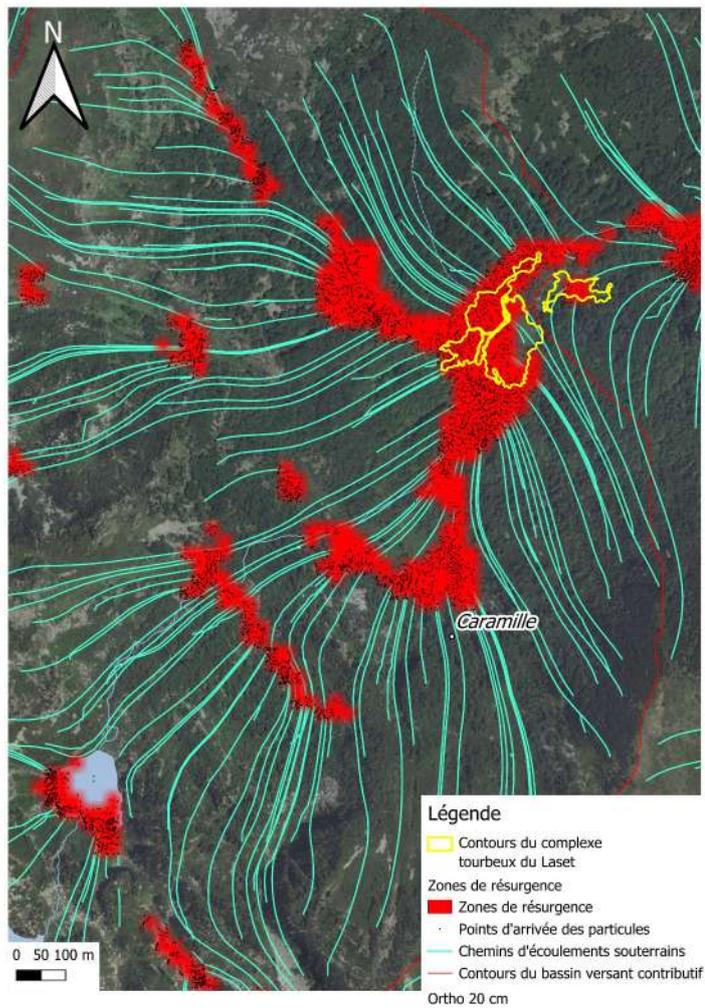


Figure 56 : modélisation des écoulements de subsurface alimentant le complexe tourbeux du Lasset (Ronan Abhervé, Clément Roques, laboratoire CHYN)

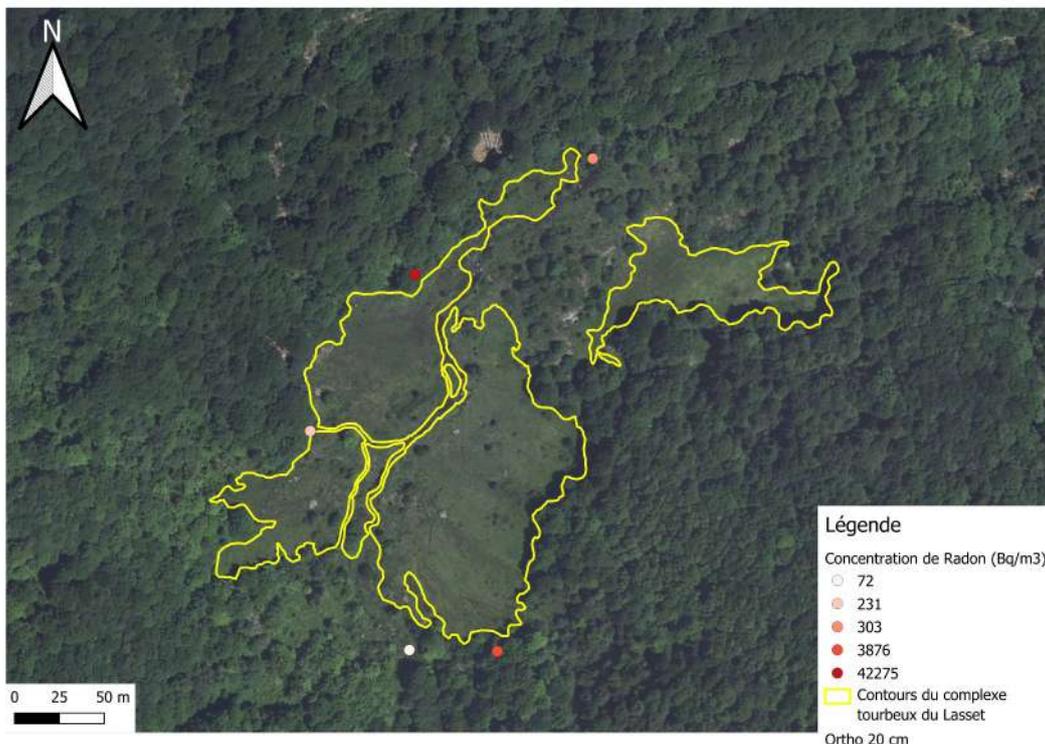


Figure 57 : localisation des prélèvements pour les dosages du Radon et concentrations mesurées sur le complexe toubeux du Lasset (Ronan Abhervé, Clément Roques, laboratoire CHYN)

➤ *Hydrologie*

Le complexe tourbeux du Lasset se situe de part et d'autre du cours d'eau du Lasset qui est alimenté par les écoulements de la face nord-est du pic du Soularac. La tourbière est donc alimentée par ce cours d'eau principal, mais aussi par les précipitations et des écoulements superficiels.

Le complexe tourbeux présente un niveau d'eau global plutôt stable avec une amplitude annuelle de 14 cm sur la partie amont et 20 cm sur la partie aval. Les deux parties présentent cependant un fonctionnement hydrologique inégal. Les niveaux d'eau sont plutôt stables en amont, alors qu'en aval le niveau d'eau fluctue davantage. Il est supposé que la partie basse du complexe tourbeux soit davantage connecté à la nappe du cours d'eau (Anglade & Bourrières, 2020). La stabilité générale des niveaux d'eau peut s'expliquer par l'importance des écoulements de surface et subsurface. En effet la modélisation des zones de résurgence (figure 55) et la concentration particulièrement élevée de Radon dans l'eau de certaines sources environnantes (figure 57) confirme l'origine souterraine d'une part de l'eau. Le complexe étant situé en aval et en fond de vallée, il bénéficie d'un grand bassin contributif (figure 56), de surface (cours d'eau amont) et souterrain (zones de résurgences dans la tourbière).

La complexe tourbeux du Lasset regroupe une typologie diversifiée de zones humides dont la partie de bas-marais notamment présente une accumulation de matière organique formant un sol tourbeux. C'est un complexe qui s'est formé en fond de vallée bénéficiant d'écoulements d'un large bassin contributif et d'un apport hydrique lié à la nappe du cours d'eau du Lasset qui le traverse. Le complexe présente des habitats et une bryoflore typique des tourbières.

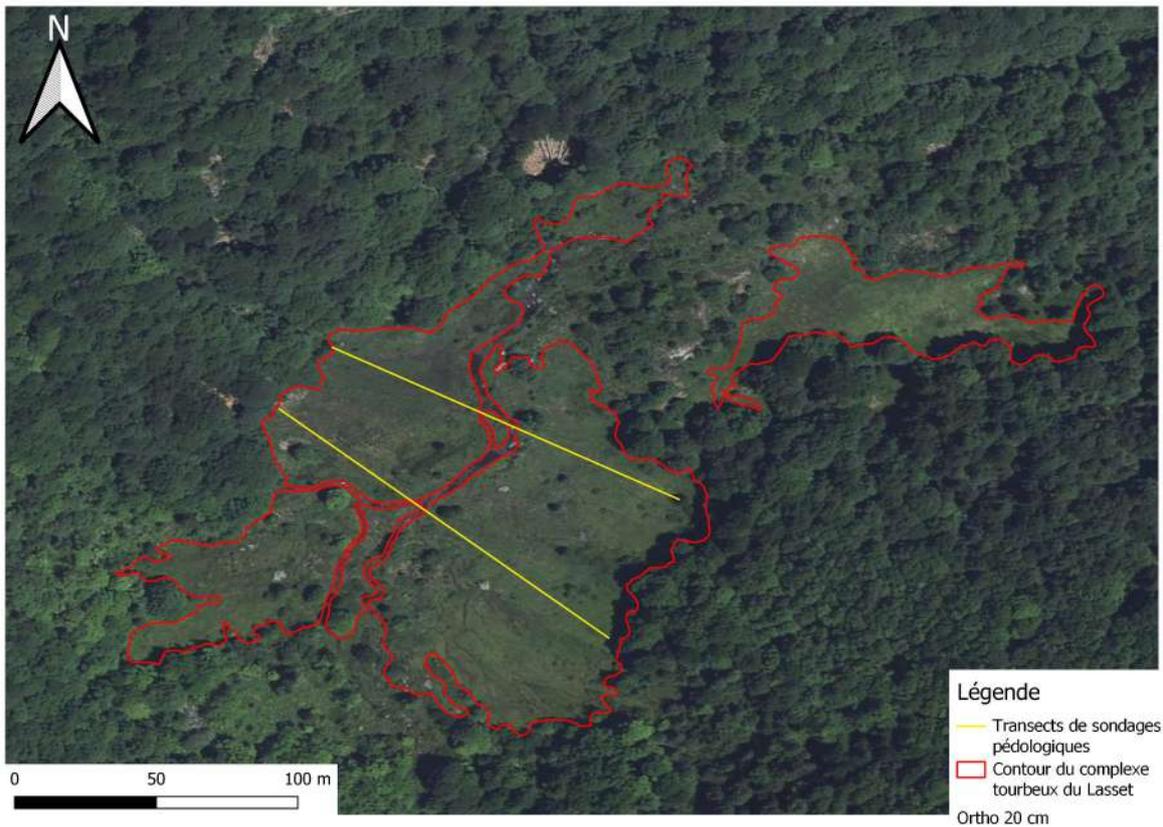


Figure 58 : transects suivis pour la réalisation des sondages pédologiques du complexe tourbeux du Lasset

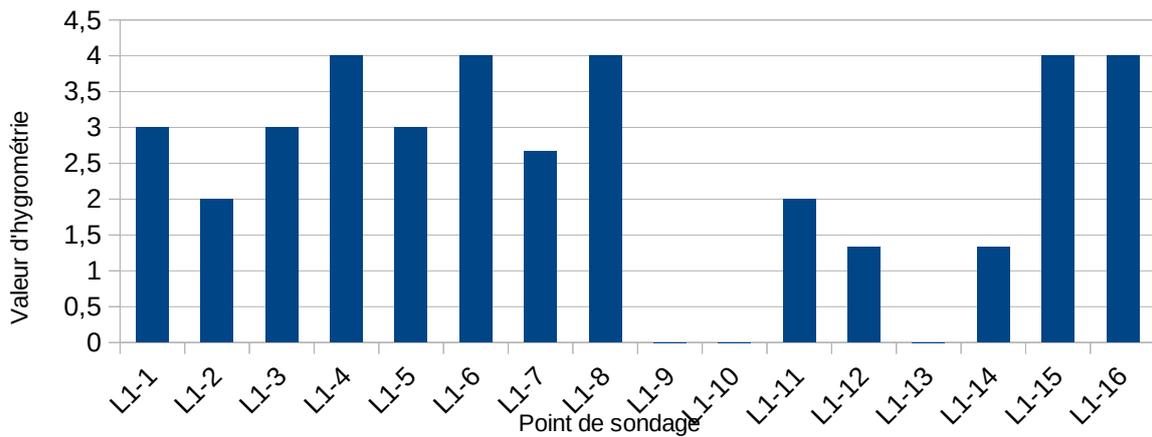


Figure 59 : valeurs d'hygrométrie du complexe tourbeux du Lasset par points de sondages, transect 1

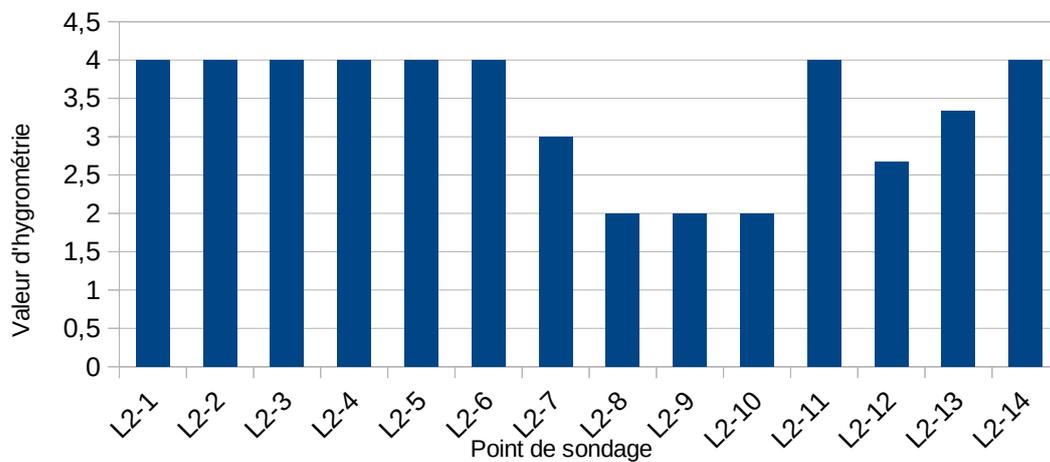


Figure 60 : valeurs d'hygrométrie du complexe tourbeux du Lasset par points de sondages, transect 2

IV – 3_b) État de conservation de la tourbière du Lasset

➤ *Indicateurs de fonctions et processus*

- Niveau d'humidité du sol – indicateur RhoMéO I01

La valeur d'hydrométrie attribuée au complexe tourbeux du Lasset est de 2,90. L'indicateur se situe sur une échelle de 0 à 6 où 0 représente un sol sec et 6 un sol totalement saturé. La moyenne des valeurs indicatrices obtenues sur les sites tests RhoMéO est de 2,5.

On observe pour chacun des transects une diminution de la note d'hydrométrie vers le milieu du transect, ce qui correspond à la proximité du cours d'eau (figure 59). Cela semble cohérent puisque le sol devient sableux à proximité du cours d'eau et a donc une capacité de rétention de l'eau bien plus faible que les sols organiques.

L'indice d'hydrométrie obtenu pour le complexe du Lasset est plus faible que pour les tourbières de la Grenouillère et du Soularac. Cela peut s'expliquer par la diversité des habitats qu'il regroupe, dont certains sont apparentés à des bordures de cours d'eau (habitat 5 dans la classification des zones humides RhoMéO, (Collectif, 2014) et dont la moyenne des indicateurs obtenus pour les sites tests est d'environ 0,8.

En considérant ce biais, et le fait que l'indicateur, bien que très proche de la moyenne des sites tests de tourbière acide, est supérieur à cette dernière, le niveau d'humidité du sol du complexe tourbeux du Lasset est considéré comme bon.

- Humidité du milieu, orthoptères – indicateur RhoMéO I09

	Attendu	Contacté
Nombre d'espèces d'orthoptères	24	16
Valeur d'humidité	41	37
Indicateur d'humidité stationnelle		90 %

Le nombre d'espèces d'orthoptères détectées sur le complexe tourbeux du Lasset est équivalent à la tourbière de la Grenouillère, cependant, la valeur d'humidité est bien plus élevée car les espèces contactées sur le complexe du Lasset sont des espèces dont la note d'affinité aux milieux humides est plus élevé. L'indicateur d'humidité stationnelle est donc très élevé avec une valeur de 90 %.

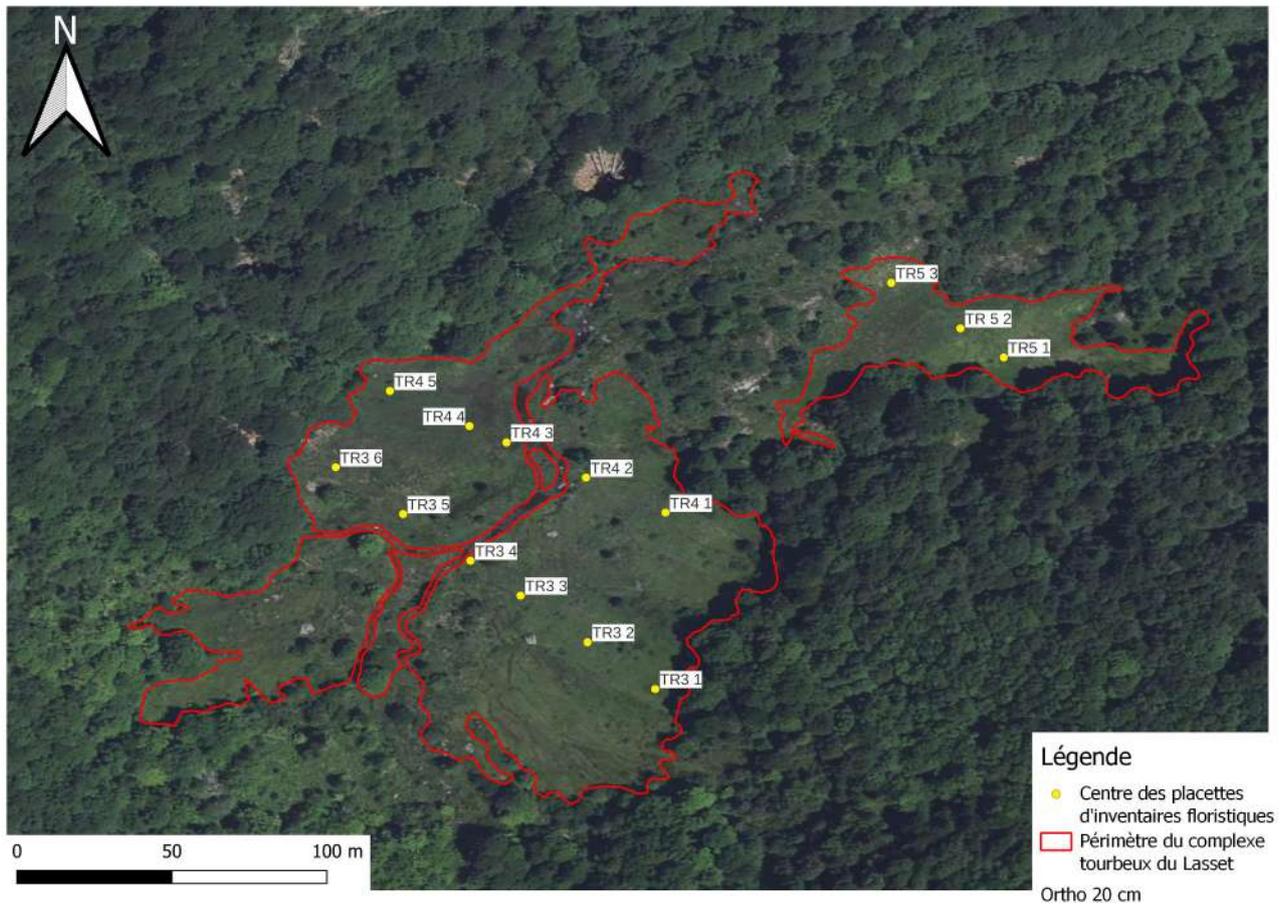


Figure 62 : localisation des placettes d'inventaires floristiques sur le complexe tourbeux du Lasset

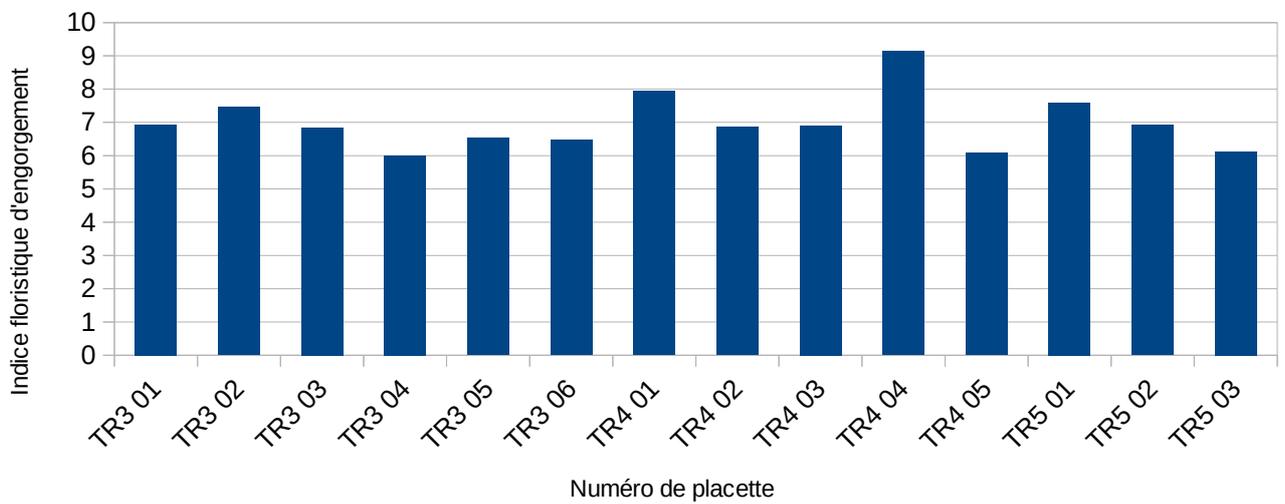


Figure 63 : indice floristique d'engorgement par placettes

- **Indice floristique d'engorgement - indicateur RhoMéo I02**

L'indice floristique d'engorgement est de 6,88 pour le complexe tourbeux du Lasset. L'indice obtenu par placettes est plutôt homogène : sur 14 placettes, 10 présentent un indice compris entre 6 et 7. Seules 4 ont un indice supérieur à 7, dont une seule présente un indice particulièrement élevé égal à 9,14. Cette placette se situe sur une zone d'écoulement qui peut expliquer un engorgement plus important.

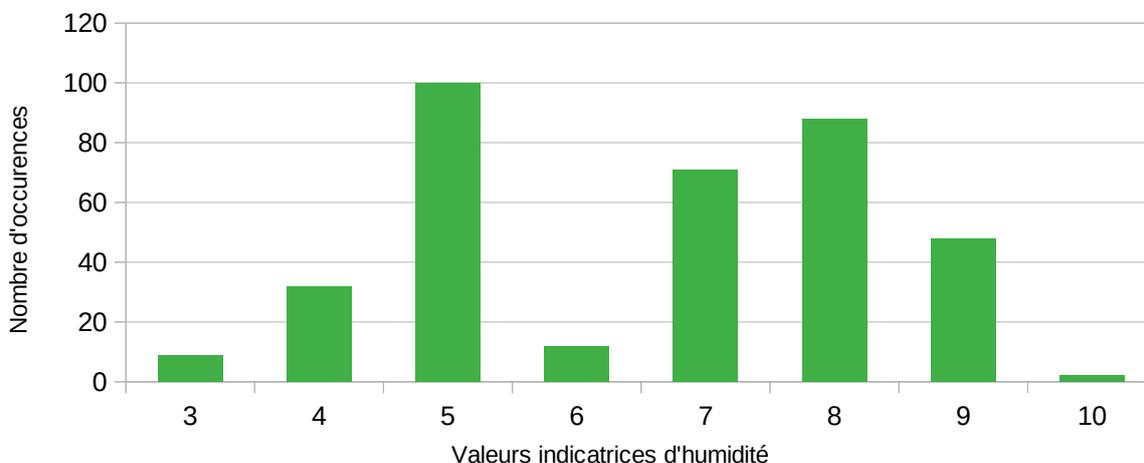


Figure 64 : occurrences des valeurs indicatrices d'humidité des espèces détectées sur le complexe tourbeux du Lasset

Près des deux tiers des espèces détectées sur la tourbière ont une valeur indicatrice comprise entre 7 et 9, ce sont des espèces hydrophiles à amphibiens. La majorité des espèces détectées sur le complexe sont donc des espèces inféodées à des milieux très humides à inondés. Cependant environ 28 % des espèces ont une valeur indicatrice de 5, ce sont des espèces mésohydriques inféodées à des milieux assez humides (Largier et al., 2023).

Les indices obtenus pour le complexe tourbeux du Lasset étant plutôt homogènes et très proches de la moyenne des indicateurs obtenus pour les sites tests RhoMéo qui est de 6,7, son niveau d'engorgement est considéré comme moyen.

- **Indice floristique de fertilité du sol – indicateur RhoMéo I06**

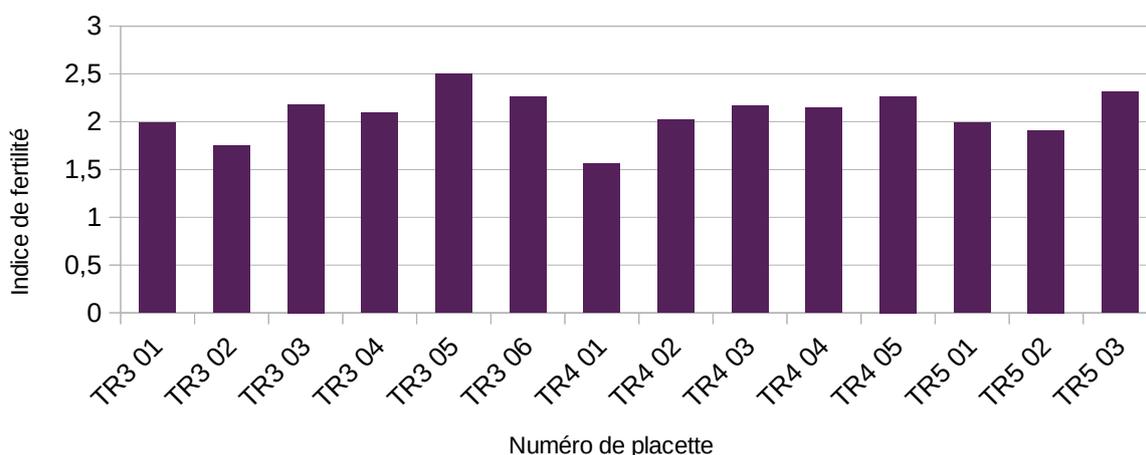


Figure 65 : indices de fertilité floristique par placettes sur le complexe tourbeux du Lasset

L'indice floristique de fertilité du complexe tourbeux du Lasset est de 2,12. L'indicateur correspond à une valeur comprise entre 1 et 5, et la moyenne des valeurs indicatrices obtenue pour les sites de tourbière acide tests RhoMéo est 2,3 (Collectif, 2014).

On observe sur les transects 3 et 4 un gradient d'augmentation des indices de fertilité de la rive droite vers la rive gauche du complexe tourbeux. Ce gradient est cohérent avec la répartition des

habitats : la fertilité est plus faible sur la partie bas-marais du complexe, qui est par définition un milieu plus oligotrophe que les habitats de prairie humide (pour lesquels la méthodologie n'avait pas été testée, et il n'existe donc pas de valeur de comparaison). Cette non-homogénéité des types de zones humide du site rend la comparaison avec la valeur moyenne obtenue pour les tourbières acides difficile.

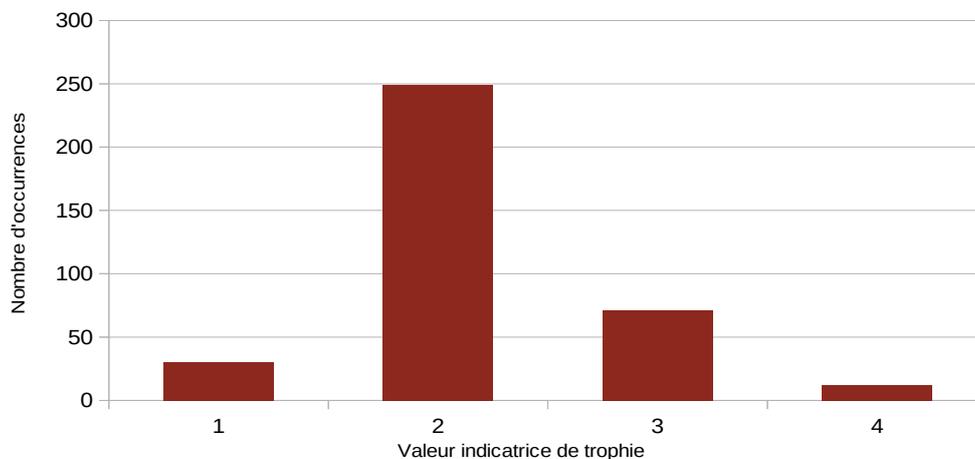


Figure 66 : occurrences des valeurs indicatrices de trophie des espèces détectées sur le complexe tourbeux du Lasset

Cependant, près de 70 % des espèces détectées ont une valeur indicatrice de trophie de 2. Ces espèces sont oligotrophiles à méso-oligotrophiles et sont donc adaptées à des sols infertiles.

Le taux d'occurrence important de ces espèces et la note globale de fertilité du site inférieure à la valeur moyenne obtenue, tendent à indiquer un bon niveau de fertilité du sol du complexe tourbeux du Lasset.



Figure 67 : localisation des transects parcourus pour l'inventaire des odonates sur le complexe tourbeux du Lasset

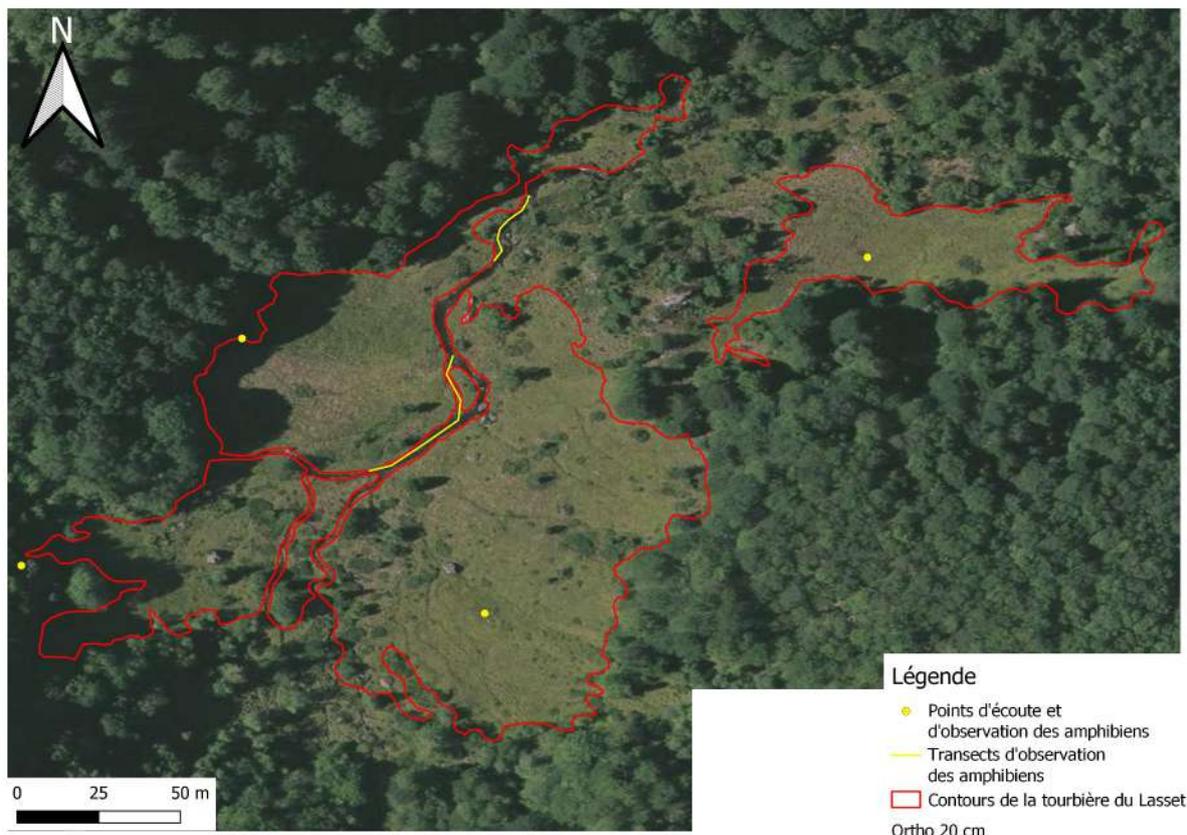


Figure 68 : localisation des points d'écoute et transects parcourus pour l'inventaire des amphibiens sur le complexe tourbeux du Lasset

➤ Indicateurs de structure et composition

• Intégrité du peuplement d'odonates – indicateur RhoMéO I10

	liste référence	2018	2019	2020	2021
nombre d'espèces	5	7	6	4	7
nombre d'espèces liste de référence		1	0	0	0
nombre d'espèces supplémentaires		6	6	4	7
Indicateur (%)		20	0	0	0

Les listes de référence pour l'évaluation de l'intégrité des peuplements d'odonates sont établies par types d'habitats odonatologiques. Les données du complexe tourbeux du Lasset ont été traitées par comparaison avec la liste de l'habitat « tourbière acide d'altitude avec gouilles seulement » (Annexe 7 : listes de référence des espèces d'odonates). Seulement une espèce de la liste de référence a été détectée la première année, puis plus aucune. Cependant, 4 à 7 espèces sont détectées chaque années, avec des espèces plus ubiquistes (*Aeshna cyanea*, *Libellula depressa*, *Orhetrum coerulescens*, *Pyrrhosoma nymphula*, *Sympetrum fonscolombii*), et des espèces liées aux cours d'eau (*Calopteryx virgo* et *Cordulegaster boltonii*) (Annexe 8 : listes d'espèces d'odonates contactées sur les tourbières de la RNR du Massif de Saint-Barthélemy). Or, le cortège odonatologique du complexe du Lasset ne semble pas correspondre à cette liste. Le complexe du Lasset est traversé par un cours d'eau qui constitue un autre habitat odonatologique, ce qui pourrait expliquer la présence d'un cortège différent. Deux transects de suivi sont positionnés particulièrement proche du cours d'eau (figure 66), deux possibilités se présentent pour obtenir une meilleur représentativité de l'intégrité du cortège d'odonates du complexe tourbeux :

- un repositionnement des transects situés sur les cours d'eau au sein des habitats tourbeux, l'indicateur traduirait uniquement l'intégrité des habitats tourbeux
- un calcul de la médiane de deux indicateurs différencié pour les deux types d'habitats odonatologiques, ce qui permet d'illustrer l'intégrité du complexe dans son ensemble.

La deuxième option semble être la meilleure. Les résultats ne seront interprétés qu'après la réalisation du calcul d'indicateur plus pertinent.

• Intégrité du peuplement d'amphibiens – indicateur RhoMéO I11

	2020	2021
Nombre d'espèces contactées	3	3
Indice de diversité de Simpson	0,29	0,3
Sténoécie brute	0,11	0,11
Sténoécie relative	0,25	0,25
I2PA	0,65	0,66

Trois espèces ont été détectées sur le complexe tourbeux du Lasset : *Bufo spinosus*, *Lissotriton helveticus* et *Rana temporaria*. L'indice de diversité de Simpson demeure peu élevé du fait du déséquilibre dans l'occurrence des espèces : les effectifs de *Rana dalmatina* sont bien plus élevés. La valeur d'I2PA que l'on peut obtenir par les calculs est une valeur comprise entre 0 et 3 et la valeur moyenne des valeurs indicatrices obtenue pour les sites tests RhoMéO est de 0,8. Les indices de 0,65 et 0,66 obtenus pour le complexe tourbeux du Lasset sont inférieur à cette moyenne. Le peuplement d'amphibiens de la tourbière ne peut pas être considérée comme intègre. La chronique de données n'est pas suffisamment longue pour évaluer une tendance d'évolution des populations d'amphibiens.

- Indice de qualité floristique - indicateur RhoMéo I08

L'indice de qualité floristique du complexe tourbeux du Lasset est de 27,4. La moyenne des indicateurs obtenus pour les sites tests RhoMéo est de 18. La valeur indicatrice obtenue pour le complexe tourbeux du Lasset semble particulièrement élevée.

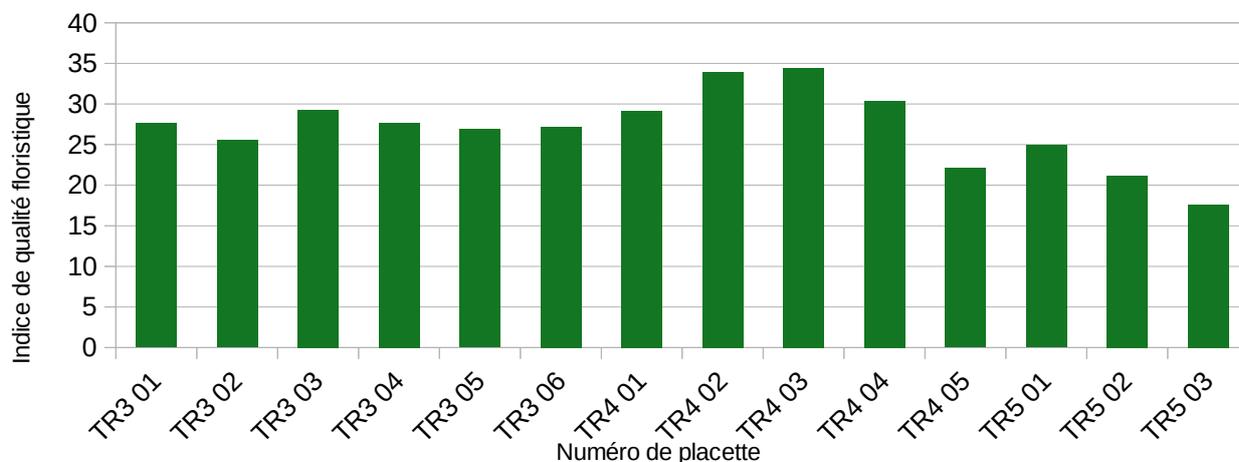


Figure 69 : indices de qualité floristique par placettes sur le complexe tourbeux du Lasset

L'indice de qualité floristique est plutôt homogène sur les transects 3 et 4 du complexe tourbeux, avec seulement une valeur en dessous de 25. Le transect 5, situé sur la partie Est du complexe (figure 68), présente des indices plus bas, signe d'une présence moins importante d'espèces inféodées aux milieux humides en bon état de conservation. Cependant, la médiane des placettes de cette zone (21,1) est tout de même supérieure à la moyenne obtenue sur les sites tests RhoMéo.

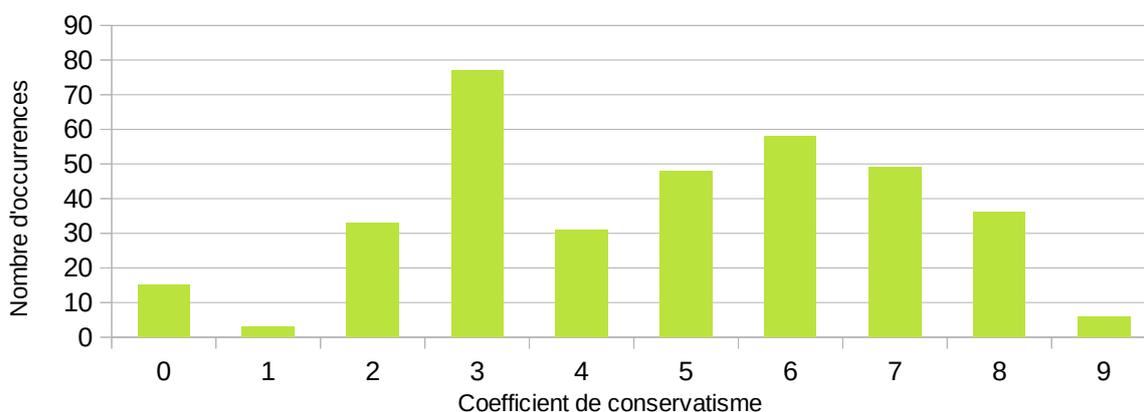


Figure 70 : occurrence des coefficients de conservatisme des espèces détectées sur le complexe tourbeux du Lasset

Les coefficients des espèces détectées sont hétérogènes. Cela signifie que le complexe tourbeux du Lasset présente un mélange d'espèces capables de se développer sur des zones humides dégradées et d'espèces se développant sur des zones humides en bon état de conservation (Largier et al., 2023).

L'indice de qualité floristique particulièrement élevé du complexe tourbeux, par rapport à la valeur moyenne obtenue sur les sites tests, est certainement lié à l'importante diversité d'espèces floristiques du site, induite en partie par la diversité des habitats de ce dernier.

La valeur indicatrice particulièrement élevée obtenue indique en tout cas une bonne qualité floristique du milieu.

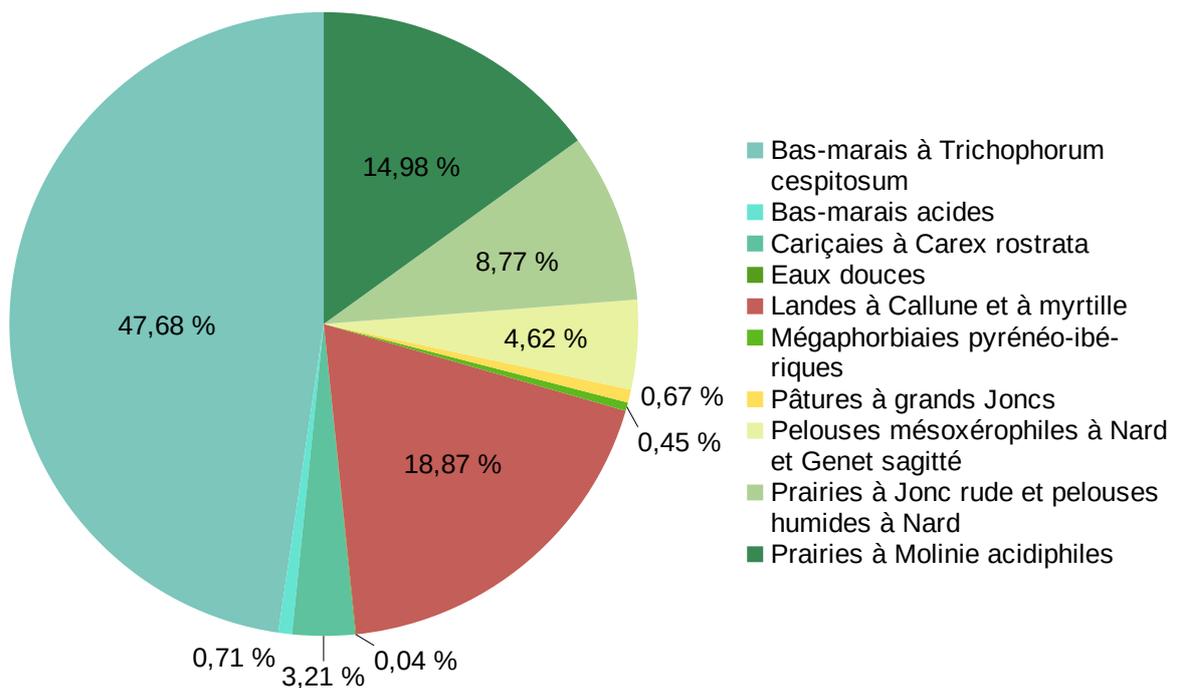


Figure 71 : taux de recouvrement des habitats du complexe tourbeux du Lasset (*Thirsa van der Veen*) à partir de la cartographie des habitats (Laurent Servièrè)

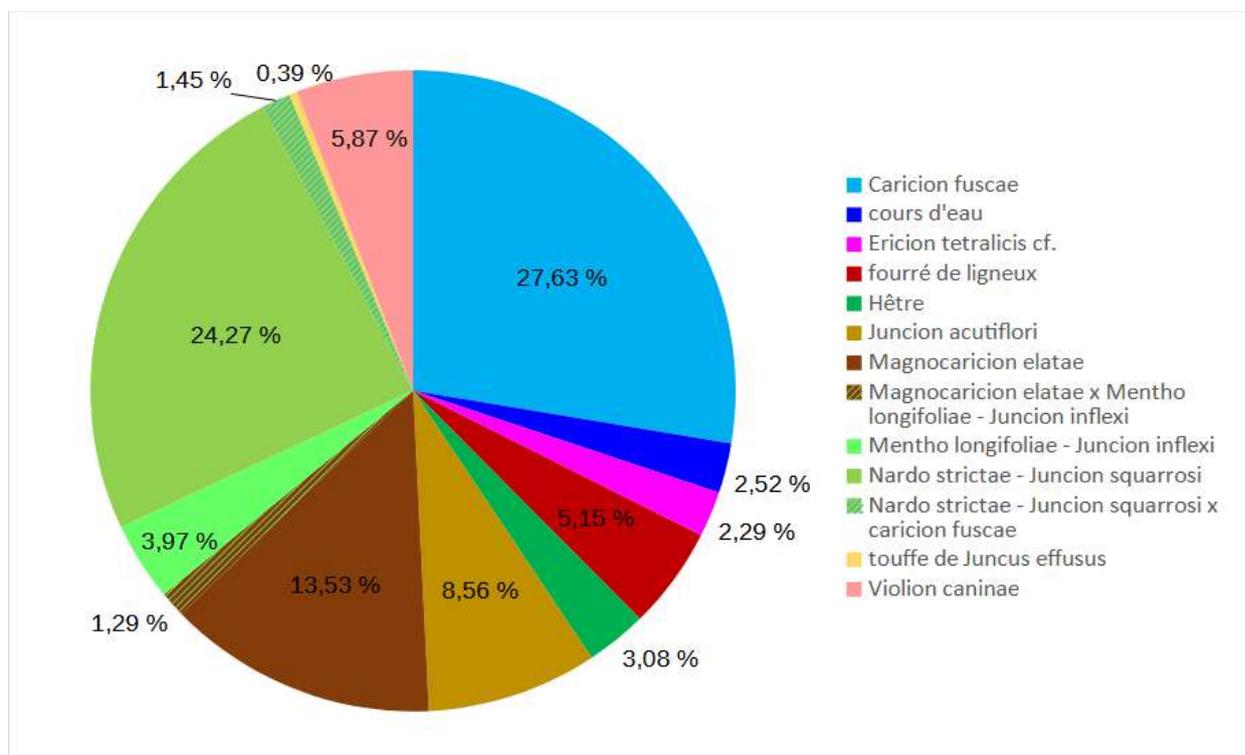


Figure 72 : diagramme de recouvrement du transect phytodynamique du complexe tourbeux du Lasset (Julien Aït El Mekki, Laurent Servièrè, ANA-CEN Ariège)

- **Recouvrement par la Molinie**

L'habitat de prairie à Molinie recouvre 14,98 % de la surface du complexe tourbeux du Lasset. C'est une surface non négligeable qui indique un état de conservation moyen. L'actualisation de la cartographie des habitats permettra de suivre l'évolution de cette strate dans le futur.

- **Intégrité des habitats**

Le taux de recouvrement de chaque habitat a pu être évalué grâce à la cartographie des habitats (figure 71). Ces taux représentent l'état initial pour le suivi de l'évolution des habitats du complexe tourbeux. L'état de conservation de ces derniers ne pourra être évalué qu'après la prochaine actualisation de la cartographie des habitats.

- **Intégrité des successions végétales**

Sur le transect phytodynamique du complexe tourbeux du Lasset, 12 groupements végétaux ont été identifiés. Les groupements végétaux dominants sont Caricion fuscae et Nardo strictae – Juncion squarrosi suivis de Magnocaricion elatae et Juncion acutiflori en 2018. Ces données constituent un état initial, et c'est l'évolution des pourcentages qui permettra de suivre l'évolution de chaque habitat. Une analyse de l'évolution dans l'espace pourra également être conduite par la représentation spatiale des habitats le long du transect (Annexe 6 :représentation spatiale des groupements végétaux le long des transects phytodynamiques).

➤ **Indicateurs d'altération**

- **Colonisation arborée – indicateur EEC du MNHN**

L'indice de colonisation arborée du complexe tourbeux du Lasset est 0 % : la cartographie des habitats n'a pas mené à la mise en évidence de surfaces colonisées par une végétation arborée. Cela ne signifie pas que la végétation arborée est absente de la tourbière, quelques Hêtres et Bouleaux notamment sont présents, mais leur faible nombre et leur distribution éparse ne mène pas à la formation d'habitats dominés par ces derniers. L'actualisation régulière de la cartographie des habitats permettra cependant d'être vigilants sur l'évolution de ce type de végétation et donc sur la dynamique de colonisation de la tourbière.

- **Colonisation arbustive – indicateur EEC du MNHN**

La cartographie des habitats a permis de mettre en évidence une zone de végétation arbustive correspondant à des landes à callune et myrtille, qui dominent la partie sud du complexe tourbeux, et sont présentes sous forme de petites zones éparse sur l'ensemble du site. Cette végétation représente au total 18,87 % de la surface du complexe. Ce taux de recouvrement non négligeable est indicateur d'un état de conservation moyen pour le complexe tourbeux du Lasset. La prochaine actualisation de la cartographie de végétation permettra d'évaluer l'évolution de la dynamique de colonisation du milieu.

- **Indicateurs d'érosion et de déstructuration – méthode EEC, MNHN**

La cartographie des surfaces de sol nu et déstructuré devait être réalisée à l'aide d'une prospection de terrain au début du mois de juin avant la montée des troupeaux afin de cartographier uniquement les zones dont l'altération est persistante. Cependant, la complexité de l'identification et de la délimitation des zones déstructurées sur ce site a nécessité une seconde prospection de terrain couplée à la seconde prospection de la tourbière de la Grenouillère. Les résultats ne sont par conséquent pas présentés dans ce mémoire.

IV – 3_c) Interprétation de l'état de conservation

Tableau 9 : évaluation des indicateurs de l'état de conservation du complexe tourbeux du Lasset

	Indicateurs	Evaluation des métriques d'état de conservation					
		Indéterminé	très mauvais	Mauvais	Moyen	Bon	Très bon
		0	1	2	3	4	5
Composition, structure	Indice d'intégrité du peuplements d'odonates	Calcul de l'indicateur à revoir	2018 → 20 % ; 2019 → 0 % 2020 → 0 % ; 2021 → 0 %				
	Indice d'humidité stationnelle (orthoptères)					90,00 %	
	Intégrité du peuplement d'amphibiens		2020 → 0,65 ; 2020 → 0,66				
	Indice de qualité floristique					27,4	
	Recouvrement de la Molinie				14,98		
Fonction, processus	Indice pédologique d'humidité du sol					2,9	
	Indice floristique du niveau d'engorgement				6,88		
	Indice floristiques de fertilité du sol					2,12	
Altérations	Indice de colonisation arborée					0 %	
	Indice de colonisation arbustive				18,87 %		
	Indice d'érosion	Indicateur en cours de calcul	> 50 %	de 25 à 50 %	de 5 à 25%	< 5%	0 %
	Indice de destructuration	Indicateur en cours de calcul	> 50 %	de 25 à 50 %	de 5 à 25%	< 5%	0 %

Sur les 10 indicateurs calculés, l'indicateur d'intégrité du peuplement d'odonates est à réévaluer, Sur les 9 indicateurs restants, un seul indique un mauvais état de conservation, 3 un état de conservation moyen et les 5 restant un bon état de conservation.

Globalement l'état de la composition et de la structure est moyen, l'état des fonctions et processus est plutôt bon et les deux premiers indices obtenus pour l'évaluation de l'altération indiquent une altération faible à moyenne.

L'état de conservation du complexe tourbeux du Lasset semble globalement moins bon que l'état de conservation des tourbières de la Grenouillère et du Soularac. Cependant il faut garder à l'esprit le fait que l'interprétation des indicateurs est à affiner du fait de la diversité de typologie des différentes zones humides du complexe, mais qu'actuellement, l'absence de données sur des sites similaires ne le permet pas.

V- Discussion

V - I_ Apports et limites des indicateurs

Une part des indicateurs sélectionnés présente une limite commune qui est la difficulté de leur interprétation. Alors que pour les indicateurs définis dans la méthodologie d'EEC du MNHN des valeurs seuil sont définies pour déterminer la signification des indicateurs, il n'en n'existe pas pour les indicateurs de la boîte à outils RhoMéO. Il manque un référentiel permettant de classer les notes indicatrices obtenues de manière à qualifier l'état de conservation des tourbières. Le choix a donc été fait de comparer les résultats des tourbières avec les moyennes des résultats obtenus pour les sites tests étudiés pour la validation de la boîte à outils RhoMéO. Cette comparaison permet d'avoir une idée de leur état de conservation par rapport à d'autres milieux similaires. Cependant, cette analyse des résultats est à considérer avec de grandes précautions car le nombre de sites tests correspondant à des tourbières acides est relativement faible (24), et les sites tests ne se situent pas dans la même région bio-géographique, ils ne sont pas soumis aux mêmes conditions environnementales et aux mêmes pressions. L'état de conservation moyen de ces milieux ne correspond donc pas nécessairement à l'état de conservation moyen de tourbières pyrénéennes. Une adaptation des valeurs seuil pour l'interprétation des résultats sera donc à étudier lorsque davantage de données seront disponibles, notamment si dans le futur ces indicateurs sont utilisés pour des milieux similaires dans les Pyrénées.

L'interprétation des résultats est particulièrement problématique pour le complexe tourbeux du Lasset qui regroupe une diversité de typologie de milieux humides. La majorité des indicateurs ont été créés de façon à illustrer l'état global de la zone humide, et n'implique pas un calcul différencié selon la localisation des relevés de données dans différents habitats. Seul l'indicateur d'intégrité des cortèges d'odonates offre cette possibilité car les listes de références sont adaptées aux habitats odonatologiques que l'on peut trouver au sein des tourbières. Or, cette diversité a impacté les résultats par la diminution des notes obtenues pour les indices d'humidité et d'engorgement, et une augmentation de la note de fertilité du sol, qui sont par définition différents selon les types de zones humides (les prairies humides présentent une saturation en eau moins importante et une fertilité du sol plus élevée que les tourbières). La prise en compte de ce biais a mené à évaluer l'état de ces paramètres comme bons à très bons même si les valeurs indicatrices obtenues sont très proches des valeurs moyennes pour des tourbières acides. L'analyse de l'état de conservation actuel du complexe tourbeux du Lasset mériterait d'être plus précise, mais cela ne serait possible que si des données sur des sites complexes similaires était disponible.

L'interprétation de ces indicateurs deviendra plus pertinente pour tous les sites dans le temps. Lorsque les chroniques de données seront suffisamment longues, l'évaluation de l'évolution des paramètres sera possible grâce aux résultats actuels pouvant faire office d'état initial.

Un point de vigilance est également à mettre en avant pour la quasi-totalité des indicateurs. Sauf pour les données piézométriques relevées par une sonde de manière automatique, les indicateurs sont générés à partir de données d'observations. La robustesse de ces indicateurs repose sur la répétition des inventaires dans les mêmes conditions d'observation : dates, conditions météorologiques et observateur. En effet, le biais observateur peut s'avérer particulièrement important, soit par une différence de détection pour les inventaires faunistiques et floristiques notamment, soit par une différence d'interprétation des éléments observés (exemple de l'identification des couleurs du sol pour l'indice d'humidité du sol et de l'identification des zones déstructurées pour l'indice de déstructuration). Or, l'intervalle de temps entre les différentes campagnes de terrain est long, le changement d'observateur est donc probable. Une réflexion sur des techniques pour réduire le biais d'observation est indiquée, comme la réalisation de photographies systématique pour comparer les observations. Chaque indicateurs présentent cependant leurs propres avantages et inconvénients.

➤ *Niveau d'humidité du sol – indicateur RhoMéO I01*

Le calcul de cet indicateur ne pose pas de difficulté particulière. Cependant, la collecte des données peut s'avérer compliquée en milieux tourbeux. La saturation en eau est parfois tellement élevée qu'il est impossible de prélever une carotte de sol. L'évaluation des différents paramètres observés s'avèrent parfois subjectifs, comme l'identification de la couleur du sol et peut induire un biais de perception. Cependant, la réalisation de transects avec de nombreux points de sondages permet d'assurer la représentativité des données.

➤ *Humidité du milieu, orthoptères – indicateur RhoMéO I09*

La représentativité de cet indicateur est remise en question. Présenté comme un indicateur d'humidité, il est reconnu que les orthoptères sont également des bons indicateurs du morcellement et de la continuité des habitats (Collectif, 2014), il est donc possible d'interpréter une diminution de l'indicateur induite par une diminution du nombre d'espèces présentes, comme une diminution de l'humidité alors qu'elle est liée à une dégradation des habitats. De plus, L'étude des synusies orthoptériques a permis de constater que la présence des différentes espèces d'orthoptères était certainement davantage liée à l'altitude qu'au degré d'humidité des milieux. Les résultats obtenus sur la réserve semblent le confirmer. L'indice obtenu sur la tourbière du Lasset est le plus élevé, alors que les autres indicateurs traduisant les conditions d'humidité de la tourbière, et les observations de terrain, indiquent qu'il est moins humide que les autres tourbières de la réserve. L'utilisation de cet indicateur est donc à revoir : il pourrait être plus pertinent de le calculer avec des listes de référence des espèces attendues en fonction de l'altitude. Il pourrait ainsi également faire un bon indicateur de suivi des changements climatiques avec la prise en compte de la migration altitudinale des espèces.

➤ *Indices floristiques*

Les indices floristiques de fertilité du sol et d'engorgement et l'indice de qualité floristique ne semblent pas présenter de limites particulières. Ils ont l'avantage de représenter les variations spatiales des indicateurs qui peuvent être ensuite analysées en lien avec les particularités des sites.

L'indice de recouvrement par la Molinie ne semble également pas présenter de limite particulière. Son calcul et la collecte de données ne présente aucune difficulté. Les habitats de moliniaie sont facilement identifiés et délimités.

➤ *Intégrité du peuplement d'odonates – indicateur RhoMéO I10*

La liste d'espèces de référence pour l'habitat odonatologique des tourbières et bas-marais acides avec gouilles seulement (habitat odonatologique 18b correspondant à la tourbière du Soularac et au complexe tourbeux du Lasset (Collectif, 2014)), présente un nombre d'espèce très restreint. L'absence de détection d'une seule espèce fait donc fortement varier l'indicateur, mais n'illustre pas forcément un changement significatif dans l'intégrité des populations, car l'absence de détection d'une espèce sur une année ne signifie pas que l'espèce a disparue du site. L'étude de l'évolution de l'intégrité du peuplement d'odonates pour ce type de milieux paraîtrait donc plus pertinente avec une prise en compte de données quantitatives. Cette prise en compte sera possible à l'avenir avec les données collectées par l'application du protocole STELI depuis 2022.

➤ *Intégrité du peuplement d'amphibiens – indicateur RhoMéO I11*

Des incohérences ont été soulevées par l'analyse des indicateurs d'intégrité des amphibiens. La première est que la liste de référence ne s'adapte pas selon les milieux, or, les amphibiens présentent des affinités différentes pour les différents types de zones humides. C'est par exemple le cas de *Calotriton asper* et *Salamandra salamandra* qui ne fréquentent usuellement pas les milieux tourbeux (Speybroeck et al., 2018). Leur absence fait donc diminuer l'indicateur de manière injustifiée. La seconde est liée à la prise en compte des larves et têtards dans les effectifs intervenant dans le calcul de l'indice de diversité de Simpson car leur détection est très différente selon les espèces. Les larves de triton sont plus difficilement repérables car souvent elles camouflées dans la végétation, alors que les têtards de grenouilles et crapauds se comptent

souvent par centaines car ils forment souvent des amas très facilement repérables. Or, un déséquilibre entre les effectifs des différentes espèces diminue l'indice de Simpson et donc l'indice de diversité.

De plus, plusieurs éléments tendent à montrer que l'indicateur n'est pas adapté aux tourbières de montagne :

- les paramètres de sténocécie reflètent la représentation des espèces sténocécies dans les peuplements d'amphibiens or, il n'y a pas d'espèces d'amphibiens inféodées aux tourbières de montagne

- les milieux d'altitude présentent souvent une faible richesse spécifique et dans le cas où une seule espèce est détectée l'indicateur ne varie pas car il ne prend pas en compte les effectifs.

L'étude de l'évolution des populations d'amphibiens sur les milieux tourbeux d'altitude de la réserve serait plus pertinente avec un indicateur quantitatif, ce qui sera possible avec les données collectées avec le protocole POPAmphibiens appliqué depuis 2022.

➤ *Colonisation arborée et arbustive – indicateur EEC du MNHN*

La strate arbustive colonise les milieux en formant des groupements denses pouvant aisément être cartographiés dans le cadre de la réalisation de cartographies d'habitats : ces espèces deviennent rapidement dominantes et ne laissent pas de place pour une strate herbacée. La strate arborée se développe de manière plus éparse, et est donc plus difficilement cartographiée dans le cadre de la réalisation de cartographies d'habitat : les arbres ne représentent pas la végétation dominante avant une longue durée. Bien que l'on puisse considérer dans ce cas que la végétation arborée est négligeable, cela ne signifie pas que la strate arborée ne se développe pas. Un inventaire par dénombrement des arbres à l'échelle du site, à partir d'une certaine hauteur d'arbre, serait plus exhaustif et permettrait de suivre l'évolution de cette strate avant qu'elle ne prenne des proportions importantes. Cependant, l'étude des photographies aériennes historiques montre peu de changements dans la couverture arborée des tourbières depuis les années 1950, alors que l'environnement de ces dernières s'est fortement reboisé. Il est possible qu'au vu de la faible évolution constatée, il ne soit pas nécessaire de fournir un effort d'échantillonnage plus important pour le suivi de cet indicateur à l'heure actuelle.

➤ *Indicateurs d'érosion et de destructuration – méthode EEC, MNHN*

Cet indicateur présente l'avantage de ne pas poser de difficultés pour son interprétation. Cependant la collecte de données en présente une majeure : la cartographie des zones destructurées. En effet, l'identification des zones de sol nu est évidente, mais l'identification des zones de végétation destructurée l'est moins : des traces de pâturage peuvent être observées (abrouissement, piétinement) sans pour autant que la végétation soit réellement destructurée, il faut qu'un degré de changement de la végétation et de la micro-topographie soit atteint. Ce seuil n'est pas clairement défini par la méthodologie, la considération d'une zone comme étant destructurée est donc plus subjective. La création d'une base de données photographiques serait pertinente pour faciliter l'interprétation et pour limiter le biais d'observation en cas de changement d'observateur.

Les indicateurs sélectionnés permettent la prise en compte de nombreux facteurs biotiques et abiotiques pour illustrer la structure, la composition et la fonctionnalité, sans représenter un coût financier important. Une majorité des indicateurs sont applicables sur les tourbières de la RNR grâce à la production des listes de références adaptées au territoire pour leur calcul, mais trois indicateurs nécessitent d'être adaptés. Les listes de référence des orthoptères doivent être réadaptées en fonction de l'altitude et le suivi de l'intégrité des peuplements d'amphibiens et d'odonates serait plus pertinents avec des indicateurs quantitatifs.

V – II_ Des missions complexes mais formatrices

Initialement, l'évaluation de l'état de conservation des tourbières devait être plus complète : la majorité des protocoles devaient être déployés pour la seconde fois en 2023 (flore, orthoptères...), ce qui aurait permis de générer davantage d'indicateurs. Ils n'ont pas pu être répétés en 2023 par manque de moyens humains. Il y aura donc une année de retard pour le suivi, mais cette année a permis de procéder à l'élaboration de l'état initial et d'identifier les forces et les faiblesses des différents indicateurs pour la suite du suivi à long terme.

L'évaluation de l'état de conservation grâce à une majorité de données produites avant mon arrivée dans la structure a également soulevé plusieurs difficultés. Le manque de traçabilité sur les choix effectués, notamment pour les plans d'échantillonnage qui ont parfois été réadaptés, a rendu l'interprétation des résultats et de leur représentativité plus complexe et peut être incomplète. De plus, la RNR ne possède actuellement pas de base de données centralisée. La compilation des données collectées sur les tourbières a donc nécessité de solliciter les différentes personnes de la structure les ayant produites, ce qui a engendré une perte de temps considérable. Un travail important de mise en place d'une base de données opérationnelle est en cours au sein de l'ANA-CEN Ariège. Un travail de bancarisation et de vérification des données produites dans le cadre de suivi de l'état de conservation des tourbières fera donc suite à mes missions.

Pour l'analyse des données, outre la difficulté induite par le manque de données de référence, la difficulté liée à la diversité des disciplines impliquées dans l'étude des tourbières est majeure. L'analyse des résultats demande parfois une réelle expertise dans des domaines très spécifiques : botanique, phytosociologie, pédologie... En ce qui concerne la caractérisation de la fonctionnalité des tourbières, l'absence de consensus au sein de la communauté scientifique sur la caractérisation fonctionnelle des tourbières, et plus spécifiquement au sein des experts ayant participé à l'étude des tourbières de la réserve, est une difficulté supplémentaire.

La complexité du sujet m'a amenée à me former dans de nombreuses disciplines sur un temps court, mais également à solliciter et échanger avec de nombreux experts des différents domaines. L'accompagnement des scientifiques lors des collectes de données sur la réserve, la participation à des événements comme les journées techniques CarePeat et la participation prochaine au rassemblement du Groupe d'Etude des Tourbières sont des moments clés pour l'enrichissement de ces connaissances. J'ai ainsi grandement amélioré mes connaissances considérables dans les divers domaines que la formation de Master en Gestion des Environnements Montagnards permet d'aborder.

Conclusion

Malgré les difficultés d'interprétation des résultats et la nécessité d'adapter certains indicateurs, les premiers résultats obtenus illustrant de manière représentative les différents paramètres de structure, de composition, de fonction et de l'altération des tourbières, ont permis de produire un état initial de leur état de conservation. La synthèse des études menées a permis de caractériser le fonctionnement des tourbières, même si de nombreux éléments demeurent inconnus.

La tourbière de la Grenouillère est une tourbière lacustre présentant une mosaïque d'habitats diversifiée avec une partie reposant sur un lac et une partie de bas-marais au nord. Le gradient hygrométrique lié à la topographie et l'usage pastoral sont certainement à l'origine de la diversité des structures de surface de la tourbière : l'usage pastoral a notamment conduit à la remise en place d'une turfigénèse différenciée. Elle est essentiellement minérotrophe et bénéficie d'écoulements importants provenant de la grande longueur de versant qui la surplombe. Les indicateurs obtenus indiquent un état de conservation bon à très bon pour la tourbière de la Grenouillère. Seuls les indicateurs d'intégrité des peuplements d'amphibiens et d'odonates indiquent un état de conservation mauvais à très mauvais. L'état de conservation des paramètres de structure et de composition peut donc être qualifié de moyen. En revanche l'état de conservation des fonctions et processus de la tourbière est bon à très bon, et les premiers indicateurs d'altération obtenus pour l'instant indiquent une faible dégradation de la tourbière, cette évaluation sera complétée prochainement avec l'étude de l'érosion et de la destructuration.

La tourbière du Soularac est une tourbière de tête de bassin dont l'alimentation en eau dépend essentiellement des précipitations : c'est une tourbière ombrotrophe qui pourrait s'avérer être peu résiliente face aux changements climatiques. Cependant, les études paléoécologiques et l'intégrité bryophytique de la tourbière indiquent un fort degré de naturalité de la tourbière et donc une faible dégradation de cette dernière. Deux tiers des indicateurs obtenus indiquent un bon à très bon état de conservation de la tourbière du Soularac. Les indicateurs des paramètres de structure et de composition indiquent un état de conservation moyen. L'état de conservation des fonctions et processus de la tourbière est bon à très bon, et les indicateurs d'altération obtenus indiquent une faible dégradation de la tourbière.

Le complexe tourbeux du Lasset regroupe une typologie diversifiée de zones humides dont la partie de bas-marais notamment, présente une accumulation de matière organique formant un sol tourbeux. C'est un complexe qui s'est formé en fond de vallée bénéficiant d'écoulements d'un large bassin contributif et d'un apport hydrique lié à la nappe du cours d'eau du Lasset qui le traverse. La tourbière du Lasset présente un état de conservation moyen à bon : parmi les indicateurs évalués, la moitié indique un bon état à très bon état de conservation et un seul indique un mauvais état de conservation. Globalement l'état de la composition et de la structure est moyen, l'état des fonctions et processus est plutôt bon et les deux premiers indices obtenus pour l'évaluation de l'altération indiquent une altération faible à moyenne, cette évaluation sera complétée prochainement avec l'étude de l'érosion et de la destructuration. L'état de conservation du complexe tourbeux du Lasset semble globalement moins bon que l'état de conservation des tourbières de la Grenouillère et du Soularac. Mais il est possible que cette vision soit erronée. L'interprétation des indicateurs est à affiner du fait de la diversité de typologie des différentes zones du complexe, mais actuellement, l'absence de données sur des sites similaires ne le permet pas.

La prochaine évaluation de l'état de conservation sera plus complète car les chroniques de données permettront de générer la totalité des indicateurs sélectionnés dans le plan de gestion de la réserve.

Le lancement du projet Life Tourbières des Pyrénées permettra de compléter l'étude fonctionnelle des tourbières avec le suivi de nouveaux paramètres comme les flux de carbone. Il permettra également par la mise en place d'un réseau de sites pilotes et sentinelles, de créer une base de données communes pour l'amélioration des connaissances des caractéristiques des tourbières Pyrénéennes, qui pourra entre autres, faciliter l'analyse de l'état de conservation des tourbières de la RNR.

Bibliographie

- Abhervé, R. (2022). *Intégration du changement climatique dans la gestion de la ressource en eau : Exemple du bassin rennais*. Université de Rennes 1.
- Abhervé, R., Roques, C., Chatton, E., Servière, L., de Dreuzy, J.-R., & Aquilina, L. (2023). Architecture of seepage zones combined with their residence time to constrain hydrogeological models. EGU General Assembly 2023.
- Anglade, R., & Bourrières, L. (2020). *Suivi de trois zones humides de la Réserve Naturelle Régionale du massif de Saint-Barthélémy (Ariège)*. Agerin.
- BOUDOT, J.-P., & GRAND, D. (2017). *Les libellules de France, Belgique et Luxembourg (Biotope)*. (S.I.): (s.n.).
- Calvar, E., Magnon, G., Durllet, P., Moncorge, S., Collin, L., Resch, J.-N., ... Hagimont, A. (2021). *Recueil d'expériences : Restauration fonctionnelle de tourbières dans le massif du Jura*. CEN FC; EPAGE HDHL; PNR HJ; SMIX DD; ARNLR; DREAL BFC. LIFE13 NAT/FR/762.
- Cholet, J., & Magnon, G. (2010). *Tourbières des montagnes françaises, nouveaux éléments de connaissance, de réflexion et de gestion* (Pôle-relais Tourbières / Fédération des Conservatoires d'Espaces Naturels). (S.I.): (s.n.).
- Collectif. (2014). La boîte à outils de suivi des zones humides du bassin Rhône-Méditerranée, 147 + annexes.
- Collectif. (2021). *Guide d'élaboration des plans de gestion des espaces naturels*. (OFB). (S.I.): (s.n.).
- Collectif. (2023, 9 mai). Journées techniques CarePeat. Orléans.
- Convention de Ramsar sur les zones humides. (2018). *Perspectives mondiales des zones humides : État des zones humides à l'échelle mondiale et des services qu'elles fournissent à l'humanité*. Gland, Suisse: Secrétariat de la Convention de Ramsar.
- Crassous, C., & Karas, F. (2007). *Guide de gestion des tourbières et marais alcalins des vallées alluviales de France septentrionale*. Besançon Orléans: Pôle-relais Tourbières Fédération des conservatoires d'espaces naturels.
- Cubizolle, H. (2019). *Les tourbières et la tourbe : Géographie, hydro-écologie, usages et gestion conservatoire*. Cachan: Lavoisier-Tec & Doc.
- Cubizolle, H., Goubet, P., & Manneville, O. (2020). Les tourbières des milieux à redécouvrir. *SNPN*, (Numéro spécial), 76.
- Doyen, E. (2022). *Analyses des pollens et des microfossiles non-polliniques de deux tourbières de la réserve naturelle régionale du massif de Saint-Barthélémy (Montségur, Ariège)*.
- Dumaine, L., van der Veen, T., & Servière, L. (en cours de publication). *Plan d'adaptation de la Réserve Naturelle Régionale du Massif de Saint-Barthélémy face au changement climatique*.
- Epicoco, C., & Viry, D. (2015). État de conservation des habitats tourbeux d'intérêt communautaire.
- Githumbi, E. (2022). European pollen-based REVEALS land-cover reconstructions for the Holocene : Methodology, mapping and potentials., 14. 1581-1619.
- Goubet, P. (2014). Méthodologie de mise en place d'un suivi significatif de la turfigenèse, 19.
- Goubet, P. (2016). *Évaluation de l'état de conservation des Habitats de tourbières et marais du Parc naturel régional des Ballons des Vosges*. Cabinet Pierre Goubet.
- Goubet, P. (2023). *Participation au diagnostic fonctionnel de la tourbière de Riou Pla (Mijanes, Ariège)*.
-

- Goubet, P., & Goubet, C. (2023). *Analyse paléoécologique à vocation conservatoire et interprétation fonctionnelle associée des tourbières de la Réserve Naturelle Régionale du Massif de Saint-Barthélemy (Montségur, Ariège)*.
- Infante Sanchez, M. (2021). *Les bryophytes des tourbières de la Réserve Naturelle Régionale de Saint-Barthélemy (Ariège, France) : La Grenouillère, tourbières et complexe tourbeux du Soularac et bas-marais du Lasset d'en haut*. Conservatoire botanique national des Pyrénées et de Midi-Pyrénées.
- Jacotot, A., Gogo, S., & André, L. (2021). Protocol for homogeneous soil carbon stock measurements in CARE-PEAT.
- Julve, P. (1996). La végétation des tourbières en France.
- Laporte, T., & Bailleux, G. (2021). *Listes de références odonatologiques pour le calcul de l'indicateur « MhéO : intégrité des peuplements d'odonates » sur le bassin hydrographique Adour-Garonne*. CEN de Nouvelle Aquitaine, Cofinancements : Agence de l'Eau Adour Garonne et Région Nouvelle Aquitaine.
- Largier, G., Taulelle, M., Caze, G., Corriol, G., Leprince, H.-L., Molina, J., Hamdi, E. (2023). Notice pour la constitution du référentiel taxonomique floristique des zones humides pour le bassin Adour-Garonne.
- Lindsay, R., Clough, J., Clutterbuck, B., Bain, C., & Goodyer, E. (2019). *Long-term monitoring network for UK peatlands*. IUCN National Committee United Kingdom.
- Loisel, J., Gallego-Sala, A. V., Amesbury, M. J., Magnan, G., Anshari, G., Beilman, D. W., Wu, J. (2021). Expert assessment of future vulnerability of the global peatland carbon sink. *Nature Climate Change*, 11(1), 70-77. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-00944-0>
- Pilloix, M. (2019). Inventaire des tourbières françaises et du stock de carbone qu'elles contiennent, 41.
- Porteret, J. (2008). *Fonctionnement hydrologique des têtes de bassin versant tourbeuses du Nord-Est du Massif Central*. Université Jean Monnet Centre de Recherche sur l'ENvironnement et l'AMénagement, Saint-Etienne.
- Rosset, T., Binet, S., Rigal, F., & Gandois, L. (2022). Peatland Dissolved Organic Carbon Export to Surface Waters: Global Significance and Effects of Anthropogenic Disturbance. *Geophysical Research Letters*, 49(5). <https://doi.org/10.1029/2021GL096616>
- Servière, L. (2021). *Rapport d'activité 2018-2020*. RNR du massif de Saint-Barthélemy.
- Speybroeck, J., Beukema, W., Bok, B., & VAN DER VOORT, J. (2018). *Guide Delachaux des amphibiens et reptiles de France et d'Europe* (Delachaux et Niestlé). Paris: (s.n.).
- Triplet, P. (2022). *Dictionnaire encyclopédique de la diversité biologique et de la conservation de la nature* (8ème édition). (S.I.): (s.n.).
- USGS Digital. (2021). FloPy: Python Package for Creating, Running, and Post-Processing MODFLOW-Based Models.
- van Breemen N.(1995). How Sphagnum bogs down other plants, *Trends in Ecology & Evolution*, Volume 10, Issue 7, Pages 270-275, ISSN 0169-5347, [https://doi.org/10.1016/0169-5347\(95\)90007-1](https://doi.org/10.1016/0169-5347(95)90007-1).
- Verhoeven J.T.A. & Liefveld. W.M. (1997). The ecological significance of organochemical compounds in Sphagnum. *Acta botanica neerlandica*, 46(2), 117–130.
- Wallén, B. (1986). Above and below ground dry mass of the three main vascular plants on hummocks on a subarctic peat bog. *Oikos*, p. 46 : 51-56.
- Xu, J., Morris, P., Liu, J., & Holden, J. (2018). PEATMAP: Refining estimates of global peatland distribution based on a meta-analysis. *Volume 160*, p. Pages 134-140.
-

Table des annexes

Annexe 1 : classement des zones humides par typologie (Collectif, 2014)

Annexe 2 : protocole pour la collecte des données des indicateurs RhoMéo (Collectif, 2014)

Annexe 3 : localisation des piézomètres et hauteurs d'installation

Annexe 4 : liste de référence des espèces d'orthoptères potentiellement présentes sur la RNR du massif de Saint-Barthélémy

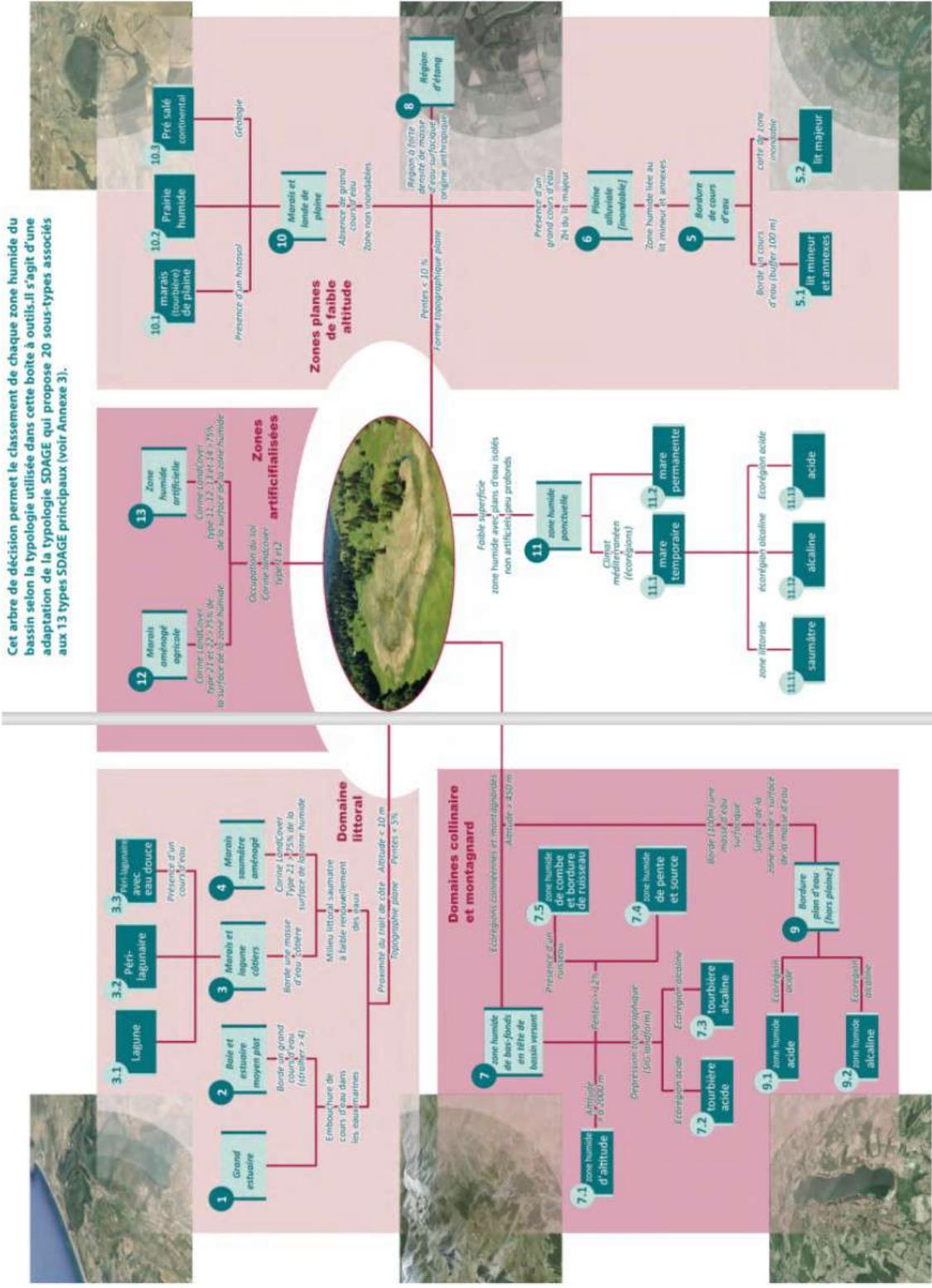
Annexe 5 : digrammes poliniques et résultats d'analyses des macro-restes (Goubet & Goubet, 2023), (Doyen, 2022)

Annexe 6 : représentation spatiale des groupements végétaux le long des transects phytodynamiques

Annexe 7 : listes de référence des espèces d'odonates

Annexe 8 : liste des espèces d'odonates contactées sur les tourbières de la RNR du massif de Saint-Barthélemy

Annexe 1 : classement des zones humides par typologie (Collectif, 2014)



Annexe 2 : protocole pour la collecte des données des indicateurs RhoMéo
(Collectif, 2014)

PÉDOLOGIE



Description et principes du protocole

Principes généraux

Le sol est décrit après prélèvement à la tarière (gouge, Edelman ou canne pédologique) sur la partie supérieure du sol (50 à 60 premiers centimètres). Pour des cas spécifiques où le sol ne peut être prélevé, des fosses pédologiques peuvent être réalisées à la bêche. Chaque horizon est caractérisé à l'aide des descripteurs de la fiche terrain.

Type de données collectées

Les différents horizons sont caractérisés par

les modalités (généralement 4 possibles) de 17 descripteurs de texture, de structure et de couleur.

Type d'échantillonnage

Les points de relevés sont réalisés à intervalles réguliers le long de transects préalablement positionnés pour être les plus représentatifs de la diversité du milieu et du gradient d'hydromorphie, généralement de la périphérie vers le centre de la zone humide.

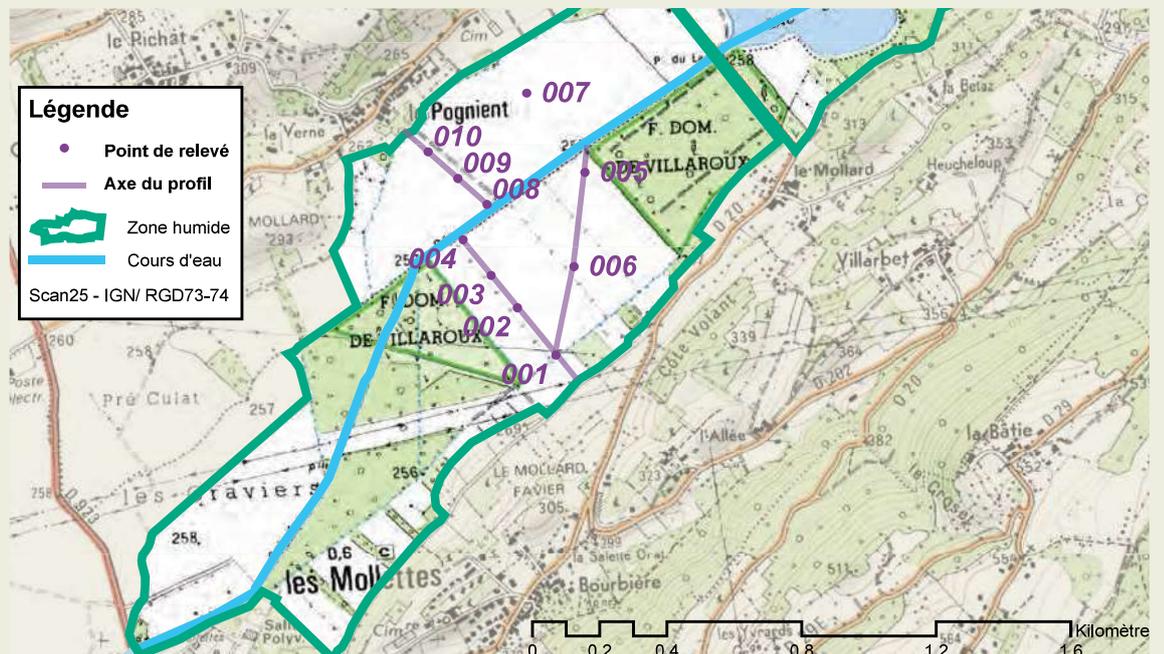
Méthode de mise en place

Stratégie d'échantillonnage

Le plan d'échantillonnage doit être construit **pour traduire le gradient d'hydromorphie du site**, des secteurs de transition avec les versants non hydromorphes, vers les secteurs les plus humides où la saturation en eau est

la plus forte. Pour cela, il s'agit de positionner un ou plusieurs transects qui partent du bord en direction du centre de la zone humide. Si la zone humide a une forme quasi-circulaire, ou du moins compacte, un seul transect peut être réalisé.

Figure 1 : exemple de stratégie d'échantillonnage





Méthode de mise en place (Suite)

l'ensemble des profondeurs est mesuré sur le matériel prélevé et déposé au sol ;

- **les limites [A]** ne peuvent pas être notées à la tarière Edelman ;
- **La couleur [B]** est notée suivant les trois coordonnées (la teinte « hue », la clarté « value » et la pureté « chroma ») de la charte Munsell (cf. photo ci-contre). On évalue la couleur d'un échantillon de terre homogène. Il est préférable de se positionner dos au soleil. Sur le terrain, on évalue la couleur de l'échantillon humide. Comme les couleurs sont définies visuellement, on peut toujours admettre qu'on se trompe d'une case en teinte, clarté ou pureté. La précision de l'évaluation est donc donnée à une unité près ;
- **La texture [C], la structure [D], les racines [F] et les taches [G]** sont des descripteurs génériques indispensables à la détermination des types d'hydromorphie. La réduction du fer, qui est généralement observable par la couleur caractéristique grise bleuâtre à verdâtre, peut également se traduire par une décoloration de l'horizon. Dans ce dernier cas l'utilisation d'un réactif composé d'une solution d'orthophénantroline à 2% dans de l'éthanol pur peut permettre de confirmer le diagnostic ;
- **L'abondance [H], la taille [I] et la forme [J]** sont des descripteurs qui ne doivent être notés qu'en présence de taches d'oxydation ([G]= 2) ;
- **La compacité [L] , plasticité [M] , l'adhésivité [N] et la friabilité [O]** sont principalement utiles pour caractériser les sols minéraux ([C] >= 2) ;
- La caractérisation des sols organiques nécessite la notation de **l'altération de la M.O [P]** et de **l'indice de Von-Post [Q]** ;
- **Les éléments grossiers [E] et l'humidité [K]** sont des descripteurs complémentaires qui peuvent servir à la validation des observations en cas de doute ;

Il est également recommandé de faire le croquis du sondage dans le cadre prévu à cet effet et de prendre en note toute remarque utile.

Évaluation de la couleur à l'aide de la charte Munsell



Représentativité des données

Les traits d'hydromorphie étant déterminés par la variation de la nappe d'eau du sol, la variabilité spatiale des données collectées est identique à celle de la nappe. Autrement dit, ce n'est pas sur le type de trait hydromorphe, mais sur la notation de leur profondeur que l'impact d'une mauvaise re-localisation des points d'observation serait le plus fort pour le calcul de l'indicateur. Toutefois, la pente des nappes de zones humides est généralement faible (zone d'accumulation des flux d'eau). Il convient tout de même d'être vigilant dans les secteurs de plaine alluviale où des dépôts argileux peuvent localement entraîner la présence de petites nappes perchées. Réaliser une observation dans ou hors de cette lentille argileuse pour une question de re-localisation du point de relevé entraînerait un calcul de la valeur indicatrice erroné.

Hormis la Base de Données Géographiques des Sols de France dont l'échelle du 1/1 000 000 n'est pas exploitable pour notre objectif, il n'existe pas de données de référence pour analyser la représentativité de l'information collectée dans le cadre de ce protocole. Toutefois, les connaissances antérieures des sites sur lesquels a été testée la méthode nous permettent de valider la qualité de l'information recueillie (validation par le relevé pédologique de la déstructuration du sol connue par le labour, etc.).



Opérationnalité de la collecte

Compétences requises

La grille descriptive étant en grande partie visuelle, elle ne nécessite pas de compétences spécifiques pour son application. Les tests réalisés dans le cadre du projet ont démontré la bonne prise en main du protocole de collecte de données par des opérateurs non spécialistes. Il apparaît qu'avec une formation d'½ journée, il est possible pour un débutant de mettre en place le protocole et de remplir la fiche de terrain associée. L'opérateur peut s'appuyer sur différents ouvrages techniques (*BAIZE et JABIOL 1994, JABIOL et al. 2011*)

Toutefois, il est bien évident que l'expérience et le niveau de connaissance initial des opérateurs en pédologie influent fortement sur le temps de terrain nécessaire aux relevés (pouvant aller du simple au double).

Impact du niveau de compétences

La grille descriptive a été conçue avec un nombre de classes de valeur très restreint pour limiter les risques de confusions. Par conséquent, le choix d'une classe ou d'une autre peut avoir une influence importante. La redondance, ou du moins les liens

entre un certain nombre de descripteurs de la fiche de terrain, permettent l'identification d'indications aberrantes.

Temps moyen de collecte

Le temps de réalisation et de description d'un relevé, nombre de relevés par heure est très dépendant du type de sol et du nombre d'horizons observés, mais peut être estimé à 6 à 10 relevés par heure ;

Coût matériel/données / prestation/analyse

Le coût d'acquisition d'une tarière pédologique est de l'ordre de 170 à 200€. Il convient également d'ajouter la Charte de couleurs des sols *MUNSELL* (env. 180 €) et le *Référentiel pédologique, AFES et al, 2008 : 45 €*.

En annexe :

- La fiche de relevé de terrain (Annexe1)
- Méthode de sondage à la tarière (Annexe2)

Bibliographie

AFES, D. BAIZE M. C. & GIRARD C., 2008. Référentiel pédologique, éd. Quae, 2009.

BAIZE D. & JABIOL B., 1994. Guide pour la description des sols, éd. de l'I.N.R.A.

JABIOL B., GIRARD M.-C. & SCHVARTZ C., 2011. Etude des sols - Description, cartographie, utilisation: Description, cartographie, utilisation. Dunod. 432 p.

La Charte de couleurs des sols MUNSELL et le Référentiel pédologique 2008, AFES



FLORE



Description et principes du protocole

Principes généraux

La flore d'un site est évaluée par la réalisation d'inventaires (les relevés) sur un ensemble de placettes réparties de manière à échantillonner le plus d'habitats naturels possibles.

Type de données collectées

Sur chaque placette, on note l'ensemble des espèces présentes à l'intérieur de celle-ci et on en estime le recouvrement. On note également la taille de la placette, la physionomie de la

végétation (annexe 2), le recouvrement et la hauteur des différentes strates de la végétation. La position des placettes est mesurée avec un GPS, de même que la distance au point d'origine du transect.

Type d'échantillonnage

Les points de relevés sont réalisés à intervalles réguliers le long de transects préalablement positionnés pour être les plus représentatifs de la diversité des milieux présents sur le site.

Méthode de mise en place

Selon la taille des sites et la diversité des habitats (une visite rapide préalable du site peut être utile), l'ordre de grandeur du nombre de placettes varie (Annexe 2). Celles-ci sont ventilées sur 1 à 3 transects par site (cas général), de manière régulière et définie au préalable, et les relevés sont effectués systématiquement du même côté du transect. Typiquement, entre 5 et 20 placettes seront positionnées par transect, sur des longueurs oscillant entre 100 et 800 mètres, soit des espacements compris entre 20 et 50 mètres le plus souvent. Les points de départ et d'arrivée des transects peuvent être matérialisés de manière pérenne (bornes) ou a minima repérés sur le terrain par des points remarquables, des photographies et bien sûr le positionnement par GPS. L'orientation du transect peut être notée à la boussole ou, notamment en milieu ouvert, en suivant des points de repère lointains (photo ci-contre). Tous ces éléments sont reportés sur la fiche terrain (Annexe1).

Les relevés sont effectués sur les placettes dont la taille usuelle dépend de la structure de la végétation (Annexe 2), d'après **CHYTRY & OPTIKOVA (2003)**, quelle que soit l'homogénéité apparente de la placette, sauf si celle-ci est à cheval sur :

- deux physionomies très différentes (par

Axe de la visée du transect



Exemple de visée lointaine

exemple à l'interface entre forêt / prairie humide ou milieu naturel / milieu artificiel (piste...);

- une rupture topographique majeure (fossé, butte de plus d'1m...)

Dans certains cas, la taille normale doit être réduite (1 m^2 , voire 0.25 m^2) et leur espacement également réduit (5 m), comme les grèves d'étangs ou les berges des cours d'eau, les bas-marais artico-alpins ou certains complexes tourbeux à sphaignes.

Méthode de mise en place (Suite)



Il est possible de déplacer la placette le long du transect ou de réduire la surface par rapport aux préconisations, mais dans tous les cas ces modifications doivent être bien signalées sur le bordereau de terrain.

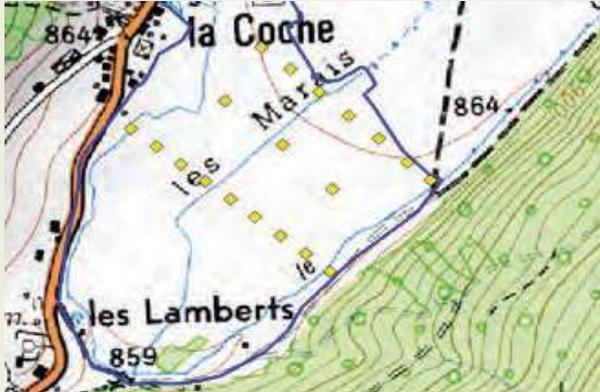


Figure 1 : alignement des transects au gradient

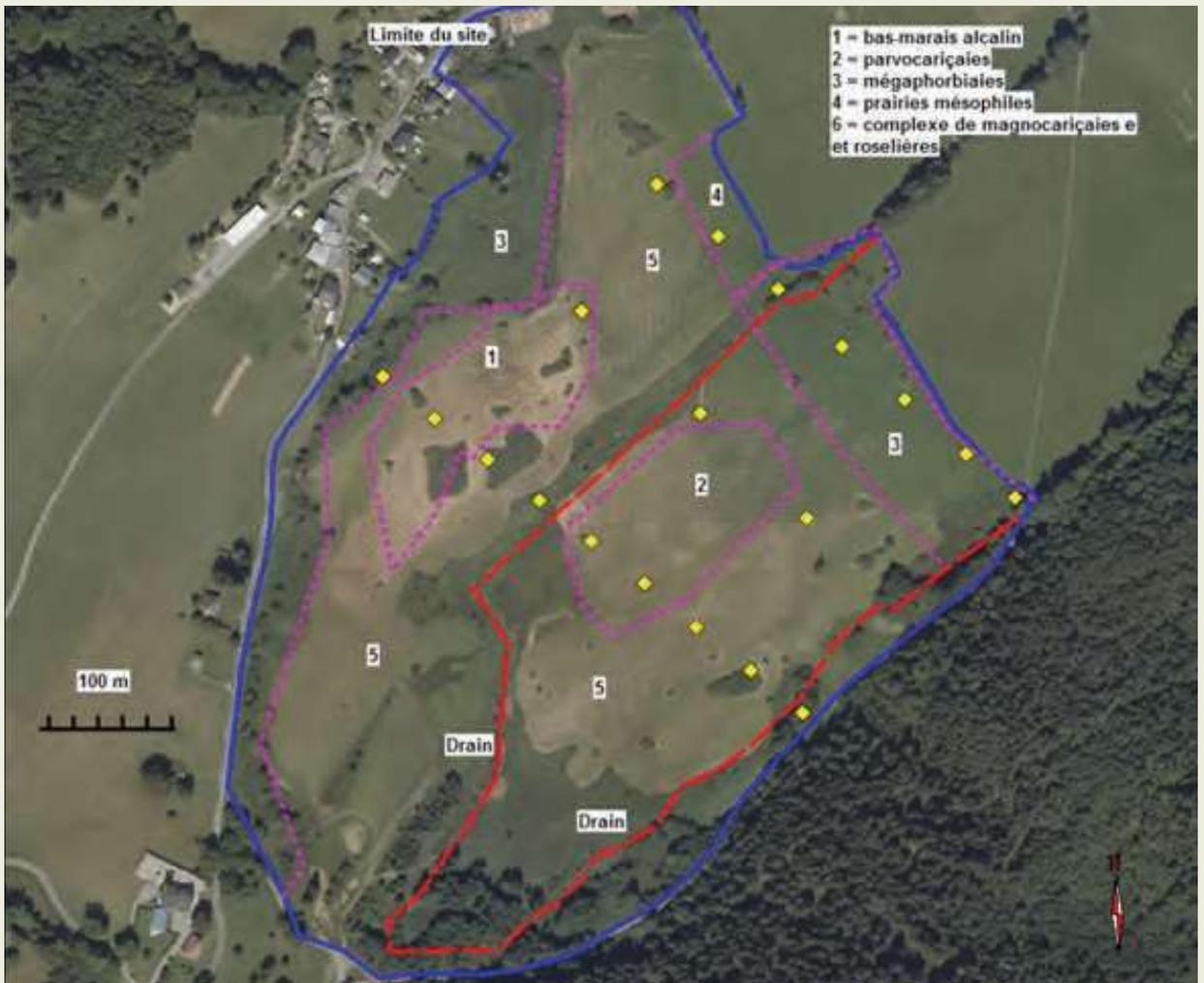
Etant donnée l'extrême variabilité de la forme des zones humides, il est difficile de définir des règles systématiques de positionnement des transects. Les cartes d'habitats (quand elles existent), les cartes topographiques et bien sûr les photographies aériennes (couleur ou infrarouge) doivent être étudiées au préalable afin de croiser le plus possible d'habitats et de niveaux topographiques /

hydrologiques.

Pour des sites présentant un gradient des conditions hydrologiques assez net, le plus simple est d'orienter les transects perpendiculairement à ce gradient (figure 1) : sur le site du Pontet (73), un gradient topographique nord-est / sud-ouest existe (points cotés 864 et 859 respectivement). On note également la présence d'un drain central et du cours du Gelon en grande partie rectifié et surcreusé et agissant également comme drain. L'analyse de la carte de végétation et un premier repérage sur le terrain (figure 2) ont fait apparaître que la zone centrale est la plus diversifiée, les zones nord-ouest, nord-est et sud-est étant constituées de complexes de roselières et magnocariçaies. Trois transects (les relevés sont matérialisés par des carrés jaunes) ont donc été établis, selon le gradient topographique, perpendiculairement au drain principal et permettant de traverser tous les habitats identifiés.

Pour une périodicité des suivis de 5 à 10 ans, privilégier les milieux ouverts (dont la végétation réagit plus vite aux perturbations) semble raisonnable. Comme règle empirique, on peut proposer qu'au moins la moitié des placettes concerne ces milieux ouverts, hors sites alluviaux boisés notamment.

Figure 2 : carte de végétation





Représentativité des données

Précision de l'information

La variabilité spatiale, testée sur quelques sites, est faible à l'échelle de la placette (variation type absolue de 0,2 pour la valeur d'engorgement du sol par exemple) et très faible à nulle à l'échelle du site.

La variabilité générale (incluant erreurs de relocalisation et passages à des dates différentes par des observateurs différents) a été testée sur 266 placettes. Elle représente des écarts de l'ordre de 0,5 en présence / absence et 0,7 en recouvrement pour le niveau d'engorgement à l'échelle de la placette, ceux-ci étant plus faibles pour la fertilité (respectivement 0,2 et 0,24). A l'échelle du site, les écarts sur les estimations de la médiane ont été calculés sur 20 sites. Pour la fertilité, les données calculées respectivement par la présence/absence et en tenant compte du recouvrement des espèces sont de 0,16 et

0,14. Pour l'indice d'engorgement, l'écart moyen de la médiane est de 0,27 et de 0,38 respectivement pour les données en présence / absence et en recouvrement.

Représentativité de l'information collectée

Le protocole flore permet de capturer au moins 50 % du total des espèces d'un site (incluant les espèces découvertes lors du programme) pour près de 80 % des sites, le pourcentage moyen étant d'environ 65 %. La représentation des espèces mésohygrophiles à hygrophiles est encore meilleure. Ce pourcentage diminue avec la taille des sites surtout, et l'augmentation du nombre de placettes ne permet pas, avec un volume de travail restant raisonnable, de compenser cette diminution.

Opérationnalité de la collecte

Compétences requises

De solides compétences botaniques sont requises, au moins concernant la flore des zones humides. Sur le bassin Rhône-Méditerranée, bassin le plus diversifié en France en termes de types de zones humides, environ 1500 espèces ont été contactées, dont près de la moitié sont rares ou très rares. La maîtrise d'environ 800 à 900 espèces semble donc raisonnable sur l'ensemble du bassin étant donné l'impact modéré des omissions. Pour un opérateur local, ce nombre d'espèces est de l'ordre de 200 à 400.

Impact du niveau de compétences

L'effet des erreurs de détermination ou des omissions d'espèces peut être évalué par quelques données bibliographiques. *EWALD (2003)* a montré que l'omission de 80% des espèces les moins abondantes des placettes affecte très peu les valeurs diagnostiques ; en corollaire, les erreurs de détermination sur les espèces abondantes peuvent avoir un impact assez fort.

Temps moyen de collecte

En moyenne, le temps de collecte est de 1,5 jours par site (en un seul passage).

Temps de validation et de saisie des données

Pour une structure possédant une chaîne de saisie, le temps de saisie est de l'ordre de 1 jour par site, celui de validation des données de l'ordre de 1 heure.

Coût matériel/données / prestation/analyse

- GPS : entre 200 et 300 euros ;
- "décamètre" : environ 10 euros ;
- bornes de géomètre : environ 40 euros par borne.

En annexe :

- La fiche de relevé de terrain (Annexe 1) ;
- Les référentiels construits ou disponibles dans le cadre du programme et nécessaires à la mise en œuvre du protocole (Annexe 2).

Opérationnalité de la collecte (Suite)



Le référentiel flore utilisé est TAXREF 6. Des ajouts (peu nombreux) ont été effectués pour des espèces ou des taxons infra-spécifiques non inclus dans cette version.

Une table d'équivalences entre différents référentiels flore utilisés par les structures gestionnaires a été construite, afin de permettre l'importation des données saisies dans les outils métiers des structures.

Un certain nombre de taxons, qui gardent leur identité dans la base, sont regroupés pour les traitements postérieurs, essentiellement à cause de difficultés de détermination (ex. *Carex flava* et *C. lepidocarpa*).

À chaque taxon est associé un certain nombre de valeurs indicatrices (valeur d'engorgement, valeur de fertilité, coefficient de conservatisme, statuts divers...) qui servent pour le calcul des indicateurs. Pour l'essentiel, ces valeurs, établies pour la Suisse, sont tirées de **LANDOLT et al. (2010)**.

L'application à Rhône-Alpes ne pose pas de

difficultés particulières, hormis pour l'humidité. Une certaine de valeurs a été modifiée car **LANDOLT et al. (2010)** attribuent une valeur indicatrice d'humidité globale et non strictement édaphique : certaines espèces des milieux forestiers des climats frais et humides (ex. *Saxifraga rotundifolia*) ont ainsi des valeurs élevées alors qu'elles ne sont pas liées à des sols hydromorphes.

D'autre part, pour les espèces des zones humides méditerranéennes (absentes de Suisse), les valeurs indicatrices de **JULVE (2012)** ont été utilisées. Toutefois, ces dernières étaient basées sur une échelle de 1 à 12 (contre une échelle de 1 à 5 mais avec des demi-niveaux pour **LANDOLT et al., 2010**). Il a donc fallu harmoniser les deux systèmes sur une échelle commune de 1 à 10. La comparaison des valeurs indicatrices des espèces en commun entre les deux systèmes a montré la meilleure cohérence globale (malgré des divergences assez nombreuses mais de faible ampleur) avec les équivalences suivantes du tableau 1 :

Référentiel flore et valeurs indicatrices de références

Référentiel Landolt	Référentiel Julve	Référentiel commun RhoMéo
1	1	1
1.5	2	2
2	3	3
2.5	4	4
3	5	5
3.5	6	6
4	7	7
4.5	8	8
5	9	9
5u	10	10
5v	11	10
-	12	10

Bibliographie

CHYTRY M. & OPTYKOVA Z., 2003. Plot sizes used for phytosociological sampling of European vegetation. *Journal of Vegetation Science* 14 : 563-570.

EWALD J., 2003. The sensivity of Ellenberg indicator values tp the completness of vegetation relevés. *Basic and Applied Ecology* 4 : 507-513.

JULVE Ph. 2012. CATMINAT. Document téléchargeable à l'adresse suivante : <http://philippe.julve.pagesperso-orange.fr/catminat.htm>

LANDOLT E. et al., 2010. *Flora indicativa*. CJB Genève, Haupt, Berne, 376 p.

PIÉZOMÉTRIE



Description et principes du protocole

Principes généraux

Il s'agit de suivre les variations de la nappe d'eau dans le sol et de traduire la dynamique hydrologique de la zone humide. Pour cela, un piézomètre, servant de puits d'observation, est installé et équipé d'une sonde de pression permettant l'enregistrement automatique des valeurs de nappe. Comme il s'agit de mesurer les variations de la nappe à proximité de la surface et non dans les formations superficielles profondes, les piézomètres peuvent ne pas excéder deux mètres de longueur. Ce protocole nécessite d'envisager une maintenance du matériel à moyen et long terme (TAYLOR et ALLEY, 2001).

Type de données collectées

Les sondes acquièrent des données au pas de temps horaire, soit 8760 valeurs par an. Comme il s'agit de profondeur par rapport à la surface du sol, les valeurs sont positives lorsque la nappe se situe dans le sol et négatives si elle dépasse la surface et inonde le sol.

Type d'échantillonnage

Un seul piézomètre équipé peut être installé par site. Bien évidemment, la localisation du piézomètre doit être réfléchie afin de se situer dans un contexte hydrologique et topographique moyen à l'échelle du site. Cela est d'autant plus vrai que le site est vaste.

Méthode de mise en place

Les piézomètres « ouverts » sont de simples tubes, qui permettent depuis la surface d'accéder à l'eau d'une nappe. Fabriqués à partir de tubes métalliques ou en PVC perforés sur toute leur longueur (tous les 10 centimètres), ils permettent d'observer le niveau piézométrique. Il est parfois préconisé de recouvrir le tube d'un géotextile, pour empêcher le matériel du sol de rentrer dans le tube. Si cela est recommandé dans les sol minéraux friables ou argileux, cela n'est généralement pas nécessaire dans la tourbe, dans la mesure où les perforations sont de petite taille (inférieure à 10 mm). Les tubes dépassent du sol pour faciliter leur repérage au milieu de la végétation. Une marque est réalisée au niveau du sol pour matérialiser le niveau 0 et vérifier que le piézomètre ne bouge pas au fil du temps. Les tubes sont équipés de sondes à capteur de pression permettant l'enregistrement automatique des valeurs à un pas de temps défini.

Différents fabricants proposent aujourd'hui des enregistreurs de niveau de nappes basés sur une sonde de pression (ott, hydreka, aqualyse, schlumberger, paratronic, solinst...).

Si les propositions techniques diffèrent quelque peu, le principe général consiste à mesurer la pression absolue en profondeur, correspondant à la somme de la pression atmosphérique et de la pression due à la colonne d'eau, pour la convertir en hauteur. Pour cela, il est donc nécessaire de compenser la pression absolue par la pression atmosphérique enregistrée en surface et ainsi isoler la pression uniquement liée au poids de la colonne d'eau. Aujourd'hui les capacités de stockage des données ne sont plus un facteur limitant, les sondes pouvant stocker plusieurs centaines de milliers de valeurs. Si, pour le calcul de l'indicateur, les données sont exploitées au pas de temps journaliers, des enregistrements au pas de temps horaire peuvent permettre des observations complémentaires intéressantes.

Méthode de mise en place (Suite)

Deux documents annexés précisent la méthode de fabrication des tubes piézométriques et l'utilisation du logiciel de paramétrage des sondes (Annexe 2). La localisation du point d'installation du piézomètre doit respecter les préconisations suivantes :

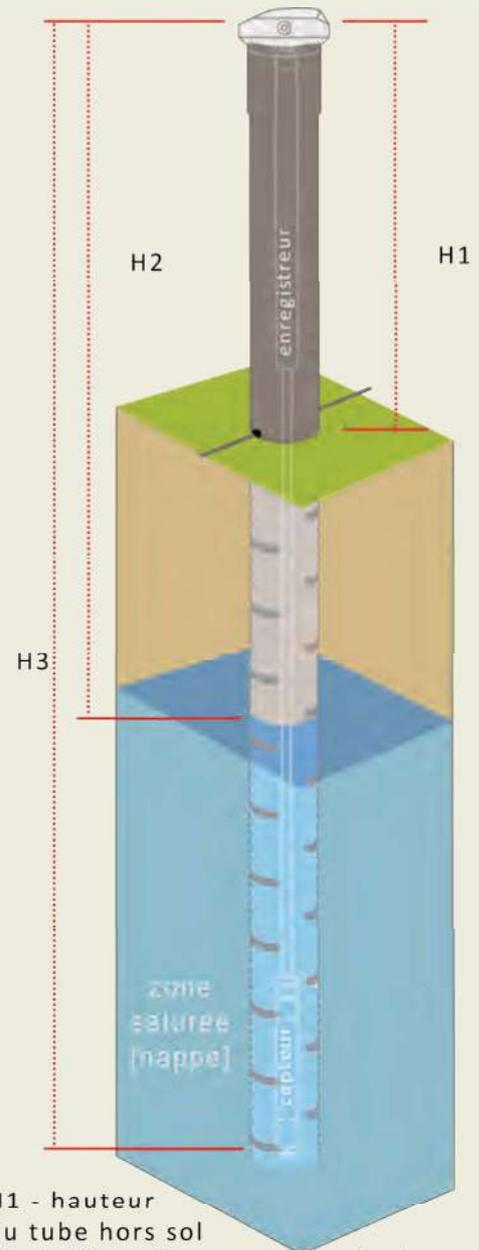
- S'assurer de la compatibilité du dispositif avec la gestion du milieu. S'il y a pâturage, prévoir un enclos de protection. En cas de fauche, rendre le tube visible pour un conducteur de tracteur ;
- Préférer l'installation du piézomètre dans une partie centrale, correspondant à un habitat ou du moins à un milieu très représenté à l'échelle du site. 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. Toutefois, quelle que soit la position de l'appareil, il est possible d'obtenir une réponse représentative de la dynamique de fonctionnement hydrologique du site (voir paragraphe suivant).



Piézomètre équipé d'une sonde de mesure automatique

L'opérateur doit s'assurer de la justesse du calage entre le niveau réel de la nappe et celui mesuré par la sonde (voir note en Annexe 2). Hors vandalisme ou "casse" (faucheuse, bétail, mammifères sauvages), le colmatage du tube est le principal problème provoquant des erreurs de mesure. Il est donc nécessaire de veiller au bon fonctionnement du dispositif pour éviter les lacunes dans les séries de données qui empêcheraient le calcul de l'indicateur.

Figure 1: Principes d'installation d'une sonde



H1 - hauteur du tube hors sol
Elle doit être suffisamment haute pour laisser l'enregistreur hors d'eau (supérieure aux niveaux de crue), celui-ci ayant une capacité de submersion limitée.

H2 - profondeur de la nappe
La sonde convertit les variations de pression au dessus du capteur en variations de hauteur d'eau. Pour cela, elle soustrait de la pression totale la pression atmosphérique mesurée au niveau de l'enregistreur (compensation).

H3 - profondeur maximale de mesure de la nappe
La profondeur du capteur détermine l'amplitude maximale des mesures possibles.



Représentativité des données

Précision de l'information

Si les profondeurs de la nappe varient à l'échelle du site, en relation avec la microtopographie, mais également en fonction du gradient hydraulique (pente d'écoulement de la nappe), le suivi de réseau de piézomètres montre le bon niveau de corrélation des niveaux piézométriques en zone humide. Ainsi, en ne suivant qu'un seul point de la zone humide, une image fidèle du fonctionnement de la dynamique, c'est-à-dire des rythmes et de l'amplitude des variations, peut être obtenue (PORTERET 2008).

Représentativité de l'information collectée

L'impact des modifications des apports d'eau (drainage, prélèvement) d'une zone humide se traduit directement sur les niveaux de la nappe dans le fonctionnement hydrologique du milieu

(suivant l'équation du bilan de l'eau). Toutefois, c'est l'ampleur des volumes d'eau soustraits à la zone humide qui détermine l'impact sur la baisse de la nappe. Si cet impact peut être masqué à court terme par les fluctuations des apports atmosphériques (précipitations), cela n'est plus le cas lorsque l'on considère la tendance à moyen terme (5 ans). Les sites pour lesquels les séries de données à long terme existent sont rares. Toutefois, nous pouvons clairement observer, dans les enregistrements du marais de Chautagne (Savoie), la baisse générale de la nappe liée aux travaux d'aménagement du Rhône. Au delà des valeurs brutes de profondeur de la nappe, l'analyse des distributions des niveaux de nappe illustre l'impact tant sur l'amplitude des variations que sur les profondeurs les plus fréquentes (Figure 2).

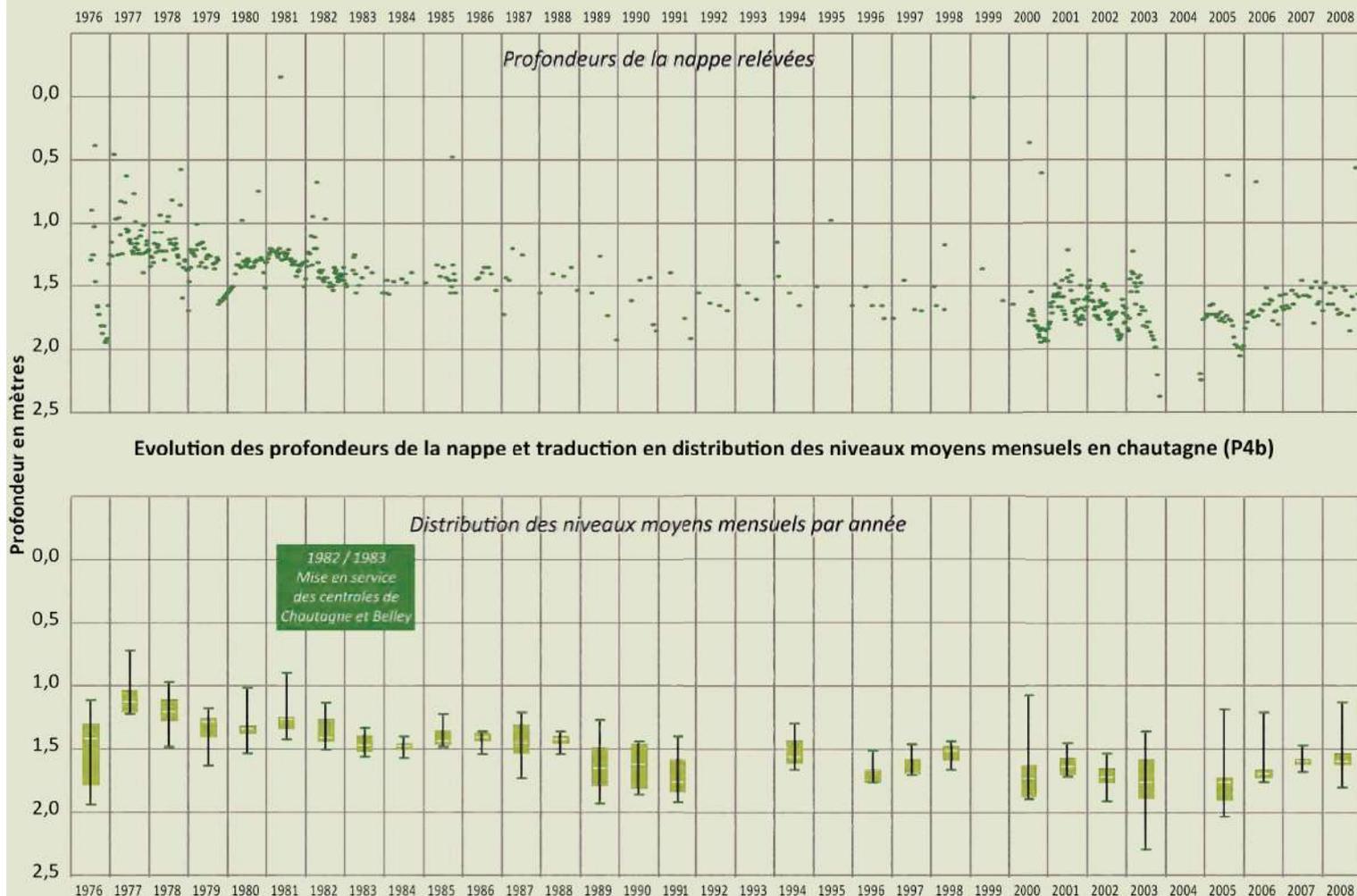


Figure 2 : sensibilité de la nappe aux aménagements hydrauliques en Chautagne

Opérationnalité de la collecte



Compétences requises

La mise en place, le paramétrage et le suivi des sondes demandent des compétences qui peuvent être facilement acquises par les opérateurs. Les différentes notes d'installation et manuels d'utilisation permettent une prise en main rapide des outils (matériel et logiciel). Par ailleurs, certains fabricants de matériels proposent des formations pour leur utilisation.

Temps moyen de collecte (coût)

Au delà de la phase initiale d'installation (1/2 journée) et de vérification du bon fonctionnement du dispositif (2 à 3 passages dans les mois suivant l'installation), le relevé des données ne demande que quelques minutes. Si, avec l'utilisation de pile lithium, l'autonomie (batterie et mémoire) atteint plusieurs années (jusqu'à 5 ans), il est conseillé d'effectuer, au minimum, les relevés annuellement.

Temps de validation et saisie des données

Les données journalières peuvent être exportées directement du logiciel d'exploitation de la sonde vers un tableur ou une base de données. Comme pour tout dispositif d'enregistrement automatique de mesures, il est toutefois nécessaire de prévoir une vérification de la cohérence globale des données.

Coût matériel/données /prestation/analyse

Le coût d'équipement d'un site est de 1500 euros ; la maintenance et le suivi représentent 1 journée de travail par an.

En annexe :

- Note sur la fabrication de piézomètres (Annexe 2)
- Note sur le paramétrage du logiciel Hydras (Annexe 2)

Bibliographie

TAYLOR C.J. & ALLEY W.M., 2001. *Ground-water-level-monitoring and the importance of long term water level data - US Geological Survey, Circular 1217 p.*

PORTERET J., 2008. *Fonctionnement hydrologique des têtes de bassin versant tourbeuses du Nord-Est du Massif Central - PhD thesis. Université Jean Monnet - Saint-Etienne (2008-12-08), Hervé Cubizolle (Dir.).*



ORTHOPTERES



Description et principes du protocole

L'objectif du protocole est de réaliser un inventaire des orthoptères (criquets, sauterelles et grillons), des cicindèles et d'un perce-oreille de la zone humide le plus complet possible dans un minimum de temps. Pour obtenir la

liste des espèces représentatives du tronçon de cours d'eau étudié, une prospection à vue est réalisée afin d'identifier les espèces, leur stade de développement et leur comportement reproducteur.

Méthode de mise en place

Les points de suivis

Disposition

Dans un premier temps, il s'agit de disposer les points suivi de façon à ce qu'ils soient représentatifs du cours d'eau. A cet effet, il est nécessaire de s'appuyer sur des photographies aériennes et des cartographies d'habitats (code Corine, Natura 2000) et/ou des documents produits par l'inventaire des zones humides. Les annexes hydrauliques dans le lit mineur doivent être ciblées, qu'elles soient en connexion avec la nappe phréatique ou le cours principal. Dans le cas où une zone humide n'est pas connue par l'opérateur chargé de mettre en œuvre le protocole de suivi, le positionnement des points de suivis nécessite une reconnaissance de terrain.

Nombre

Le plan d'échantillonnage (nombre de points de suivi) n'est pas limité, il doit être adapté à la réalité topographique et écologique de la zone humide choisie : l'objectif est de disposer d'un échantillonnage représentatif des milieux ouverts créés par le cours d'eau au travers d'un minimum de deux points de suivi par type de milieux ouverts.

Surface et périmètre

La surface du point de suivi ne doit pas dépasser un hectare. Si besoin, positionner plusieurs points de suivi à proximité l'un de l'autre. L'aire

du point de suivi (1 ha) peut s'apparenter à la forme géométrique la mieux adaptée pour couvrir les habitats les plus favorables ou diversifiés. Elle peut donc former une placette carrée ou un linéaire de 5 mètres de largeur sur une longueur de deux kilomètres (en bordure d'un cours d'eau par exemple).

La prospection de terrain

Mode de prospection

Les relevés sont effectués au gré d'un parcours à marche lente visant à couvrir la totalité de la superficie du point de suivi hors couverture arborée et surface en eau. Les orthoptères sont généralement recherchés à vue et à l'ouïe, mais cette dernière technique n'est pas indispensable pour déceler la présence des espèces indicatrices de la dynamique de cours d'eau. Les espèces indicatrices d'orthoptères et de cicindèles sont recherchées à vue en priorité sur les berges nues, les étendues sableuses, graveleuses ou limoneuses sèches et humides, les surfaces à végétation clairsemée. Quant au perce-oreille des rives, sa présence est décelée en recherchant à vue sous les gros galets, les bois morts, les planches déposées par les crues sur les rives et les bancs de galets.

Durée

La durée de prospection sur chaque point de suivi est d'une heure minimum lorsque les habitats sont homogènes. Elle peut s'étendre

Méthode de mise en place (Suite)

à deux heures lorsque les habitats et peuplements d'espèces sont diversifiés, ou lorsque la détectabilité des individus est plus faible en raison de conditions météorologiques moins favorables. Le temps passé à la capture et à la détermination d'individus est décompté du temps d'observation. Si 3/4 d'heure ont suffi pour couvrir le point de suivi, le relevé est interrompu 1/4 d'heure plus tard lorsqu'aucune nouvelle espèce n'a été ajoutée. Les trois passages sont effectués en juin, juillet, août/septembre avec un minimum de trois semaines d'écart entre deux passages.

Référentiel taxonomique

La liste de référence des orthoptères de France est téléchargeable sur le site de l'ASCETE (www.ascete.org) et reprise sur le site de telaorthoptera (www.tela-orthoptera.org). Utiliser la version récente, produite en 2012. La liste de référence des autres

espèces est basée sur le référentiel de l'INPN (Muséum National d'Histoire Naturelle) : http://inpn.mnhn.fr/programme_referentieltaxonomique-taxref

Autochtonie et compilation des données

Le calcul de l'indicateur nécessite de dresser des listes d'espèces sur chaque point de suivi. Une liste globale d'espèces autochtones est ensuite réalisée à partir de tous les relevés sur tous les points de suivi. Les listes dressées ne doivent comptabiliser que les espèces présumées autochtones. L'autochtonie est définie grâce aux données relatives au comportement reproducteur, stade de développement, abondance...L'observation d'un seul individu adulte à une seule reprise au cours de deux ans (ou trois ans en fonction du choix de la périodicité du suivi) ne peut être retenue.

Protocole orthoptères et cicindèles : exemple de tableau de résultats

Dénomination zone humide

Commune (Dpt)

Région administrative

Rrégion biogéographique

Taxon	Zone humide	Point de suivi n°1	Point de suivi n°2	Point de suivi n°3
<i>Pteronemobius heydenii</i>	1	1	0	1
<i>Tettigonia viridissima</i>	1	1	1	1
<i>Platycleis albopunctata</i>	1	1	0	0
<i>Platycleis affinis</i>	1	0	0	1
<i>Decticus albifrons</i>	1	1	0	0
<i>Gomphocerippus brunneus</i>	1	0	1	1
<i>Gomphocerippus vagans</i>	1	1	1	0
<i>Calliptamus italicus</i>	1	1	1	1
<i>Oedipoda caerulecens</i>	1	1	1	0
<i>Tetrix tuerki</i>	0	0	1	1
<i>Sphingonotus caeruleans</i>	1	1	1	1
<i>Xya variegata</i>	0	1	1	1
<i>Cylindera arenaria</i>	0	1	1	1
<i>Cicindela hybrida</i>	1	1	1	0
<i>Cicindela germanica</i>	0	1	0	0



Représentativité des données

Précisions de l'information

La méthode proposée est peu sensible à la variabilité spatiale* ou temporelle** si le plan d'échantillonnage est bien construit, le calendrier phénologique et le nombre de passages respectés. Notons qu'au-delà de la variabilité induite par les opérateurs, il existe une fluctuation naturelle des effectifs, non négligeable chez certaines espèces d'orthoptères, qui deviennent nettement plus

discrètes pendant la période que dure l'éclipse de leurs populations (possiblement une à trois années).

Dans le but de réduire le biais inhérent aux aléas météorologiques (crues tardives, sècheresses...) ou aux fluctuations naturelles des effectifs, il est préconisé de réaliser le protocole trois années consécutives tous les dix ans ou bien deux années consécutives tous les six ans.

		Années											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Suivi		X	X	X							X	X	X
Suivi		X	X				X	X				X	X

Représentativité de l'information collectée

Ainsi, la méthode s'est révélée suffisamment sensible. Sur plusieurs sites où des espèces sténoèces étaient déjà connues, les suivis Rhoméo ont permis de les détecter (par exemple *Cylindera arenaria* et *Xya variegata* sur le Buëch et l'Asse ;

Chorthippus pullus et *Epacromius tergestinus ponticus* sur la haute-Durance).

***Variabilité spatiale** : deux opérateurs ne passent pas exactement au même endroit.

****Variabilité temporelle** : deux opérateurs ne passent pas le même jour.

Opérationnalité de la collecte

Compétences requises

Le protocole nécessite une bonne connaissance des orthoptères puisque la détermination à l'espèce est requise. Les relevés réalisés par une personne débutante risqueront d'être incomplets (confusion entre espèces voisines, moins bonne détection). Concernant les cicindèles et le perce-oreille des rives, aucune connaissance particulière n'est requise au préalable pour appliquer le protocole.

Le nombre peu élevé de données par point de suivi (une 40^{aine} de données en moyenne pour trois passages) induit qu'une journée de travail par année de suivi est suffisante pour leur saisie et leur traitement. Ainsi pour un cours d'eau avec 4 points de suivi, le temps prévisionnel de suivi (cf. § périodicité de suivi) peut être estimé sur 12 ans à 24 jours (3 jours terrain x 6 + 1 jours de saisie / analyse x 6).

Durée /coût

Un observateur qualifié réalise au maximum quatre points de suivi en une journée si le temps de déplacement entre deux points est inférieur à une heure, correspondant par exemple à un linéaire de cours d'eau d'une 10^{aine} de kilomètres. Cela représente trois journées par an, auxquelles s'ajoute le temps de préparation (évalué à une journée en moyenne, pour préparer la disposition des points de suivi).

Coût du matériel

Le coût du matériel nécessaire (loupe de terrain, filet à papillon) n'est pas élevé et pourra de plus être utilisé pour l'étude d'autres compartiments biologiques.

ODONATES



Description et principes du protocole

L'objectif du protocole est de réaliser un inventaire du peuplement d'odonates de la zone humide le plus complet possible dans un minimum de temps en appliquant une pression d'observation calibrée et reproductible.

Les données collectées sont des informations de présence/absence des espèces, complétées

d'informations semi-quantitatives et qualitatives sur un réseau de points d'observation.

L'échantillonnage est stratifié pour répartir la pression d'observation sur les différents habitats odonatologiques.

Méthode de mise en place

Définir l'univers d'échantillonnage

Il convient, avant d'engager la définition de l'échantillonnage, d'avoir une lecture critique des données d'inventaire des zones humides et le cas échéant de procéder à des regroupements de manière à conduire l'évaluation à la bonne échelle. Les cas suivants ont été rencontrés sur les sites tests :

- Zone humide attenante à une masse d'eau de type lac : vérifier que l'interface entre la masse d'eau et la zone humide (partie du lac de profondeur inférieure à 3 m abritant des formations d'hélophytes et d'hydrophytes) est bien intégrée dans la zone humide. Dans le cas où plusieurs zones humides attenantes au lac ont été définies séparément, les réunir dans un seul polygone rassemblant toutes les zones humides riveraines et la frange peu profonde du lac pour définir l'univers d'échantillonnage ;
- Zone humide alluviale : souvent la masse d'eau (= le cours d'eau) est exclue de l'enveloppe zone humide. Il convient, comme pour les lacs, d'intégrer toutes les zones d'interface des berges et parties peu profondes dans l'univers d'échantillonnage. Afin de simplifier le travail de délimitation, il est préconisé d'intégrer l'ensemble du chenal du cours d'eau. Ces zones humides alluviales posent également d'autres questions :
 - D'une part celle permettant de délimiter

les limites d'échantillonnage dans le cas de système peu anthropisé. On conseillera dans ce cas de recourir à la méthode de définition des secteurs fonctionnels sur un cours d'eau (*AMOROS et PETTS, 1993*).

A l'inverse, dans le cas de plaines alluviales très anthropisées, chaque petite zone humide vestigiale est le plus souvent cartographiée séparément, alors que fonctionnellement chacune fait partie d'un système beaucoup plus vaste orchestré par le cours d'eau au travers de sa nappe phréatique d'accompagnement et éventuellement de l'inondation périodique. Ici encore, la définition de l'univers d'échantillonnage par la réunion des différentes petites zones humides résiduelles et du chenal du cours d'eau du secteur fonctionnel est recommandée.

- Enfin, le cas des constellations de petites zones humides (marais, mares...), souvent héritées d'une zone humide antérieure plus vaste, réduite ou fragmentée par drainage ou mise en culture, peut être traitée de la même manière en construisant un univers d'échantillonnage unique réunissant l'ensemble du réseau. Dans ces deux derniers cas de zones humides fragmentées, cette méthode facilite la mise en place d'un nombre de points d'observation suffisant pour atteindre une validité correcte de l'échantillonnage.


 Méthode de mise en place (Suite)


Plan d'échantillonnage

Pour décrire la richesse totale de la zone humide, il est nécessaire d'échantillonner tous les types d'habitats disponibles pour les odonates. Il convient donc d'avoir au préalable une connaissance suffisante de la zone humide et des habitats odonatologiques présents (SFO, 2001 ; GRAND et BOUDOT, 2006 ; DELIRY 2008). Il est important de souligner que cette notion d'habitat odonatologique ne se superpose pas à la notion d'habitat au sens de la végétation ou de la phytosociologie. Des nuances ont été apportées à la typologie SFO (Annexe 2).

de manière à optimiser la qualité de l'échantillonnage, notamment pour :

- les milieux alluviaux : le degré de connexion au chenal des annexes ;
- l'altitude : notion d'étages bioclimatiques.

Une cartographie des surfaces en eau est réalisée à l'aide de cartes topographiques, de photographies aériennes et d'une visite préalable du site. Dans l'idéal, les différents habitats odonatologiques identifiés lors de la reconnaissance terrain servent de typologie à cette cartographie.

Une fois ce travail d'identification des habitats odonatologiques effectué et avant de se lancer dans la mise en place effective du plan d'échantillonnage et des relevés de terrain, il est recommandé de vérifier que la liste d'espèces attendues sur cette zone comporte bien des espèces à fort lien avec les habitats de la zone humide. (cf fiche A10, calcul de l'indicateur, «paragraphe» construction de la liste d'espèces attendues). En effet, dans quelques cas de zones humides situées dans des départements à la faune odonatologique assez pauvre et ne présentant qu'un seul habitat odonatologique, cette liste ne comporte aucune espèce de ce type et l'indicateur ne peut alors être calculé. Dans ce cas, il est inutile de lancer la collecte des données.

Le plan d'échantillonnage s'appuie sur la liste des habitats odonatologiques identifiés sur la zone humide. Au sein de chaque habitat, au moins 3 points d'observation seront mis en place et idéalement 6. Dans le cas d'habitats odonatologiques présentant des nuances significatives (cas des cours d'eau et annexes hydrauliques fluviales courantes), notamment avec les différents faciès du chenal, «radier» et «mouille», on s'attachera à répartir les points de suivi de manière à échantillonner ces différentes nuances. Pour les habitats fragmentés, on veillera à échantillonner les différents « patchs » présents. Certains habitats faiblement représentés dans la zone humide ne permettent pas l'installation de 3 points d'observation. Ils seront néanmoins échantillonnés au mieux afin de décrire le plus complètement possible le peuplement de la zone humide.

Surfaces d'observation

L'observateur choisit la surface d'observation, en fonction de la configuration du site et des conditions de déplacement. Il peut s'agir :

- de transects de 25 m de long et 5 m de large (2,5 m de part et d'autre de l'interface terre/eau). Cette option est à retenir dans tous les cas où l'interface terre/eau est bien marquée et où le déplacement à pied le long du transect est aisé (sol portant, eau peu profonde). Deux transects peuvent être contigus ou proche de quelques dizaines de mètres de manière à optimiser le travail de terrain (par exemple 2 transects proches pour échantillonner un radier et une mouille adjacente sur un cours d'eau) ;
- de points d'un rayon de 5-10 mètres, permettant la détermination à vue (éventuellement à l'aide de jumelles) des libellules (anisoptères principalement, les zygoptères moins farouches étant le plus souvent déterminables sans jumelle ou facilement capturables). Les points doivent être distants de 25 m au moins, pour éviter le chevauchement.

Il est important que l'habitat soit homogène au sein de chaque point de suivi.

Les points de suivis seront localisés géographiquement avec précision (coordonnées du barycentre) afin de réaliser les relevés au même endroit au cours d'une saison ainsi que les années suivantes (si le milieu est stable).

Conditions de réalisation d'un relevé

Pour les transects, les relevés s'effectueront à marche lente. Au cours de la première visite, une durée de référence sera mesurée et restera constante pour les visites ultérieures afin de conserver la même pression d'observation.

Pour les points, le relevé dure au moins 6 minutes et l'inventaire des espèces nouvelles se fait par tranche de 2 minutes. Si la dernière tranche de 2 minutes a permis de détecter au moins une espèce nouvelle, une tranche supplémentaire de 2 minutes d'observation est ajoutée et ainsi de suite. Si cette période n'apporte aucune espèce nouvelle, le relevé est stoppé. Le temps total d'observation est noté.

Le temps passé à la capture et à la détermination d'individus est décompté du temps d'observation. Afin de limiter ces interruptions durant le relevé, il est recommandé de faire une reconnaissance préalable de la zone humide dès l'arrivée, avec capture et identification permettant de faire le point sur les espèces abondantes présentes (notamment les zygoptères) avant de réaliser les relevés définitifs sur les points de suivi.

Les relevés se réaliseront entre 10h et 16h (possibilité de décaler plus tard en juin-juillet par temps chaud



Méthode de mise en place (Suite)

et lorsque les jours sont les plus longs), période optimale d'activité des imagos. Les conditions météorologiques devront être « bonnes » le jour du relevé ainsi que, dans la mesure du possible, la veille de celui-ci :

		Température		
		< 17°C	17°C - 22°C	> 22°C
Nébulosité	> 3/4	non	oui	oui
	< 3/4	oui	oui	oui
Pluie		non	non	non
Force du vent	< 4 Beaufort	non	oui	oui
	4 Beaufort	non	oui exceptionnellement	
	> 4 Beaufort	non	non	non

Conditions météorologiques permettant la réalisation de relevés odonates

Température : prise sur le site météoFrance et exprimée en degré Celsius ;

Nébulosité : estimée et exprimée en quart :

(0 - 1/4 - 1/2 - 3/4 - 1) ;

Force du vent : estimée et exprimée en Beaufort. Les indices suivants peuvent être utilisés afin d'estimer cette force :

1 : vent perceptible sur une fumée mais pas sur une girouette (1 à 5 km/h) ;

2 : girouette en mouvement et vent perceptible sur le visage (6 à 11 km/h) ;

3 : les feuilles et brindilles sont constamment en mouvement (12 à 19 km/h) ;

4 : les petites branches sont en mouvement. Les poussières et les papiers tourbillonnent (20 à 28 km/h) ;

5 : des vagues sont clairement visibles à la surface de l'eau. Les petits arbres balancent. Les sommets de tous les arbres sont agités (29 à 38 km/h).

Calendrier d'intervention

- pour les sites de plaine : 3 campagnes dates indicatives : début mai – juin/juillet – septembre, à caler sur la phénologie des espèces. Le premier relevé doit comprendre la période de vol de *Brachytron pratense* pour les eaux stagnantes et de *Gomphus vulgatissimus* pour les eaux courantes. Le dernier correspond au vol des espèces tardives (*Lestes*, *Aeshna mixta/affinis*,...);

- pour les sites de l'étage montagnard : 3 campagnes / juin - juillet – août ;
- pour les sites de l'étage subalpin : 2 campagnes début juillet - fin juillet.

Les dates de prospection devront être identiques (du point de vue de la phénologie des odonates) d'une année sur l'autre.

Choix des paramètres à collecter

Pour les imagos, le relevé consistera à noter :

- l'espèce observée ;
- la présence d'un ou plusieurs individus ;
- la présence de mâles et de femelles ;
- le comportement reproducteur le plus significatif : défense territoriale, tandem, accouplement, ponte, émergence, exuvie.



Exuvie de libellule

La recherche des exuvies d'anisoptères est recommandée (à minima, les exuvies repérées aisément à l'occasion du relevé sont collectées). Elle est obligatoire pour deux types de zones humides où les exuvies sont indispensables pour repérer des espèces discrètes au stade imago : grands cours d'eau (*Gomphidés*, *Cordulidés*, *Boyeria*) et tourbières d'altitude (*Somatochlora*). Les exuvies d'anisoptères sont alors recherchées attentivement et récoltées, au retour pour les transects en berge sur une largeur de 1 m à partir de l'eau et par prospection des gouilles en tourbière d'altitude.

Pour les exuvies, récoltées puis déterminées en laboratoire, seront notés :

- l'espèce à l'exception de certains *Sympetrum* : *Sympetrum sanguineum*, *S. meridionale* et *S. striolatum* ne peuvent être déterminés au niveau spécifique avec certitude, ils seront donc notés dans un groupe réunissant ces 3 taxons,

📏 📄 🦋 🦋 **Méthode de mise en place (Suite)**

- le nombre d'individus.
- Ces observations seront consignées sur une fiche de terrain (Annexe 1).
- Les exuvies seront stockées dans des boîtes (une par point de suivi et date) en attendant d'être déterminées au laboratoire. Ces boîtes seront référencées avec le code du point de suivi, la date du relevé et le nom de l'observateur.

Construction du tableau de résultat

A l'issue de la phase de terrain et de la détermination des exuvies au laboratoire, les données sont saisies dans un outil de type base de données ou tableur selon le modèle joint en annexe 2.

Le tableau de résultats pour une zone humide et une année donnée prend la forme d'un tableau à double entrée espèces x points de suivi (cumulant données d'imagos et d'exuvies). Un tel tableau se construit aisément par un tableau croisé dynamique à partir d'une base de données ou un tableur Excel. Dans le cas où certaines observations concernent des taxons qui n'ont pu être déterminés au niveau spécifique (observation furtive d'un anisoptères, exuvies de *Sympetrum...*), il convient de toiletter le tableau de manière à éviter des redondances taxonomiques. Plusieurs cas se présentent (cf. tableau ci-dessous).

Cas	Règle de gestion
Un seul taxon observé dans le genre, même non déterminé au niveau spécifique Ex : <i>Sympetrum sp</i>	Le taxon est conservé Ex : <i>Sympetrum sp</i>
Deux taxons observés dans le genre dont un non déterminé au niveau spécifique Ex : <i>Aeshna affinis</i> et <i>Aeshna sp</i> ou <i>Aeshna affinis</i> et <i>Aeshna mixta/affinis</i>	Toutes les données sont affectées au taxon déterminé au niveau spécifique Ex : <i>Aeshna affinis</i>
Plus de deux taxons observés dans le genre dont au moins un non déterminé au niveau spécifique Ex : <i>Sympetrum striolatum</i> , <i>Sympetrum sanguineum</i> et <i>Sympetrum sp.</i>	Les occurrences de taxons non déterminés au niveau spécifique sont attribuées aux taxons déterminés au prorata de la fréquence de contact des taxons déterminés (*) Ex : Si <i>S. striolatum</i> est contacté 4 fois et <i>S sanguineum</i> une fois on affectera 4/5 des occurrences de <i>Sympetrum sp</i> au premier et 1/5 au second. Si le nombre d'occurrence de <i>Sympetrum sp.</i> est inférieur à 5, toutes les données sont affectées à <i>S. striolatum</i>

Règle de gestion à appliquer en fonction des différents cas d'observation

(*) Ce raisonnement est à conduire si possible au niveau de chaque point de suivi (données des différentes campagnes) ou à défaut à partir des différents points d'un même habitat odonatologique. En dernier recours, la totalité des données disponibles sur la zone humide une année donnée sera prise en compte pour attribuer les observations.

Évaluer la qualité de l'information collectée

Afin de pouvoir estimer la qualité de l'information collectée, deux analyses sont à effectuer :

- D'une part l'estimation de la richesse totale de la zone humide en fonction de la richesse observée à partir de l'estimateur Jackknife. On peut par exemple utiliser la macro Excel produite dans la cadre du Programme IBEM, téléchargeable à l'adresse suivante : <http://campus.hesge.ch/ibem/calcul.asp> (utiliser indifféremment l'onglet invertébrés ou

végétation, la seule différence étant le nombre de lignes et de colonnes disponibles).

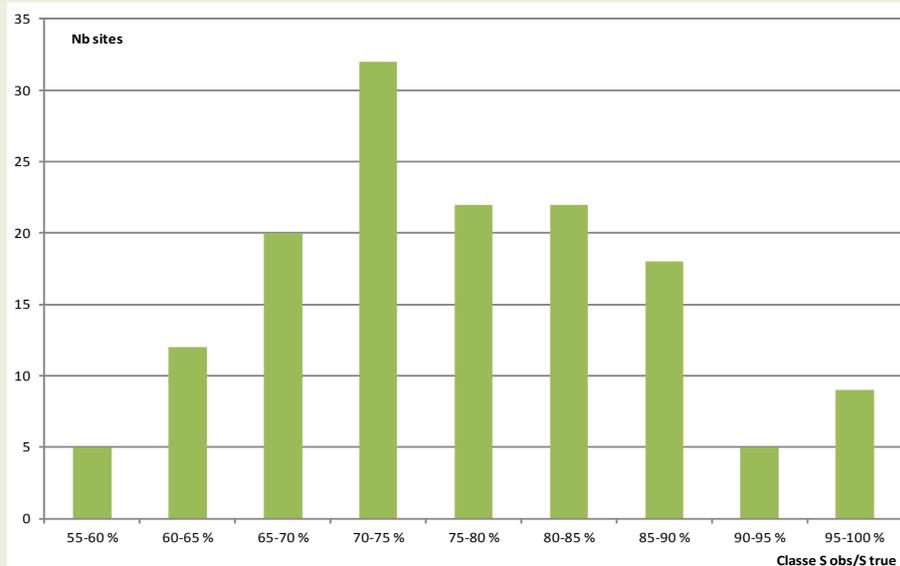
La copie du tableau présenté en exemple (cf. tableau annexe 2) dans la macro, indique que la richesse du peuplement d'odonates estimée sur cette zone humide est de 33,7 pour une richesse observée de 27. L'écart entre richesse observée et estimée est dans ce cas de 6,7 taxons et 80% de la richesse estimée a été détectée. Ce site, par ailleurs bien connu, présente une richesse réelle de 32 espèces reproductrices d'où une détection de 84% de la richesse réelle.

Sur les sites tests, malgré un échantillonnage plus restreint que celui préconisé dans le protocole sur une partie importante des sites, la richesse détectée est supérieure à 70% de la richesse estimée sur les ¾ des sites.(cf. graphique « efficacité échantillonnage », ci-après). L'échantillonnage préconisé par ce protocole Rhomeo permet de détecter au moins 75% de la richesse connue ou estimée. On retiendra ce seuil de 75% pour qualifier un échantillonnage



Méthode de mise en place (Suite)

Efficacité de l'échantillonnage sur les sites tests RhoMéO



pertinent. Dans le cas où la richesse détectée est inférieure à 75% de la richesse estimée, l'indicateur produit sera peu fiable. Dans la mesure où cette information conditionnera largement la mise en évidence d'éventuels changements intervenus entre deux campagnes, il est recommandé de renouveler le travail l'année suivante en revoyant le plan d'échantillonnage.

- D'autre part le degré d'autochtonie du peuplement, établi à partir des

comportements reproducteurs observés. 4 classes d'autochtonie sont définies. Il s'agit pour chaque espèce contactée sur la zone humide de lui affecter un des quatre codes d'autochtonie en retenant parmi les informations collectées le niveau d'autochtonie le plus fort identifié. On calculera ensuite le degré d'autochtonie du peuplement décrit en calculant la proportion d'espèces attribuée à chaque code.

Critère de définition du niveau d'autochtonie

Autochtonie	Critères
Certaine	Émergence ; Exuvie ; Néonate (individu récemment émergé, encore peu coloré, aux ailes encore brillantes et volant avec maladresse).
Probable	Présence de larves ; Femelle en activité de ponte ; Présence d'individus mâles et femelles dans un habitat aquatique sur plusieurs point d'observation dans la même zone humide.
Possible	Présence d'individus mâles et femelles dans un habitat aquatique sur un seul point d'observation dans la même zone humide ; Comportement territoriaux / poursuite de femelles / accouplements / tandems.
Douteuse	Individu isolé, sans comportement d'activité de reproduction ; Comportements territoriaux de mâles sans femelle observée.

 **Méthode de mise en place (Suite)**

Exemple

- 18 espèces recensées sur la zone humide ;
 - 10 (soit 56 %) avec autochtoni certaine ;
 - 5 (soit 28 %) avec autochtoni probable ;
 - 2 (soit 11 %) avec autochtoni possible ;
- 1 (soit 5 %) avec autochtoni douteuse ;
- Si plus de 50% des espèces se trouvent dans les codes «certain» et «probable», la qualité de l'échantillonnage sera validée.

 **Représentativité des données**

La méthode proposée est peu sensible à la variabilité temporelle ou spatiale si le plan d'échantillonnage est bien construit et le calendrier phénologique respecté. L'attention des opérateurs doit être attirée sur l'importance de la première campagne qui permet de détecter des espèces à phénologie précoce. Sur des sites bien connus au préalable, la richesse observée est proche, tout en étant toujours inférieure, à la richesse réelle.

 **Opérationnalité de la collecte**

Compétences requises

Le protocole nécessite une assez bonne connaissance des odonates puisque la détermination à l'espèce est requise. Une personne débutante passera à côté de certaines espèces (confusion entre espèces voisines, moins bonne détection) et passera beaucoup de temps à se former à l'identification, ce qui diminuera l'efficacité du travail sur le terrain. Ainsi, la richesse observée risque d'être inférieure au seuil requis pour valider l'indicateur. Par contre un observateur déjà familiarisé avec ce groupe taxonomique, sans pour autant être spécialiste, pourra rapidement être opérationnel. La disponibilité d'outils de détermination efficaces et robustes, tant pour les imagos que les exuvies, facilite une progression rapide. Deux documents constituent les outils essentiels de détermination (A. WENDLER et J.H. NÜSS, 1997; G. DOUCET, 2010). ils sont disponibles auprès de la Société Française d'Odonatologie (<http://www.libellules.org>)

notamment amphibiens -, 3 journées de collecte des données sur le terrain auxquelles il faut ajouter au maximum une demi-journée pour la détermination des exuvies). Des zones humides plus étendues et plus diversifiées nécessitent la mise en place d'une quarantaine de points de suivi et chaque campagne prend alors 3 ou 4 jours.

Durée / coût de la gestion des données

Le nombre de données collectées est assez peu important (de l'ordre d'une dizaine de taxons par point d'observation et date) ce qui représente au total environ 200 données/an pour une petite zone humide et peut atteindre de l'ordre d'un millier de données/an pour les grandes zones humides diversifiées. Le temps de gestion des données est donc relativement peu important si un outil efficace est à disposition et si la saisie se fait au fur et à mesure de l'acquisition (saisie dès retour au bureau).

Durée /coût nécessaire aux prospections

Un observateur opérationnel réalise une dizaine de points d'observation en une journée si le temps de déplacement (accès à la zone humide, déplacement entre points) reste peu important. Ainsi une petite zone humide présentant 2 à 3 habitats odonatologiques peut être couverte en 4,5 jours (1 journée de reconnaissance et élaboration du plan d'échantillonnage – qui peut être commune avec d'autres protocoles faune,

Coût du matériel

Le matériel spécifique nécessaire à la phase terrain est peu onéreux : waders (ou cuissardes), filet, loupe à main, jumelles, outils de détermination, petite boîtes en plastique pour stocker les exuvies. La détermination des exuvies nécessite une loupe binoculaire. La conception d'échantillonnage et la mise en place des points de suivi nécessitent des outils généralement disponibles dans les structures : SIG, GPS, topofil...

Bibliographie

AMOROS C., PETTS G.E., 1993. *Hydrosystèmes fluviaux*. Masson 295 pages.

GRAND D., BOUDOT J.-P., 2006. *Les Libellules de France, Belgique et Luxembourg* Collection Parthénope, Éditions Biotope, 480 pages.

DELIRY C. (coord), 2008. *Atlas illustré des libellules de la région Rhône-Alpes* Dir du Groupe Sympetrum et Muséum d'Histoire Naturelle de Grenoble.

Collection Parthénope, Éditions Biotope, 408 pages.

SFO, 2001. *Liste des habitats odonatologiques. mise à jour octobre 2001*. www.libellules.org, 1 page.

DOUCET G., 2010. *Clé de détermination des exuvies des Odonates de France*. SFO, 64 p.

WENDLER A., NUSS J.H., 1997. *Guide de détermination des libellules de France, d'Europe septentrionale et centrale*. SFP, 129 p.



AMPHIBIENS

Description et principes du protocole

Il n'existe pas de méthode unique de dénombrement applicable à l'ensemble des espèces d'amphibiens et aux différents stades de leur développement. La recherche des amphibiens, tant pour le suivi que pour l'inventaire, s'appuie sur plusieurs méthodes. Certaines visent à rechercher les adultes, soit dans l'eau, soit sur terre, à l'aide de lampes, d'épuisettes ou au chant, d'autres à inventorier

les larves. Tant pour le suivi que pour l'inventaire, la plupart de ces techniques sont utilisables et sont généralement utilisées de manière combinée par les herpétologues.

L'objectif du protocole est de réaliser un inventaire calibré et reproductible du peuplement d'amphibiens de la zone humide. Ce dernier doit être le plus complet possible dans un minimum de temps.



Méthode de mise en place

Type de données collectées

Les données collectées sont des informations de présence/absence des espèces (données qualitatives), complétées d'informations semi-quantitatives (voir paragraphe 2). Elles sont collectées sur un réseau de points d'observation afin d'alimenter l'analyse du peuplement sur l'ensemble du site.

Type d'échantillonnage

Afin de répartir la pression d'échantillonnage sur les différents milieux, une stratification est appliquée ; elle vise à échantillonner de manière représentative les différents habitats herpétologiques (voir liste en annexe 2) ; ils correspondent à une simplification de la liste des habitats odonatologiques produite par la S.F.O. [<http://www.libellules.org/protocole/cilif.html>].

Limites : l'objectif est de ne pas passer plus d'un jour par site et par session, mais cet objectif ne peut être atteint dans toutes les circonstances. Ainsi, pour des sites d'une superficie supérieur à 2 000 hectares, on pourra aller jusqu'à doubler le temps consacré aux inventaires. Entre 500 et 2 000 ha, en fonction de la complexité et de la diversité des milieux, le seuil d'un jour pourra être augmenté dans la limite de 1,5 jour, on veillera à respecter une pression

d'échantillonnage sur les habitats conforme à l'ensemble de la surface et à déployer les suivis de manière équitablement répartie sur la totalité du site.

On ne mettra pas en oeuvre le protocole les jours de pluie ou de vent important (c'est-à-dire présence de vagues même légères à la surface de l'eau).

Exemple : Pour un site représentant 4 habitats herpétologiques répartis de manière homogène, on ne réalisera qu'un point par habitat soit au total 4. Pour un site présentant deux habitats herpétologiques, mais répartis de manière non homogène (un ruisseau et 5 mares), on réalisera un point (transect) sur le ruisseau et on tirera au sort 2 mares soit au total 3 points d'échantillonnage pour le site.

Il est prévu 3 visites annuelles par zone humide dont une de nuit. Les dates des visites sont déterminées en fonction des saisons de reproduction des espèces cibles. La date de la première visite sera calée sur la période de reproduction des espèces dites précoces (*Rana temporaria*, *R. dalmatina*, *Bufo bufo*), elle sera idéalement réalisée de jour afin de faire une visite rapide préalable du site. Celle de la seconde visite sera axée sur la reproduction des espèces de mi-saison (*Bufo calamita*, *Hyla*

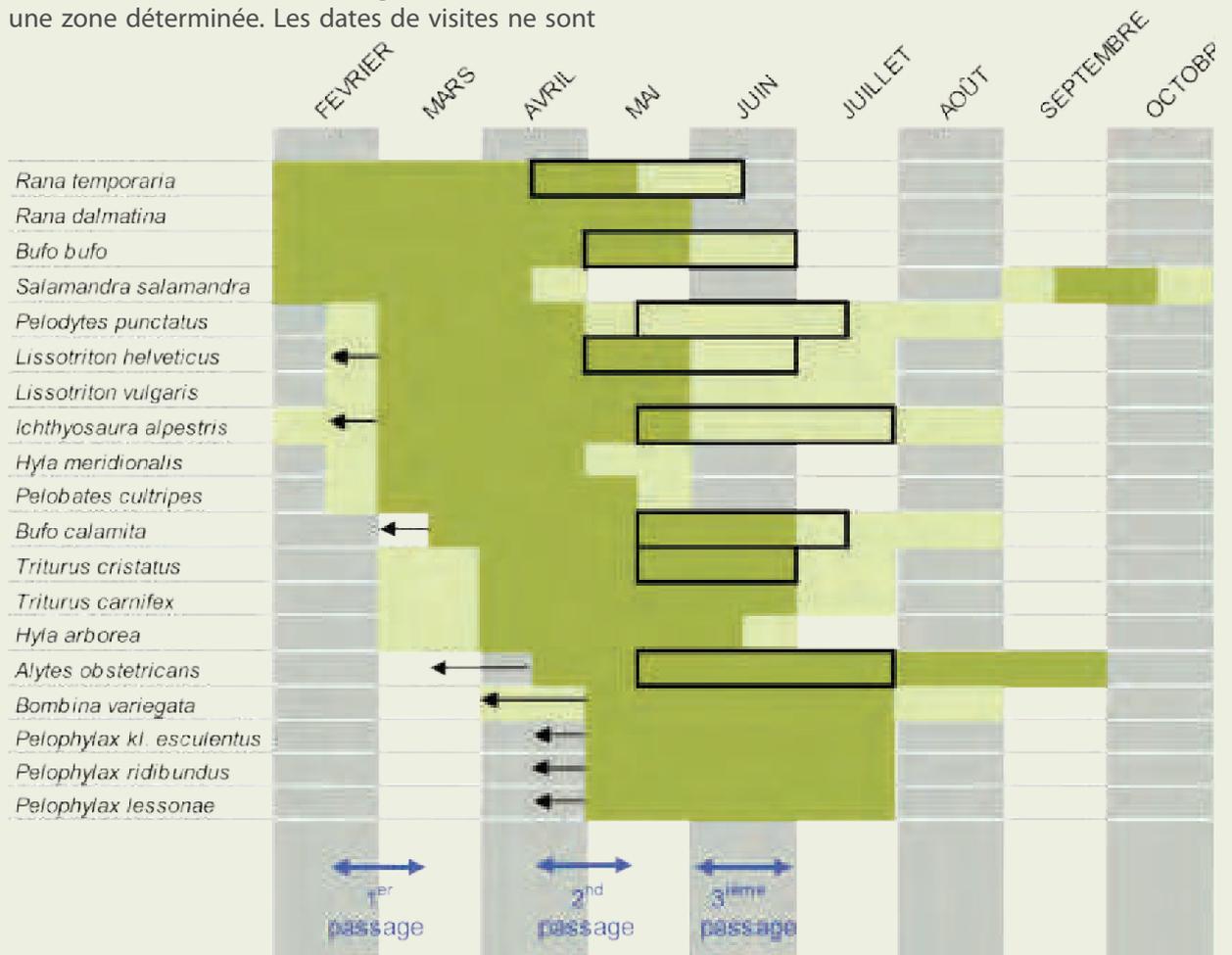
Méthode de mise en place (Suite)



arborea, *H. meridionalis*). Ces espèces étant plus facilement détectables de nuit grâce à leurs chants, on réalisera le passage en début de soirée. Celle de la troisième visite visera la reproduction des espèces tardives (type grenouilles vertes) et l'émergence des premiers imagos ainsi que la capture de larves de tritons bien développées et de gros têtards ; elle sera réalisée en journée. Il est important d'utiliser les mêmes critères, d'une année sur l'autre, pour fixer les dates des visites dans une région donnée et sur une zone déterminée. Les dates de visites ne sont

pas identiques sur l'ensemble du bassin Rhône-Méditerranée (les premières sorties doivent être réalisées à partir de températures nocturnes proches de 4°C et après un épisode pluvieux).

Afin d'aider au déclenchement des prospections, il est possible de s'appuyer sur le tableau présenté ci-dessous résumant la phénologie des espèces pour une situation bioclimatique moyenne de l'ensemble du bassin Rhône-Méditerranée.



Certaines espèces sont plus facilement détectées de nuit ; c'est le cas notamment du crapaud calamite et des rainettes du fait de la puissance de leurs chants. D'autres informations sont plus accessibles de jour ; c'est le cas des pontes d'anoures que l'on détecte mieux à la lumière du jour. Selon les densités de certaines espèces, il est plus facile de rechercher les larves (100 à 400 fois plus nombreuses que les adultes) ; c'est le cas des tritons. En période de reproduction, les tritons sont plus actifs la nuit.

Ces constatations imposent donc d'utiliser plusieurs méthodes, trois ayant été retenues ; l'écoute, la pêche à l'épuisette et la recherche à la torche. Ces méthodes sont détaillées dans leurs modalités de mise en oeuvre au paragraphe suivant.

Le tableau, ci-dessous, résume l'articulation entre les différents protocoles et leur déploiement dans le temps au cours des différentes sessions.

Session 1	Session 2	Session 3
Jour	Nuit	Jour
Ecoute	Ecoute	Ecoute
	Lampe torche	
Epuisette (1)	Epuisettes (1 et 2)	Epuisettes (1 et 2)

1 = épuisette de pisciculture
2 = épuisette d'aquariophilie



Méthode de mise en place (Suite)

Choix des surfaces, linéaires, durée d'échantillonnage

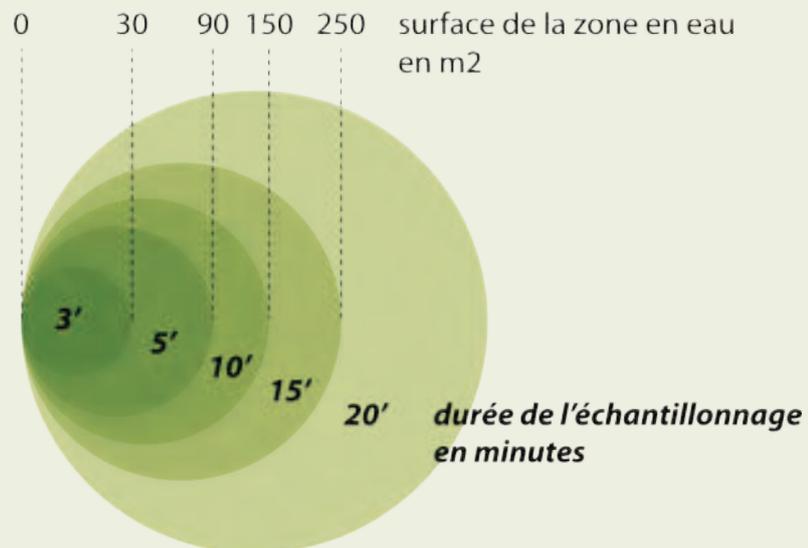
Selon les méthodes employées (point d'écoute, épuisette, torching...), les critères pour déclencher la fin de l'échantillonnage pourront varier :

- **points d'écoutes** : après être arrivé sur le point, on laisse le calme se ré-installer (5 minutes), on en profite pour remplir la fiche terrain et on démarre l'écoute et la prise de notes pendant 10 minutes ;
- **épuisette** : le temps de pêche est proportionnel à la taille de la mare, un maximum de 20 minutes est proposé par point d'eau ;

On trouvera dans la figure 1, ci-dessous, les correspondances entre surface du point échantillonné et durée de l'échantillonnage. Au delà de 250 m² le temps consacré restera de 20 minutes et des portions caractéristiques du point d'eau seront échantillonnées.

Pour les sessions 2 et 3, un quart du temps de la pêche à l'épuisette sera réalisé à l'aide d'une époussette à mailles fines (type aquariophilie) à la recherche des larves et têtards. Le reste du temps (session 1 et $\frac{3}{4}$ du temps des sessions 2 et 3), c'est une époussette de pisciculture qui sera utilisée (tamis métallique à maille inférieure ou égale à 5 mm).

Figure 1 - Surface des mares et Temps d'échantillonnage



- **recherche à la torche, «torching»** : 50 mètres de berges seront parcourus lentement en éclairant à l'aide d'une lampe torche puissante une zone de 2 mètres en bord de berge à la recherche des tritons notamment ; une pose de 5 minutes à mi-parcours sera réalisée (temps d'apnée d'un triton palmé).

Les effectifs sont donnés de la manière suivante :

- **Adultes** : présence/absence et chiffre exact en dessous de 10 individus, sinon des classes d'abondance ;
- **Pontes** : présence/absence et classes d'abondance ;

- **Larves** : présence/absence et nombre d'individus comptés en dessous de 10 individus, sinon des classes d'abondance.

Classes d'abondance :

- classe 0 ;
- classe 1 : 1 à 10 (indiquer le nombre exact) ;
- classe 2 : 11 à 50 (le nombre exact peut être noté s'il s'agit d'un suivi fin, pour les grands tritons par exemple) ;
- classe 3 : 51 à 500 ;
- classe 4 : + de 500 ;

Représentativité des données



Précision de l'information

La standardisation du protocole vise à éliminer les biais qui pourraient provenir de l'utilisation de protocoles différents et non calibrés. En encadrant la mise en oeuvre des protocoles, elle contribue également à faire diminuer, à défaut de supprimer, le biais de l'expérimentateur. L'échantillonnage stratifié utilisant la représentation des différents milieux sur le site contribue également à ne pas sur-échantillonner un milieu plus qu'un autre en fonction de la personne qui réalise le relevé. Il convient de bien respecter le calendrier des sessions d'échantillonnage et de s'adapter à la

phénologie des différentes espèces en fonction de la météorologie. Un gradient nord sud est également à respecter.

Représentativité de l'information collectée

Grâce à l'analyse des données collectées via ce protocole sur des sites dont le peuplement amphibien était bien connu par ailleurs, nous avons pu estimer l'efficacité du protocole. La richesse observée est supérieure à 80 %. Elle passe de 81 à 86 % lorsque l'on intègre les espèces qui n'étaient pas connues avant de déployer le protocole.

Opérationnalité de la collecte



Compétence requise

Le protocole nécessite une assez bonne connaissance des amphibiens puisque outre la détermination de l'espèce à l'âge adulte, il convient de déterminer les têtards et les larves des différentes espèces.

Le faible nombre d'espèces permet à une personne inexpérimentée de donner un nom à une espèce au stade adulte relativement facilement ; cela devient un peu plus délicat au stade larvaire. Il existe aujourd'hui de bons outils (MIAUD C. et MURATET J., 2004 ; MURATET J., 2008) pour réaliser cette diagnose sur le terrain ; elle demande un peu de pratique pour débiter.

Temps moyen de collecte (coût)

Par habitat élémentaire ou point (mare, linéaire de berge...), il convient en moyenne d'estimer à 40 minutes le temps d'application du protocole et

du remplissage de la fiche de terrain. Si les sites à échantillonner ne sont pas trop éloignés les uns des autres, il est possible de faire une dizaine de points par jour.

Temps de validation et de saisie des données

Le temps pour saisir les données pour un site sur l'ensemble des trois sessions n'excède pas la demi-journée.

Coût matériel/données/prestation/analyse

L'essentiel du matériel peut se résumer à : une épuisette de pisciculture (pour les imagos) [120€]+ épuisette d'aquariophilie (têtards, larves) [3 à 5 €] , lampe torche [90 €], loupe à main (x10) [15 €], ouvrages de détermination des têtards et larves [27 et 30 €], waders [60 à 100€], jumelles...

Bibliographie

MIAUD C. & MURATET J., 2004. Identifier les œufs et les larves des amphibiens de France. INRA Editions 200 p.

MURATET J., 2008. Identifier les Amphibiens de France Métropolitaine. Ed ECODIV, 291 p.



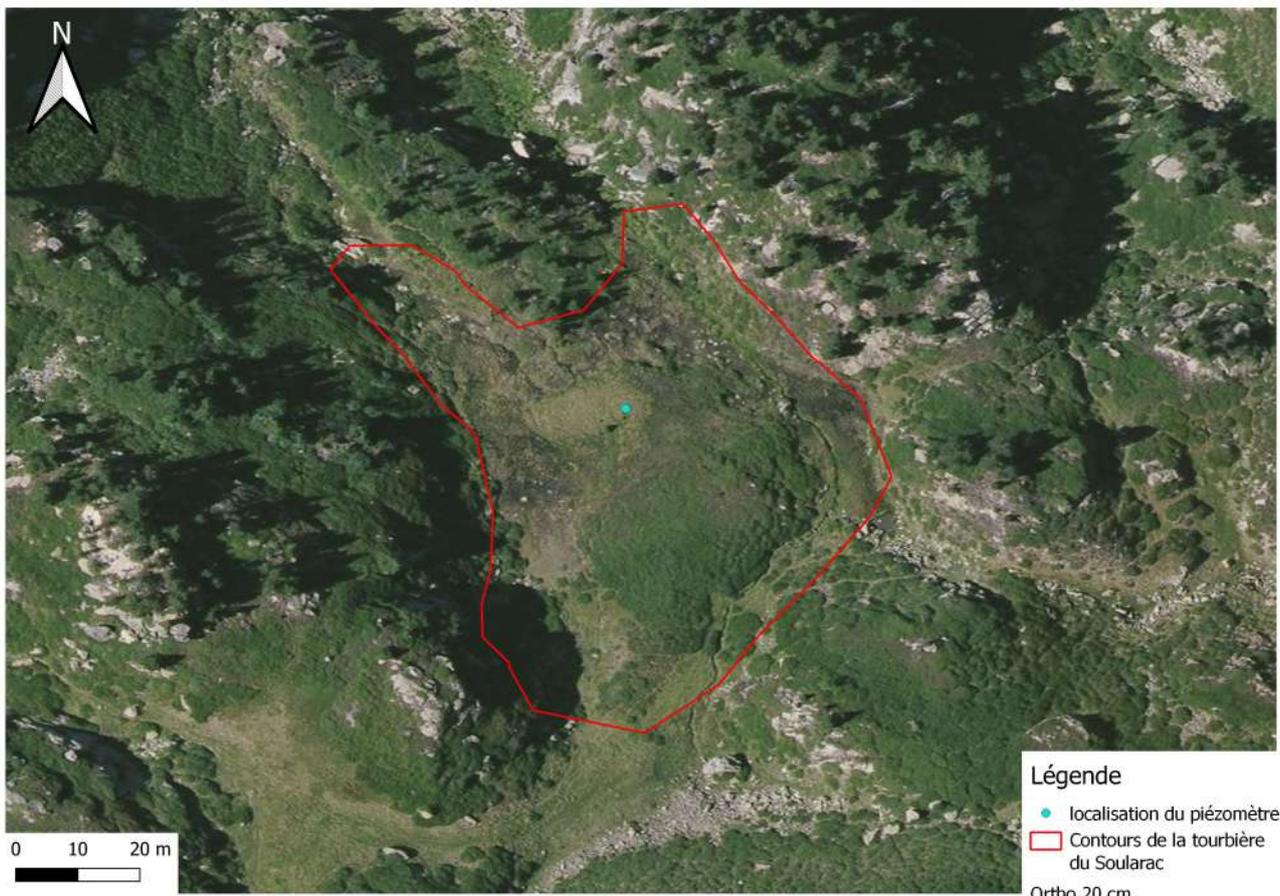
Annexe 3 : localisation des piézomètres et hauteurs d'installation



Localisation des piézomètres sur la tourbière de la Grenouillère



Localisation des piézomètres sur la tourbière du Lasset



Localisation du piézomètre sur la tourbière du Soularac

Tableau de hauteur d'installation des piézomètres

Hauteurs en cm	Piézomètre Grenouillère amont	Piézomètre Grenouillère aval	Piézomètre Lasset amont	Piézomètre Lasset aval	Piézomètre Soularac
Hauteur de la nappe	161	146	47	128,5	
Profondeur du piézomètre	176	152	94	185	
Hauteur hors-sol	36	58	28	83	

Annexe 4 : liste de référence des espèces d'orthoptères potentiellement présentes sur la RNR du massif de Saint-Barthélémy

Espèces attendues	Classe humidité	Valeur humidité
<i>Aiolopus strepens</i> (Latreille, 1804)	0	0
<i>Chorthippus apricarius apricarius</i> (Linnaeus, 1758)	0	0
<i>Chorthippus brunneus brunneus</i> (Thunberg, 1815)	0	0
<i>Chorthippus dorsatus dorsatus</i> (Zetterstedt, 1821)	2	3
<i>Chorthippus saulcyi vicdessossi</i> (Defaut, 2011)	0	0
<i>Chorthippus vagans vagans</i> (Eversmann, 1848)	0	0
<i>Chrysochraon dispar</i> (Germar, 1834)	2	3
<i>Cophopodisma pyrenaea</i> (Fischer, 1853)	0	0
<i>Decticus verrucivorus verrucivorus</i> (Linnaeus, 1758)	0	0
<i>Euthystira brachyptera brachyptera</i> (Ocskay, 1826)	1	1
<i>Gomphoceridius brevipennis</i> (Brisout de Barneville, 1848)	0	0
<i>Mecostethus parapleurus</i> (Hagenbach, 1822)	3	10
<i>Metrioptera saussuriana</i> (Frey-Gessner, 1872)	1	1
<i>Miramella alpina subalpina</i> (Fischer, 1850)	1	1
<i>Omocestus haemorrhoidalis</i> (Charpentier, 1825)	0	0
<i>Omocestus viridulus</i> (Linnaeus, 1758)	2	3
<i>Pseudochorthippus parallelus parallelus</i> (Zetterstedt, 1821)	1	1
<i>Roeseliana roeselii roeselii</i> (Hagenbach, 1822)	1	1
<i>Stauroderus scalaris</i> (Fischer von Waldheim, 1846)	0	0
<i>Stenobothrus stigmaticus</i> (Rambur, 1838)	0	0
<i>Stethophyma grossum</i> (Linnaeus, 1758)	3	10
<i>Tetrix undulata</i> (Sowerby, 1806)	2	3
<i>Tettigonia cantans</i> (Fuessly, 1775)	1	1
<i>Conocephalus fuscus</i> (Fabricius, 1793)	2	3
Valeur d'humidité attendue		41

Espèces observées	Classe humidité	Valeur humidité	Tourbière bombée	Grenouillère	Lasset amont	Total RNR
Altitude			2036m	1597m	1395m	
<i>Aiolopus strepens</i> (Latreille, 1804)	0	0		0	0	0
<i>Chorthippus apricarius apricarius</i> (Linnaeus, 1758)	0	0		0		0
<i>Chorthippus brunneus brunneus</i> (Thunberg, 1789)	0	0			0	0
<i>Chorthippus dorsatus dorsatus</i> (Zetterstedt, 1822)	2	3		3	3	3
<i>Chorthippus saulcyi vicdessossi</i> (Defaut, 2011)	0	0		0	0	0
<i>Chorthippus vagans vagans</i> (Eversmann, 1848)	0	0		0		0
<i>Chrysochraon dispar</i> (Germar, 1834)	2	3		3	3	3
<i>Cophopodisma pyrenaica</i> (Fischer, 1853)	0	0	0			0
<i>Decticus verrucivorus verrucivorus</i> (Linnaeus, 1758)	0	0		0	0	0
<i>Euthystira brachyptera brachyptera</i> (Ocskay, 1894)	1	1		1	1	1
<i>Gomphoceridius brevipennis</i> (Brisout de Barneville, 1805)	0	0	0			0
<i>Mecostethus parapleurus</i> (Hagenbach, 1822)	3	10			10	10
<i>Metrioptera saussuriana</i> (Frey-Gessner, 1872)	1	1	1	1	1	1
<i>Miramella alpina subalpina</i> (Fischer, 1850)	1	1	1			1
<i>Omocestus haemorrhoidalis</i> (Charpentier, 1825)	0	0	0	0	0	0
<i>Omocestus viridulus</i> (Linnaeus, 1758)	2	3	3	3	3	3
<i>Pseudochorthippus parallelus parallelus</i> (Zetterstedt, 1822)	1	1		1	1	1
<i>Roeseliana roeselii roeselii</i> (Hagenbach, 1822)	1	1		1	1	1
<i>Stauroderus scalaris</i> (Fischer von Waldheim, 1829)	0	0	0		0	0
<i>Stenobothrus stigmaticus</i> (Rambur, 1838)	0	0		0		0
<i>Stethophyma grossum</i> (Linnaeus, 1758)	3	10	10	10	10	10
<i>Tetrix undulata</i> (Sowerby, 1806)	2	3		3	3	3
<i>Tettigonia cantans</i> (Fuessly, 1775)	1	1			1	1
Notes espèces observées		38	15	26	37	38
Espèces attendues non observées						
Notes espèces attendues			41	41	41	41
Indicateur humidité stationnelle			37 %	63 %	90 %	93 %

Annexe 5 : digrammes poliniques et résultats d'analyses des macro-restes
(Goubet & Goubet, 2023), (Doyen, 2022)

Gren_MP1, tourbière de Grenouillère (1600 m, Pyrénées, Ariège)

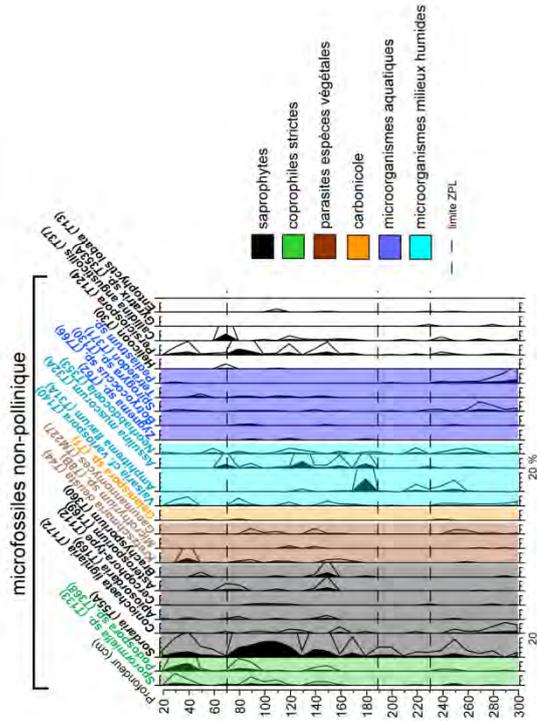
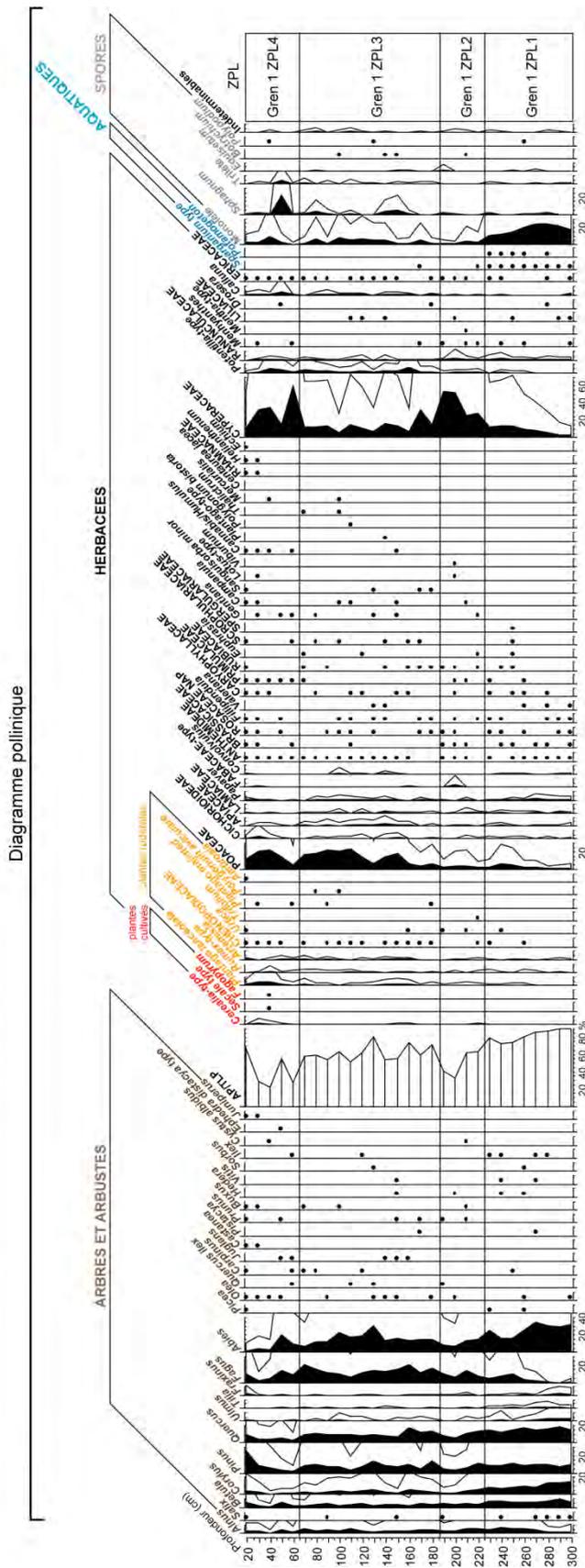


Figure 1 : Diagramme pollinique et diagramme des microfossiles non-polliniques (MNP) correspondant à l'analyse de la séquence Gren_MP1 de la tourbière de Grenouillère. Les valeurs des taxons polliniques sont exprimées en pourcentages par rapport au total des pollens de plantes terrestres (TLP). Les aquatiques, les spores et les indéterminables ne sont pas intégrés dans la somme pollinique totale. Les taxons ayant des pourcentages inférieurs à 1 % sont représentés par des points. ZPL = zone pollinique locale ; AP = somme des pollens de type arboréens. Facteur d'exagération des courbes x5. Les résultats des comptages des MNPs sont exprimés en pourcentage par rapport au nombre total de grains de pollen terrestre (TLP).

Gren_MP5, tourbière de Grenouillère (1600 m, Pyrénées, Ariège)

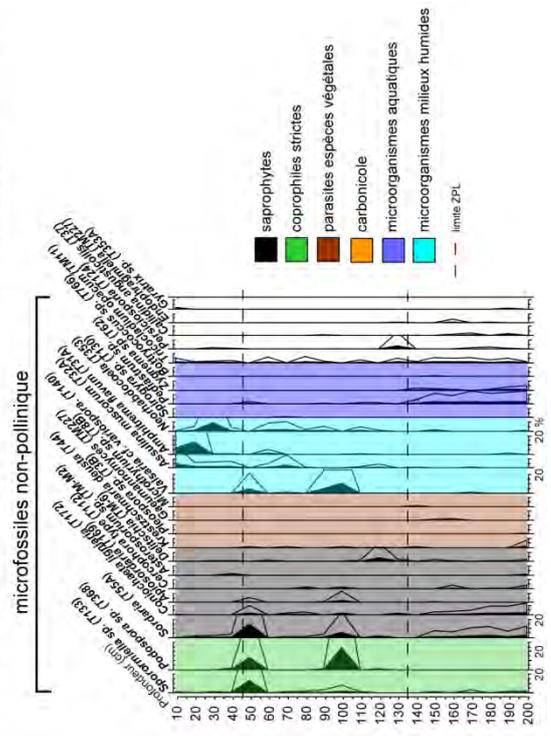
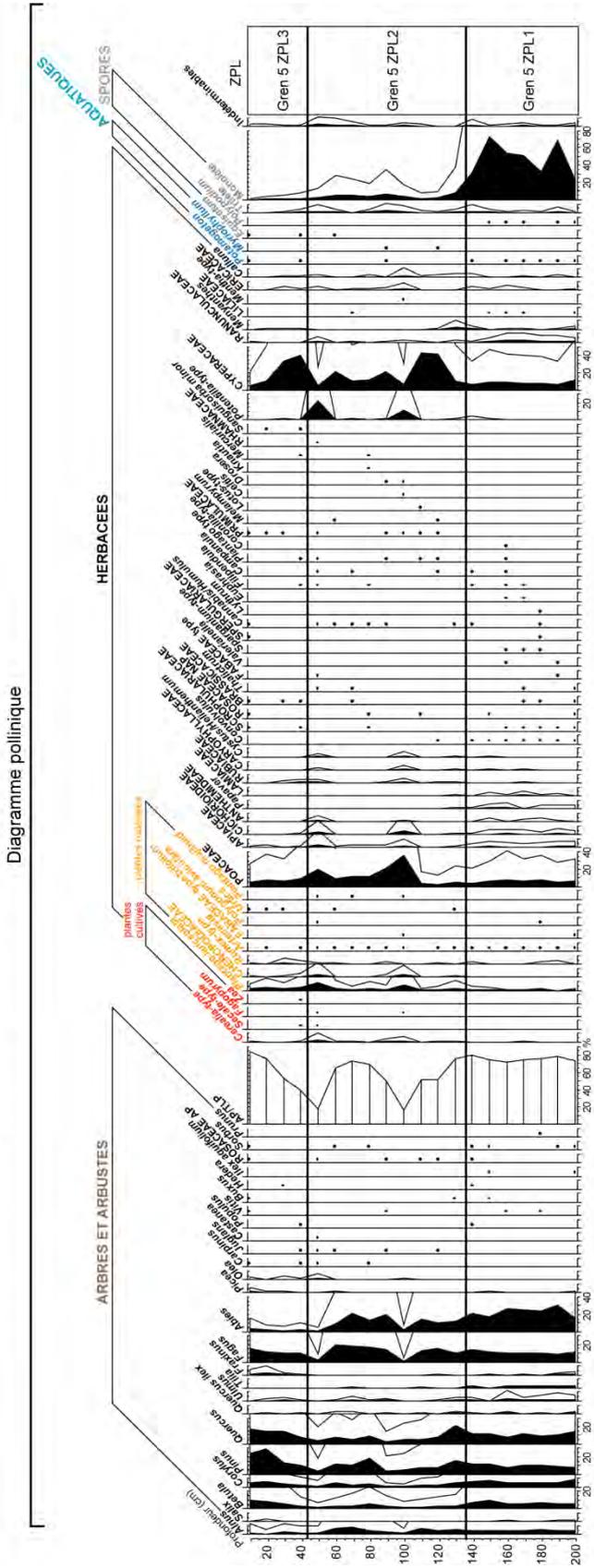


Figure 2 : Diagramme pollinique et diagramme des microfossiles non-polliniques (MNPs) correspondant à l' analyse de la séquence Gren_MP5 de la tourbière de Grenouillère. Les valeurs des taxons polliniques sont exprimées en pourcentages par rapport au total des pollens de plantes terrestres (TLP). Les aquatiques, les spores et les indéterminables ne sont pas intégrés dans la somme pollinique totale. Les taxons ayant des pourcentages inférieurs à 1 % sont représentés par des points. ZPL = zone pollinique locale ; AP = somme des pollens de type arboréens. Facteur d' exagération des courbes x5. Les résultats des comptages des MNPs sont exprimés en pourcentage par rapport au nombre total de grains de pollen terrestre (TLP).

Soul_MP1, tourbière de Soularac (2000 m, Pyrénées, Ariège)

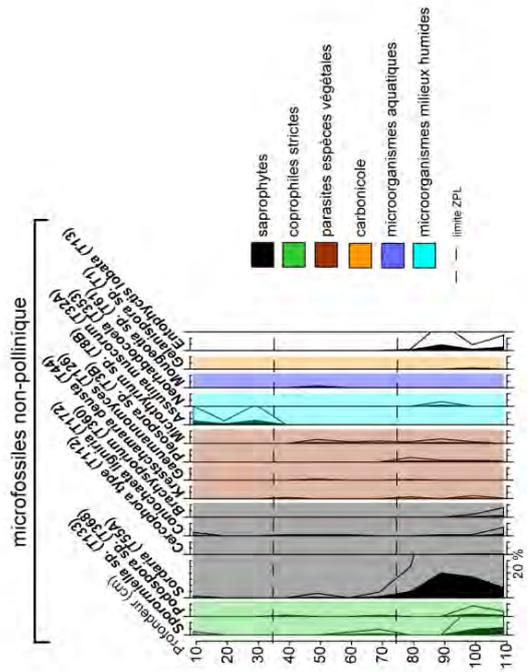
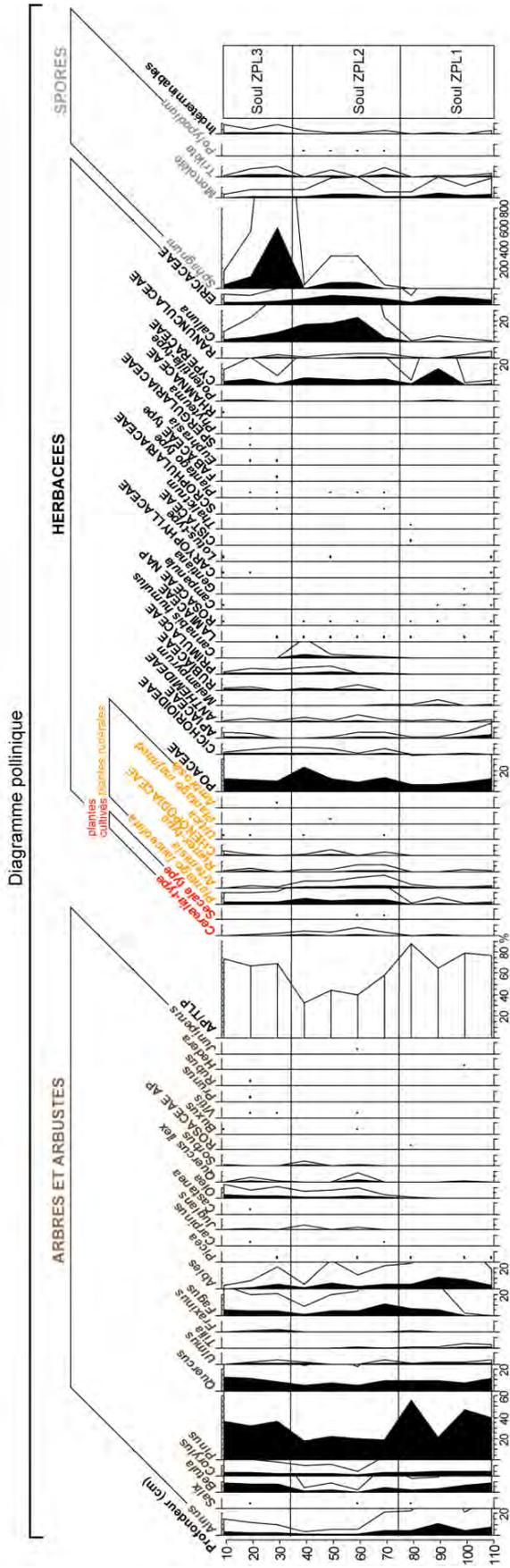
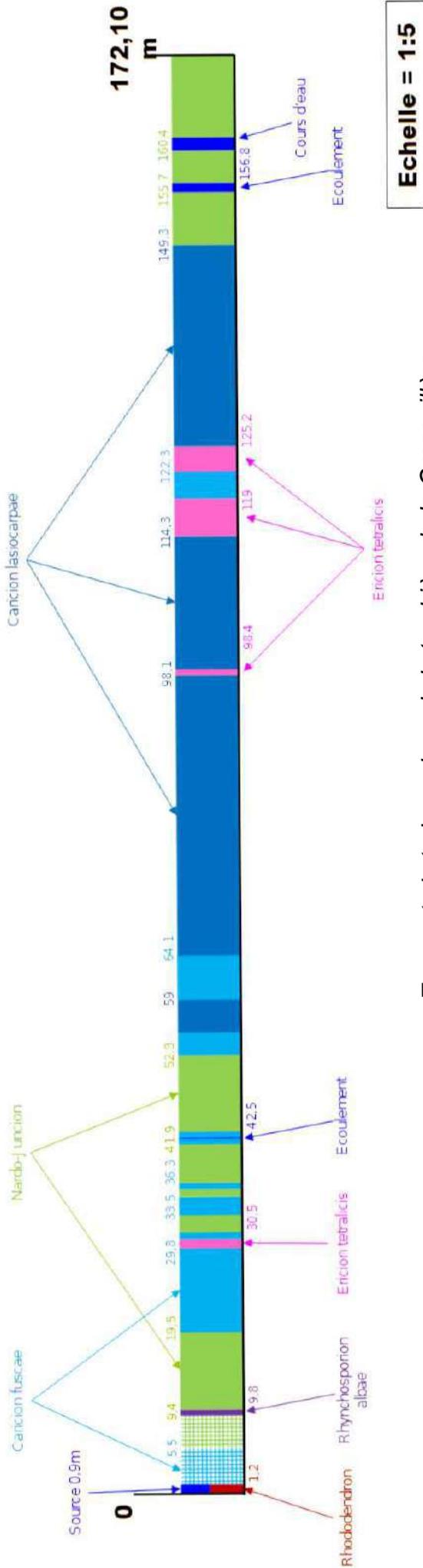
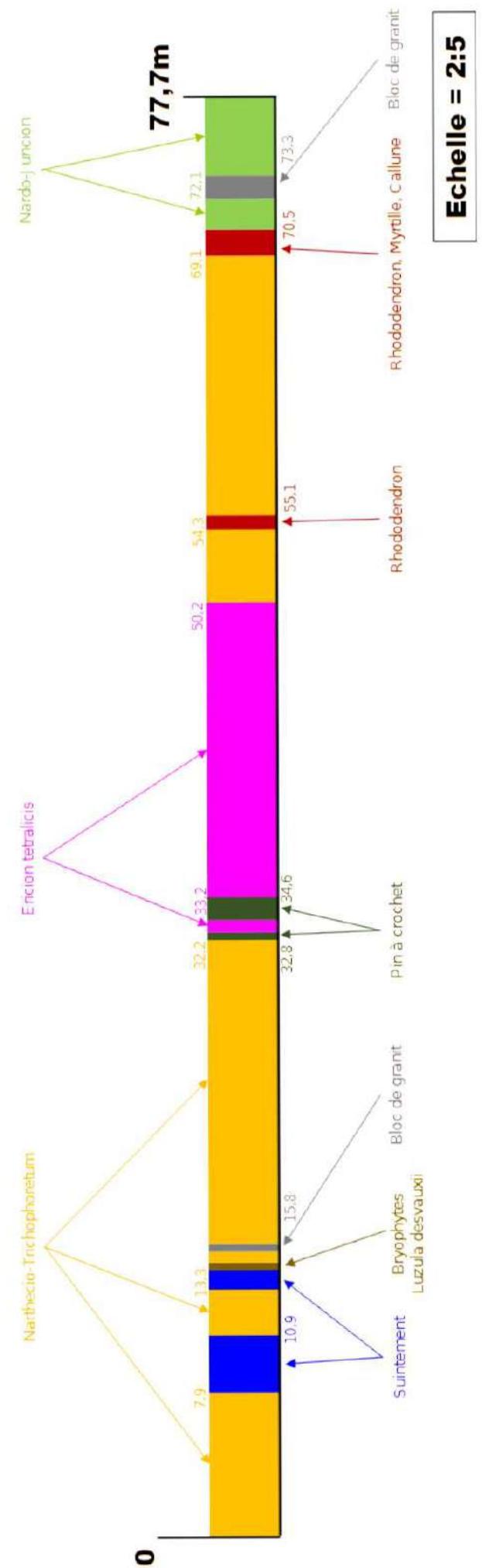


Figure 3 : Diagramme pollinique et diagramme des microfossiles non-polliniques (MNPs) correspondant à l'analyse de la séquence Soul_MP1 de la tourbière de Grenouillère. Les valeurs des taxons polliniques sont exprimées en pourcentages par rapport au total des pollens de plantes terrestres (TLP). Les aquatiques, les spores et les indéterminables ne sont pas intégrés dans la somme pollinique totale. Les taxons ayant des pourcentages inférieurs à 1 % sont représentés par des points. ZPL = zone pollinique locale ; AP = somme des pollens de type arboreens. Facteur d'exagération des courbes x.5. Les résultats des comptages des MNPs sont exprimés en pourcentage par rapport au nombre total de grains de pollen terrestre (TLP).

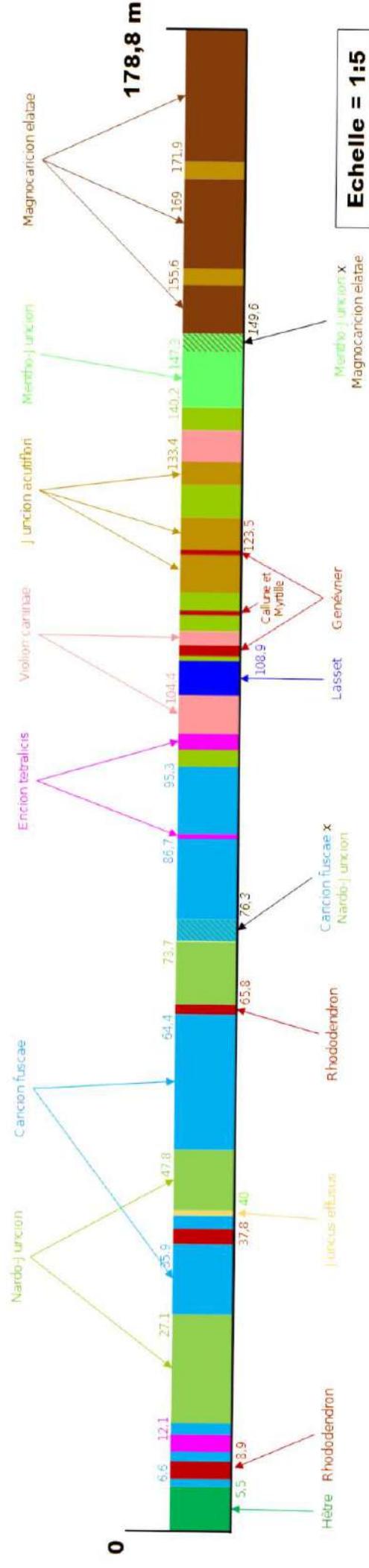
Annexe 6 : représentation spatiale des groupements végétaux le long des transects phytodynamiques



Transect phytodynamique de la tourbière de la Grenouillère
(Julien Aït El Mekki, Laurent Servièrre, ANA-CEN Ariège)



Transect phytodynamique de la tourbière du Soularac
(Julien Aït El Mekki, Laurent Servièrre, ANA-CEN Ariège)



Transect phytodynamique du complexe tourbeux du Lassat
 (Julien Aït El Mekki, Laurent Servièrre, ANA-CEN Ariège)

Annexe 7 : listes de référence des espèces d'odonates

Liste de référence pour l'habitat de tourbière acides avec surface significative en eau

18a
<i>Aeschna cyanea</i>
<i>Aeschna grandis</i>
<i>Aeschna juncea</i>
<i>Anax imperator</i>
<i>Coenagrion hastulatum</i>
<i>Lestes dryas</i>
<i>Lestes sponsa</i>
<i>Lestes virens</i>
<i>Leucorrhinia dubia</i>
<i>Libellula quadrimaculata</i>
<i>Pyrrhosoma nymphula</i>
<i>Somatochlora artica</i>
<i>Somatochlora metallica</i>
<i>Sympetrum danae</i>

Liste de référence pour l'habitat de tourbière acides avec gouilles seulement

18 b
<i>Aeschna juncea</i>
<i>Lestes dryas</i>
<i>Leucorrhinia dubia</i>
<i>Somatochlora artica</i>
<i>Sympetrum danae</i>

Annexe 8 : liste des espèces d'odonates contactées sur les tourbières de la RNR du massif de Saint-Barthélemy

Liste des espèces contactées sur la tourbière de la Grenouillère

	2018	2019	2020	2021
<i>Aeschna cyanea</i>	1	1	1	1
<i>Aeschna juncea</i>	1	1	1	1
<i>Anax imperator</i>			1	
<i>Coenagrion hastulatum</i>	1	1	1	1
<i>Coenagrion puella</i>				1
<i>Cordulegaster boltoni</i>		1		
<i>Lestes dryas</i>	1	1	1	1
<i>Lestes virens</i>	1			
<i>Leucorrhinia dubia</i>	1	1	1	
<i>Libellula depressa</i>				1
<i>Libellula quadrimaculata</i>	1	1	1	1
<i>Orthetrum coerulescens</i>		1	1	1
<i>Platycnemis pennipes</i>		1		
<i>Pyrrhosoma nymphula</i>	1	1	1	1
<i>Sympetrum flaveolum</i>	1	1	1	1
<i>Sympetrum striolatum</i>	1			

Liste des espèces contactées sur la tourbière du Soularac

	2019	2020	2021
<i>Aeschna juncea</i>	1	1	1
<i>Coenagrion hastulatum</i>	1		
<i>Leucorrhinia dubia</i>	1		
<i>Libellula depressa</i>	1		
<i>Libellula quadrimaculata</i>	1		

Liste des espèces contactées sur le complexe tourbeux du Lasset

	2018	2019	2020	2021
<i>Aeshna cyanea</i>	1			
<i>Aeshna juncea</i>	1			
<i>Calopteryx virgo</i>		1	1	1
<i>Cordulegaster boltonii</i>	1	1	1	1
<i>Cordulegaster sp</i>	1			
<i>Libellula depressa</i>				1
<i>Libellula quadrimaculata</i>	1	1	1	1
<i>Orthetrum coerulescens</i>	1	1		1
<i>Pyrrhosoma nymphula</i>	1	1	1	1
<i>Sympetrum fonscolombii</i>		1		