

2022 - 2023

Dominante d'approfondissement Gestion des Milieux Naturels

Etude de la dynamique spatiale et temporelle de la population de Fadets des Laïches, *Coenonympha oedippus* (Fabricius, 1787), et des habitats favorables à sa reproduction sur le site Natura 2000 « Tourbière et lac de Lourdes »



Oriane DORGET

Mémoire de stage de fin d'études

Illustration de couverture : Fadet des Laïches, *Coenonympha oedippus*, posé sur de la Bruyère à quatre angles, *Erica tetralix*, à la tourbière de Lourdes (65) en juillet 2023 - Source : Oriane Dorget

**Etude de la dynamique spatiale et temporelle de la
population de Fadets des Laïches,
Coenonympha oedippus (Fabricius, 1787),
et des habitats favorables à sa reproduction
sur le site Natura 2000
« Tourbière et lac de Lourdes »**

FICHE SIGNALÉTIQUE D'UN MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

AgroParisTech	Mémoire de fin d'études
Titre : Etude de la dynamique spatiale et temporelle de la population de Fadets des Laïches, <i>Coenonympha oedippus</i> (Fabricius, 1787), et des habitats favorables à sa reproduction sur le site Natura 2000 "Tourbière et lac de Lourdes"	Mots clés : Coenonympha oedippus, dynamique de population, Fadet des Laïches, préférences écologiques, qualité de l'habitat, recommandations de gestion, tourbière
Auteur ou autrice : Oriane Dorget	Année : 2023
Caractéristiques : 1 volume ; 73 pages ; 49 figures ; 3 annexes ; 0 cartes ; bibliographie	

CADRE DU TRAVAIL		
Organisme de stage : Syndicat mixte Pays de Lourdes et des Vallées des Gaves		
Nom du responsable : Camille Chiray		
Fonction : Chargée de mission Natura 2000		
Nom de l'enseignant référent d'AgroParisTech : Philippe Durand		
<input type="checkbox"/> 1A <input type="checkbox"/> 2A <input checked="" type="checkbox"/> 3A	<input type="checkbox"/> Stage entreprise <input type="checkbox"/> Stage assistant ingénieur <input checked="" type="checkbox"/> Stage fin d'études Date de remise :	<input type="checkbox"/> Autre

SUITE À DONNER (à compléter par AgroParisTech)
<input type="checkbox"/> Consultable et diffusable <input type="checkbox"/> Confidentiel de façon permanente <input type="checkbox"/> Confidentiel jusqu'au/...../..... , puis diffusable

Engagement de non-plagiat

□ Principes

- Le plagiat se définit comme l'action d'un individu qui présente comme sien ce qu'il a pris à autrui.
- Le plagiat de tout ou parties de documents existants constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée.
- Le plagiat concerne entre autres : des phrases, une partie d'un document, des données, des tableaux, des graphiques, des images et illustrations.
- Le plagiat se situe plus particulièrement à deux niveaux : ne pas citer la provenance du texte que l'on utilise, ce qui revient à le faire passer pour sien de manière passive ; recopier quasi intégralement un texte ou une partie de texte, sans véritable contribution personnelle, même si la source est citée.

□ Consignes

- Il est rappelé que la rédaction fait partie du travail de création d'un rapport ou d'un mémoire, en conséquence lorsque l'auteur s'appuie sur un document existant, il ne doit pas recopier les parties l'intéressant mais il doit les synthétiser, les rédiger à sa façon dans son propre texte.
- Vous devez systématiquement et correctement citer les sources des textes, parties de textes, images et autres informations reprises sur d'autres documents, trouvés sur quelque support que ce soit, papier ou numérique en particulier sur internet.
- Vous êtes autorisés à reprendre d'un autre document de très courts passages *in extenso*, mais à la stricte condition de les faire figurer entièrement entre guillemets et bien sûr d'en citer la source.

□ Sanctions

- En cas de manquement à ces consignes, la direction des études et de la pédagogie ou le correcteur se réservent le droit d'exiger la réécriture du document sans préjuger d'éventuelles sanctions disciplinaires.

□ Engagement

Je soussigné (e) Oriane DORGET,

reconnais avoir lu et m'engage à respecter l'engagement de non-plagiat.

À Lourdes le 20/09/2023.

Signature :



Cet engagement de non-plagiat doit être inséré en début de tous les rapports, dossiers, mémoires.

Résumé en français et en anglais

Le Fadet des Laïches, *Coenonympha oedippus* (Fabricius, 1787), est un lépidoptère inféodé aux prairies humides et semi-ouvertes. L'espèce est protégée à l'échelle nationale car particulièrement rare et quasi-menacée à l'échelle de la France. Une population de Fadets des Laïches est présente sur le site Natura 2000 « Tourbière et lac de Lourdes » dans les Hautes-Pyrénées (65) et est suivie régulièrement depuis 2009. Afin de mieux gérer le site en la faveur de l'espèce, il était nécessaire de créer de la connaissance sur la population de ce site, que ce soit sur l'écologie de l'espèce, la dynamique de la population ou ses préférences en termes d'habitat. Une première étude sur la dynamique spatiale et temporelle de la population de Fadets des Laïches a été réalisée et a permis de montrer une décroissance significative de la population de la tourbière de Lourdes depuis 2009 ainsi qu'une disparition de l'espèce sur la partie nord-est de la tourbière depuis 2018. Cette même étude a également montré les préférences du papillon pour certains habitats et notamment ceux qui sont particulièrement hétérogènes et qui présentent un faible recouvrement par les ligneux. Ensuite, une seconde étude a été dédiée à caractériser plus en détail quels sont les critères concrets de l'habitat qui le rendent favorable pour la reproduction du Fadet des Laïches. Les caractéristiques de l'habitat importantes pour le papillon ont été utilisées comme indicateurs afin de développer un protocole d'évaluation de la qualité des habitats pour la reproduction du papillon applicable au site de la tourbière de Lourdes. Enfin, le rapport s'est conclu par des préconisations de pratiques de gestion adaptées et localisées pour mieux gérer le site de la tourbière de Lourdes en la faveur du Fadet des Laïches.

The False Ringlet, *Coenonympha oedippus* (Fabricius, 1787), is a butterfly of wet and semi-open grasslands. The species is protected nationally because it is particularly rare and near-threatened in France. A population of False Ringlet is present on the Natura 2000 site "Tourbière et lac de Lourdes" in the department Hautes-Pyrénées (65) and has been monitored regularly since 2009. In order to better manage the site in favour of the species, it was necessary to create knowledge about the population of this site, such as about the ecology of the species, population dynamics or its habitat preferences. A first study on the spatial and temporal dynamic of the population of False Ringlet was carried out and showed a significant decrease in the population of the peat bog of Lourdes since 2009 as well as a disappearance of the species on the northeastern part of the bog since 2018. This same study also showed the butterfly's preferences for certain habitats, especially those that are particularly heterogeneous and have low overlap by woody trees. Then, a second study was dedicated to characterize in more detail what are the concrete criteria of the habitat that make it favourable for the reproduction of the False Ringlet. The habitat characteristics important for the butterfly were used as indicators to develop a protocol for assessing the quality of habitats for butterfly reproduction on the peat bog of Lourdes. Finally, the report concluded with recommendations for adapted and localized management practices to better manage the peat bog of Lourdes in favour of the False Ringlet.

Table des matières et des annexes

Résumé en français et en anglais.....	1
Table des matières et des annexes.....	2
Table des figures, équations et tableaux.....	4
Remerciements.....	7
Index alphabétique des abréviations, sigles, acronymes.....	8
1. Introduction.....	9
2. Matériel et méthodes.....	10
2.1 Site d'étude, la tourbière de Lourdes.....	10
2.2 Site de la pré-étude, La Lande de Ger.....	12
2.3 Espèce étudiée, le Fadet des Laïches, <i>Coenonympha oedippus</i> (Fabricius, 1787).....	13
2.4 Démarche globale appliquée dans le cadre du stage.....	15
2.5 Méthode de l'étude de la dynamique spatiale et temporelle de la population de Fadets des Laïches.....	15
2.5.1 Contexte et objectifs de l'étude.....	15
2.5.2 Méthode des suivis du Fadet des Laïches sur la tourbière de Lourdes depuis 2009.....	16
2.5.3 Méthode d'analyse des suivis du Fadet des Laïches.....	17
2.6 Méthode de l'étude des habitats favorables à la reproduction du Fadet des Laïches.....	18
2.6.1 Contexte et objectifs de l'étude.....	18
2.6.2 La démarche globale.....	18
2.6.3 Méthode utilisée pour chaque étape de la démarche.....	19
2.6.4 Méthode détaillée de la pré-étude de caractérisation de l'habitat favorable à la reproduction du Fadet des Laïches.....	20
2.6.5 Méthode de création du protocole d'évaluation des habitats pour la reproduction du Fadet des Laïches.....	22
3. Résultats.....	23
3.1. Résultats de l'étude de la dynamique spatiale et temporelle de la population de Fadets des Laïches.....	23
3.1.1 Analyse globale de la tendance de la dynamique de population.....	23
3.1.2 Analyse de la phénologie du Fadet des Laïches.....	25
3.1.3 Synthèse des inventaires et suivis du Fadet des Laïches à la tourbière de Lourdes depuis 2005.....	28
3.1.4 Analyse de la présence du Fadet en fonction des conditions météorologiques.....	36
3.2. Résultats de l'étude des habitats favorables à la reproduction du Fadet des Laïches.....	37
3.2.1 Synthèse de l'étude du comportement de ponte et de la reproduction du Fadet des Laïches sur la tourbière de Lourdes en 2014 par l'AREMIP.....	37
3.2.2 Résultats de la pré-étude de caractérisation des habitats favorables aux Fadets des Laïches à la Lande de Ger.....	39

3.2.3	Création du protocole d'évaluation de la qualité des habitats pour la reproduction du Fadet des Laïches	40
3.2.4	Application du protocole d'évaluation des habitats pour la reproduction du Fadet des Laïches	46
3.2.5	Résultat de l'évaluation des habitats pour la reproduction du Fadet des Laïches à la tourbière de Lourdes.....	48
4.	Les limites des études.....	50
5.	Discussion	51
6.	Recommandations d'actions de gestion et de suivi	54
6.1.	Actions de gestion pour limiter la fermeture du milieu.....	54
6.2.	Actions de gestion pour augmenter l'hétérogénéité du milieu	56
6.3.	Conserver les zones actuellement favorables au Fadet	57
6.4.	Suivi du Fadet des Laïches	58
6.5.	Réintroduction du Fadet des Laïches	59
6.6.	Suivi de la qualité des habitats pour la reproduction du Fadet des Laïches	60
7.	Conclusion.....	62
	Références bibliographiques	63
	Liste des contacts.....	67
	Table des annexes.....	68
	Annexes.....	69
	Annexe 1 : Tableau des indicateurs listés dans la bibliographie comme importants pour la qualité de l'habitat pour la reproduction du Fadet des Laïches et justifications des choix de sélection des critères pour l'évaluation de la qualité des habitats	69
	Annexe 2 : Cartes présentant le résultat du terrain de cartographie des zones potentiellement favorables en 2023.....	71
	Annexe 3 : Tableaux des données brutes et des calculs des notes issues de l'application du protocole d'évaluation de la qualité des habitats pour la reproduction du Fadet des Laïches en 2023	72
	Résumé.....	73

Table des figures, équations et tableaux

Figure 1 – Carte de localisation de la tourbière et du lac de Lourdes (Géoportail).....	10
Figure 2 – Carte d’occupation du sol (CETRA, 2019).....	10
Figure 3 - Cartographie des différents habitats présents sur la tourbière (d’après les cartographies des habitats d’intérêt communautaire réalisées par BIOTOPE en 2020 (BIOTOPE, 2020) et par l’AREMIP en 2012 (AREMIP, 2012))	11
Figure 5 – Carte de localisation de la tourbière de Lourdes et de la Lande de Ger (Géoportail).....	12
Figure 4 - Carte de localisation détaillée du site de la Lande de Ger (Déjean, 2014)	12
Figure 6 - Photographie de Fadet des Laïches mâle à la tourbière de Lourdes en juillet 2023 (par Oriane Dorget)	13
Figure 7 – Carte de répartition du Fadet des Laïches à l’échelle mondiale entre 2013 et 2023 (Gbif, 2013 - 2023) (Coenonympha Oedippus Fabricius, 1787, s. d.).....	13
Figure 8 – Carte de présence du Fadet des Laïches en France en 2020 (Atlas de la Biodiversité Départementale et des Secteurs Marins, s. d.).....	14
Figure 9 – Schéma des suivis du Fadet des Laïches réalisés entre 2009 et 2023, leurs méthodologies et les organismes ayant réalisé ces suivis	16
Figure 10 - Cartographie des 3 tracés de transects pour le suivi Fadet des Laïches.....	16
Figure 11 - Schéma de la démarche globale appliquée dans le cadre de cette étude.....	19
Figure 12 – Cartographies de localisation de la zone d’étude sur la Lande de Ger pour la pré-étude. Localisation des observations de Fadets, placettes d’échantillonnage et habitats principaux présents sur le site.	21
Figure 13 - Schéma des quadrats de suivi des variables environnementales (5*5 m) et des Fadets des Laïches (20*20 m).....	21
Figure 14 - Schéma présentant la méthode d’évaluation des habitats par Patrinat (Epicoco & Viry, 2015)	23
Figure 15 – Somme des IAA par transect selon les années de suivi du Fadet des Laïches.....	24
Figure 16 - IAA selon les transects en fonction des années de suivi du Fadet des Laïches ; les localisations des différents transects sont visibles sur la Figure 10	24
Figure 17 - Dates d’observation des imagos du Fadet des Laïches à Lourdes selon les années de suivi	25
Figure 18 - Date de la première observation de Fadet des Laïches à Lourdes (en nombre de jours après le 14 juin) en fonction des années (sans l’année 2023) ; et formule de la droite de régression linéaire.	26
Figure 19 - Date de la première observation de Fadet des Laïches à Lourdes (en nombre de jours après le 14 juin) en fonction des années (avec l’année 2023) ; et formule de la droite de régression linéaire	26

Figure 20 - Moyenne des décalages de phénologie par décennie selon le groupe d'espèces (Root et al., 2003).....	26
Figure 21 - Date de la première observation de Fadet des Laïches à Lourdes (en nombre de jour après le 14 juin) en fonction de la durée d'ensoleillement du mois de juin (en heures) ; et formule de la droite de régression linéaire.....	27
Figure 22 - Nombre de jours de la période de vol du Fadet des Laïches à Lourdes en fonction des années (et la formule de la droite de régression linéaire).....	28
Figure 23 – Cartographie de localisation des Fadets des Laïches et Lucanes Cerf-volant et leurs habitats potentiels (BIOTOPE, 2007).....	29
Figure 24 - Cartographie du suivi du Fadet des Laïches par placettes sur la tourbière de Lourdes en 2009 (Parde, 2009).....	29
Figure 25 - Cartographie du suivi du Fadet des Laïches par placettes sur la tourbière de Lourdes en 2011 (Parde, 2011).....	29
Figure 26 - Cartographie de l'inventaire du Fadet des Laïches par placettes sur la tourbière de Lourdes en 2012 (Parde, 2012).....	30
Figure 27 - Cartographie du suivi par CMR du Fadet des Laïches sur la tourbière de Lourdes en 2020 (Demergès, 2016).....	31
Figure 28 - Pluviométrie des mois d'été selon les années de suivis (Historique Météo des Pyrénées françaises, s. d.).....	32
Figure 29 - Cartographie du suivi du Fadet des Laïches par transects sur la tourbière de Lourdes en 2018 (PLVG, 2018).....	33
Figure 30 - Cartographie du suivi par CMR du Fadet des Laïches sur la tourbière de Lourdes en 2020 (Charlot, 2020).....	33
Figure 31 - Cartographie des suivis par transects du Fadet des Laïches sur la tourbière de Lourdes en 2021 et en 2022.....	34
Figure 32 - Cartographie du suivi par transects du Fadet des Laïches sur la tourbière de Lourdes en 2023.....	34
Figure 33 - Photos aériennes de la zone boisée séparant les deux parties de la tourbière (de gauche à droite : Photo aérienne de 2001 par l'IGN, photo aérienne de 2017 par l'IGN et photo aérienne par le PLVG en juin 2020).....	35
Figure 34 - Pluviométrie moyenne de juillet (en mm) et somme des IAA du Fadet par transect en fonction des années de suivi.....	37
Figure 35 - Nombre de Fadets observés posés dans chaque placette pendant les 15 minutes d'observations en fonction de la hauteur moyenne des espèces arbustives.....	40
Figure 36 - Nombre de Fadets observés dans chaque placette pendant les 15 minutes d'observations en fonction de la hauteur moyenne des espèces arbustives.....	40
Figure 37 - Nombre de Fadets observés dans chaque placette pendant les 15 minutes d'observation en fonction du pourcentage de recouvrement en espèces arbustives.....	40

Figure 38 - Nombre de Fadets observés dans chaque placette pendant les 15 minutes d'observations en fonction de la hauteur moyenne des espèces arbustives.....	41
Figure 39 - Nombre de Fadets observés posés dans chaque placette pendant les 15 minutes d'observations en fonction de la hauteur moyenne des espèces arbustives	41
Figure 40 - Nombre de fadets observés dans chaque placette pendant les 15 minutes d'observation en fonction du pourcentage de recouvrement en espèces arbustives	41
Figure 41 - Nombre de Fadets observés par placette pendant les 15 minutes d'observation en fonction du pourcentage de recouvrement en Molinie bleue.....	43
Figure 42 - Pourcentage de contacts positifs sur le site de la Double et la Bessède et sur le site du massif des Landes de Gascogne en fonction du pourcentage de recouvrement en Molinie bleue (Bertolini et al., 2013).....	43
Figure 43 - Cartographie des polygones d'habitats homogènes de la tourbière potentiellement favorables ou défavorables pour la reproduction du Fadet des Laïches	47
Figure 44 - Cartographie des zones de gestion et d'habitats homogènes à la tourbière de Lourdes et des placettes d'échantillonnage pour l'évaluation de la qualité des habitats pour la reproduction du papillon	48
Figure 45 - Cartographie résultats de l'évaluation de la qualité des habitats pour la reproduction du Fadet des Laïches en 2023	49
Figure 46 - Pression de pâturage (en UGB/ha/an) des différentes zones de la tourbière selon les années (localisation des parcs sur la Figure 44)	55
Figure 47 - Chenille de papillon glauque (<i>Papilio glaucus</i>) sous lampe à UV, 2020, East Brunswick, New Jersey (Moskowitz, 2021).....	58
Figure 48 - Conférence de presse sur la réintroduction du Fadet des Laïches sur le site du marais okarček - présentation par Dr. Tatjana Čelik. (à gauche) et visite de l'insectarium (à droite) (The Successful Reintroduction of the False Ringlet RRA LUR, s. d.).....	60
Figure 49 - Bilan des recommandations de suivis et d'actions de gestion	61
Équation 1 - Formule de l'indice d'abondance.....	17
Tableau 1 - Tableau récapitulatif de l'effort de prospection appliqué lors de chaque suivi par transects ..	16
Tableau 2 - Paramètres, indicateurs et seuils retenus pour l'évaluation de la qualité des habitats pour la reproduction du Fadet des Laïches à la tourbière de Lourdes	45

Remerciements

Je remercie vivement Camille Chiray, chargée de mission Natura 2000 au Syndicat mixte Pays de Lourdes et des Vallées des Gaves (PLVG), pour m'avoir accordé sa confiance pour la réalisation de ce stage. Merci pour les échanges et conseils réguliers qui m'ont permis d'avancer dans mon stage. Ce fut très formateur de travailler aux côtés d'une chargée de mission Natura 2000 et voir les différentes missions qu'un tel métier peut impliquer.

Merci à toute l'équipe du PLVG, et en particulier à Camille Chiray et Hélène Sazatornil avec qui je partageais mon bureau, de m'avoir bien intégrée. Ce fut un plaisir de travailler au sein de cette équipe et de participer aux événements communs.

Merci à David Soulet du Conservatoire d'Espaces Naturels Occitanie pour son aide précieuse sur le Fadet des Laïches tout au long du stage, que ce soit au téléphone, en réunion ou sur le terrain à la Lande de Ger.

Je tiens à remercier toutes les personnes qui m'ont accompagnée sur terrain, malgré les conditions parfois très défavorables : Camille Chiray, David Soulet, Iris Gaudoin (stagiaire au PLVG), Alexandre Carrey (stagiaire au PLVG) et les bénévoles de l'association Nature En Occitanie (Betty, Mathieu, Matthieu et Sandy).

Je remercie Jean-Michel Parde et Coraline Fillet de l'association Action Recherche Environnement Midi-Pyrénées (AREMIP) pour le travail qu'ils ont réalisé sur le Fadet des Laïches à la tourbière de Lourdes les années passées et pour les informations qu'ils m'ont transmises.

Index alphabétique des abréviations, sigles, acronymes

AREMIP : Action Recherche Environnement Midi-Pyrénées

CEN : Conservatoire d'Espaces Naturels

CMR : Capture-Marquage-Recapture

DDT : Direction Départementale des Territoires

DOCOB : DOcument d'OBjectifs

DREAL : Directions Régionales de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement

HIC : Habitat d'Intérêt Communautaire

IAA : Indice Annuel d'Abondance

IPBES : Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques

PLVG : Syndicat mixte Pays de Lourdes et des Vallées des Gaves

ZSC : Zone Spéciale de Conservation

1. INTRODUCTION

L'érosion de la biodiversité est l'une des problématiques environnementales les plus préoccupantes que subit actuellement la planète. La plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques (IPBES) a établi dans un rapport en 2019 que les facteurs directs responsables de cette perte de biodiversité sont par ordre décroissant d'importance : le changement d'utilisation des terres et des mers (à cause notamment de l'agriculture, de l'exploitation forestière et de l'urbanisation), l'exploitation directe des espèces, les changements climatiques, les pollutions et les espèces exotiques envahissantes (IPBES, 2019). Dans ce même rapport, il est estimé que sur les huit millions d'espèces animales et végétales estimées sur Terre, environ un million sont menacées d'extinction (IPBES, 2019). Or, les insectes représentent plus de 50% des espèces animales et végétales en nombre d'espèces (Kemp et al., 2012), donc ce taxon représente une part particulièrement importante pour la biodiversité mondiale. De plus, les insectes contribuent au fonctionnement des écosystèmes étant donné leur place en amont de nombreuses chaînes trophiques, leur action de pollinisation et leur rôle dans le cycle de la matière organique. Cependant, les insectes ne sont le sujet que de 11% de la littérature mondiale sur la conservation, qui s'intéresse plutôt aux vertébrés (69% de la littérature) (Kemp et al., 2012). Quelques études ont tout de même permis de mettre en évidence le déclin des insectes ; par exemple, une étude menée dans des espaces protégés en Allemagne pendant 27 ans a montré une chute de plus de 75% de la biomasse des insectes volants. Concernant les lépidoptères, l'indice d'abondance des papillons de prairies « index of grassland butterfly abundance », qui est calculé à partir des données de 16 pays européens, a chuté de 39% entre 1990 et 2017 (Van Swaay et al., 2019). Les causes principales de ce déclin des lépidoptères seraient pour l'Europe du nord-ouest l'intensification de l'agriculture et pour le reste de l'Europe l'abandon de la gestion des prairies (Van Swaay et al., 2019). La nécessité de produire de la connaissance sur les insectes est donc grande afin de savoir comment agir contre ce déclin alarmant. Le Fadet des Laïches, *Coenonympha oedippus* (Fabricius, 1787), est un bon exemple d'espèce pour laquelle il est important de produire rapidement de la donnée pour pouvoir mieux la conserver. Cette espèce de papillon a le statut d'espèce quasi-menacée car elle pourrait être menacée si des mesures de conservation ne sont pas prises. En effet, dès 1996 l'espèce était décrite comme « l'une des premières qui disparaîtra en l'absence de toute mesure concrète de sauvegarde » (Lhonoré & Lagarde, 1999). Or, il n'existe actuellement pas suffisamment d'études permettant de définir les mesures de conservation adaptées à cette espèce.

Un groupe de travail sur le Fadet des Laïches se réunit une fois par an. La réunion est animée par la chargée de mission Natura 2000 du site « Tourbière et lac de Lourdes » et rassemble des partenaires scientifiques et techniques, que sont le Syndicat mixte Pays de Lourdes et des Vallées des Gaves (PLVG), le Conservatoire d'Espaces Naturels (CEN) Occitanie et l'Action Recherche Environnement Midi-Pyrénées (AREMIP), et des représentants de l'état, que sont la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL) Occitanie et la Direction Départementale des Territoires (DDT) 65. Devant le déclin apparent de la population de Fadets des Laïches sur la tourbière de Lourdes depuis 1998, les membres du groupe de travail déploraient en 2022 le fait que de nombreuses conclusions sur l'état de la population et sur la gestion adaptée pour conserver le papillon étaient faites à dire d'expert car le niveau de connaissance globale de l'espèce, et en particulier de la population de la tourbière de Lourdes, était trop faible. Ainsi, un stage sur le Fadet des Laïches a été commandité en 2022 pour l'année 2023.

Dans le but de mieux gérer le site de la tourbière de Lourdes en la faveur du Fadet des Laïches, plusieurs missions ont été réalisées dans le cadre du stage dont deux missions sont présentées dans ce rapport de stage : l'étude de la dynamique spatiale et temporelle de la population du Fadet des Laïches à la tourbière de Lourdes et l'étude des habitats favorables à sa reproduction. Dans un premier temps, l'étude de la dynamique spatiale et temporelle de la population à la tourbière de Lourdes a consisté à synthétiser les

données des inventaires et suivis du papillon réalisés depuis 2005, à analyser la variation de la taille et de la localisation de la population au cours des années et à comprendre quelles variables environnementales sont corrélées à l'abondance du papillon. Puis, l'étude des habitats favorables à la reproduction du Fadet des Laïches s'est intéressée à définir les caractéristiques qui déterminent si un habitat est favorable au Fadet des Laïches grâce à la bibliographie et à une pré-étude sur le terrain. Cette deuxième étude a permis ensuite de créer puis de mettre en œuvre un protocole d'évaluation de la qualité des habitats pour le Fadet des Laïches sur le site de la tourbière de Lourdes. Enfin, grâce aux conclusions apportées par les deux études, des actions de gestion et de suivi adaptées ont été préconisées afin de mieux gérer le site de la tourbière de Lourdes en la faveur du Fadet des Laïches.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1 SITE D'ETUDE, LA TOURBIERE DE LOURDES

La tourbière de Lourdes est un site d'environ 16 hectares dans le piémont pyrénéen, à l'ouest du département des Hautes-Pyrénées, sur les communes de Lourdes et Poueyferré (Figure 1). La tourbière se situe à l'ouest du lac de Lourdes, seul lac de basse altitude des Hautes-Pyrénées (424m d'altitude).



Figure 1 – Carte de localisation de la tourbière et du lac de Lourdes (Géoportail)

Le lac de Lourdes a été formé par le recul du glacier de la Vallée du Gave du Pau et par les moraines déposées pendant son recul. Puis, il y a environ 20 000 ans, les températures basses et la forte pluviométrie de la région ont permis la formation de la tourbière, à partir du lac lui-même (BIOTOPE, 2007). La tourbière est actuellement incluse dans le site Natura 2000 Zone Spéciale de Conservation (ZSC) FR7300936 « Tourbière et lac de Lourdes » dont le syndicat mixte PLVG assure l'animation du Document d'Objectifs (DOCOB) depuis 2007.

La partie centrale de la tourbière est ombrotrophe, c'est-à-dire principalement alimentée par les eaux de pluie et moins par les eaux d'écoulement (de surface et souterraines) car le centre de la tourbière est bombé et plus haut de quatre mètres par rapport au niveau du lac (CETRA, 2019). La partie nord-est de la tourbière et le pourtour de la partie centrale sont plutôt minérotrophes c'est-à-dire alimentés à la fois par les eaux de pluie et par les eaux d'écoulement. Les eaux d'écoulement proviennent du bassin versant de la tourbière qui englobe des parcelles agricoles au nord et le golf à l'ouest et au sud (Figure 2). Le golf, à proximité directe de la tourbière, a certainement un impact sur le fonctionnement hydrologique de la tourbière notamment à cause du fait que certains drains du golf se déversent dans la tourbière, mais l'impact précis de ces écoulements a pour le moment été peu étudié.

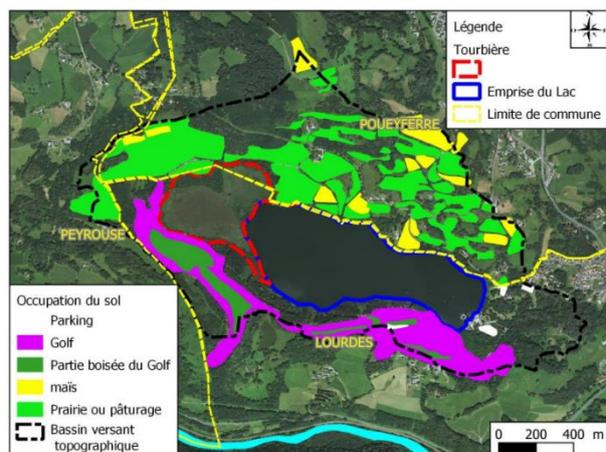


Figure 2 – Carte d'occupation du sol (CETRA, 2019)

Le site présente principalement 2 parties : la partie dite « tourbière centrale » et celle dite « tourbière nord-est » (Figure 3). La tourbière centrale correspond à une tourbière acide bombée ombrotrophe colonisée par la Callune vulgaire (*Calluna vulgaris*) et la Bruyère à quatre angles (*Erica tetralix*), entourée d'une cladiaie (milieu dominé par la Marisque (*Cladium mariscus*)) puis d'une frange de végétation arborée. La tourbière nord-est correspond plutôt à un bas-marais alcalin (formations se développant sur un sol en permanence gorgé d'eau très alcaline, pauvre en nutriments, souvent calcaire) progressivement envahi par la Bourdaine (*Frangula alnus*) et le Roseau commun (*Phragmites australis*) et également entouré d'une frange de végétation arborée. Ces deux tourbières présentent des conditions hydrologiques et pédologiques très différentes ce qui explique la différence des végétations s'y développant. Une zone boisée s'est développée depuis quelques années entre les deux tourbières et englobe une roselière à l'est à proximité du lac.

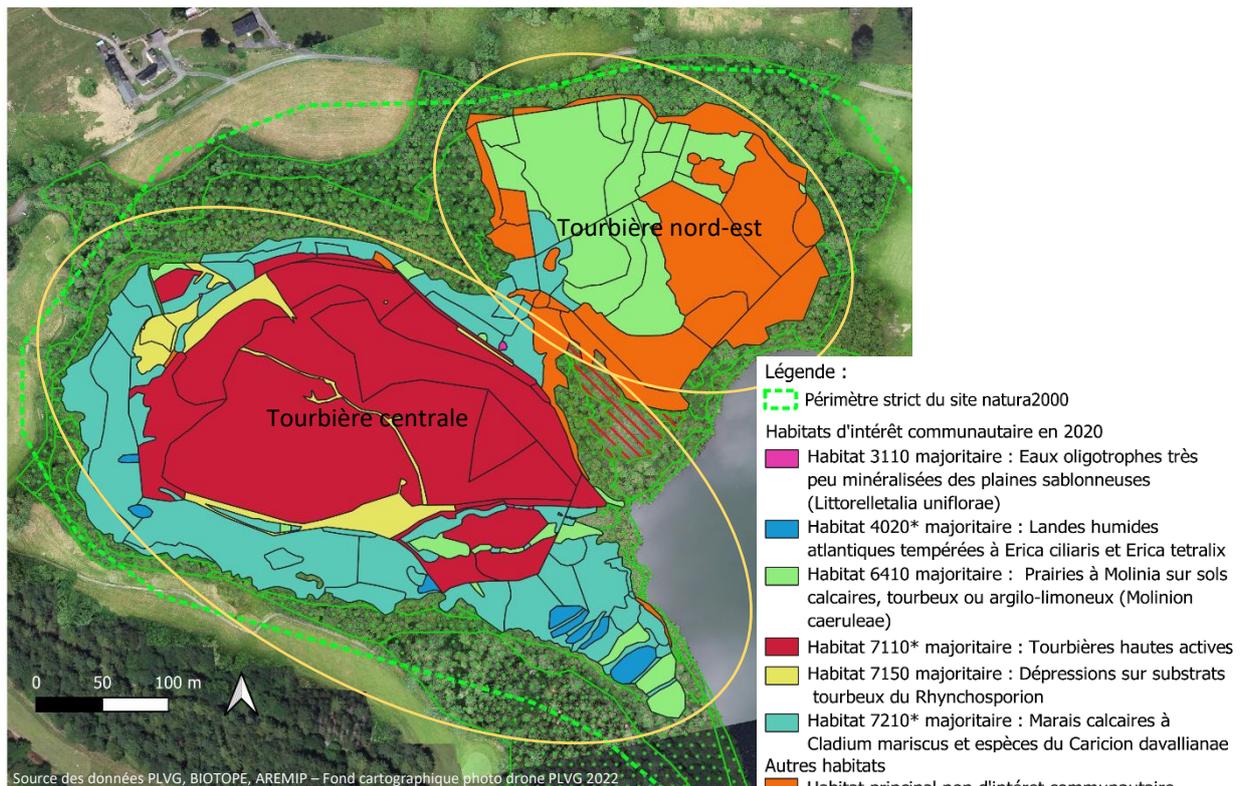


Figure 3 - Cartographie des différents habitats présents sur la tourbière (d'après les cartographies des habitats d'intérêt communautaire réalisées par BIOTOPE en 2020 (BIOTOPE, 2020) et par l'AREMIP en 2012 (AREMIP, 2012))

Un des enjeux principaux du site Natura 2000 est la protection des habitats de la tourbière qui sont presque tous dits d'intérêt communautaire, c'est-à-dire inscrits à la Directive Habitats-Faune-Flore 92/43/CEE, car ils représentent un enjeu de conservation à l'échelle européenne. Trois habitats de la tourbière sont de plus classés « prioritaires » car leur état de conservation à l'échelle européenne est préoccupant. En parallèle, la présence du Fadet des Laïches constitue un enjeu faunistique fort du site car ce papillon n'est présent en Occitanie que sur deux sites. La difficulté de gestion du site provient du fait que sur la même zone un enjeu habitat et un enjeu espèce coexistent, or les idéaux de conservation pour ces enjeux ne sont pas forcément les mêmes. L'enjeu de gestion de ce site réside donc dans le compromis entre les différents objectifs de gestion tout en conciliant les activités économiques, sociales et culturelles qui prennent place sur ou à proximité du site.

Ce site, pâturé et écobué annuellement entre les années 1900 et 1965, a subi plusieurs actions de gestion depuis 1998. Actuellement, les actions de gestions principales sont le pâturage extensif saisonnier et le

contrôle du développement des ligneux. Depuis 1998, la partie centrale est pâturée annuellement par des chevaux et des vaches grâce à l'AREMIP, tandis que la partie nord-est l'est seulement depuis 2010 grâce à l'AREMIP puis au CEN Occitanie. Des actions de déboisement ont été réalisées dans les années 2009 à 2013 par l'Office National des Forêts sur le pourtour de la partie centrale et sur la tourbière nord-est. Ces actions de gestion des ligneux se poursuivent depuis 2013 plus ponctuellement mais elles peinent à contenir la fermeture du milieu.

2.2 SITE DE LA PRE-ETUDE, LA LANDE DE GER

En 2023, la tourbière de Lourdes n'a fourni que 3 observations de Fadets des Laïches donc l'étude des habitats favorables au Fadet des Laïches n'a pas pu être réalisée sur ce site car cela représentait un échantillon trop faible de données de présence du papillon pour pouvoir faire des analyses statistiques.

Un autre site, à seulement 10 km à vol d'oiseau de la tourbière de Lourdes, abrite une population de Fadets des Laïches : la Lande de Ger. Ce site se situe entre le département des Hautes-Pyrénées (région Occitanie) et celui des Pyrénées-Atlantiques (région Nouvelle-Aquitaine), sur quatre communes : Azereix, Ossun, Ger et Pontacq. Les conditions écologiques à la Lande de Ger sont assez similaires de celles à la tourbière de Lourdes. La population de Fadets des Laïches y a été découverte en 2010 mais elle est moins étudiée que sur la tourbière de Lourdes car le site est très grand et peu accessible. D'après les observations sporadiques

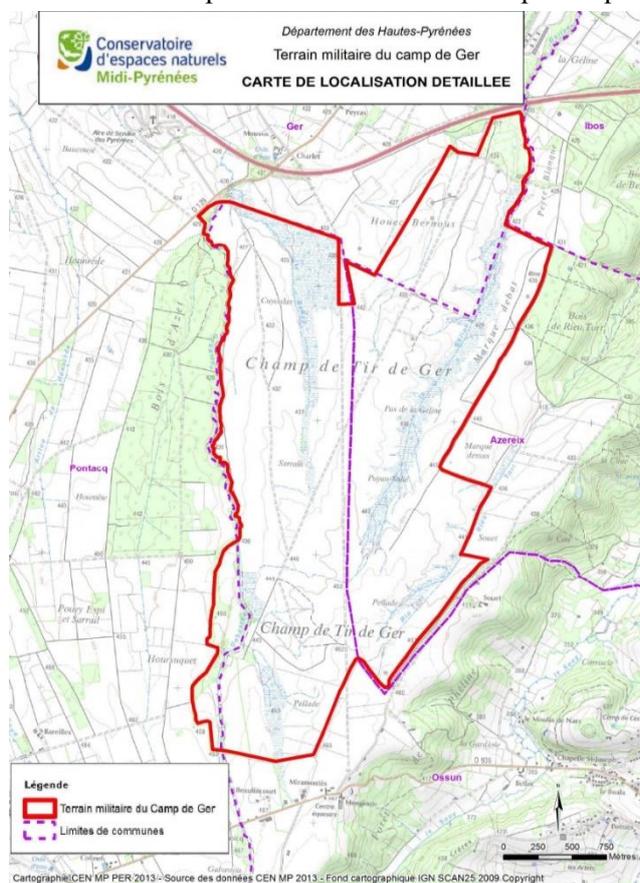


Figure 5 - Carte de localisation détaillée du site de la Lande de Ger (Déjean, 2014)

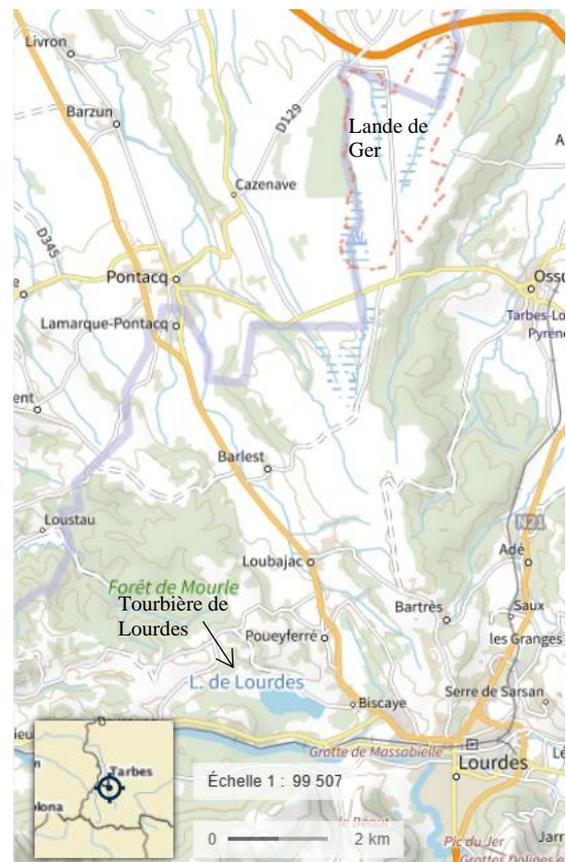


Figure 4 – Carte de localisation de la tourbière de Lourdes et de la Lande de Ger (Géoportail)

réalisées par le CEN Occitanie la population est de bien plus grande taille qu'à Lourdes et semble être en meilleur état de conservation. Plusieurs populations sont présentes dans les zones de légers fonds de talweg du plateau ; elles forment probablement une métapopulation puisque les populations peuvent communiquer entre-elles. La taille totale de la population n'a pas été évaluée mais des observations en 2012 sur une zone du site

de moins de 60ha ont permis d'estimer que 300 individus minimum se trouvaient sur cette zone (Déjean, 2014).

La Lande de Ger est un camp militaire du 1^{er} régiment de hussards parachutistes de Tarbes. Le CEN Occitanie est en convention de gestion avec les autorités du camp militaire sur ce site et David Soulet, Chef de projets entomologie et référent Hautes-Pyrénées au CEN Occitanie, nous a permis de réaliser l'étude sur ce site. La zone, d'une surface de 720 ha, correspond majoritairement à des Landes humides à Ajoncs et Avoine de Thore ainsi que plus localement des petites dépressions de niveau hydrographique plus bas qui présentent des bas-marais ou des prairies tourbeuses (Déjean, 2014). La végétation est partiellement ouverte suite aux écobuages, aux incendies ponctuels, au pâturage extensif et aux diverses activités agricoles et militaires ayant lieu sur le site. En particulier, la zone sur laquelle le protocole sera appliqué a subi des incendies ponctuels. Le plan de gestion rédigé en 2014 indique par exemple que des incendies ont eu lieu sur cette zone en 2009 et 2011 (Déjean, 2014).

2.3 ESPECE ETUDIEE, LE FADET DES LAÏCHES, *COENONYMPHA OEDIPPUS* (FABRICIUS, 1787)



Figure 6 - Photographie de Fadet des Laïches mâle à la tourbière de Lourdes en juillet 2023 (par Oriane Dorget)

de l'aile antérieure. Son vol assez caractéristique permet également de l'identifier car il vole assez peu, lentement, proche du sol et par bons successifs.

Le Fadet des Laïches, *Coenonympha oedippus* (Fabricius, 1787), est un insecte, un Lépidoptère et plus précisément un Rhopalocère (papillon de jour). Il appartient à la famille des Nymphalidés et la sous-famille des Satyres. L'imago du papillon a des ailes marron orangé d'une envergure de 17 mm à 21 mm (Bensettiti & Gaudillat, 2002) dont la disposition des ocelles noirs et blancs sur l'extérieur de l'aile postérieure avec la plus haute ocelle décalée permettent de l'identifier sans confusion possible (Figure 6). On distingue les mâles des femelles grâce à l'absence (mâle) ou la présence (femelle) d'ocelles sur l'extérieur

de l'aile antérieure. Son vol assez caractéristique permet également de l'identifier car il vole assez peu, lentement, proche du sol et par bons successifs.

A l'échelle mondiale, l'espèce est présente en Eurasie tempérée depuis la France jusqu'au Japon (Figure 7). En Europe les noyaux principaux de population sont le sud-ouest de la France et le nord de l'Italie

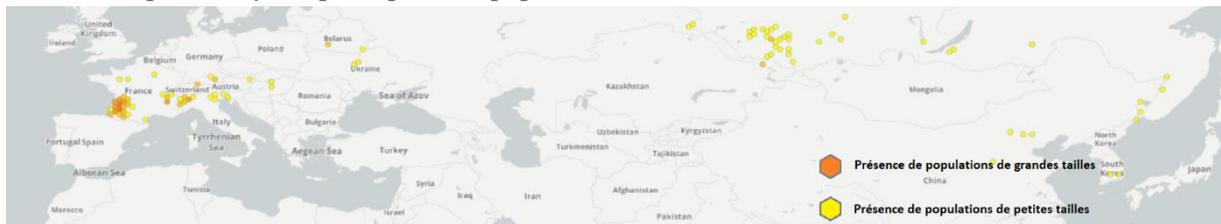


Figure 7 – Carte de répartition du Fadet des Laïches à l'échelle mondiale entre 2013 et 2023 (Gbif, 2013 - 2023) (*Coenonympha Oedippus* Fabricius, 1787, s. d.)

puis plus localement en Slovénie, Hongrie, Sud de l'Allemagne, Autriche, Ukraine et Biélorussie. L'espèce est considérée d'origine boréo-alpine et elle est présente là où les hivers sont plutôt froids et neigeux (Lhonoré & Lagarde, 1999). L'espèce fréquente comme habitat préférentiel les prairies humides et semi-ouvertes, incluant les bas-marais, prairies marécageuses, landes tourbeuses ou encore les prairies forestières mésophiles (Caubet et al., 2019). Des écotypes de milieux plus secs fréquentent les pelouses xérophiles en Slovénie notamment.

En France, ce papillon est surtout présent en Nouvelle-Aquitaine (Figure 8), où les populations peuvent être de grande taille, comme par exemple sur le site de la Lande (Gironde) où la population était estimée en 2012 à 2 507 individus (Bertolini et al., 2013). En Auvergne-Rhône-Alpes, certaines populations sont aussi importantes comme au Marais de Chautagne (Isère) où la population s'élevait à 2 700 individus en 2015 (Caubet et al., 2019). En Occitanie, le Fadet des Laïches est particulièrement rare puisqu'il est présent sur seulement 2 sites, localisés en Hautes-Pyrénées.

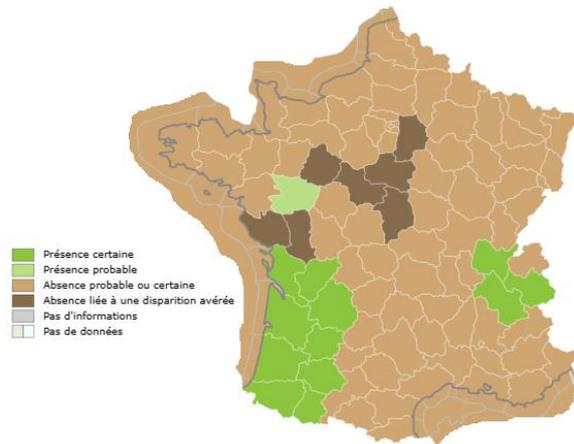


Figure 8 – Carte de présence du Fadet des Laïches en France en 2020 (Atlas de la Biodiversité Départementale et des Secteurs Marins, s. d.)

La phénologie du Fadet des Laïches est variable et dépend fortement de la localisation de la population et des conditions environnementales. Par exemple, en 2023, le premier imago de Fadet des Laïches a été observé autour du 31 mai en Nouvelle-Aquitaine, tandis qu'à Lourdes il a été observé le 05 juillet. Les périodes des différents stades énoncées ci-dessous correspondent à une estimation pour le site de la tourbière de Lourdes. Le papillon passe la majeure partie de l'année sous forme de chenille qui évolue en 5 stades (Bensettiti & Gaudillat, 2002). Les œufs éclosent vers août, 2 à 3 semaines après avoir été pondus, puis les larves se déplacent vers la Molinie bleue (*Molinia caerulea*) pour s'en nourrir. Entre fin août et fin octobre, selon les conditions environnementales, les chenilles s'enfouissent dans les touradons de Molinie bleue et entrent en diapause jusqu'à avril ou mai (Caubet et al., 2019). Lorsque la chenille redevient active, elle se nourrit principalement de Molinie bleue et continue sa croissance. Les chenilles sont actives surtout la nuit donc il est difficile de les observer et leur couleur verte similaire à la Molinie leur permet d'être particulièrement bien camouflées. Vers juin, les chenilles entrent dans le stade chrysalide, puis 2 à 3 semaines plus tard émerge l'imago. L'espèce est protandre, c'est-à-dire que les imagos mâles émergent quelques jours avant les femelles, cela minimise les risques d'épuisement ou de mort de la femelle avant la reproduction. A Lourdes, les premiers Fadets imagos sont généralement observés vers fin juin. Pendant la courte vie de l'imago, entre 4 à 6 jours en moyenne en France (Caubet et al., 2019), les mâles patrouillent à la recherche des femelles tandis que celles-ci sont moins mobiles. L'accouplement réalisé, la femelle pond environ une centaine d'œufs, ceux-ci sont pondus isolément ou par petits groupes, soit à mi-hauteur de la végétation sur la plante dominant la végétation (qui n'est pas forcément la Molinie bleue), soit dans la litière (Caubet et al., 2019). Même si le papillon ne pond pas nécessairement sur la Molinie bleue, le site de ponte est toujours à proximité de Molinie. Les imagos sont floricoles mais ils butinent peu (Caubet et al., 2019).

Ce papillon est particulièrement menacé car les populations européennes sont en déclin : en 1999 le « Red data book of the european butterfly » annonçait qu'en 25 ans les populations de Fadet des Laïches avaient décliné de 80 à 100 % en Europe (Swaay & Warren, 1999). A cette donnée alarmante s'ajoute l'extinction de l'espèce dans certains pays comme par exemple la Suisse (Dusej et al., 2010) et dans certaines régions en France comme le Centre-Val de Loire (Atlas de la Biodiversité Départementale et des Secteurs Marins, s. d.). Le déclin de cette espèce est notamment lié au fait que les habitats du papillon sont des prairies humides et des marais tourbeux or ces milieux sont parmi les plus fragiles et les plus menacés à l'échelle mondiale.

L'espèce bénéficie dorénavant d'un statut de protection en France d'après l'Article 2 de la liste des insectes protégées sur l'ensemble du territoire français (Arrêté interministériel du 23 avril 2007). Il est donc notamment interdit de détruire ses œufs, de le mutiler, de le tuer, de le capturer et de le perturber intentionnellement dans son milieu naturel. A l'échelle européenne, l'espèce est inscrite à l'annexe II de

la Convention de Berne (1982) et aux annexes II et IV de la Directive 92/43/CEE (Directive Habitats Faune-Flore, 1992).

2.4 DEMARCHE GLOBALE APPLIQUEE DANS LE CADRE DU STAGE

L'objectif de ce stage de 6 mois était d'améliorer le niveau de connaissance global sur le Fadet des Laïches, et plus particulièrement de la population présente sur la tourbière de Lourdes dans le but de préconiser des actions de suivis et de gestion adaptées pour la conservation et la pérennisation de ce papillon. Pour cela, le groupe de travail sur le Fadet des Laïches réuni en 2022 a listé les missions principales à réaliser dans le cadre du stage. Certaines missions du stage ne sont pas développées dans ce rapport de stage mais sont reprises indirectement. Ces missions sont par exemple la réalisation du suivi du Fadet des Laïches par transect en 2023 ainsi que la synthèse de l'histoire du site « Tourbière et lac de Lourdes » et des actions de gestion menées sur le site via des recherches bibliographiques et des rencontres avec les acteurs locaux.

Ce rapport de stage porte sur les deux missions principales du stage que sont la réalisation d'une étude de la dynamique spatiale et temporelle de la population de Fadets des Laïches à la tourbière de Lourdes et la réalisation d'une étude des habitats favorables à sa reproduction. Ces deux études ont fait l'objet de deux rapports d'étude plus détaillés (PLVG, 2023a, 2023b) et qui feront l'objet d'une réunion du groupe de travail sur le Fadet des Laïches le 18 octobre 2023 afin de présenter les conclusions principales du stage et définir les actions et suivis à réaliser en 2024. Chacune des études est présentée séparément ici dans la partie « matériel et méthodes » et dans la partie « résultats » mais les liens entre les deux études sont nombreux et il s'agit de l'intersection des conclusions des deux études qui a permis de préconiser les recommandations d'actions de gestion et de suivi.

L'ensemble de la démarche appliquée pour réaliser les études a été présentée au groupe de travail sur le Fadet des Laïches le 25 avril 2023. Ce groupe de travail se composait de représentants du Syndicat mixte PLVG, du CEN Occitanie, de l'AREMIP, de la DREAL Occitanie et de la DDT 65. Des propositions de méthodes et de protocoles pour étudier la population de Fadets des Laïches y ont été présentées et ont été validées par les participants. Puis, des contacts réguliers avec Camille Chiray, chargée de mission Natura 2000 du site « Tourbière et lac de Lourdes » au PLVG et David Soulet, Chef de projet entomologie - référent Hautes-Pyrénées au CEN Occitanie, ont permis d'affiner les protocoles et leurs mises en œuvre pendant le stage.

2.5 METHODE DE L'ETUDE DE LA DYNAMIQUE SPATIALE ET TEMPORELLE DE LA POPULATION DE FADETS DES LAICHES

2.5.1 Contexte et objectifs de l'étude

Le plus ancien témoignage trouvé attestant de la présence du Fadet des Laïches sur la tourbière de Lourdes date de 1858, par M. Philippe dans le cadre d'un catalogue méthodique des Lépidoptères d'Europe des Hautes-Pyrénées (Philippe, 1858). Le Fadet des Laïches a ensuite été signalé sur le site jusqu'en 1972 (AREMIP, 2003). Puis, il n'a plus été observé et sa présence a été oubliée jusqu'en 1998 où M. Parde de l'AREMIP a redécouvert l'espèce lors de l'installation d'une clôture pour mettre en place le pâturage sur la tourbière. L'espèce n'est pas spécialement suivie jusqu'en 2009 en dehors d'un inventaire en 2005. En effet, en vue d'une future intégration du site au réseau Natura 2000, des inventaires ont été menés par Biotope en juillet 2005. La présence du papillon est validée sur le site par l'observation de 20 individus pendant une journée de terrain (BIOTOPE, 2007). C'est notamment la présence du Fadet des Laïches, espèce réglementée à l'échelle européenne, d'intérêt communautaire et protégée à l'échelle française, qui a permis la désignation du site en ZSC c'est-à-dire en site Natura 2000. En 2005, le papillon était présent sur quasiment toute la surface de la tourbière. Suite à cette

observation, il est conclu dans le DOCOB du site que l'habitat du Fadet des Laïches est en bon état de conservation et que la population semble pérenne et ne pas être menacée à court terme (BIOTOPE, 2007).

Des suivis du Fadet des Laïches par différentes méthodologies ont été mis en place depuis 2009 et ceux-ci ont permis d'observer une régression de la population depuis plusieurs années. En 2016, la population a été évaluée à environ 300 individus par un suivi par Capture-Marquage-Recapture (CMR) (Demergès, 2017) mais en 2023 seuls 3 Fadets ont pu être observés lors des prospections de la tourbière. Il est donc nécessaire de dresser un bilan de ces années de suivis et de les analyser conjointement afin de tenter de comprendre la dynamique spatiale et temporelle de la population de Fadets des Laïches. Il est aussi intéressant d'analyser les corrélations entre la dynamique de la population et les variables environnementales (telles que la météo). Le but final de cette analyse est de formuler des hypothèses permettant d'expliquer la dynamique de la population et d'en déduire des recommandations de gestion et de suivis pour le site en la faveur du Fadet des Laïches.

2.5.2 Méthode des suivis du Fadet des Laïches sur la tourbière de Lourdes depuis 2009

Des suivis protocolés de la population de Fadets des Laïches ont été mis en place sur la tourbière depuis 2009. Différents protocoles ont été appliqués selon les années (Figure 9). Les suivis diffèrent par le type de protocole (transects linéaires, placettes aléatoires et CMR), par la largeur de la zone observée pour les transects linéaires (12m entre 2009 et 2012 et 5m entre 2016 et 2023), par le tracé des transects linéaires (3 tracés différents, Figure 10) ainsi que par l'effort d'échantillonnage (Tableau 1).

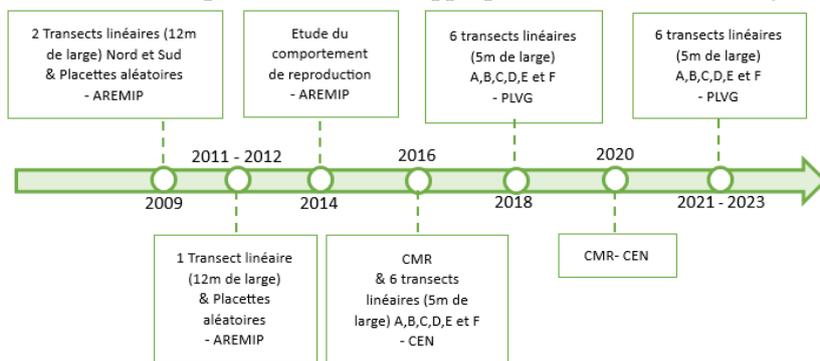


Figure 9 – Schéma des suivis du Fadet des Laïches réalisés entre 2009 et 2023, leurs méthodologies et les organismes ayant réalisé ces suivis

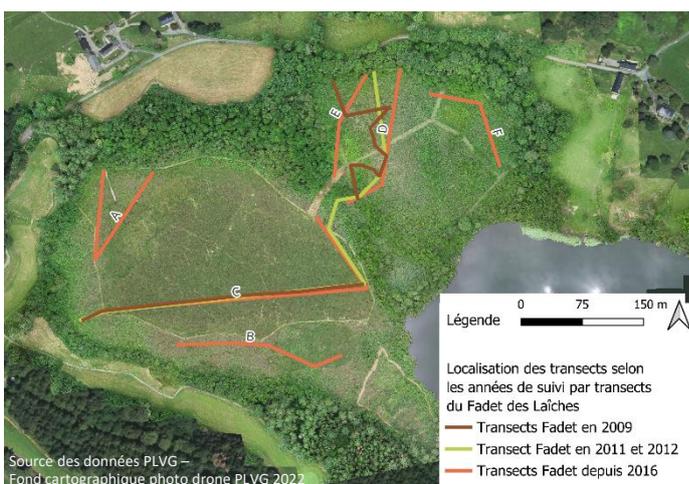


Figure 10 - Cartographie des 3 tracés de transects pour le suivi Fadet des Laïches

Tableau 1 - Tableau récapitulatif l'effort de prospection appliqué lors de chaque suivi par transects

Année	Intervalle moyen entre 2 jours de suivi	Nombre de passages total	Nombre de passages pendant la période de vol du Fadet des Laïches
2009	9,3	7	4
2011	8,8	6	5
2012	6,9	9	7
2016	Pas de données	4	4
2018	7	6	5
2020	Pas de données	3	1
2021	8	4	3
2022	3	11	10
2023	3	9	2

Les suivis par transects linéaires correspondent à un parcours d'un tracé identique pendant lequel l'observateur marche à environ 2km/h et note la présence du papillon si celui est observé à moins de 2,5m de part et d'autre du transect (ou à 6m de part et d'autre comme pour les suivis réalisés par

l'AREMIP). Certaines conditions météorologiques doivent être respectées afin de garantir l'observation des papillons : plus de 14°C si le temps est découvert ou 17°C si le temps est nuageux, vitesse du vent inférieure à 30km/h, pas de pluie et faible nébulosité (Langlois & Gilg, 2007). Dans le cas des suivis par transects réalisés récemment sur la tourbière de Lourdes, chaque individu observé est également géolocalisé et photographié.

Les suivis par placettes ont été réalisés uniquement en 2009, 2011 et 2012. Ceux-ci consistaient à observer pendant 15 minutes chacune des 32 placettes de 10 mètres par 10 mètres de large, réparties aléatoirement sur le site, et à noter la présence de Fadets s'ils étaient vus dans la placette ou à l'extérieur (Parde, 2009). De plus, quelques caractéristiques écologiques et le mode de gestion de chaque placette étaient relevés.

Enfin, les suivis par CMR consistent à parcourir l'ensemble du site, à capturer tous les Fadets observés afin de marquer leurs ailes pour les individualiser puis à les relâcher. Lors de chaque nouveau passage chaque Fadet observé est capturé et est marqué s'il ne l'était pas encore, sinon il est noté comme ayant été recapturé. Grâce aux historiques de captures et recaptures, des modélisations statistiques permettent ensuite d'évaluer la taille approximative de la population. De plus, les localisations des captures permettent de connaître les historiques de déplacements des individus.

2.5.3 Méthode d'analyse des suivis du Fadet des Laïches

Il est complexe de comparer les années entre elles car les méthodologies de suivi appliquées n'ont pas toujours été identiques. Quelques ajustements permettent de réduire l'hétérogénéité des suivis entre les années. D'abord, les données des transects de 2009 à 2012 ont été divisées par 2,4 (2.4 = 12/5) lors des calculs de l'Indice Annuel d'Abondance afin que toutes les données d'observations de Fadet correspondent seulement à des Fadets observés dans une bande de 5m (et non 12m comme entre 2009 et 2012). De plus, il a été considéré que les transects réalisés par l'AREMIP entre 2009 et 2012 correspondent aux transects C et D (Figure 10) afin de pouvoir comparer les suivis depuis 2009.

Cependant, les efforts d'observations restent très différents entre les années (Tableau 1). On ne peut pas simplement comparer les données de 2009 où l'observateur passait tous les 9 jours avec les données de 2023 où il passait tous les 3 jours. Pour pouvoir comparer les données, l'Indice Annuel d'Abondance (IAA) permet de prendre en compte l'effort d'observation car la formule intègre l'intervalle entre les jours de suivis (Equation 1) (Langlois & Gilg, 2007). Cependant, cet indice ne donne pas d'estimation de la taille de population car la valeur d'IAA n'est pas un nombre d'individus mais un indice dont l'unité est en nombre d'individus par mètre multiplié par un nombre de jours. Cet indice permet uniquement de comparer les années ou les transects entre eux. L'IAA a ainsi été calculé pour tous les suivis par transects depuis 2009 et a permis d'observer la variation de la taille de la population au cours du temps.

Équation 1 - Formule de l'indice d'abondance

$$j = \sum_{i=a}^{i=b-1} \frac{1}{2} (t_{i+1} - t_i) (N_i + N_{i+1})$$

avec j=indice d'abondance (IA) pour le transect donné, i=numéro des visites, a=première visite, b=dernière visite, t=date, (t_{i+1} - t_i)= temps (en jours) entre 2 visites, N=nombre d'individus par visite pour 100m de transect

Des régressions linéaires ont été réalisées afin de tester les relations entre plusieurs variables, telles que des régressions entre l'IAA et la pluviométrie. Le but de la régression linéaire est d'établir (ou non) une relation linéaire entre la variable de sortie à expliquer et la ou les variables d'entrée. Ces régressions sont réalisées avec la fonction lm() du logiciel R-Studio. L'analyse de la « p-value » en sortie de la

régression permet de valider ou non la significativité de la relation entre les variables, si celle-ci est inférieure à 5% on peut dire (avec un risque de 5%) que la relation entre les variables est significative.

2.6 METHODE DE L'ETUDE DES HABITATS FAVORABLES A LA REPRODUCTION DU FADET DES LAICHES

2.6.1 Contexte et objectifs de l'étude

L'état de la population de Fadets des Laïches à la tourbière de Lourdes en 2023 est particulièrement préoccupant car la population est en régression depuis plusieurs années et seuls 3 individus ont été observés en 2023 (PLVG, 2023c). Il n'est pas évident de comprendre les causes responsables de ce déclin mais la modification de la qualité de son habitat, due à la dynamique de la végétation naturelle ainsi qu'aux actions de gestion réalisées sur le site, semble être un facteur majeur. L'effet de la modification de l'habitat a très probablement été accentué par d'autres facteurs tels que le changement climatique ou le fait que la population soit isolée démographiquement et donc génétiquement.

Il est nécessaire de comprendre où sont localisés les habitats actuellement de bonne qualité ou mauvaise qualité afin de pouvoir gérer le site en la faveur du papillon en appliquant une gestion différenciée. Pour cela, il faut avoir connaissance des critères précis qui rendent un habitat favorable au papillon, or il n'existe actuellement pas d'étude en France décrivant précisément quels sont les critères et les seuils qui permettent de qualifier un habitat de favorable pour le Fadet. Le but de cette étude est donc d'établir quels sont ces critères qui rendent un habitat favorable pour que le papillon prospère sur le site dans le contexte spécifique de la tourbière de Lourdes.

La difficulté de l'étude des habitats des papillons résulte dans le fait que les imagos se déplacent et n'ont donc pas forcément de critères très précis concernant les habitats qu'ils traversent. Cependant, pour la reproduction, les critères d'habitat sont souvent plus spécifiques. Dans le cas du Fadet des Laïches, la scientifique croate Šašić Martina déclare « les critères d'habitat pour la ponte des œufs par les femelles et pour les larves sont considérés comme un aspect important de la conservation des papillons, et les adultes du Fadet des Laïches semblent avoir des critères d'habitat moins spécifiques » (Šašić, 2010). C'est pourquoi cette étude va être focalisée sur les habitats favorables à sa reproduction.

Une fois les critères qui rendent un habitat favorable à la reproduction du Fadet des Laïches compris, le but final de l'étude est de créer un protocole d'évaluation de la qualité des habitats pour la reproduction du papillon. Ce protocole permettra d'attribuer annuellement une note de qualité à chaque zone de la tourbière de Lourdes et ainsi de pouvoir mettre en place une gestion différenciée selon les zones de la tourbière.

2.6.2 La démarche globale

La démarche afin de caractériser l'habitat favorable à la reproduction du Fadet des Laïches a nécessité plusieurs étapes successives. La première étape a consisté à étudier les connaissances déjà existantes sur le sujet, que ce soit à la tourbière de Lourdes (Parde, 2014), en France (Bertolini et al., 2013) ou dans le monde. Puis, une pré-étude a été mise en place sur la Lande de Ger pour étudier in-situ quelles sont réellement les variables qui jouent un rôle dans la favorabilité de l'habitat pour le Fadet des Laïches. Suite à cette étude, le protocole d'évaluation de la qualité des habitats pour la reproduction du papillon a pu être développé puis mis en œuvre sur la tourbière de Lourdes. La figure 11 résume cette démarche.

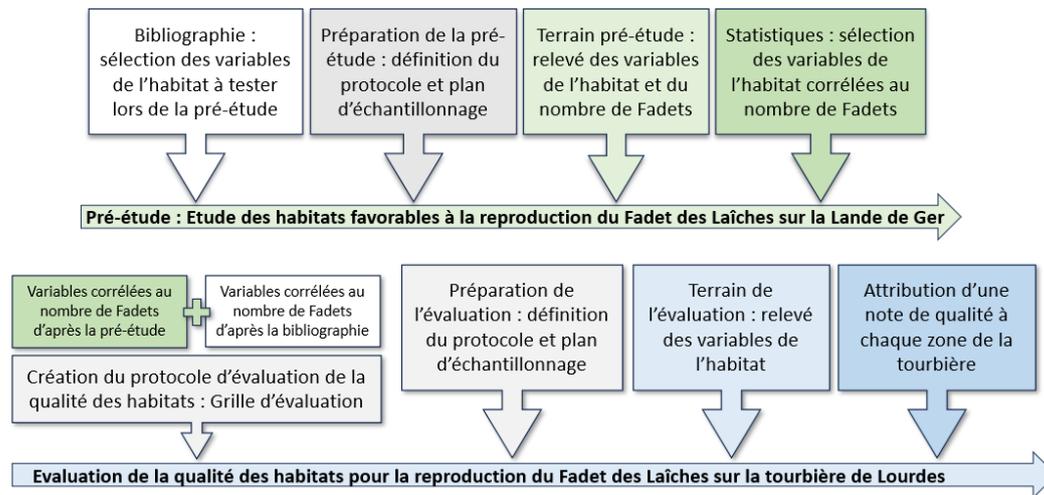


Figure 11 - Schéma de la démarche globale appliquée dans le cadre de cette étude

2.6.3 Méthode utilisée pour chaque étape de la démarche

Dans la littérature européenne, il existe peu d'études décrivant précisément l'habitat favorable à la reproduction du Fadet des Laïches. Certains critères de qualité de l'habitat pour la reproduction du Fadet des Laïches sont évoqués mais les populations étudiées correspondent souvent à des populations vivant en Europe de l'Est et les conclusions des études ne sont pas toujours identiques entre elles. La plupart des études de caractérisation de son habitat ont été réalisées par Tatjana Čelik (Čelik et al., 2009, 2014; Čelik & Verovnik, 2010; Slovenia et al., 2004) et une partie des observations portent sur des populations vivants en Slovénie dans des prairies sèches à Molinie, or ces populations correspondent probablement à un écotype différent de milieux secs (Caubet et al., 2019). En France, le bilan de la phase initiale (octobre 2010 - mars 2013) du Programme régional « Amélioration des connaissances et conservation de 5 espèces de papillons diurnes menacés des zones humides en Aquitaine » apporte des informations intéressantes sur les populations de Fadets des Laïches en Nouvelle-Aquitaine et notamment des informations sur les critères d'habitat (Bertolini et al., 2013). Cependant, les habitats dans lesquels vivent les Fadets en Nouvelle-Aquitaine sont assez différents puisqu'ils sont surtout observés dans les landes humides et boisements de pins qui sont des habitats difficilement comparables à ceux de la tourbière de Lourdes.

Une étude a été réalisée à la tourbière de Lourdes sur le comportement de ponte et de la reproduction du Fadet des Laïches en 2014 par l'association AREMIP (Parde, 2014). Cette étude est intéressante car les caractéristiques des sites de ponte ont été étudiées. Les conclusions de cette étude concernant les sites de ponte sont résumées dans la partie 3.2.1 de cette étude. Malheureusement le fait que seules 7 pontes ont été observées ne permet pas un échantillon statistique suffisant pour affirmer que les habitats décrits sont la parfaite représentation de l'habitat favorable à la reproduction du Fadet des Laïches. De plus, l'habitat dans lequel a été observé les pontes est le bas-marais alcalin, or cet habitat est assez différent du reste de la tourbière où le papillon est aussi présent.

Utiliser uniquement les critères trouvés dans la bibliographie afin de caractériser l'habitat favorable au Fadet des Laïches n'aurait donc pas été suffisamment robuste. Une pré-étude a été développée dans le cadre de cette étude afin de tester sur le terrain quels sont les caractéristiques de l'habitat qui sont favorables, défavorables ou sans influence pour le Fadet des Laïches. Le but étant de tester sur le terrain, directement sur la population d'étude, les caractéristiques de l'habitat cités dans la bibliographie. Un état de l'art de tous les critères cités dans la bibliographie a été réalisé. Cet état de l'art a permis d'aboutir au tableau en annexe 1 et de déterminer la liste des variables qui seront testées sur le terrain.

2.6.4 Méthode détaillée de la pré-étude de caractérisation de l'habitat favorable à la reproduction du Fadet des Laïches

Afin d'étudier les habitats favorables à la reproduction du Fadet des Laïches il aurait été intéressant d'observer les habitats où sont pondus les œufs et où sont présentes les larves. Or, étant donné la petite taille de la population, l'observation des comportements de ponte, des œufs et des larves est très complexe et chronophage. Par exemple, en 2014 une étude du comportement de ponte et de la reproduction du Fadet des Laïches sur la tourbière de Lourdes par l'AREMIP a été réalisée par 6 personnes qui ont participé à 3 jours d'observation et la ponte de seulement une femelle a pu être observée (Parde, 2014). Pourtant, en 2014, la population du papillon était assez importante car 94 Fadets avaient été observés en 3 jours. Une observation des œufs ou des larves en 2023 aurait donc conduit à un échantillon statistique bien trop faible pour pouvoir réaliser des tests statistiques.

Il a donc été décidé d'étudier les imagos, en faisant l'hypothèse que les imagos se déplacent rarement loin de leurs habitats de reproduction. En effet, le Fadet des Laïches est assez peu mobile, il vole lentement et se déplace rarement sur de grandes distances. Une étude calculant les distances de déplacement des Fadets imagos grâce à un inventaire par la méthode de Capture-Marquage-Recapture (CMR) sur les tourbières de Mées (Landes) a montré que la distance médiane de dispersion entre deux points de capture était de 150 mètres (Bertolini et al., 2013).

Le principe du protocole d'étude des habitats favorables à la reproduction repose sur l'étude conjointe de la présence des imagos ainsi que des caractéristiques de l'habitat sur les mêmes placettes. Ceci permettra ensuite de réaliser des analyses statistiques pour étudier s'il y a plus de Fadets lorsque certaines caractéristiques de l'habitat sont plus élevées. Les variables présentant des corrélations statistiques significatives avec l'abondance des papillons pourront être validées comme responsables de la favorabilité d'un milieu pour la reproduction du Fadet.

En 2023, la tourbière de Lourdes n'a fourni que 3 observations de Fadets des Laïches donc l'étude des habitats favorables à la reproduction du Fadet des Laïches n'a pas pu être réalisée sur ce site car cela représentait un échantillon trop faible de données de présence du papillon pour pouvoir réaliser ensuite des analyses statistiques. Un autre site dans les Hautes-Pyrénées, la Lande de Ger, à une dizaine de kilomètres à vol d'oiseau de la tourbière de Lourdes, présente une population de Fadets des Laïches plus importante donc il a été décidé en groupe de travail de reporter la pré-étude sur ce site. Un échantillonnage aléatoire a été mis en place sur une zone potentiellement favorable pour le papillon à la Lande de Ger. 26 placettes ont été placées aléatoirement dans une zone de 9 ha où des Fadets des Laïches avaient été observés en 2010 et 2014 (Figure 12).

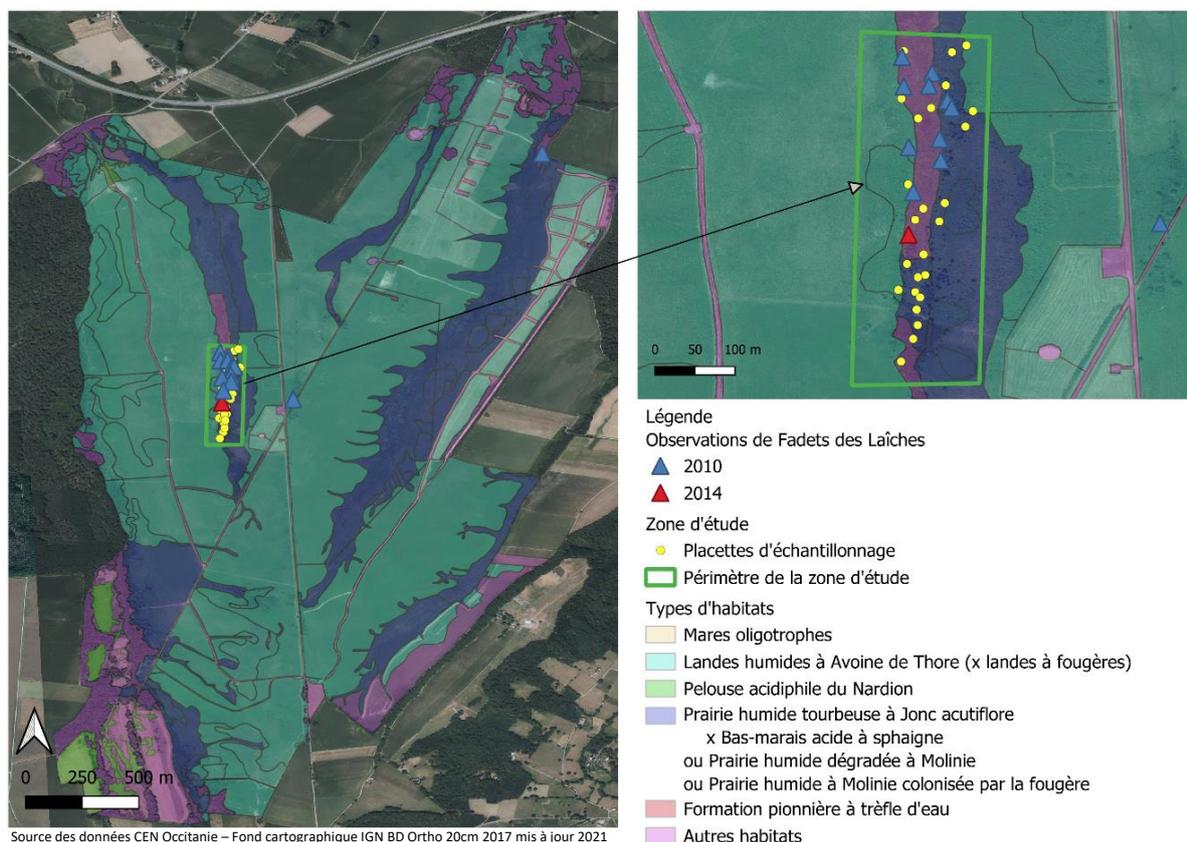


Figure 12 – Cartographies de localisation de la zone d'étude sur la Lande de Ger pour la pré-étude. Localisation des observations de Fadets, placettes d'échantillonnage et habitats principaux présents sur le site.

L'emplacement des placettes a été pensé de sorte qu'au moins 50% des placettes présentent un résultat positif de présence du papillon et que les placettes puissent être représentatives de la diversité des milieux de l'habitat. Le fait qu'au moins 50% des placettes présentent un résultat positif est une règle empirique nécessaire pour assurer la viabilité statistique de l'analyse (Besnard & Salles, 2010).

Sur chacune des placettes, deux suivis sont réalisés. Le premier est réalisé au moment du pic de vol du Fadet et comptabilise le nombre de Fadets qui passent et/ou qui sont posés dans un carré de 20 mètres par 20 mètres autour du centre de la placette pendant 15 minutes (Figure 13). Le second suivi consiste à étudier les caractéristiques de l'habitat dans un carré de 5 mètres par 5 mètres autour du centre de la placette. Il est important que le quadrat de 5m*5m soit représentatif du quadrat de 20m*20m.

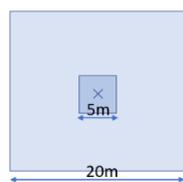


Figure 13 - Schéma des quadrats de suivi des variables environnementales (5*5 m) et des Fadets des Laïches (20*20 m)

Les caractéristiques de l'habitat à relever sont les suivantes :

- Homogénéité de la structure de la végétation : nombre de hauteurs de végétations différentes (à différencier du nombre de strates, ici une strate herbacée peut compter double si par exemple il y a *Erica tetralix* de 10 cm de haut et *Molinia caerulea* de 70 cm de haut)
- Strate herbacée :
 - Pourcentage de recouvrement et hauteur moyenne de la strate herbacée
 - Pourcentage de recouvrement *Molinia caerulea*
 - Pourcentage de *Molinia caerulea* sous forme de touradons, hauteur moyenne des touradons et largeur moyenne des touradons
 - Pourcentage de recouvrement de *Carex panicea*, de *Schoenus nigricans*, de *Phragmites australis*, de *Juncus acutiflorus* et des fougères

- Pourcentage de recouvrement des plantes nectarifères : *Potentilla erecta*, *Erica cinerea*, *Erica tetralix*, *Lythrum salicaria*, *Narthecium ossifragum*, *Mentha sp.*, *Rubus sp.* et *Frangula alnus* en fleur
- Litière
 - Pourcentage de recouvrement des dicotylédones (sans compter les plantes nectarifères)
- Strate arbustive
 - Pourcentage de recouvrement et hauteur moyenne des espèces arbustives
 - Pourcentage de recouvrement *Calluna vulgaris*, de *Salix sp.*, de *Alnus glutinosa* et de *Frangula alnus*
 - Pourcentage de recouvrement et hauteur moyenne de la litière
- Sol nu ou dégradé
 - Pourcentage de sol nu (à cause de la présence d'eau stagnante)
 - Présence/absence de plaques de sol nu
 - Pourcentage de sol perturbé par le piétinement
- Hauteur du niveau des eaux souterraines (mesurée grâce à des sondages avec une tarière)

La majorité des variables environnementales listées ci-dessus a été choisie car celles-ci étaient citées dans la bibliographie comme importantes pour la reproduction ou plus globalement pour la vie du Fadet. Les sources des études dont proviennent les variables sont détaillées dans l'annexe 1. D'autres variables ont été ajoutées mais n'apparaissaient pas explicitement dans la bibliographie, il s'agit du pourcentage de recouvrement par la strate herbacée, de la hauteur moyenne des touradons, du pourcentage de *Phragmites australis*, de *Juncus acutiflorus* et de fougère, de la hauteur de la strate arbustive et des variables concernant le sol nu ou dégradé.

Une fois le nombre de Fadets des Laïches ainsi que les caractéristiques des habitats relevés, chacune des variables des caractéristiques des habitats est étudiée avec le logiciel R-Studio en réalisant des régressions linéaires (simple et multiples) et des tests de corrélation (test Spearman). A chaque fois, la variable de l'habitat est testée par rapport à la variable du nombre de Fadets observé. Il a également été testé de raisonner non pas en nombre de Fadets observés (allant de 0 à 4) mais uniquement en présence/absence du Fadet (0 ou 1) et les résultats étaient identiques.

Les régressions linéaires permettent d'établir (ou non) une relation linéaire entre la variable de sortie à expliquer et la ou les variables d'entrée. Ces régressions sont réalisées avec la fonction `lm()` du logiciel R-Studio. Des régressions multiples avec la fonction `glm()` ont également été réalisées pour certaines variables dont la réponse du nuage de point semblait ressembler à une gaussienne mais le principe est similaire à celui des régressions linéaires, c'est-à-dire d'évaluer une relation entre deux variables. Des tests de corrélation avec le test de Spearman ont également été réalisés grâce à la fonction `cor.test()` du logiciel R-Studio ; ces tests permettent d'étudier s'il existe une relation monotone (et pas nécessairement linéaire) entre deux variables. L'analyse de la p-value en sortie des régressions ou des tests de corrélation permet de valider ou non la significativité de la relation entre les variables, si la p-value est inférieure à 5% on peut dire, avec un risque de 5% de se tromper, que la relation entre les variables est significative.

2.6.5 Méthode de création du protocole d'évaluation des habitats pour la reproduction du Fadet des Laïches

Le protocole d'évaluation des habitats se base sur le même principe que celui d'évaluation de l'état de conservation développé par Patrinat (*Méthodologies d'évaluation de l'état de conservation des habitats* | *PatriNat, centre d'expertise et de données sur le patrimoine naturel*, s. d.) (Figure 14). Des paramètres de l'habitat sont évalués grâce à des indicateurs qui selon leurs valeurs par rapport aux seuils se voient attribués des notes. La note finale de chaque habitat correspond à la somme des notes des indicateurs.

Indicateurs	Valeurs seuils	Note
A	$0 < A < 3$	0
	$3 < A < 6$	-5
	$6 < A < 9$	-10
B	$100\% < B < 80\%$	0
	$80\% < B < 20\%$	-10
	$20\% < B < 0\%$	-20
C	$C > 10$	0
	$C < 10$	-15
Note finale		$100 - 0 - 20 - 15 = 65$



Figure 14 - Schéma présentant la méthode d'évaluation des habitats par Patrinat (Epicoco & Viry, 2015)

Grâce aux résultats de la pré-étude, les variables de l'environnement qui ont été prouvées comme corrélées au nombre de Fadets sont sélectionnées pour le protocole d'évaluation des habitats. Cependant, étant donné que le nombre de ces variables n'était pas suffisant, d'autres indicateurs décrits dans la bibliographie comme significativement corrélés à la présence de Fadet ont été sélectionnés. Une fois ces indicateurs sélectionnés, il est nécessaire de définir des seuils qui permettent de déterminer à partir de quel niveau un habitat peut être décrit comme favorable. Ces seuils sont assez difficiles à déterminer étant donné que la bibliographie ne détaille pas toujours les seuils des indicateurs. Les choix des indicateurs et des seuils sont détaillés et justifiés dans les résultats (Partie 3.2.3).

3. RESULTATS

3.1. RESULTATS DE L'ETUDE DE LA DYNAMIQUE SPATIALE ET TEMPORELLE DE LA POPULATION DE FADETS DES LAICHES

3.1.1 Analyse globale de la tendance de la dynamique de population

L'analyse globale de la dynamique de population a été réalisée en faisant la synthèse des données issues des suivis réalisés depuis 2009. Concernant les suivis par CMR, le premier suivi en 2016 estimait la population à 300 individus et le second en 2020 l'estimait à 110 individus (± 86) (Charlot, 2020; Demergès, 2017). Cependant, ces chiffres ne permettent pas d'analyser la dynamique de population car seuls deux suivis par CMR ont été réalisés et le second n'a pas permis d'estimer la taille de population de façon précise car la date d'émergence de l'imag a été ratée.

L'analyse des suivis par transects et plus précisément l'analyse des IAA calculés grâce à ces suivis permet mieux d'estimer la dynamique de population. Les graphes ci-dessous présentent la variation au cours des années de la somme des IAA de tous les transects (Figure 9) ainsi que la variation de l'IAA selon les transects A à F (Figure 10). L'année 2016 ne figure pas sur les graphiques car les données brutes du suivi n'était pas disponible, il n'est malheureusement pas possible de recalculer l'IAA. L'année 2020 n'est pas non plus représentée car la mise en œuvre du suivi a été trop tardive donc les données du suivi par transect ne sont pas exploitables.

La somme des IAA est très faible pour l'année 2023 à cause du fait que seul 1 Fadet ait été observé dans le cadre du suivi par transects (2 autres Fadets ont été observés sur la tourbière mais ceux-ci ne se trouvaient pas sur les transects).

Plusieurs hypothèses peuvent être avancées pour expliquer la régression de la population. Premièrement, il se pourrait que l'habitat soit devenu de moins en moins favorable pour le papillon à cause de la dynamique naturelle de la végétation (bombement de la tourbière, colonisation par les ligneux...) ainsi qu'à cause de la dynamique de végétation induite par les actions de gestion de l'Homme. En effet, la tourbière montre une dynamique de colonisation importante par les ligneux (Bourdaïne, *Frangula alnus* et Aulne glutineux, *Alnus glutinosa*) et les herbacées hautes (Roseau commun, *Phragmites australis* et Marisque, *Cladium mariscus*), ce qui est défavorable au papillon lorsque la fermeture du milieu devient trop importante. Deuxièmement, une autre hypothèse concerne la prédation, qui aurait pu être favorisée par certaines pratiques de gestion. Par exemple, les couloirs de fauche ras et trop homogènes pourraient être responsables d'une mortalité accrue des papillons qui sont alors très visibles pour leurs prédateurs. Ensuite, la présence de l'Homme à proximité de la population pourrait avoir causé un dérangement direct lorsque des visiteurs ou scientifiques sont présents sur le site ou indirect à cause des activités du bassin versant (activités agricoles, golf...). D'autres hypothèses supposent que la régression soit liée à l'isolement démographique et génétique de la population sur la tourbière de Lourdes. Il est possible que la population fonctionnait autrefois comme une métapopulation avec d'autres noyaux de population à proximité. Par exemple, la tourbière de Poueyferré à proximité du ruisseau de Baratchèze (ZNIEFF n°730011476) accueillait peut-être autrefois une population en lien avec celle de la tourbière de Lourdes, mais aujourd'hui aucun autre Fadet n'a été observé à proximité de la tourbière malgré les recherches menées par le CEN Occitanie et par l'AREMIP. Enfin, une dernière hypothèse est que le déclin soit lié au changement climatique. L'impact du changement climatique est d'autant plus prononcé lorsqu'il s'agit d'une espèce en marge de son aire de répartition car celle-ci est très vulnérable au moindre changement, or le site de Lourdes correspond quasiment à la zone de présence avérée du Fadet des Laïches la plus au sud d'Europe. Pour conclure, les hypothèses permettant d'expliquer le déclin du Fadet des Laïches sont nombreuses et il est très probable que plusieurs facteurs s'entremêlent. Cette étude tentera d'étudier les hypothèses citées précédemment, mais toutes ne pourront pas être analysées car certains facteurs (comme par exemple l'isolement génétique) sont difficiles à tester car nécessitant des moyens conséquents.

3.1.2 Analyse de la phénologie du Fadet des Laïches

Les données des différents suivis effectués depuis 2009 permettent d'avoir des informations sur la phénologie du Fadet des Laïches à la tourbière de Lourdes. L'analyse de la modification de la phénologie du papillon au cours du temps est intéressante car cette dernière est révélatrice de l'influence des changements environnementaux sur la population et est indicatrice de l'état de la population.

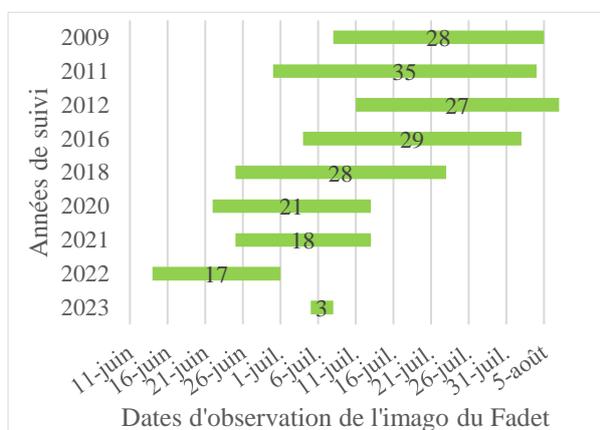


Figure 17 - Dates d'observation des imagos du Fadet des Laïches à Lourdes selon les années de suivi

Si on suppose que les Fadets des Laïches de la tourbière de Lourdes émergent le jour où le premier imago est observé (ce qui suppose un suivi régulier afin de ne pas rater le premier imago) alors on peut comparer les dates d'émergence du papillon entre les années des suivis (Figure 17). On observe que les Fadets des Laïches émergent de plus en plus précocement. En effet, le papillon émerge quasiment toujours quelques jours plus tôt que lors du suivi précédent, sauf pour 3 années (en 2012, 2021 et 2023). En 2009, le premier imago était observé le 8 juillet tandis qu'en 2022 il était observé dès le 14 juin, soit 24 jours plus tôt. L'année 2023 semble être une année particulière puisque l'émergence a eu lieu le 5 juillet soit quasiment à la même date qu'en 2009 alors que la date d'émergence semblait être de plus en plus précoce. Ceci pourrait s'expliquer par

le fait que le mois de juin 2023 à Lourdes a été marqué par un temps très changeant, de nombreux orages en journée, une couverture nuageuse souvent présente et peu de journées très chaudes.

Une régression linéaire a été réalisée entre la date de la première observation de Fadet des Laïches et les années, sans prendre en compte l'année 2023 (Figure 18) puis en la prenant en compte (Figure 19). Si l'année 2023 est exclue des données (car considérée comme particulière) la régression est très significative ($R^2 = 0.721$, $df = 6$, $p\text{-value} = 0.008 < 5\%$). D'après la formule de la droite de régression on peut même dire que chaque année cette date recule de 1.5 jours. Par contre, lorsque 2023 est prise en compte, la régression n'est plus significative ($R^2 = 0.393$, $df = 7$, $p\text{-value} = 0.071$) mais elle est proche de la significativité ($p\text{-value}$ faiblement supérieure à 5%).

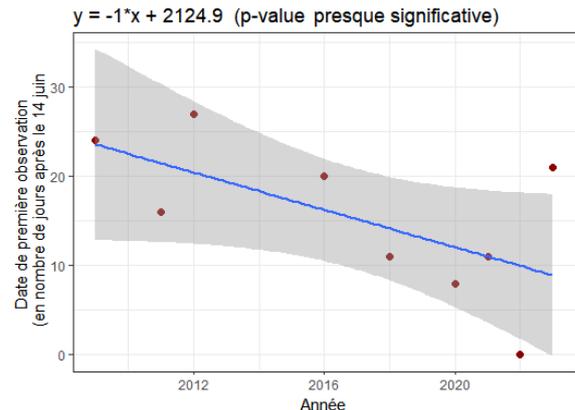
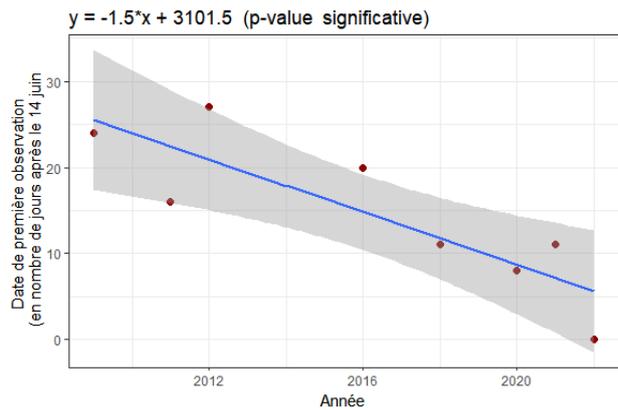


Figure 18 - Date de la première observation de Fadet des Laïches à Lourdes (en nombre de jours après le 14 juin) en fonction des années (sans l'année 2023) ; et formule de la droite de régression linéaire.

Figure 19 - Date de la première observation de Fadet des Laïches à Lourdes (en nombre de jours après le 14 juin) en fonction des années (avec l'année 2023) ; et formule de la droite de régression linéaire

La zone grisée représente l'intervalle de confiance de 5% autour de la droite de régression

On peut donc conclure que la date d'émergence est statistiquement de plus en plus précoce et supposer que l'année 2023 est une année particulière car la date d'émergence a été tardive à cause de la mauvaise météo du mois de juin.

Dans la bibliographie de nombreuses études montrent que les événements phénologiques sont de plus en plus précoces. Ceci est lié au changement climatique et notamment au fait que les printemps soient plus doux et donc que la reprise d'activité des organismes en sortie de la saison froide se fasse plus tôt. Une méta-analyse réalisée en 2003 a par exemple montré que la moyenne de décalage du pic

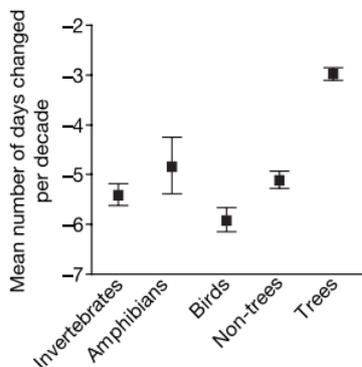


Figure 20 - Moyenne des décalages de phénologie par décennie selon le groupe d'espèces (Root et al., 2003)

d'émergence des invertébrés qui ont subi une modification de la phénologie est de + 5.4 jours par décennie (Figure 20) (Poitou, 2021; Root et al., 2003). Une autre méta-analyse, réalisée en Angleterre compare les dates de période de vol de nombreux papillons, dont l'Aurore (*Anthocharis cardamines*) et le Vulcain (*Vanessa atalanta*) durant la période 1976-1998 (Roy et al., 2015). En 22 ans, leurs périodes de vol ont été avancées de respectivement 17,5 et 36,3 jours, soit 8 et 17 jours plus tôt par décennie. Cette même étude propose un modèle permettant de relier l'avancement de la phénologie en lien avec l'augmentation des températures ; ce modèle prédit qu'une augmentation de la température moyenne de seulement 1°C pourrait avoir pour conséquence un avancement de la moyenne du pic d'émergence des papillons de 2 à 10 jours.

L'analyse de la modification de la date d'émergence du Fadet des Laïches à la tourbière de Lourdes est donc en concordance avec les études menées sur l'effet du changement climatique sur les invertébrés. Ce changement est préoccupant car il est très rapide et pourrait conduire à un décalage entre le cycle de vie du Fadet des Laïches et la ressource en nourriture. L'avancée de la période de sortie d'hivernation de la chenille pourrait conduire à ce que la présence de la chenille ne coïncide plus avec la période de croissance de la Molinie bleue. Ainsi, les chenilles n'auraient plus de quoi se nourrir, car même si les espèces végétales subissent aussi un décalage de leur phénologie, il semble que ce décalage soit moins rapide que pour les espèces animales. En effet, une étude de grande ampleur sur la phénologie des végétaux en Europe a calculé que le décalage phénologique moyen des végétaux était de 2.5 jours par décennie (Menzel et al., 2006) ce qui est inférieur au rythme du décalage phénologique subi par les invertébrés. Pour donner un exemple de désynchronisation entre la présence d'une espèce animale et celle de sa ressource trophique, on peut citer le bivalve *Macoma balthica*. La phénologie du bivalve a été décalée à cause du réchauffement de la température de l'eau et sa période de présence ne coïncide plus à la période de présence du phytoplancton dont il se nourrit. Ceci a créé une mortalité croissante des juvéniles précoces du bivalve (Durant et al., 2007; Poitou, 2021).

A dire d'expert, la date d'émergence des imagos est liée à la météo du mois précédant leur émergence car la météo influencerait la formation des chrysalides et la sortie de l'imago de la chrysalide. Afin de valider cette affirmation les données météorologiques de juin de la station météorologique de Tarbes (température minimale moyenne, température maximale moyenne, pluviométrie, nombre d'heures d'ensoleillement, nombre de jours de forte chaleur ($T_{max} \geq 30^{\circ}\text{C}$) et de très forte chaleur ($T_{max} \geq 35^{\circ}\text{C}$)) (*Meteociel - Climatologie mensuelle de Tarbes (65)*, s. d.) ont été analysées conjointement avec les dates d'émergence afin d'étudier si elles étaient corrélées. Après analyse, aucune des variables de conditions météorologiques citées précédemment n'a été prouvée comme significativement corrélées avec la date d'émergence du Fadet des Laïches si l'année 2023 est prise en compte. Si les régressions linéaires sont réalisées sans l'année 2023 (en supposant qu'il s'agissait d'une année exceptionnelle), la durée d'ensoleillement du mois de juin est la seule variable qui est significativement corrélée à la date d'émergence du Fadet des Laïches ($R^2 = 0.548$, $df = 6$, $p\text{-value} = 0.036$) (Figure 21). Plus la durée d'ensoleillement en juin est élevée, plus l'émergence a lieu tard. Ceci est surprenant dans la mesure où il est souvent considéré que l'émergence des papillons est favorisée par la chaleur or l'ensoleillement est corrélé positivement à la chaleur. Il faut différencier les liens de corrélation des liens de causalité, il est possible qu'il n'existe pas de lien de causalité entre l'ensoleillement et la date d'émergence et qu'il s'agisse uniquement de l'effet du décalage phénologique à cause du changement climatique (qui se trouve être corrélé à la diminution de la durée d'ensoleillement).

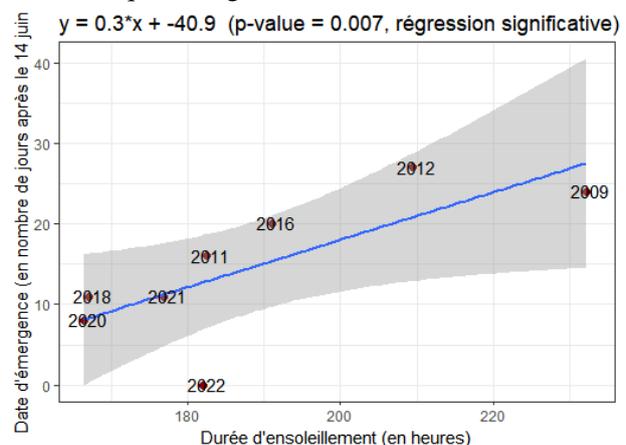
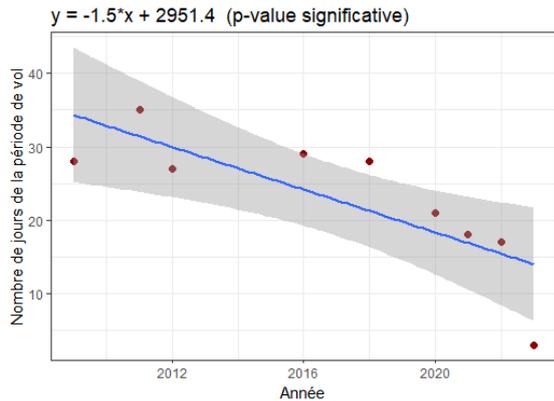


Figure 21 - Date de la première observation de Fadet des Laïches à Lourdes (en nombre de jour après le 14 juin) en fonction de la durée d'ensoleillement du mois de juin (en heures) ; et formule de la droite de régression linéaire

Une autre hypothèse expliquant l'arrivée des imagos était que les imagos arrivent après plusieurs jours consécutifs de chaleur mais l'analyse des températures des 7 jours précédant l'émergence n'a pas montré de corrélation avec la date d'émergence. D'autres facteurs qui n'ont pas été testés dans cette étude, tels que l'humidité ou la luminosité, rentrent peut-être en jeu pour déterminer l'émergence des imagos.

Quant à l'analyse de la durée de présence des imagos du Fadet des Laïches à la tourbière de Lourdes,



celle-ci montre une tendance à diminuer entre chaque suivi. En effet, en 2009 la période de vol était de 28 jours contre 17 jours en 2022 et 3 jours en 2023. Une régression linéaire réalisée entre la variable du nombre de jours de la période de vol observée et la variable année s'est avérée significative ($R^2 = 0.631$, $df = 7$, $p\text{-value} = 0.011$) (Figure 22). D'après la formule de la droite de régression on peut même dire que chaque année la durée de la période de vol diminue d'environ 1,5 jour.

Figure 22 - Nombre de jours de la période de vol du Fadet des Laïches à Lourdes en fonction des années (et la formule de la droite de régression linéaire)

Ceci est plutôt en contradiction avec la bibliographie puisqu'il semblerait que la période de vol soit allongée à cause du changement climatique. Une méta-analyse réalisée en Angleterre montre que dans presque tous les cas la période de vol est rallongée. Par exemple, entre 1976 et 1998, c'est-à-dire en 22 ans, la durée de la période de vol s'est allongée de 39,8 jours chez le Vulcain (*Vanessa atalanta*) et 23,5 jours chez la Piéride du navet (*Pieris napi*). Cependant, quelques espèces (telles que le Petit sylvain *Limentis camilla*) ont montré des périodes de vol raccourcies alors que la date de première observation était avancée (Roy et al., 2015).

On peut supposer que la diminution de la période de vol des imagos sur la tourbière de Lourdes est simplement liée au fait que la population soit de plus en plus petite. Le fait que la population soit petite a pour conséquence qu'il soit donc moins probable d'observer des individus précoces ou tardifs.

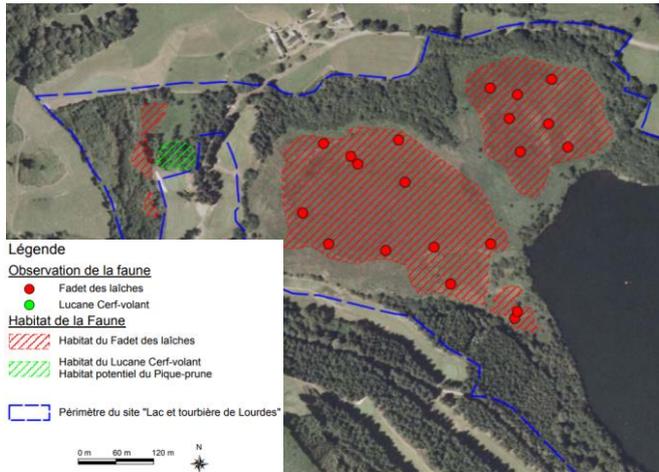
Pour conclure, la modification de la phénologie du Fadet des Laïches sur la tourbière de Lourdes est plutôt inquiétante puisque la période de vol des imagos de Fadet a tendance à être de plus en plus courte. Ceci conduit à limiter le temps pendant lequel le papillon a l'opportunité de se reproduire et si une météo défavorable se poursuit pendant la courte période de présence de l'imago cela conduira à une reproduction très mauvaise. De plus, le fait que le cycle du papillon se décale de plus en plus tôt peut fragiliser la population car cela pourrait conduire à un décalage entre la présence des chenilles et celle de leur source de nourriture et conduire à ce que l'imago soit présent trop tôt dans l'été puis subisse des conditions météorologiques qui lui sont peu favorables.

3.1.3 Synthèse des inventaires et suivis du Fadet des Laïches à la tourbière de Lourdes depuis 2005

L'analyse des localisations des observations de Fadets des Laïches depuis 2005 a pour but de comprendre la variation au cours du temps de la présence du papillon sur la tourbière et de ses préférences en termes d'habitat. Le but est également d'apporter des précisions supplémentaires plus localisées par rapport à l'analyse globale de la tendance de dynamique de population (partie 3.1.1).

3.1.3.1 Inventaire en 2005 par Biotope

L'inventaire réalisé en 2005 ne permet pas d'avoir une idée de la taille de la population puisqu'il a été



réalisé en seulement une journée et qu'aucun détail n'est disponible concernant la méthodologie d'inventaire qui a été utilisée. Cependant, la distribution spatiale des points d'observation est tout de même intéressante puisque la cartographie (Figure 23) montre que le Fadet des Laïches était présent sur quasiment toute la surface de la tourbière (sauf les zones de cladiaie pure et les zones totalement boisées). De plus, il semble que la présence du Fadet était très homogène, sans noyau de population localisé.

Figure 23 – Cartographie de localisation des Fadets des Laïches et Lucanes Cerf-volant et leurs habitats potentiels (BIOTOPE, 2007)

3.1.3.2 Suivis par transects et par placettes en 2009, 2011 et 2012 par l'AREMIP

En 2009, suite aux axes de gestion proposés par le DOCOB, la mise en place d'un suivi régulier du Fadet des Laïches est amorcée. L'AREMIP réalise les 3 premières études en 2009, 2011 et 2012 (Parde, 2009, 2011, 2012).

Entre 2009 et 2012 la population de Fadets a toujours été présente sur quasiment toute la tourbière mais la densité de présence est différente selon les habitats (Figures 24, 25, 26).

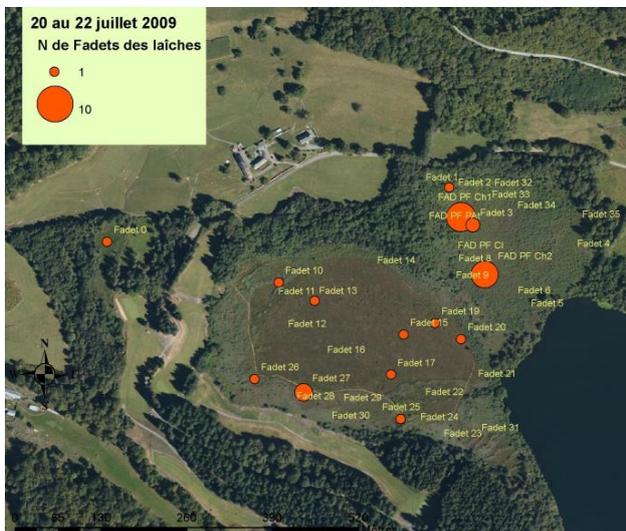


Figure 24 - Cartographie du suivi du Fadet des Laïches par placettes sur la tourbière de Lourdes en 2009 (Parde, 2009)

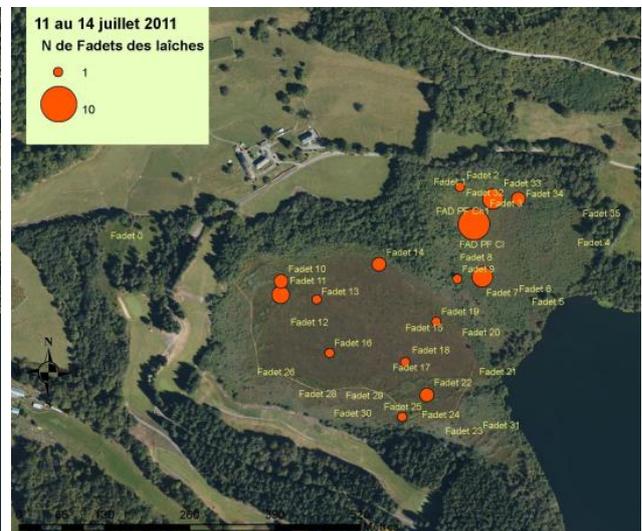


Figure 25 - Cartographie du suivi du Fadet des Laïches par placettes sur la tourbière de Lourdes en 2011 (Parde, 2011)

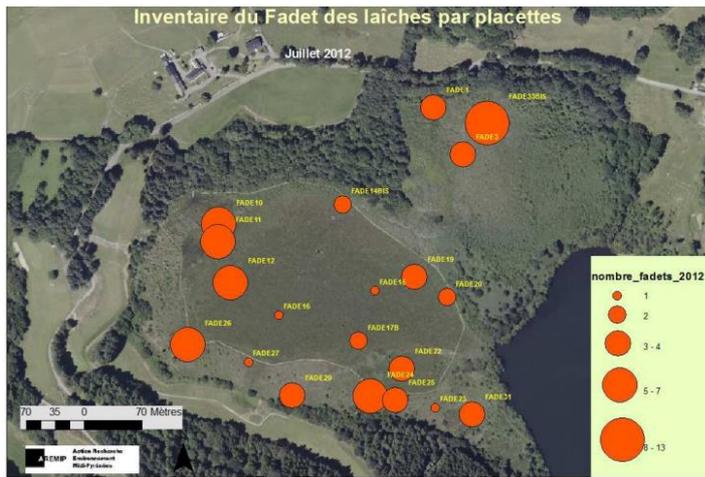


Figure 26 - Cartographie de l'inventaire du Fadet des Laïches par placettes sur la tourbière de Lourdes en 2012 (Parde, 2012)

Les zones pour lesquelles aucun Fadet n'est observé sont la moitié est de la tourbière nord-est et le centre de la tourbière centrale.

La périphérie de la tourbière centrale et la tourbière nord-est sont les zones les plus fréquentées, tandis que les roselières et les cladiaies hautes et denses sont moins attractives pour le Fadet des Laïches. La zone centrale de la tourbière, bien que très grande, abrite peu de papillons. Une hypothèse pour expliquer ceci est que cette zone est fortement exposée au vent et au soleil et possède peu de refuges où la végétation est plus

haute. En termes d'habitats, les plus fréquentés sont par ordre décroissant, l'habitat « Tourbières hautes actives » (code habitat N200 7110) mélangé à d'autres habitats, l'habitat « Dépressions sur substrats tourbeux du Rhynchosporion » (code habitat N2000 7150) mélangé à d'autres habitats, et enfin « Prairies à *Molinia* sur sols calcaires, tourbeux ou argilo-limoneux » (code habitat N2000 6410). L'hétérogénéité des habitats présents sur les placettes est un facteur très important pour la fréquentation du Fadet. Une raison pour laquelle le mélange d'habitats est favorable est que cela induit une structure hétérogène de la végétation, avec des îlots de végétation plus ou moins hauts. Ceci crée une variété des conditions climatiques et de protection contre les prédateurs dans une zone restreinte (étant donné que le papillon vole peu) (Caubet et al., 2019).

Le suivi par placette a mis en évidence que les placettes ayant subi du pâturage extensif, de la fauche en mosaïque, de l'entretien par fauche de la clôture ou étant à proximité de zones où des tests de décapage ont été réalisés, sont des placettes où la fréquence d'observation de Fadet des Laïches était élevée. Les pratiques qui favorisent l'hétérogénéité de la structure semblent donc favorables au papillon. Par contre, les placettes abandonnées où aucune gestion n'est menée ainsi que celles ayant subi du débroussaillage des ligneux récemment ne présentaient peu de papillons. Le fait que les zones récemment débroussaillées ne conduisent pas à des observations d'imagos n'est probablement pas lié au fait que le débroussaillage soit négatif pour le Fadet mais plutôt au fait que la zone était auparavant défavorable pour le Fadet car trop boisée et que les papillons n'avaient pas encore recolonisé le milieu l'année suivant l'action de gestion.

En 2011, le pâturage a été rendu impossible par les conditions météorologiques défavorables. Une hypothèse est que cette absence de pâturage ait été bénéfique au Fadet des Laïches étant donné que cela limite les pertes liées aux œufs et chenilles consommés ou piétinés par les animaux. Cependant, il n'y a pas eu d'augmentation d'observation (mais plutôt une diminution) entre 2011 et 2012 sur le suivi par transects alors que l'effort de prospection a été augmenté en 2012 par rapport à 2011. On ne peut pas vraiment conclure de l'effet de l'absence de pâturage en 2011 sur le Fadet des Laïches car seule une expérience où l'on compare le nombre de Fadets pour une même année (avec donc des conditions météorologiques similaires) entre deux zones présentant un habitat similaire mais où l'une est pâturée et l'autre non pâturée (témoin) permettrait d'évaluer l'effet du pâturage.

Entre 2011 et 2012 une action de débroussaillage de la partie ouest de la tourbière centrale a eu lieu et a permis d'ouvrir la cladiaie vers le ponton d'accès de la tourbière. On voit que le nombre de Fadets sur les placettes dans la cladiaie (placettes 10 et 11 sur les figures 25 et 26) a doublé donc ceci pourrait être

dû à l'effet bénéfique de la réouverture de cette zone, mais encore une fois il est difficile de conclure de l'effet direct de l'action de gestion.

L'hypothèse d'une séparation en deux sous-populations de la métapopulation de Lourdes à cause de la fermeture de zone de communication entre les deux parties de la tourbière se précise à partir de 2012.

3.1.3.3 Etude du comportement de ponte et de reproduction en 2014 par l'AREMIP

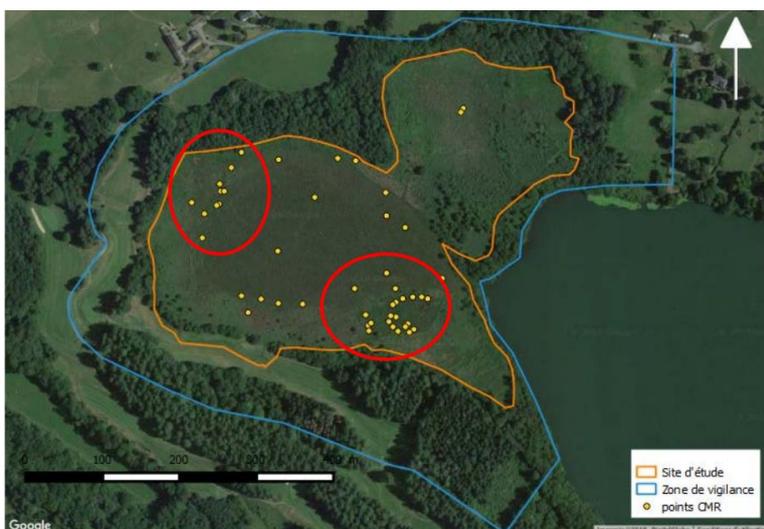
En 2014 une étude du comportement de ponte et de reproduction du Fadet des Laïches sur la tourbière a été réalisée par l'AREMIP (Parde, 2014). Cette étude se focalisait sur le comportement de ponte ; les conclusions principales de cette étude ne seront pas détaillées ici car elles portent plutôt sur le comportement du papillon mais l'étude apporte tout de même quelques données concernant la dynamique de population. 60 individus ont été observés dans la tourbière nord-est contre seulement 34 individus sur la partie centrale, cependant, l'effort d'observation a été plus faible sur la partie centrale. Le rapport déclare tout de même à dire d'expert que la population observée dans la partie nord-est de la tourbière apparaissait comme plus nombreuse que celle de la partie centrale.

Entre 2012 et 2014, 2 campagnes de coupe de rejets ont eu lieu dans la partie nord-est et ont permis de limiter la fermeture du milieu. On peut supposer que ceci a été bénéfique au Fadet qui se portait bien en 2014 dans la partie Nord-est de la tourbière.

L'hypothèse d'une différence de phénologie entre les populations des deux parties de la tourbière est avancée en 2014 car le ratio nombre de femelles par rapport au nombre de mâles était d'abord très faible dans la partie centrale par rapport au bas-marais et a augmenté plus tardivement. Sachant que le Fadet des Laïches est une espèce protandre (les mâles émergent avant les femelles) cela supposerait que la population de la tourbière centrale était plus tardive d'une dizaine de jours que celle de la tourbière nord-est. Des différences de conditions entre les deux parties de la tourbière (chaleur, vent, ombrage...) pourraient expliquer ce décalage phénologique.

3.1.3.4 Suivis par CMR et par transects en 2016 par le CEN Occitanie

La population de Fadets a été suivie par CMR en 2016 (Demergès, 2017). La méthode de suivi par CMR a permis d'identifier la présence du Fadet sur toute la tourbière, sans se limiter uniquement aux transects (Figure 27). De plus, cette CMR a permis d'estimer la taille de la population de Fadets des Laïches à environ 300 individus.



La majorité des individus ont été observés dans les secteurs de transition entre la tourbière centrale et la ceinture de marisque en bordure de la tourbière. La répartition des observations de Fadets des Laïches suit l'hypothèse selon laquelle les habitats les plus favorables sont les végétations des tourbières hautes actives, de dépressions sur substrats tourbeux du Rhynchosporion et de Prairies à *Molinia* sur sols calcaires, tourbeux ou argilo-limoneux.

Figure 27 - Cartographie du suivi par CMR du Fadet des Laïches sur la tourbière de Lourdes en 2020 (Demergès, 2016)

Seuls 2 papillons ont été observés dans la partie nord-est de la tourbière. Ce chiffre paraît extrêmement faible vis-à-vis des 60 Fadets observés en 2014. D'autant plus qu'aucune pratique de gestion particulière n'a eu lieu entre 2014 et 2016. Plusieurs hypothèses permettant d'expliquer la chute drastique du nombre de Fadets dans la partie nord-est de la tourbière entre 2014 et 2016 sont avancées.

L'hypothèse la plus souvent émise concernant la chute de la population dans la partie nord-est est celle du changement de la favorabilité du milieu pour le Fadet des Laïche à cause de la fermeture du milieu. Des actions de déboisement et débroussaillage ont eu lieu dans la partie nord-est de la tourbière entre 2009 et 2015 pour rouvrir le milieu mais ces actions se sont ensuite réduites et elles ne permettaient de toute façon pas de contenir totalement la fermeture du milieu. Cependant, il est surprenant que la fermeture du milieu ait eu un effet aussi fort en l'intervalle de 2 ans alors qu'il s'agit d'un processus continu et lent.

Une autre hypothèse porte sur un possible artéfact lié au fait que le suivi de 2016 ait été réalisé trop tard dans la saison et aurait raté le vol des Fadets dans la partie nord-est de la tourbière dont la population est peut-être plus précoce d'une dizaine de jours (d'après l'hypothèse évoquée en 2014 de décalage phénologique des deux populations). La CMR en 2016 a eu lieu 11 jours après la première observation de Fadet sur la partie centrale de la tourbière, or le premier Fadet sur la partie nord-est de la tourbière pourrait avoir émergé 10 jours plus tôt. Ainsi, il est possible que la CMR ait commencé 21 jours après que le premier Fadet ait émergé dans la partie nord-est.

Une autre hypothèse porte sur la météo : il se pourrait que l'année particulièrement sèche en 2016

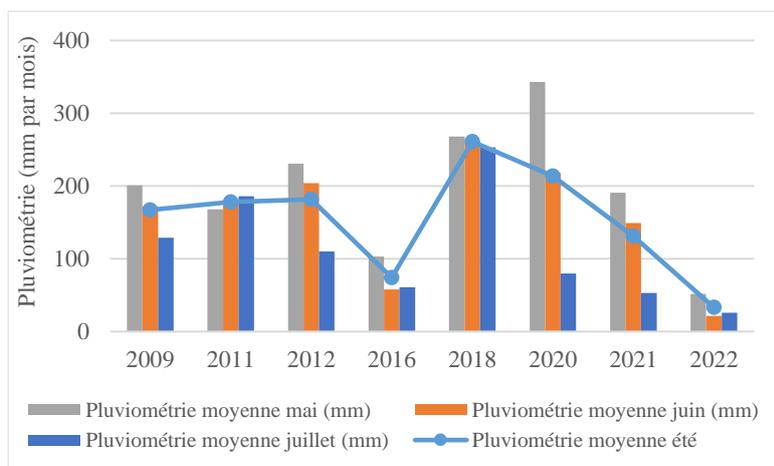


Figure 28 - Pluviométrie des mois d'été selon les années de suivis (Historique Météo des Pyrénées françaises, s. d.)

(Historique Météo des Pyrénées françaises, s. d.) (Figure 28) ait conduit à fortement limiter la reproduction du Fadet dans cette partie de la tourbière. Mais dans ce cas il est étonnant que la population de la partie centrale n'ait pas aussi subi une forte diminution. De plus, la nappe est plus proche du sol dans la partie nord-est de la tourbière (à environ -10cm contre -30cm dans la partie centrale) donc cela aurait dû permettre de conserver une relative humidité.

Enfin une dernière hypothèse plus extrême est qu'un événement exceptionnel soit advenu, comme par exemple une pollution ponctuelle ou du braconnage.

Malheureusement, les données dont dispose le PLVG ne permettent pas de conclure sur laquelle ou lesquelles de ces hypothèses pourraient expliquer la régression du papillon de la partie nord-est.

Aucun papillon n'a été observé sur la partie sud-est de la tourbière à partir de 2016 alors qu'en 2005 2 Fadets avaient été observés et 4 Fadets 2012. Cette zone a toujours été relativement isolée et entourée d'une végétation plus arbustive. De même que pour la partie nord-est, la population au sud-est de la partie centrale a dû être isolée du reste de la population et les habitats n'étant pas assez favorables cette population a dû régresser. Il est possible que quelques individus aient toujours subsisté dans cette partie

mais à partir de 2020 les suivis par transects ne passant pas dans cette zone, les papillons n'y ont pas été répertoriés.

3.1.3.5 Suivi par transects en 2018 par le PLVG

En 2018 le suivi par transects a permis de montrer que le plus grand nombre de Fadets se situait sur la zone de Molinie au sud-est de la tourbière (Figure 29) (PLVG, 2018). Un autre groupe de Fadets a été observé au nord-ouest de la tourbière centrale, entre l'habitat tourbière haute active et les zones à Rhynchospores. Ces deux zones concordent tout à fait avec les zones identifiées par le CEN lors de la CMR de 2016. 3 individus ont été observés sur la partie nord-est de la tourbière, à proximité des zones de ponte de 2014.



Figure 29 - Cartographie du suivi du Fadet des Laïches par transects sur la tourbière de Lourdes en 2018 (PLVG, 2018)

3.1.3.6 Suivi par CMR en 2020 par le CEN Occitanie

En 2020, un suivi par CMR a été mis en œuvre par le CEN Occitanie (Charlot, 2020). La CMR de 2020 est difficilement exploitable car le pic de vol a été raté donc l'intervalle de confiance des chiffres d'estimation de population est très élevé : la population est estimée à 110 (± 86). Les localisations des captures (Figure 30) sont cependant intéressantes et montrent que les Fadets sont présents dans les mêmes zones que les années précédentes : la zone de prairie à Molinie bleue, au sud-est de la tourbière centrale, et les zones à Rhynchospore blanc situées en périphérie de la tourbière principale et faisant office de transition entre la cladiaie et la tourbière haute active.



Figure 30 - Cartographie du suivi par CMR du Fadet des Laïches sur la tourbière de Lourdes en 2020 (Charlot, 2020)

3.1.3.7 Suivis par transects en 2021 et 2022 par le PLVG

En 2021 et 2022 des suivis par transects ont été réalisés (PLVG, 2021, 2022). Le suivi de 2021 n'a malheureusement permis d'observer que 8 individus mais ceci est peut-être lié aux conditions climatiques peu favorables du printemps qui ont pu impacter les populations de papillons et les prospections qui ont été perturbées par l'alternance de phases ensoleillées, orageuses et ventées (PLVG, 2021).

Aucun Fadet n'a été observé dans la partie nord-est, mais où la végétation est en 2020 colonisée par les roseaux et les ligneux.

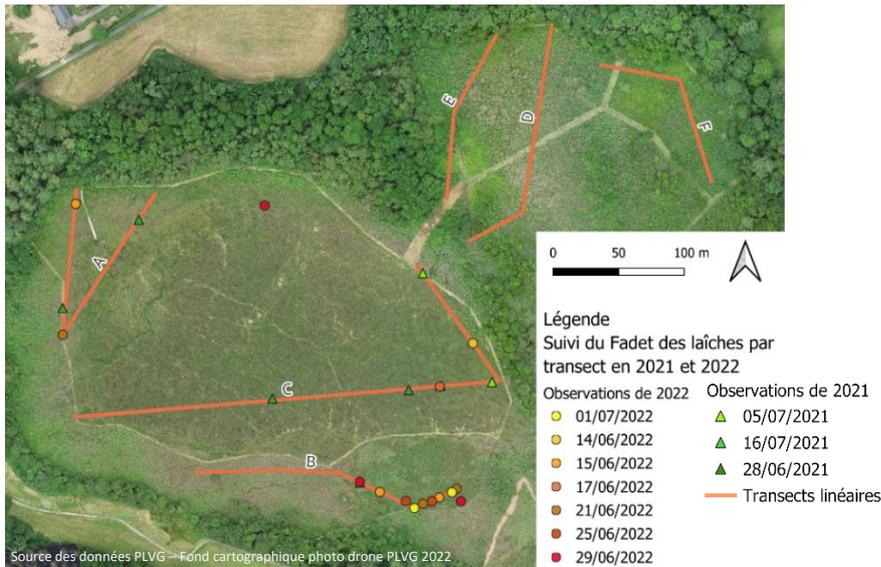


Figure 31 - Cartographie des suivis par transects du Fadet des Laïches sur la tourbière de Lourdes en 2021 et en 2022

En 2021 et 2022, les papillons ont été localisés principalement en périphérie de la zone centrale, et aucun papillon n'a été vu dans la partie nord-est de la tourbière (Figure 31). La zone de prairie à Molinie enclavée au sud-est de la tourbière centrale est la zone qui regroupe le plus d'observation en 2022. Depuis 2021, la zone de molinie favorable au Fadet au sud-est de la tourbière centrale a été mise en exclos. On ne peut pas être certain de si cette mise en exclos a été vraiment favorable au Fadet étant donné qu'il n'y a pas de zone témoin avec laquelle comparer et que la différence entre les deux années pourrait être uniquement due aux conditions climatiques plus favorables en 2022. On peut tout de même constater que le nombre de Fadets rencontrés dans cette zone a été beaucoup plus élevé en 2022 qu'en 2021 (10 contre 1 en 2021).

3.1.3.8 Suivi par transects en 2023 par le PLVG

Le suivi par transects réalisé en 2023 montre un mauvais état de la population car seuls 3 Fadets ont pu être observés et seulement un dans le cadre du suivi par transects (PLVG, 2023c) (Figure 32).

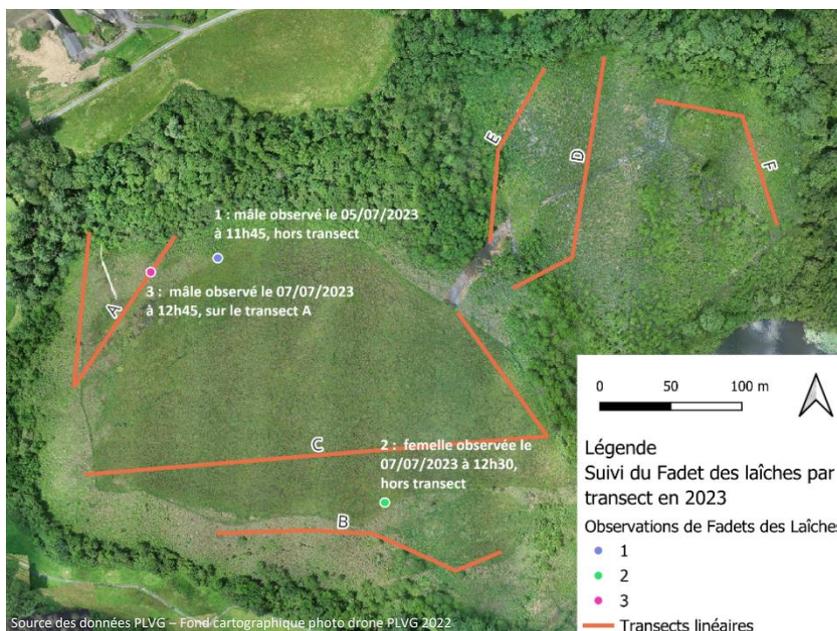


Figure 32 - Cartographie du suivi par transects du Fadet des Laïches sur la tourbière de Lourdes en 2023

Encore une fois, les Fadets semblent apprécier les zones hétérogènes, de transition entre deux habitats, et plus précisément les zones entre cladiaie et tourbière haute active ou entre cladiaie et rhynchosporion. 2 des 3 Fadets observés ont passé un certain temps dans la cladiaie donc cet habitat ne leur est peut-être pas si défavorable.

Etonnamment, aucun papillon n'a été observé dans la prairie à Molinie au sud-est de la tourbière centrale. Ceci est très surprenant étant donné que l'année passée 10 individus avaient été observés dans cette petite zone. Plusieurs hypothèses sont à considérer : soit aucun œuf n'a été pondue dans cette zone en 2022, ce qui est peu probable étant donné que 2 femelles, 7 mâles et 1 individu indéterminé avaient été observés en 2022, soit des œufs ont été pondus mais il y a eu une mortalité forte à un moment du cycle entre l'œuf et l'imago, soit il y a eu des imagos mais ils n'ont pas été observés, ce qui est aussi

peu probable car cette zone était prospectée avec beaucoup d'attention. Le milieu est resté très similaire à ce qu'il était il y a un et deux ans et aucune action de gestion n'a eu lieu sur cette zone depuis l'été 2021 donc ce n'est probablement pas la gestion qui peut expliquer l'absence de Fadet dans cette zone. La mortalité à un stade entre l'œuf et l'imago pourrait être la raison de l'absence de papillon dans cette zone ; cette mortalité pourrait elle-même être due aux conditions météorologiques. Dans le cas où les conditions météorologiques expliqueraient la mortalité du Fadet, il est alors étonnant que certains papillons en dehors de la prairie à Molinie aient survécu. Ceci peut peut-être s'expliquer par le fait que le microclimat de la prairie à Molinie soit spécifique. La raison de la régression des Fadets dans cette zone reste donc assez floue. Cependant, il faut tout de même souligner que la présence du Fadet dans certaines zones est assez fluctuante et que son analyse n'est donc peut-être pas toujours pertinente. En effet, même si cette zone est celle qui abrite le noyau de population depuis plusieurs années, en 2021 seul 1 papillon y avait été observé et pour autant l'année suivante 10 individus y ont été observés.

3.1.3.9 Conclusion de la synthèse des inventaires et suivis du Fadet des Laïches à la tourbière de Lourdes depuis 2005

Le Fadet des Laïches fréquentait entre 2005 et 2012 les deux parties de la tourbière. Il est supposé que jusqu'aux années 2010 la population à la tourbière de Lourdes fonctionnait en métapopulation avec deux populations, une population dans la tourbière nord-est et une dans la tourbière centrale, qui échangeaient quelques individus au niveau de la zone de contact entre les deux parties de la tourbière. Cependant, les deux parties de la tourbière ont été séparées à cause de la progression des ligneux (Figure 33). Cette séparation par une frange de végétation plus haute a certainement rendu impossible tout passage de papillon d'une partie à l'autre, ayant pour conséquence la séparation en deux populations fermées.



Figure 33 - Photos aériennes de la zone boisée séparant les deux parties de la tourbière (de gauche à droite : Photo aérienne de 2001 par l'IGN, photo aérienne de 2017 par l'IGN et photo aérienne par le PLVG en juin 2020)

La population dans la partie nord-est de la tourbière était plus nombreuse que celle de la partie centrale jusqu'en 2014. Une légère diminution de la population du nord-est a commencé à être observée à partir de 2012. En 2014 lors de l'étude de la ponte de nombreux Fadets (60 individus) ont été observés dans la partie nord-est de la tourbière qui restait l'habitat le plus densément peuplé par les papillons. Cependant, en 2016 seuls 2 papillons ont été capturés lors de la CMR dans le nord-est de la tourbière. Il est compliqué de comparer ces deux chiffres mais cette chute drastique du nombre d'individus sur la partie nord-est est étonnante. D'autant plus qu'aucune pratique de gestion particulière n'a eu lieu entre 2014 et 2016. Cette chute se confirme en 2018 car le suivi de 2018 n'a permis d'observer que 3 individus dans la partie nord-est. Depuis 2018, 4 années de suivis ont eu lieu (2020, 2021, 2022 et 2023) sans aucune observation de Fadet des Laïches dans cette zone.

Plusieurs hypothèses ont été avancées pour expliquer cette chute drastique de population de la tourbière nord-est : un changement de la favorabilité de l'habitat, un été de 2016 particulièrement sec, un décalage phénologique des deux populations qui aurait conduit à rater le pic de vol de la population du nord-est ou un événement ponctuel de pollution ou braconnage. L'hypothèse la plus probable étant celle du changement de favorabilité du milieu, même s'il est étonnant que l'effet ait été aussi rapide et fort.

Il en est de même pour la partie sud-est de la tourbière qui accueillait jusqu'en 2012 des Fadets mais la zone a progressivement été isolée du reste de la tourbière et le milieu s'est refermé.

La CMR de 2016 a permis d'identifier un noyau de population important dans la zone de prairie à Molinie au sud-est de la partie centrale de la tourbière. Depuis 2016, et à l'exception de l'année 2023, la population était toujours présente dans cette zone (18 individus observés en 2020, 1 en 2021 et 10 en 2022). Cette zone a la particularité d'être ouverte et d'être recouverte de hauts touradons de Molinie. De plus, elle n'a subi que peu d'actions de gestion : il n'y a pas eu d'action de débroussaillage particulière et les animaux ont pu pâturer cette zone seulement entre 2010 et 2020. Cette zone est dorénavant une zone à préserver à tout prix pour conserver ce noyau de population qui y trouve refuge depuis quelques années. De plus, cette zone sera très intéressante à étudier pour comprendre quels sont les paramètres de l'habitat qui sont favorables au Fadet des Laïches.

3.1.4 Analyse de la présence du Fadet en fonction des conditions météorologiques

Les conditions météorologiques jouent un rôle important dans le cycle des lépidoptères ainsi que dans leurs activités quotidiennes. La température et le soleil direct permettent aux papillons de réchauffer leurs muscles alaires. Il est donc rare de voir voler un papillon avec une température inférieure à 14°C lorsque le ciel est dégagé et inférieure à 17°C par temps nuageux (Langlois & Gilg, 2007). Des températures trop élevées limitent aussi l'activité du Fadet des Laïches puisqu'il reste alors au repos posé à l'ombre (Caubet et al., 2019). Des vents forts (supérieurs à 30 km/h) et la pluie limitent fortement les déplacements des papillons qui se réfugient dans des zones abritées (Langlois & Gilg, 2007). On peut donc supposer que les conditions météorologiques ont une influence sur la dynamique de la population. En effet, à dire d'expert, la mauvaise météo est souvent utilisée pour justifier une année où la population est particulièrement faible.

Afin de tester l'impact des conditions météorologiques sur le Fadet des Laïches à la tourbière de Lourdes, les données de présence du Fadet (somme des IAA par transect) ont été comparées aux données météorologiques de l'année du suivi (N) et de l'année précédant le suivi (N-1). Ont été analysées les températures à 7h du matin, à 13h et à 19h ainsi que la pluviométrie des mois de mai, juin et juillet. A cause du décalage de phénologie, la météo de l'année 2022 n'a pas été analysée selon les mois de mai, juin et juillet mais plutôt selon les mois d'avril, mai et juin.

La somme des IAA par transect ne montre pas de relation significative avec les variables correspondant aux températures à 7h, 13h et 19h ni avec la pluviométrie du mois de mai ou de juin. Par contre, il existe une relation significative entre la pluviométrie du mois de juillet de l'année du suivi et la somme des IAA par transect ($R^2 = 0.639$, $df = 7$, $p\text{-value} = 0.010$) (Figure 34). La régression linéaire indique une corrélation positive donc plus la pluviométrie de juillet est élevée, plus l'IAA est élevée, c'est-à-dire plus il y a de Fadets observés. Cette corrélation est surprenante étant donné que l'activité du papillon est limitée lors des temps pluvieux. Il est possible que cette corrélation positive s'explique en partie par l'artefact lié au fait que lors d'une année pluvieuse, dès que le temps n'est pas pluvieux les papillons se déplacent plus et sont plus détectables lors des suivis par transects (qui ne sont fait que lorsqu'il ne pleut pas). Mais si on suppose qu'il existe un réel lien entre la pluviométrie et l'abondance du Fadet, ce lien pourrait s'expliquer par le fait que le Fadet des Laïches est un papillon dont l'habitat est humide donc les conditions plus humides lui sont favorables. En effet, une étude réalisée en Nouvelle-Aquitaine montre qu'il existe une corrélation positive significative entre l'humidité du sol (déterminée grâce aux coefficients d'Ellenberg de la végétation) et les indices d'abondance moyen du Fadet des Laïches

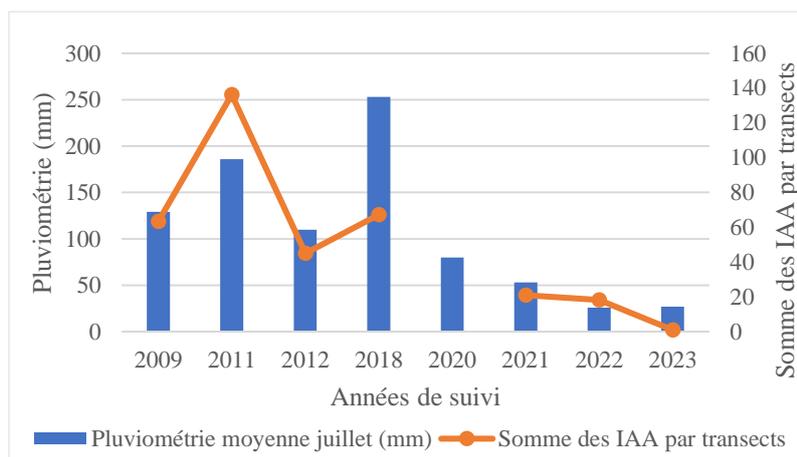


Figure 34 - Pluviométrie moyenne de juillet (en mm) et somme des IAA du Fadet par transect en fonction des années de suivi

(Bertolini et al., 2013). Actuellement, aucune étude ne montre l'effet positif de la pluviométrie sur les papillons de milieux humides. Une étude en Grande-Bretagne a montré au contraire que les papillons sont plus nombreux lorsque les précipitations de l'année en cours sont faibles, mais cette étude se base principalement sur des papillons de milieux prairiaux et sur aucun papillon de milieux humides (Roy et al., 2001).

Les données météorologiques de l'année précédant le suivi du Fadet des Laïches ont également été analysées par rapport à l'IAA. Une hypothèse était que la température et la pluviométrie de l'année N-1 jouent un rôle dans la reproduction du papillon qui aurait donc un effet sur la taille de la population de l'année N. Si une mauvaise météo se répète pendant toute la durée de vie des imagos on peut supposer que cela conduit logiquement à un succès de reproduction plus faible. Mais étonnamment aucune donnée météorologique de l'année N-1 ne s'est avérée significativement corrélée à l'IAA de l'année N. Cela ne signifie pas pour autant que la météo de l'année précédente ne joue pas un rôle dans le succès de la reproduction mais son influence est peut-être masquée par d'autres facteurs ou par la faible fiabilité des données. Dans la bibliographie, une étude réalisée en Grande-Bretagne montre des associations principalement positives entre la taille des populations de papillons britanniques et un été précédent chaud ainsi qu'avec un été précédent avec de fortes précipitations, mais cette étude se base plutôt sur les papillons de milieux prairiaux (Roy et al., 2001).

Une composante manquante dans l'analyse de l'effet de la météo sur la population du papillon est l'effet de la météo sur le succès de l'éclosion des œufs ainsi que sur la survie des larves. Il est possible que l'effet de la météo soit plus fort sur les œufs et les larves qui n'ont pas la capacité de se déplacer alors que les imagos peuvent se déplacer et donc éviter des conditions météorologiques mauvaises. Cependant, aucune étude n'a été réalisée sur le succès de l'éclosion des œufs ou sur la survie des larves de Fadet des Laïches car ceux-ci sont très difficiles à observer. Des études portant sur l'effet du changement climatique (et notamment sur l'augmentation des températures et des événements extrêmes tels que les sécheresses) sur le succès d'éclosion des œufs de lépidoptères a montré la vulnérabilité des œufs dont le succès d'éclosion dépend fortement de la chaleur et de l'humidité (Klockmann & Fischer, 2017).

3.2. RESULTATS DE L'ETUDE DES HABITATS FAVORABLES A LA REPRODUCTION DU FADET DES LAICHES

3.2.1 Synthèse de l'étude du comportement de ponte et de la reproduction du Fadet des Laïches sur la tourbière de Lourdes en 2014 par l'AREMIP

L'étude réalisée en 2014 par l'AREMIP permet d'obtenir des informations préliminaires sur les habitats de ponte du Fadet des Laïches à la tourbière de Lourdes (Parde, 2014). L'observation des pontes a été faite sur la partie nord-est de la tourbière, qui est la zone qui comptabilisait le plus d'observation de Fadets en 2014. Cette zone a la particularité d'être plus proche d'un bas-marais alcalin que d'une prairie à Molinie. En effet, la présence de Molinie y est moins forte que sur d'autres zones de la tourbière de

Lourdes et les conditions moins acides conduisent à une diversité d'herbacées plus grande. 7 pontes sur 5 localisations différentes ont pu être observées. Sur les 5 plantes utilisées pour pondre, 2 étaient la Molinie bleue (*Molinia caerulea*) et 3 étaient le Choin noirâtre (*Schoenus nigricans*). Dans tous les cas la Molinie bleue se trouvait à proximité du lieu de ponte. Ce n'est pas étonnant que les œufs soient pondus sur une plante autre de la plante hôte (qui est la Molinie bleue) car le choix de l'espèce sur laquelle est pondu l'œuf semble assez peu spécifique pour ce papillon et dépend plutôt de la plante majoritaire sur le site de ponte (Čelik et al., 2014). Les chenilles migrent ensuite dans presque tous les cas vers la Molinie pour s'en nourrir. Les observations de la feuille sur laquelle était pondu l'œuf ont montré que les œufs étaient pondus sur des feuilles vertes mais aussi sur des feuilles sèches donc la comestibilité de la feuille sur laquelle est pondu l'œuf ne semble pas être un critère. La végétation à proximité de la feuille de ponte était composée en moyenne de 41% de Molinie bleue (de 25 à 50) et 20% de Choin noirâtre (de 10 à 35%). D'autres espèces étaient également présentes sur certains des lieux de ponte, de façon décroissante en pourcentage de recouvrement : la Bruyère à quatre angles (*Erica tetralix*) avec 6.2% de recouvrement en moyenne, la Marisque (*Cladium mariscus*) avec 6%, l'Eupatoire chanvrine (*Eupatorium cannabinum*) avec 3.2%, puis avec un très faible recouvrement, l'Ossifrage (*Narthecium ossifragum*), la Cirse anglaise (*Cirsium dissectum*), la Bourdaine (*Frangula alnus*), l'Osmonde royale (*Osmunda regalis*) et la Salicaire (*Lythrum salicaria*). Concernant la litière, elle était présente dans 3 des 5 lieux avec un pourcentage de recouvrement de 20 et 30%, soit en moyenne à 11% de recouvrement. Enfin, la hauteur moyenne de la végétation autour des sites de ponte était de 91 cm (de 55cm à 128cm). La grande différence entre 55cm et 128cm amène à se demander si la hauteur de la végétation est réellement un critère pour le Fadet. En effet, une étude a montré que le Fadet des Laïches s'accommode aux différentes hauteurs de la végétation herbacée pour pondre ses œufs puisque la hauteur de ponte des œufs est significativement corrélée à la hauteur de la végétation (Čelik et al., 2014).

Il est difficile de tirer des conclusions de ces observations étant donné qu'on ne connaît pas les caractéristiques des habitats sur lesquels les Fadets n'ont pas pondus. On ne peut donc pas savoir si ces paramètres sont plus ou moins élevés que la moyenne sur tout le site.

En comparant les caractéristiques de l'habitat sur lequel le Fadet pondait sur la partie nord-est de la tourbière de Lourdes en 2014 avec l'habitat de la Lande de Ger où les Fadets prospèrent, on observe que les habitats sont assez différents. Les différences concernent la hauteur des touradons, le pourcentage de recouvrement en Molinie, la présence de litière et la diversité des espèces végétales autre que la Molinie. Par exemple, les lieux d'observation de Fadets sur la Lande de Ger présentaient tous un recouvrement en Molinie supérieur à 80% (contre 41% à Lourdes) et un pourcentage de recouvrement de litière toujours supérieur à 90% (contre 11% à Lourdes). Aussi, les espèces autres que la Molinie représentent en moyenne à Lourdes 43% mais seulement 31% à la Lande de Ger. La hauteur de la végétation est par contre similaire puisqu'elle est de 104cm en moyenne sur les placettes où étaient observés des Fadets à la Lande de Ger et de 91cm à Lourdes.

Suite à cette comparaison, on peut se demander si le choix du Fadet concernant ses habitats est si spécifique. Mais il faut prendre en compte le fait qu'il n'y a eu que 5 lieux de ponte observés sur la tourbière de Lourdes et qu'il est donc difficile d'en tirer des conclusions. Les deux sites semblent très différents car sur un site la Molinie domine fortement et dans l'autre non mais il suffit peut-être seulement de 25% de Molinie pour que l'habitat soit favorable à la reproduction du Fadet.

3.2.2 Résultats de la pré-étude de caractérisation des habitats favorables aux Fadets des Laïches à la Lande de Ger

La pré-étude de caractérisation des habitats favorables aux Fadets des Laïches a été mise en œuvre à la Lande de Ger le 12 et le 17 juillet 2023, aux alentours du pic de vol du papillon avec l'aide de Camille Chiray du PLVG, de David Soulet du CEN Occitanie et de 4 bénévoles de l'association Nature en Occitanie.

Sur les 31 variables environnementales relevées sur le terrain à la Lande de Ger, 10 variables ont été retirées avant l'analyse statistique car elles n'avaient pas permis suffisamment d'observations positives sur le terrain pour pouvoir être étudiées. Les variables suivantes étaient toutes égales à zéro sur toutes les placettes et ont donc été supprimées : le recouvrement en *Carex panicea*, en *Schoenus nigricans*, en *Potentilla erecta*, en *Erica cinerea*, en *Lythrum salicaria*, en *Phragmites australis* et le pourcentage de recouvrement des dicotylédones (sans compter les plantes nectarifères). D'autres variables ont aussi été retirées car elles étaient rarement non nulles, telles que le pourcentage de recouvrement en *Mentha sp.*, en *Narthecium ossifragum* et la présence/absence de sol nu. Une variable a été créée après la phase de terrain, celle du total de pourcentage de recouvrement des espèces nectarifères, en sommant les recouvrements de *Erica tetralix*, *Rubus sp.*, *Frangula alnus* en fleur, *Calluna vulgaris*, *Mentha sp.* et de *Narthecium ossifragum*. Au final, 22 variables environnementales ont donc été testées statistiquement.

La zone de la Lande de Ger sur laquelle a été réalisée la pré-étude est particulièrement moins diversifiée en espèces végétales que la tourbière de Lourdes. La Molinie est très dominante et les zones où sont présentes d'autres espèces sont surtout sur le pourtour des dépressions où l'eau stagne, ou en bordure des zones où l'eau est courante. De plus, la zone était assez homogène contrairement à la tourbière de Lourdes qui présente une diversité forte d'habitats à proximité les uns des autres. C'est pourquoi plusieurs paramètres se sont avérés être souvent nuls à la lande de Ger.

20 Fadets des Laïches ont été observés au total sur 9 des 26 placettes. 15 placettes n'ont pas fourni d'observation de papillon. Ceci conduit à avoir un échantillon statistique de présence assez faible et peut expliquer que peu de résultats se sont avérés significatifs.

Parmi les 22 variables environnementales testées, seule une variable montre un lien linéaire significatif avec le nombre de Fadets observés, il s'agit de la hauteur moyenne des espèces arbustives ($R^2 = 1.099$, $df = 24$, $p\text{-value} = 0.033$). Par « espèces arbustives » il est sous-entendu les ligneux de moins de 7m tels que les saules (*Salix sp.*), l'aulne (*Alnus glutinosa*) la bourdaine (*Frangula alnus*), ou encore la callune (*Calluna vulgaris*). Plus les espèces arbustives sont hautes, moins on observe de Fadets des Laïches. Un test de régression linéaire a également été réalisé en prenant en compte uniquement les observations de Fadets qui étaient posés sur la végétation (et non ceux en vol) car ceci est plus représentatif de la qualité de l'habitat. La hauteur de la strate arbustive est également significativement liée linéairement avec le nombre de Fadets posés ($R^2 = 0.526$, $df = 24$, $p\text{-value} = 0.044$). Les figures 35 et 36 présentent les représentations graphiques des deux régressions linéaires citées précédemment.

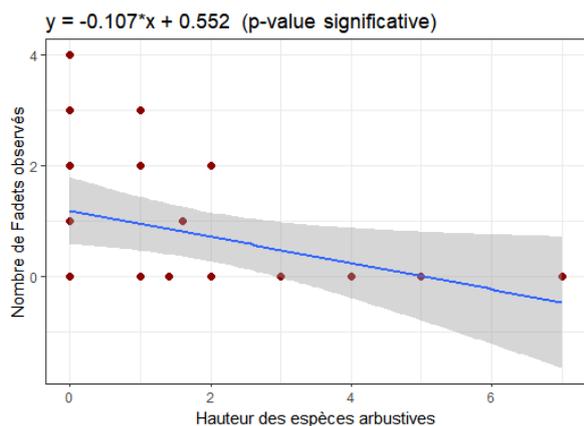


Figure 36 - Nombre de Fadets observés dans chaque placette pendant les 15 minutes d'observations en fonction de la hauteur moyenne des espèces arbustives

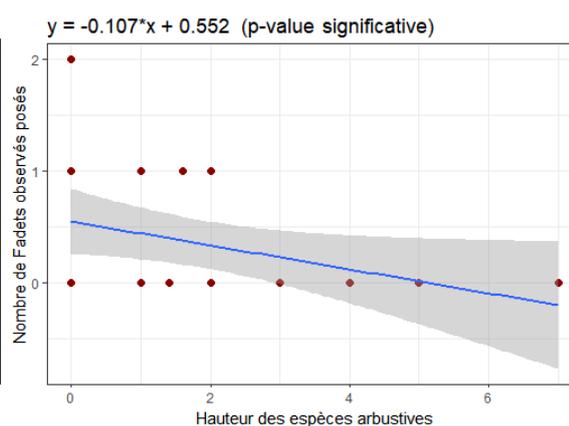


Figure 35 - Nombre de Fadets observés posés dans chaque placette pendant les 15 minutes d'observations en fonction de la hauteur moyenne des espèces arbustives

La variable du pourcentage de recouvrement en espèces arbustives ne présente pas de relation linéaire significative avec le nombre de Fadets observés ($p\text{-value} = 0.119 > 5\%$) par contre elle présente un lien

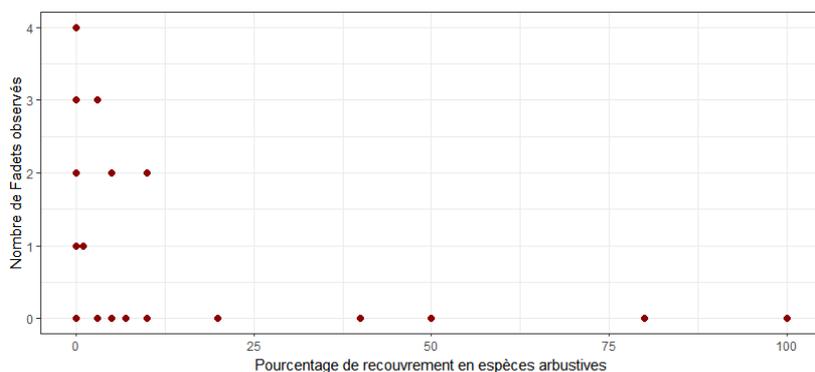


Figure 37 - Nombre de Fadets observés dans chaque placette pendant les 15 minutes d'observation en fonction du pourcentage de recouvrement en espèces arbustives

monotone négatif significatif avec le nombre de Fadets observés (Test de Spearman, Coef de corrélation = -0.456 , $p\text{-value} = 0.019$). Puisque la corrélation de Spearman ne repose pas sur un modèle, il n'est pas possible de la représenter graphiquement. La figure 37 présente donc uniquement le nuage de points.

Ces résultats de corrélation négative entre la hauteur moyenne et le recouvrement des espèces arbustives, et l'abondance du Fadet des Laïches sont en accord avec la bibliographie. La prolifération des jeunes ligneux (ainsi que du roseau) est citée comme type de dégradation du milieu en défaveur du Fadet (Čelik & Verovnik, 2010) même si une faible présence d'espèces arbustives semble être favorable puisque cela fournit au papillon un meilleur microclimat pour les étés chauds (Örvössy et al., 2013). En Slovénie et en Italie les sites sur lesquels sont pondus les œufs sont préférentiellement ceux ayant un pourcentage de recouvrement des buissons moins élevé (Čelik et al., 2014).

3.2.3 Création du protocole d'évaluation de la qualité des habitats pour la reproduction du Fadet des Laïches

Grâce à la pré-étude on peut retenir deux variables pour le protocole d'évaluation de la qualité des habitats pour la reproduction du Fadet sur la tourbière de Lourdes : la hauteur moyenne des espèces arbustives et le pourcentage de recouvrement. Une fois ces deux variables sélectionnées pour l'évaluation de la qualité des habitats, il faut définir les valeurs seuils des variables qui permettront d'attribuer une note de favorabilité.

- Hauteur moyenne des espèces arbustives (et de *Phragmites australis*)

Pour la hauteur des espèces arbustives, il a été décidé de considérer pour valeurs seuil d'un habitat favorable le point de croisement entre la ligne horizontale des abscisses où $y = \text{le nombre de Fadets observés} = 0$ et la ligne grise extérieure représentant l'incertitude de 5% autour de la droite de régression. Ce seuil correspond à la limite à partir de laquelle il est très probable, avec un risque de 5%, de rencontrer plus de 0 Fadet. De plus, une autre valeur seuil plus élevée correspondant à un habitat très favorable peut également être définie par le croisement entre la ligne horizontale où $y = \text{le nombre de Fadets observés} = 0.5$ et la ligne grise extérieure représentant l'incertitude de 5% autour de la droite de régression. Cette dernière valeur seuil correspond à une probabilité forte, au risque 5%, de rencontrer plus de 0.5 papillon. Pour la hauteur moyenne de la strate arbustive, les deux seuils seront donc 1m et 3m (Flèches orange sur les figures 38 et 39).

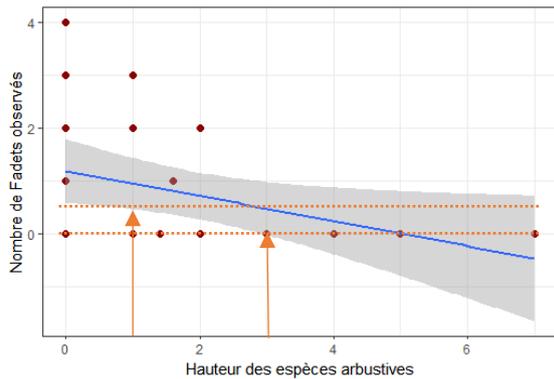


Figure 38 - Nombre de Fadets observés dans chaque placette pendant les 15 minutes d'observations en fonction de la hauteur moyenne des espèces arbustives

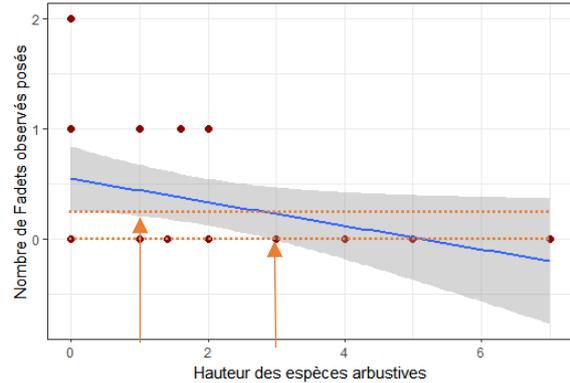


Figure 39 - Nombre de Fadets observés posés dans chaque placette pendant les 15 minutes d'observations en fonction de la hauteur moyenne des espèces arbustives

Pour cet indicateur, les roseaux (*Phragmites australis*) seront aussi pris en compte dans le calcul de la hauteur car même si ce ne sont pas des arbustes, et qu'ils n'ont donc pas les mêmes effets sur les conditions microclimatiques, ils représentent un obstacle au déplacement du Fadet à cause de leur hauteur. Par exemple dans la partie nord de la tourbière nord-est le roseau est très présent et la végétation est proche des 2 mètres ce qui rend le milieu fortement défavorable pour le Fadet.

- Pourcentage de recouvrement des espèces arbustives (et de *Phragmites australis*)

Pour le pourcentage de recouvrement des espèces arbustives, il est plus complexe de trouver comment définir les seuils étant donné qu'il n'y a pas de relation linéaire avec le nombre de Fadets observés mais seulement une corrélation. On observe sur la figure 40 qu'à partir de 10% de recouvrement, plus aucune placette n'a permis l'observation de papillon donc il a été choisi de sélectionner cette valeur comme seuil (ligne orange sur la figure 40).

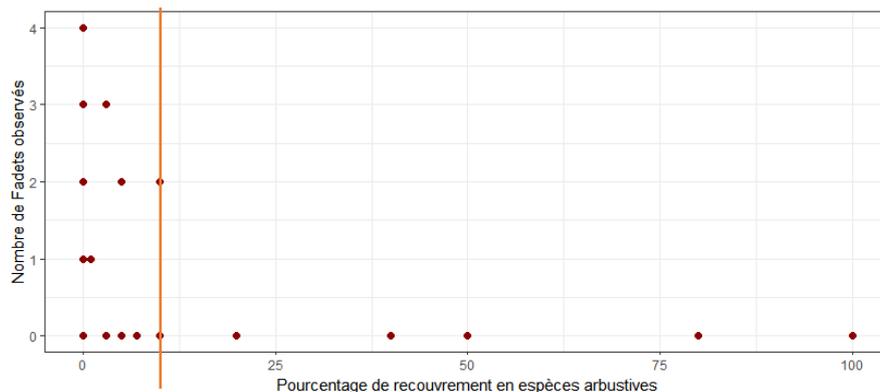


Figure 40 - Nombre de fadets observés dans chaque placette pendant les 15 minutes d'observation en fonction du pourcentage de recouvrement en espèces arbustives

Pour cet indicateur, les roseaux (*Phragmites australis*) seront aussi pris en compte dans le calcul du pourcentage de recouvrement des espèces arbustives, même s'il ne s'agit pas à proprement parler d'une espèce arbustive.

Dans le cadre de l'étude des populations de Nouvelle-Aquitaine par le CEN Nouvelle-Aquitaine, une étude des comportements du Fadet selon le pourcentage de fermeture du milieu et selon la hauteur de la végétation a été réalisée (Bertolini et al., 2013). Cette étude montre que pour des végétations de strate arbustive de 2m à 4m, les comportements de demi-tour vis-à-vis de cette végétation étaient fortement majoritaires (plus de 70% des comportements) au-delà de 50% de recouvrement de la strate arbustive. Entre 25 et 50% de recouvrement le comportement de contournement avait lieu dans 60% des cas et dans 10% des cas le Fadet faisait demi-tour. Ceci montre que lorsque la végétation de type arbustive est présente à plus de 25% les Fadets la traversent peu et ne passent pas souvent par-dessus mais la contournent ou font demi-tour. Un seuil de 25% a donc été ajouté.

Aucune autre variable testée lors de la pré-étude n'a montré de lien significatif avec le nombre de Fadets observés. Ceci est peut-être lié au fait que le Fadet ne soit pas un papillon avec des fortes préférences, et/ou lié au fait que l'hypothèse selon laquelle les imagos ne se déplacent jamais loin des habitats qui sont favorables à leur reproduction soit fautive, et/ou lié au fait que l'échantillon de la pré-étude était trop petit et ne permettait pas de réelles conclusions sur les préférences du papillon.

La grille d'évaluation de la qualité des habitats pourrait se limiter à seulement ces deux critères, mais il est dommage qu'aucun autre critère ne prenne en compte la strate herbacée, car même si elle ne s'est pas révélée corrélée à la présence de Fadet, celle-ci est importante. Par exemple, le critère « pourcentage de recouvrement de la Molinie bleue » n'a pas été validé par la pré-étude alors qu'une étude réalisée sur les populations de Nouvelle-Aquitaine a montré qu'il existe une relation monotone statistique significative entre le pourcentage de Molinie et l'indice d'abondance moyen des Fadets (Bertolini et al., 2013). Il est très probable que le fait que cette variable n'ait pas été significative lors de la pré-étude soit lié au fait qu'à la Lande de Ger l'habitat était très homogène concernant la Molinie.

Ainsi, en plus des deux indicateurs validés par la pré-étude, d'autres critères évoqués dans la bibliographie seront également ajoutés.

Choix des indicateurs selon la bibliographie

La sélection des indicateurs d'après la bibliographie s'est faite selon plusieurs exigences. Premièrement, l'étude citant le critère devait avoir réalisé un test de significativité et ne pas être uniquement basée sur une expérience ex-situ ou sur des dires d'experts. Ensuite, si plusieurs études différentes mentionnaient le critère, les résultats devaient être similaires. Enfin, le critère devait être applicable à la tourbière de Lourdes. Les critères retenus sont présentés ci-dessous.

- Le pourcentage de recouvrement en plante hôte : Molinie bleue, *Molinia caerulea*

Une étude bibliographique a été réalisée afin de déterminer quelles sont les plantes hôtes du Fadet des Laïches. La plante hôte étant l'espèce végétale qui constitue à la fois l'aliment et le lieu de croissance du papillon de la ponte vers un nouveau stade. Une confusion peut être faite entre plante hôte, et plante où les œufs sont pondus mais dont les larves ne se nourrissent pas. Par exemple, des œufs sont parfois pondus sur la Callune vulgaire mais les larves se déplacent ensuite toujours vers la Molinie bleue car elles ne se nourrissent pas de Callune (Bonelli et al., 2010).

Certaines espèces, comme le Choin noirâtre (*Shoenus nigricans*), les pâturins (*Poa sp.*), la Laïche panic (*Carex panicea*), la Laïche à pilules (*Carex pilulifera*) et la Canche cespiteuse (*Deschampsia caespitosa*)

ont été considérées comme des plantes hôtes suite à des expériences ex-situ (Bräu et al., 2010; LHONORÉ, 1998) mais aucune observation sur le terrain n'a jamais prouvé que les chenilles en consomment. Le Choin noirâtre, bien que très souvent cité dans la bibliographie, n'a pas été considéré comme plante hôte dans cette étude étant donné que seules des expériences ex-situ ont prouvé que la chenille se nourrit de cette plante. En enlevant toutes les espèces n'ayant pas de preuves assez fortes d'observation sur le terrain, seule la Molinie bleue et la Laïche panic semblent être des plantes hôtes du papillon. Sur la tourbière de Lourdes la Laïche panic n'a pas été observée récemment donc seule la Molinie bleue est considérée comme une plante hôte pour le Fadet à la tourbière de Lourdes.

Même si dans la pré-étude sur la Lande de Ger le test de régression linéaire et le test de Spearman entre le pourcentage de recouvrement de la Molinie bleue et le nombre de Fadets n'ont pas donné de relation

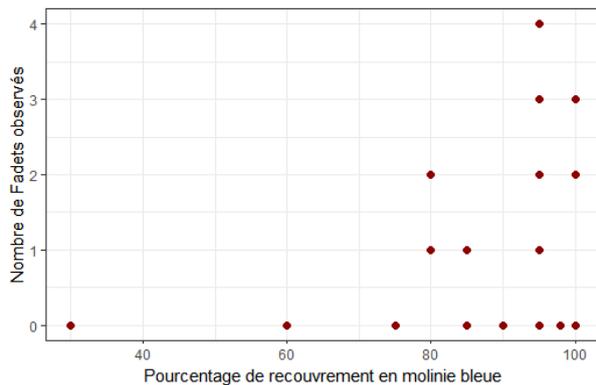


Figure 41 - Nombre de Fadets observés par placette pendant les 15 minutes d'observation en fonction du pourcentage de recouvrement en Molinie bleue

significative, on observe visuellement avec le nuage de point que plus le pourcentage de Molinie est élevé plus le nombre de Fadets est grand (Figure 41).

De plus, la bibliographie cite très souvent ce paramètre comme déterminant dans la favorabilité de l'habitat. Par exemple, l'étude portant sur les populations de Nouvelle-Aquitaine a permis d'établir un lien de corrélation positif entre le pourcentage de recouvrement en Molinie et l'abondance d'individus contactés (test de Spearman, p -value = 0.004) (Bertolini et al., 2013).

Cette même étude présente aussi le cas particulier plus détaillé du site du Massif des Landes de Gascogne et du site de la Double et de la Bessède. Pour ces deux sites, les résultats sont représentés sur la Figure 42. On voit qu'à partir de la classe de recouvrement 50-75 la probabilité d'observer un Fadet s'approche de 0.5 puisque le pourcentage de contacts positifs monte dans un cas à 40 et dans l'autre à 56%. La

valeur de 50% de recouvrement a donc été choisie comme valeur seuil pour cet indicateur. De plus, une valeur seuil plus basse, de 25% a été également choisie car dans le cas du massif des Landes de Gascogne il y a moins de 15% de contact positif de contact de Fadet des Laïches en dessous de 25% de molinie, puis à partir de 25% la pente de probabilité d'observation du papillon en fonction du recouvrement de Molinie change et devient plus élevée (ligne de pentes en vert sur la Figure 42).

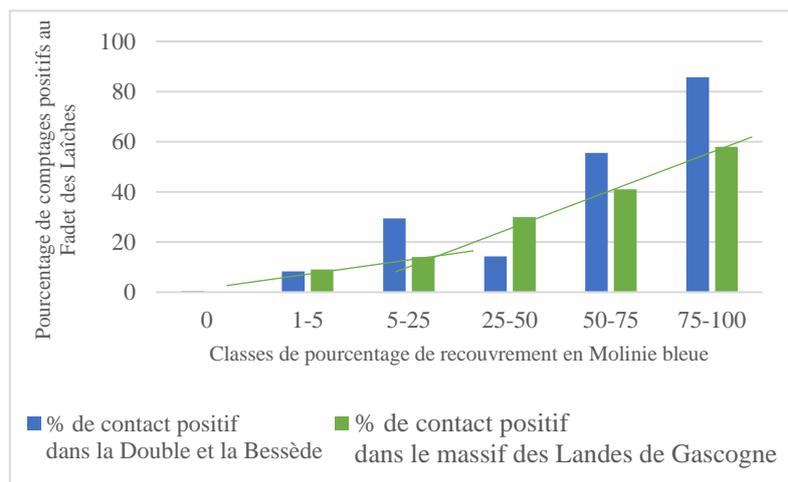


Figure 42 - Pourcentage de contacts positifs sur le site de la Double et la Bessède et sur le site du massif des Landes de Gascogne en fonction du pourcentage de recouvrement en Molinie bleue (Bertolini et al., 2013)

- Le pourcentage de recouvrement en Molinie bleue, *Molinia caerulea*, qui se trouve sous la forme de touradons

Une distinction est faite entre le pourcentage de Molinie et le pourcentage de Molinie en touradons car sur la tourbière de Lourdes (contrairement à la Lande de Ger) il existe des zones avec un fort recouvrement en Molinie mais dont seulement une très petite partie est en touradons. Ainsi, la capacité d'accueil pour la reproduction n'est pas du tout la même, même si la Molinie est présente. Le fait que la Molinie soit à certains endroits sous forme de tapis plutôt que de touradons est lié au fait que le battement de la nappe d'eau y est plus faible, que la présence d'une nappe d'eau affleurante est moins courante et que le piétinement par les animaux est plus fort.

La présence de touradons est indispensable pour le cycle de vie des chenilles du papillon puisqu'elles utilisent la touffe de Molinie pour s'enfouir pendant l'hiver et pour monter et descendre selon le niveau d'eau de la tourbière (Lhonoré & Lagarde, 1999). Une étude réalisée en Hongrie a montré une corrélation significative entre la surface couverte par des touradons et la densité de population des Fadet (Örvössy et al., 2013). Cependant, cette étude ne précise pas les données brutes derrière ces affirmations. Il n'est donc pas possible d'établir une valeur seuil à partir de cette étude. Sans données de valeurs disponibles dans la bibliographie, il a été décidé de considérer la présence/absence de touradons de Molinie. Mais étant donné l'incertitude concernant les valeurs seuils de cet indicateur, un poids plus faible qu'aux autres indicateurs est appliqué, c'est pourquoi les notes pour cet indicateur vont seulement de 0 à 1 et non de 0 à 2.

Lors de la phase de terrain sur la tourbière de Lourdes, la Molinie a été considérée comme « Molinie en touradon » dès qu'elle présentait une structure sous forme de touffe dont la surface est supérieure à la surface du sol de quelques centimètres. En règle générale, le terme « touradon » est utilisé pour décrire une structure en touffe de plus de 40 cm de hauteur (*Définition de Touradon*, s. d.) mais il a été ici décidé de considérer que la Molinie est en touradon même si la touffe est inférieure à 40 cm. Sur la tourbière de Lourdes de nombreuses touffes de Molinie sont inférieures à 40 cm (probablement à cause du pâturage) mais pourraient tout de même permettre de remplir la fonction d'accueil pour la reproduction du Fadet des Laïches.

- Pourcentage de recouvrement par la litière

La litière désigne ici la couche de végétaux morts plus ou moins dégradés présents sur le sol. Le pourcentage de recouvrement par la litière était élevé sur quasiment toute la zone étudiée sur la Lande de Ger (91 % en moyenne), il était donc plus complexe d'observer une corrélation. En revanche, sur la tourbière de Lourdes le pâturage a conduit à ce que la litière soit beaucoup moins présente et de façon plus hétérogène. Une étude réalisée en Hongrie a démontré que la présence de litière est significativement corrélée positivement avec la taille de la population des papillons (Örvössy et al., 2013). Une autre étude synthétisant les données de préférences d'habitats en Allemagne, Italie et Slovénie a conclu que le pourcentage de litière est significativement plus élevé dans les zones où les larves se trouvent (Čelik et al., 2014). Pour ces 3 pays en dessous de 20% de litière aucune larve de Fadet n'était observée. La valeur de 20% de recouvrement a donc été choisie comme une valeur de seuil pour cet indicateur.

- Pourcentage de sol visiblement perturbé

En prenant exemple sur les indicateurs utilisés dans les études de l'état de conservation, des indicateurs d'altération peuvent être pertinents. Dans le cas de tourbières pâturées ou très fréquentées par l'Homme, des zones peuvent être dénaturées et le sol mis à nu. Les raisons de ces dégradations du sol à la tourbière de Lourdes peuvent être le surpiétinement par l'Homme, par les machines (telles que le quad utilisé pour

le déboisement en 2010) ou par les bêtes qui pâturent. Dans ces zones, aucune végétation ne pousse, non pas car les conditions ne sont pas favorables, mais uniquement à cause de perturbations. Même si le piétinement en lui-même n'a aucun effet sur le Fadet, il modifie le milieu et limite localement la croissance de la végétation. Une placette où l'habitat est de bonne qualité pour la reproduction du Fadet mais dont 20% de la surface est dégradée (par exemple par piétinement) devrait avoir une note de qualité plus faible afin d'alerter sur la situation d'altération en cours. La valeur seuil choisie est de 10% car il s'agit du seuil habituellement utilisé dans les études de l'état de conservation des prairies à Molinie (Maciejewski et al., 2013).

- Autres variables non sélectionnées

D'autres caractéristiques de l'habitat sont considérées dans certaines études comme favorables mais n'ont pas été sélectionnées pour l'évaluation des habitats. Les raisons pour lesquelles ces indicateurs n'ont pas été sélectionnés sont résumées dans le tableau en annexe 1.

Grille d'évaluation finale

Le tableau 2 présente les indicateurs et seuils sélectionnés pour le protocole d'évaluation de la qualité des habitats pour la reproduction du Fadet des Laïches.

N'ayant pas de certitudes sur quel indicateur est le plus important pour le Fadet des Laïches, le choix a été fait de donner le même poids à tous les indicateurs, sauf pour le pourcentage de recouvrement par les touradons.

Tableau 2 - Paramètres, indicateurs et seuils retenus pour l'évaluation de la qualité des habitats pour la reproduction du Fadet des Laïches à la tourbière de Lourdes

Paramètre	Indicateur	Source de l'indicateur	Seuils	Note	Source des valeurs seuils
Espèces arbustives	Pourcentage de recouvrement des espèces arbustives (et de <i>Phragmites australis</i>)	(Bertolini et al., 2013; Čelik et al., 2009, 2014; Čelik & Verovnik, 2010)	=<10% favorable	2	Pré-étude à la Lande de Ger
			Entre 10 et 25% peu favorable	1	
			>= 25% défavorable	0	
	Hauteur moyenne des espèces arbustives (et de <i>Phragmites australis</i>)	(Bertolini et al., 2013)	=< 1m favorable	2	Pré-étude à la Lande de Ger
Entre 1 et 3m peu favorable	1				
>= 3m défavorable	0				
Plante hôte	Pourcentage de recouvrement de la Molinie bleue, <i>Molinia caerulea</i>	(Bertolini et al., 2013; Čelik et al., 2014)	>= 50% favorable	2	(Bertolini et al., 2013)
			Entre 25 (inclus) et 50 % peu favorable	1	
			=< 25% défavorable	0	
	Pourcentage de recouvrement par les touradons	(Örvössy et al., 2013)	Présence : > 0 % favorable	1	Pas de source pour les valeurs seuils
Absence : = 0% défavorable	0				
Litière au sol	Pourcentage de recouvrement par la litière	(Bräu et al., 2010; Čelik et al., 2014; Örvössy et al., 2013)	>20% favorable	2	(Čelik et al., 2014)
			=<20% défavorable	0	
Altérations de l'habitat	Pourcentage de sol visiblement perturbé	(Maciejewski et al., 2013)	< 10% favorable	2	(Maciejewski et al., 2013)
			>=10% défavorable	0	

La somme des notes de tous les indicateurs conduit à une note finale sur 11 points. Il n'est pas possible de déterminer à partir de quelle note on peut affirmer que l'habitat est suffisamment favorable pour accueillir la reproduction du Fadet des Laïches. Les notes servent à comparer les zones entre elles ainsi que les zones entre les différentes années plutôt qu'à déterminer de façon binaire si oui ou non l'habitat est favorable puisqu'il s'agit plutôt d'une continuité entre peu favorable et très favorable.

3.2.4 Application du protocole d'évaluation des habitats pour la reproduction du Fadet des Laïches

L'application du protocole d'évaluation sur la tourbière de Lourdes doit être réalisable en seulement une demi-journée voir une journée maximum par la chargée de mission Natura 2000 car ce protocole a pour objectif d'être réalisé tous les ans donc il doit être rapide. Ainsi, la zone étudiée ne peut pas être les 16 hectares de la tourbière. Il a été décidé de réaliser une première étude des zones qui sont potentiellement favorables, c'est-à-dire des zones qui présentent de la Molinie en touradons. Le but étant d'exclure de l'étude d'évaluation des habitats les zones sans Molinie en touradons qui ne seront donc jamais favorables au Fadet.

Protocole de cartographie des zones potentiellement favorables à la reproduction du Fadet des Laïches

Sur toute la surface de la tourbière, les 214 polygones d'habitats homogènes (issus de la cartographie des habitats d'intérêt communautaire réalisée en 2020 et en 2012) ont été parcourus et pour chacun des polygones le pourcentage de recouvrement de la Molinie, la hauteur moyenne de celle-ci, ainsi que le pourcentage de la Molinie qui se trouve en touradon ont été relevés. Ces 214 polygones d'habitats homogènes sont ceux représentés en vert et orange sur la Figure 43. L'annexe 2 présente le résultat de cette campagne de terrain, et plus précisément les cartographies de pourcentage de recouvrement de la Molinie et de pourcentage de recouvrement des touradons sur toute la tourbière. Suite à cette étape de prospection de terrain, les polygones ont été classés en potentiellement favorables s'ils présentaient plus de (ou exactement) 25% de recouvrement de Molinie et plus de 0% de recouvrement par des touradons.

Le seuil de 25% de recouvrement de Molinie a été choisi d'après une étude réalisée en Nouvelle-Aquitaine sur le site du massif des Landes de Gascogne qui analysait le nombre de contacts positifs et négatifs en fonction des classes de recouvrement de Molinie (Bertolini et al., 2013). Cette étude montre qu'en dessous de 25% de recouvrement de Molinie il y a moins de 15% de contact positif de contact de Fadet des Laïches puis à partir de 25% la pente de probabilité d'observation du papillon en fonction du recouvrement de Molinie change et devient plus élevée (Figure 42). Le seuil de 0% de touradons, c'est-à-dire la présence de touradon, a été choisi car les touradons sont indispensables pour le cycle du papillon puisque les larves ont besoin des touradons pour hiverner (Bensettiti & Gaudillat, 2002). Cependant aucune information concernant une valeur seuil pour les touradons n'existe dans les études donc il a été choisi de raisonner uniquement en présence/absence.

Résultant de ce travail préalable, les polygones considérés comme potentiellement favorables sont ceux représentés en vert sur la figure 43. Ces polygones seront ceux utilisés pour l'évaluation de la qualité des habitats pour la reproduction du Fadet des Laïches.

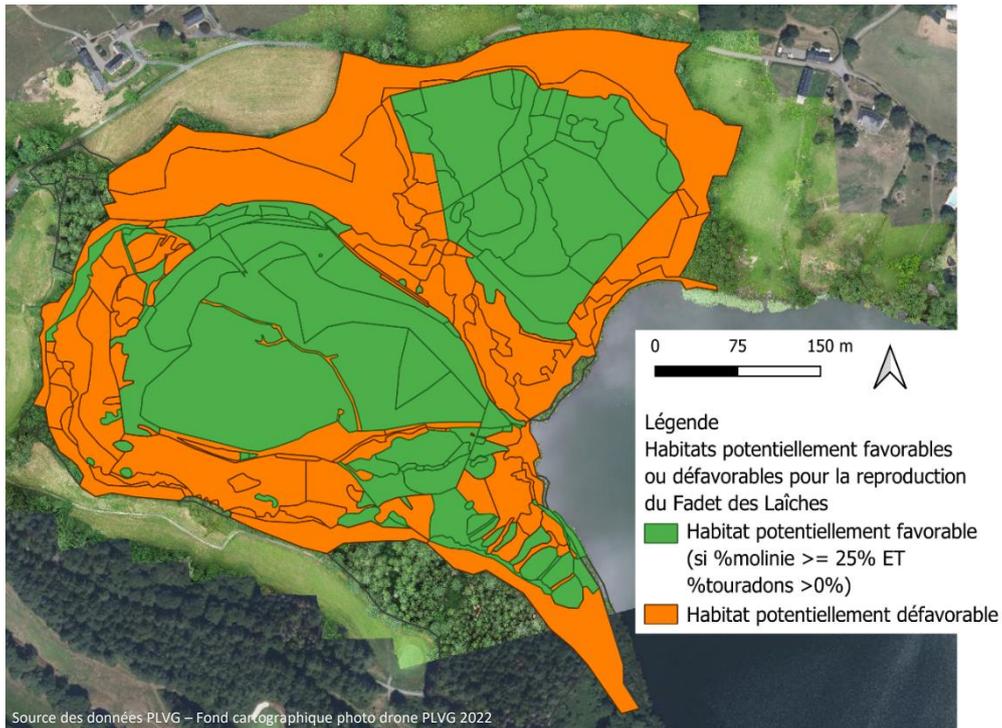


Figure 43 - Cartographie des polygones d'habitats homogènes de la tourbière potentiellement favorables ou défavorables pour la reproduction du Fadet des Laïches

Plan d'échantillonnage pour l'évaluation de la qualité des habitats pour la reproduction du Fadet des Laïches

Les polygones d'habitats potentiellement favorables sont au nombre de 103, ce qui est encore beaucoup trop pour pouvoir être chacun évalué individuellement en une journée de terrain. Les polygones ont donc été agrégés en zones de plus grandes surfaces. Le but du protocole d'évaluation étant notamment d'évaluer l'effet des pratiques de gestion sur la tourbière, il paraît intéressant d'étudier des polygones de gestion homogène. Ainsi, 10 zones de gestion et végétation homogènes ont été tracées (Figure 44).

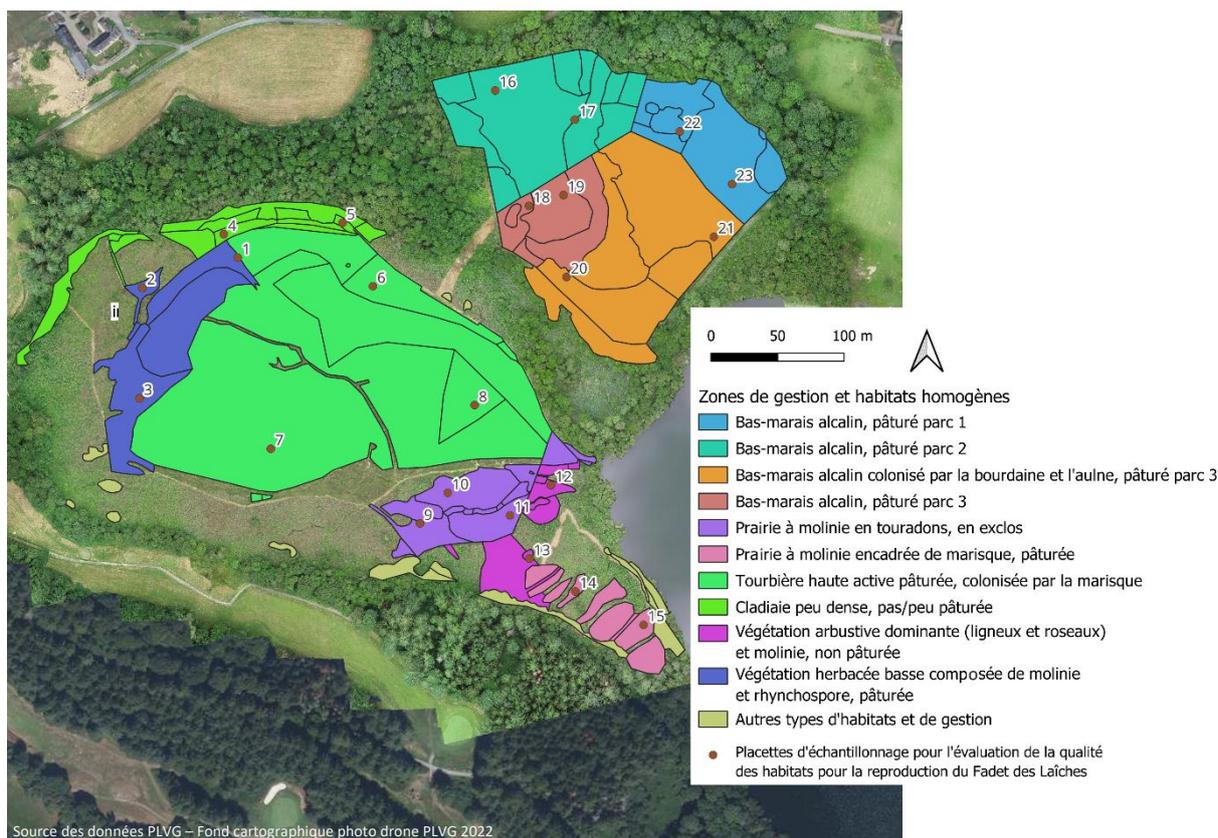


Figure 44 - Cartographie des zones de gestion et d'habitats homogènes à la tourbière de Lourdes et des placettes d'échantillonnage pour l'évaluation de la qualité des habitats pour la reproduction du papillon

Deux ou trois placettes ont été placées aléatoirement dans chacune de ces zones selon leurs surfaces. Les petits polygones (en beige sur la figure 44) ne faisant partie d'aucune des zones homogènes : ils ne pourront pas être évalués.

Relevés des variables environnementales sur le terrain et calculs des notes

Sur chaque placette sont relevés les 6 variables environnementales correspondant aux indicateurs de qualité : hauteur moyenne des espèces arbustives (et de *Phragmites australis*), pourcentage de recouvrement des espèces arbustives (et de *Phragmites australis*), pourcentage de recouvrement de la Molinie bleue, pourcentage de recouvrement par les touradons, pourcentage de recouvrement par la litière, pourcentage de sol visiblement perturbé.

Une fois les données récoltées, chaque placette reçoit une note d'après la grille de notation détaillée dans le Tableau 2. Pour chacune des zones d'habitat et gestion homogène, la moyenne des notes des 2 ou 3 placettes de la zone correspond à la note finale de la qualité de l'habitat pour la reproduction du Fadet des Laïches de la zone.

3.2.5 Résultat de l'évaluation des habitats pour la reproduction du Fadet des Laïches à la tourbière de Lourdes

Le protocole a été appliqué sur la tourbière de Lourdes le 10 août 2023. Le tableau des données brutes des calculs des notes se trouve en annexe 3.

La Figure 45 présente les résultats de l'évaluation des habitats pour la reproduction du Fadet des Laïches à la tourbière de Lourdes.

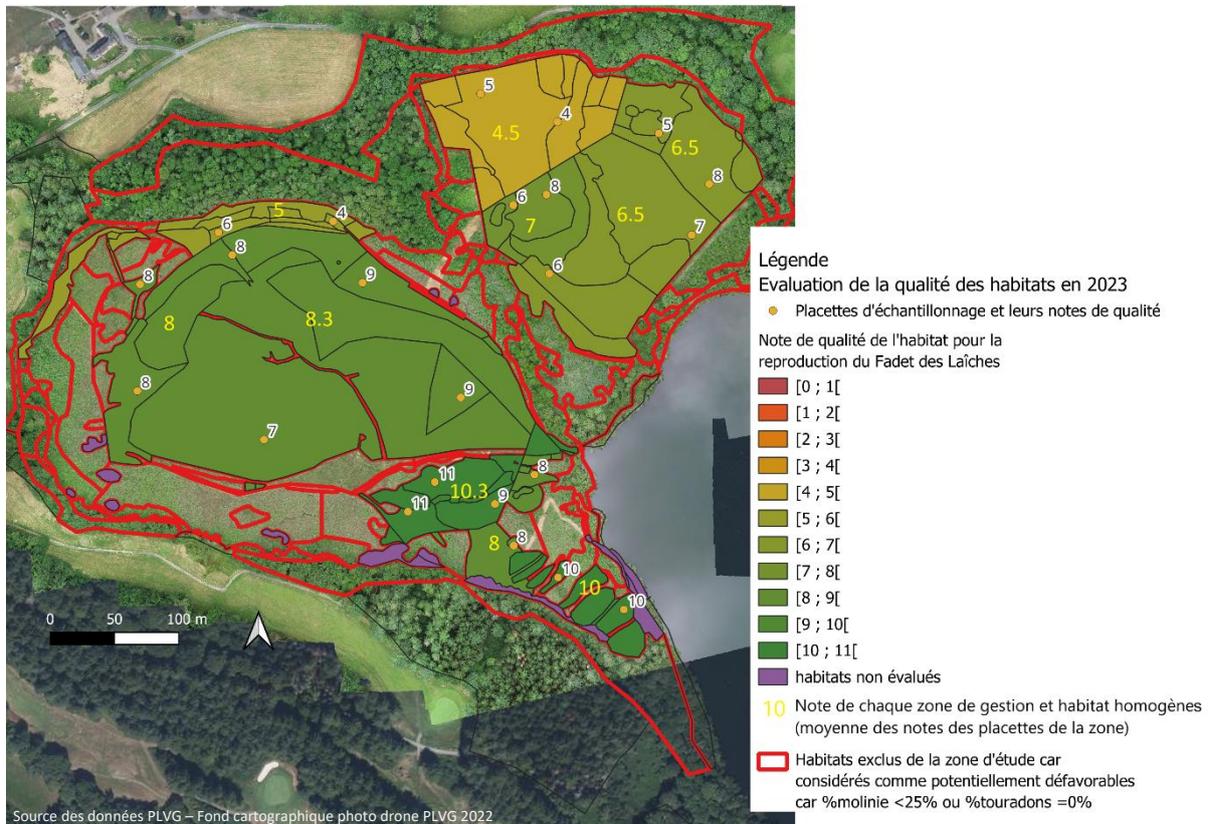


Figure 45 - Cartographie résultats de l'évaluation de la qualité des habitats pour la reproduction du Fadet des Laïches en 2023

Les zones de meilleure qualité (notes supérieures ou égales à 10) sont la prairie à Molinie en touradons au sud-est de la tourbière centrale ainsi que les petits patches de prairies à Molinie entourés de cladiaie au niveau de l'extension sud-est de la tourbière. La prairie à Molinie en touradons est en effet une zone qui ressemble particulièrement à l'habitat préférentiel du Fadet et en pratique il s'agit bien de la zone qui abrite depuis quelques années le plus de Fadets (sauf en 2023). Quant aux patches de Molinie au sud-est, ceux-ci présentent un habitat avec des caractéristiques adaptées pour la reproduction du Fadet cependant chacun des patches est enclavé entre des franges de cladiaie et l'ensemble de la zone est déconnectée du reste de la tourbière par une zone fortement refermée. Donc, même si cette zone apparaît de bonne qualité, des actions de gestion doivent être menées pour permettre aux Fadets d'accéder à la zone.

La tourbière nord-est obtient des notes entre 4.5 et 7 à cause principalement de la présence de ligneux. On distingue que la zone de meilleure qualité est celle à l'ouest du parc 3 (parc au sud de la tourbière nord-est) car cette zone ayant été traitée en tire-sève récemment, les espèces arbustives y sont donc moins présentes. Le parc 2 (parc au nord-ouest de la tourbière nord-est) obtient une moins bonne note à cause du peu de litière au sol, ce qui est probablement lié au fait qu'il est pâturé depuis quelques années, et à cause de la présence de ligneux hauts.

La partie centrale obtient la note de 8, ce qui est plutôt favorable, mais limité en raison du peu de litière au sol dans sa partie nord (probablement à cause du pâturage) et de la présence d'espèces arbustives avec un recouvrement de plus de 25% sur sa partie centrale.

La cladiaie au nord de la partie centrale possède des touradons de Molinie fonctionnels mais la présence de ligneux et le peu de litière au sol limitent la favorabilité du milieu et conduisent à une note assez faible de 5.

Le résultat de l'évaluation de la qualité correspond fortement aux observations sur le terrain lorsqu'était évalué à dire d'expert de façon informelle la qualité de l'habitat pour le Fadet des Laïches. Par rapport à l'évaluation à dire d'expert, le protocole a pour intérêt de se baser sur des critères quantifiables dont la variation peut être évaluée dans le temps. Cette évaluation va également permettre de proposer des recommandations de gestion adaptées et localisées selon les zones et leur évaluation de favorabilité.

4. LES LIMITES DES ETUDES

Les deux études présentées précédemment possèdent plusieurs limites à prendre en compte dans l'appréciation des conclusions du rapport. Les limites permettent également de réfléchir à des pistes d'améliorations pour de prochaines études sur le sujet.

Premièrement, les résultats de l'étude de la dynamique spatiale et temporelle de la population proviennent de l'analyse des inventaires et suivis du Fadet des Laïches réalisés depuis 2005 à la tourbière de Lourdes. Or, ces suivis ont été mis en œuvre par 3 structures différentes et bien plus d'observateurs. La comparaison entre les années où les observateurs et leurs méthodes étaient différents est donc complexe. Aussi, le Fadet n'est pas repérable à 100% donc selon l'effort fourni dans la recherche du papillon les résultats peuvent être très différents. En théorie, pour les recensements par transect d'espèces animales, l'hypothèse majeure est que la détection des individus soit de 100% (Besnard & Salles, 2010). Dans le cas des espèces non détectables à 100%, le type de suivi recommandé est plutôt le « Distance Sampling » (qui consiste à relever tous les individus observés en notant leur distance à l'observateur), la CMR ou les méthodes d'« Occupancy » (qui consistent à prospecter plusieurs fois dans la saison de terrain un grand nombre de sites en notant la présence ou absence de l'espèce) (Besnard & Salles, 2010). Ces méthodes permettent de limiter le biais lié au fait que certains individus ne soient pas détectés. Cependant, ces méthodes présentent d'autres contraintes, par exemple la méthode de « Distance Sampling » nécessite de posséder des télémètres lasers, quant à la CMR, cette méthode est plus impactante pour le papillon et nécessite une demande de dérogation espèce protégée. La méthode de suivi par transects reste la plus simple et peu impactante mais il est important de veiller à ce que les observateurs aient les mêmes consignes concernant l'effort de recherche du papillon.

Aussi, les analyses de l'étude de la dynamique spatiale et temporelle de la population portent sur peu de suivis et peu d'observations de Fadets des Laïches. En effet, seules 7 années de suivis par transects sont exploitables, ce qui est assez faible pour réaliser des analyses et des tests statistiques. Concernant les 4 dernières années de suivi par transects, les effectifs de papillons observés étaient faibles (moins de 25 individus) donc l'analyse du comportement de ces individus n'est pas statistiquement très fiable. Les conclusions de l'analyse sont donc à nuancer et nécessiteraient des études plus poussées sur de plus gros échantillons statistiques.

De plus, cette étude porte peu sur l'effet des pratiques de gestion sur la présence du papillon car les données ne permettent pas cette analyse. Le fait qu'il n'existe pas de zones témoins a pour conséquence que des conclusions sur l'effet d'une pratique de gestion entre deux années n'est pas possible car on ne peut pas différencier si la différence de population entre les deux années est l'effet de la pratique de gestion ou simplement l'effet de paramètres environnementaux plus larges (comme la météo). Afin de réaliser une réelle étude de l'impact d'une action de gestion sur une population, il est nécessaire d'utiliser

un protocole de type protocoles BACI « Before-After Control Impact », qui sont des protocoles d'échantillonnage spécifiquement conçus pour étudier l'impact de perturbation et de mesures de gestion (Besnard & Salles, 2010).

La population de Fadets des Laïches est en train de régresser progressivement, or la dynamique d'une population en cours d'extinction est très particulière. Il se peut que dans le cas où l'extinction soit proche, la dynamique de population ne suive plus vraiment d'autre loi que la décroissance. Il est très probable qu'à la tourbière de Lourdes la taille de la population soit inférieure à la population minimum viable. Ainsi, la consanguinité et la dérive génétique sont fortes. Or, il a été prouvé que la consanguinité peut être une des causes d'extinction de population pour les papillons. Une étude a été réalisée sur la Mélitée du plantain (*Melitaea cinxia*) sur les îles Aland et a permis de démontrer que l'effet de la consanguinité n'est pas négligeable par rapport à d'autres effets par des facteurs environnementaux (Saccheri, 2018). Ainsi, l'analyse de la dynamique de population est peut-être trop tardive et ne reflète que l'extinction inéluctable de la population.

Quant à l'étude des habitats favorables, il faut rappeler que la qualité de l'habitat n'est pas le seul paramètre responsable de l'état de la population de Fadets des Laïches. Il ne faut en effet pas négliger d'autres paramètres comme les conditions météorologiques (influencées par le changement climatique), la diversité génétique de la population ou encore des perturbations externes causées par l'Homme sur la tourbière ou sur son bassin-versant, qui ont aussi une influence sur la dynamique de population du papillon.

Ensuite, la pré-étude qui visait à valider sur le terrain les corrélations entre la présence du Fadet et les variables environnementales n'a pas été aussi concluante que prévue car l'habitat étudié à la Lande de Ger était relativement homogène et car le papillon a été observé sur peu de placettes. De plus, l'hypothèse selon laquelle l'imago ne se déplace jamais loin des lieux favorables pour sa reproduction est peut-être une hypothèse trop forte. L'étude des habitats sur lesquels sont pondus les œufs ou sur lesquels se trouvent les chenilles serait plus pertinente mais compliquée à mettre en œuvre. Aussi, le fait que la pré-étude soit réalisée sur la Lande de Ger et pas directement sur la tourbière de Lourdes rajoute un biais. Ce biais est lié au fait que les deux sites ont des végétations assez différentes et que les populations n'ont donc sûrement pas exactement les mêmes exigences.

Concernant le protocole d'évaluation de la qualité des habitats, une limite importante de l'application du protocole réside dans les zones évaluées et dans l'effort d'échantillonnage. Etant donné la nécessité de rapidité d'application du protocole en un jour maximum, il n'est pas possible d'évaluer chacun des polygones de végétation homogène donc ceux-ci doivent être agrégés en plus grandes zones qui sont par conséquent relativement hétérogènes. Afin de prendre en compte que chaque zone est hétérogène, plusieurs placettes ont été placées dans chacune des zones et la moyenne est faite entre ces placettes mais leur nombre par zone (2 ou 3) reste assez faible pour refléter l'hétérogénéité des milieux.

5. DISCUSSION

Pour conclure, la synthèse des différents suivis du Fadet des Laïches à la tourbière de Lourdes réalisée dans le cadre de l'étude spatiale et temporelle de la population a permis de mettre en regard tous les inventaires et suivis réalisés depuis 2005 et de tirer plusieurs conclusions concernant la dynamique spatiale et temporelle de la population.

D'abord, la phénologie du Fadet des Laïches à la tourbière de Lourdes a fortement varié depuis 2009, puisque le premier imago est observé de plus en plus tôt chaque année et que la période de vol est raccourcie chaque année. Il semblerait que la période de vol avancée soit liée au changement climatique qui provoque des températures élevées plus tôt dans la saison et donc un avancement du cycle de vie du papillon. Le raccourcissement de la période de vol serait quant à lui lié au fait que la taille de la population diminue ce qui condense l'émergence des imagos aux mêmes périodes en limitant la probabilité d'individus précoces ou tardifs. Ces deux conclusions de modification de la phénologie sont problématiques puisque cela augmente la vulnérabilité de l'imago vis-à-vis des conditions climatiques qui peuvent être très variables en juin et juillet et cela rend la réussite de la reproduction plus aléatoire.

Ensuite, la conclusion la plus préoccupante est que le Fadet des Laïches est en forte régression sur la tourbière de Lourdes. En effet, l'analyse des IAA montre une tendance globale significativement décroissante. Plus localement, certains transects subissent une décroissance forte : le transect D au centre de la partie nord-est et le transect A au nord de la partie centrale. Il existe probablement plusieurs facteurs qui sont responsables de ce déclin et les hypothèses sont nombreuses mais difficiles à tester. Les hypothèses concernant les facteurs qui pourraient être responsables du déclin de la population sont les suivantes : diminution de la qualité de l'habitat liée à la dynamique naturelle du milieu, diminution de la qualité de l'habitat à cause des actions de gestion, augmentation de la prédation à cause des actions de gestion, impact des activités humaines sur la tourbière et son bassin versant, isolement démographique et génétique de la population et impact du changement climatique.

Avant 2016 on pouvait supposer qu'il y avait 2 groupes d'une même métapopulation, un sur la partie centrale et l'autre sur la partie nord-est, qui échangeaient quelques individus grâce au couloir entre les deux parties de la tourbière. Cependant, la fermeture du couloir entre les tourbières a probablement conduit à empêcher l'échange entre les populations et à séparer ces 2 groupes en 2 populations isolées. La population du nord-est de la tourbière a vu sa taille fortement chuter à partir de 2016 et semble être éteinte depuis 2018. La fermeture du milieu dans la partie nord-est malgré les actions de débroussaillage est l'hypothèse qui semble la plus probable pour expliquer cette extinction de la population. La population de la partie centrale de la tourbière est présente principalement dans une zone de Molinie enclavée dans la cladiaie au sud-est de la tourbière centrale ainsi que plus sporadiquement au niveau des zones de transition entre la cladiaie et la tourbière haute dégradée. La population de la partie centrale semblait plutôt stable entre 2009 et 2022 mais les observations très faibles de 2023 (3 individus observés) laissent à penser qu'il est possible que la population de la partie centrale s'éteigne prochainement.

L'habitat préférentiel du Fadet des Laïches sur la tourbière de Lourdes correspond à des habitats de tourbières hautes actives, de dépressions sur substrats tourbeux du Rhynchosporion ou de prairies à Molinie. Concrètement, il s'agit de zones tourbeuses ouvertes présentant de la Molinie (en touradon ou non). Les grandes zones de tourbière haute dégradée homogène au centre de la tourbière n'attirent pas de papillons ; seules les zones mélangées en bordure sont peuplées. L'hétérogénéité permet au papillon d'être plus protégé et de bénéficier de microclimats plus variés. De la même manière, les actions de gestion qui créent de l'hétérogénéité (action de débroussaillage, de fauche en mosaïque, de pâturage extensif localisé) ont été observées comme étant favorables au Fadet.

L'effet de la météo sur l'abondance du Fadet des Laïches à la tourbière de Lourdes n'a pu être mis en évidence que concernant la pluviométrie de l'été en cours. La pluviométrie du mois de juillet a été démontrée comme corrélée positivement à la présence de Fadets. On peut expliquer cela par le fait que le Fadet soit un papillon inféodé aux milieux humides et que sa dynamique de population soit stimulée par des conditions d'humidité plus élevées. Cependant, il faut nuancer cette corrélation car celle-ci est probablement en partie liée à un artéfact des suivis qui sont réalisés uniquement lorsqu'il ne pleut pas.

Pour conclure, la population de Fadets des Laïches se porte mal sur le site de la tourbière de Lourdes. Il n'est pas évident de comprendre les causes responsables de ce déclin, mais la modification de son habitat (due à la dynamique de végétation naturelle ainsi qu'aux actions de gestion réalisées sur le site) sur la partie nord-est semble avoir été le facteur responsable de l'extinction de la population dans cette partie de la tourbière car le milieu s'est fortement refermé. L'effet de la modification de l'habitat a très probablement été accentué par le fait que la population était isolée et vulnérable face aux conditions météorologiques. Concernant la population centrale, celle-ci semble décroissante depuis quelques années donc il est crucial de conserver ses habitats favorables s'il n'est pas déjà trop tard.

La qualité des habitats pour la reproduction du Fadet des Laïches est un critère important pour le bon état de la population, c'est pourquoi une étude a été réalisée pour étudier les habitats favorables à sa reproduction. Dans la poursuite de cette étude, il a été jugé nécessaire de créer un protocole d'évaluation de la qualité des habitats pour la reproduction du papillon sur la tourbière de Lourdes afin de mieux comprendre où sont localisés les habitats de bonne ou de mauvaise qualité et pourquoi ceux-ci sont de bonne ou mauvaise qualité, dans le but de pouvoir mieux gérer le site en la faveur du papillon.

La première phase de la démarche a consisté à réaliser un état des lieux des connaissances actuelles sur les habitats favorables au Fadet des Laïches. Une étude a été réalisée sur la tourbière de Lourdes en 2014, elle donne des indications intéressantes sur les caractéristiques des lieux de ponte mais reste plutôt descriptive. D'autres études réalisées en Europe ont été analysées et les différents critères de qualité de l'habitat cités dans ces études ont été listés.

Ces variables environnementales décrites comme critères de qualité dans les études ont été testées sur le terrain via une pré-étude. Cette pré-étude a été réalisée sur la Lande de Ger et a analysé les liens de corrélation entre la présence des imagos et les différentes variables environnementales. A l'issue de cette pré-étude, seules 2 variables ont été démontrées comme corrélées à la présence du Fadet : la hauteur moyenne des espèces arbustives et le pourcentage de recouvrement des espèces arbustives.

Afin de réaliser la grille de notation du protocole d'évaluation de la qualité des habitats, des indicateurs ont été choisis ainsi que des seuils de valeurs. Deux variables ont été sélectionnées grâce à la pré-étude et le choix a été fait d'ajouter d'autres indicateurs qui n'avaient pas été prouvés par la pré-étude mais qui présentaient de fortes preuves dans la bibliographie. Ces indicateurs sont : le pourcentage de recouvrement de la Molinie bleue, le pourcentage de recouvrement par des touradons, le pourcentage de recouvrement par la litière et le pourcentage de sol visiblement perturbé.

Le protocole a ainsi été appliqué sur la tourbière de Lourdes en 2023 en relevant les 6 indicateurs de qualité sur 24 placettes réparties sur la tourbière. Après avoir appliqué la grille de notation aux résultats des relevés de terrain, une cartographie de la qualité des habitats a été obtenue. Celle-ci permet de visualiser la favorabilité des différentes zones pour la reproduction du Fadet et d'en déduire des recommandations de gestion adaptées et localisées.

6. RECOMMANDATIONS D' ACTIONS DE GESTION ET DE SUIVI

En prenant en compte les résultats des deux études présentées précédemment, des recommandations d'actions de gestion et de suivi peuvent être proposées dans le but de favoriser la population du papillon.

Etant donné que la population de Fadets est très faible en 2023 (seuls 3 individus observés lors des prospections), il n'est pas impossible que 2023 soit la dernière année où le papillon est présent à la tourbière de Lourdes. Même si le Fadet venait à s'éteindre dans les prochaines années, il est intéressant de poursuivre les efforts de gestion du milieu car une réintroduction de l'espèce est envisageable. En effet, il existe une population présente sur la Lande de Ger à 10 km à vol d'oiseau de la tourbière de Lourdes en bon état de conservation qui pourrait être utilisée pour réintroduire des individus sur la tourbière de Lourdes. Cependant, cette réintroduction ne sera envisageable que si le milieu est redevenu plus favorable au Fadet.

Mise en garde : Ces recommandations d'action de gestion ont pour objectif de favoriser la population de Fadets des Laïches mais elles peuvent aller à l'encontre d'autres objectifs de gestion de la tourbière. Par exemple, la présence de Molinie est considérée comme signe de mauvais état de conservation pour l'habitat 7110* « tourbières hautes actives » (Epicoco & Viry, 2015) alors que cette espèce est vitale pour le Fadet des Laïches. Un autre exemple est l'habitat 7210* « Marais calcaires à *Cladium mariscus* et espèces du Caricion davallianae », qui doit être conservé car il s'agit d'un habitat d'intérêt communautaire prioritaire cependant cet habitat est peu fréquenté par le Fadet et il représente souvent un obstacle à ses déplacements. Tout le travail du gestionnaire repose dans la réalisation de compromis entre les différents objectifs de gestion et dans la mise en œuvre d'actions de gestion qui soient favorables aux plus d'objectifs possibles.

6.1. ACTIONS DE GESTION POUR LIMITER LA FERMETURE DU MILIEU

La présence ponctuelle d'herbacées hautes (roseau et marisque) et de ligneux arbustifs est favorable au Fadet des Laïches car cela crée des zones de refuge contre les prédateurs et des zones où les conditions microclimatiques sont différentes (ombrage, humidité, température...) (Örvössy et al., 2010). Mais lorsque ces végétaux sont trop denses, ils peuvent représenter un obstacle pour les papillons qui évitent alors la zone. En effet, lorsque la végétation est dense et haute entre 1 et 4 mètres, les comportements de contournement ou de demi-tour sont beaucoup plus nombreux (Bertolini et al., 2013). Aussi, la présence de plantes hautes rend difficile pour les mâles de repérer les femelles. Il faut donc trouver un compromis entre une végétation totalement ouverte et une végétation trop fermée.

La partie nord-est de la tourbière a une dynamique de fermeture du milieu très rapide et la lutte contre les ligneux doit se faire en continu si la volonté est de garder ce milieu ouvert. Cette partie de la tourbière est un bas-marais alcalin, c'est-à-dire une formation se développant sur un sol en permanence gorgé d'eau très alcaline, pauvre en nutriments et souvent calcaire. Le milieu est beaucoup moins acide que la tourbière centrale et il n'y a quasiment pas de turfigénèse. Ceci explique la différence de reprise de la végétation entre les deux parties de la tourbière. De plus, les écobuages réguliers ayant été réalisés sur la tourbière depuis les années 1900 jusqu'aux années 2000 ont probablement contribué à enrichir le sol. L'effet des écobuages sur la modification des propriétés physico-chimiques des sols peut en effet avoir un effet à long terme. Par exemple, une étude scientifique réalisée en Pologne 12 ans après un feu ayant couru sur une tourbière a montré que la dynamique de croissance des saules a été accélérée par le feu car celui a libéré du potassium qui est encore présent dans le sol 12 ans après (Sulwiński et al., 2020). Ce potassium est habituellement un des éléments limitants dans la croissance des ligneux sur les tourbières

et sa disponibilité soudaine a favorisé la dynamique des saules. On peut donc imaginer que les écobuages annuels ont progressivement contribué à enrichir le sol de la tourbière de Lourdes et que dès qu'ils ont stoppé, la végétation a repris rapidement.

Afin de limiter la fermeture par les ligneux de la partie nord-est de la tourbière, autrefois peuplée par le Fadet, des actions de coupe doivent être menées. La technique la plus efficace sur les jeunes ligneux semble être l'arrachage mécanique (Crassous & Karas, 2007) mais celui-ci est impossible étant donné la portance du sol qui ne pourrait pas tolérer le poids d'un engin mécanique et le fait que certains ligneux soient déjà de trop gros diamètres pour être arrachés. La coupe par la méthode dite de « tire-sève », qui permet de favoriser la mort naturelle et de limiter la pousse de rejets semble être celle à favoriser sur la tourbière de Lourdes. Cette méthode a déjà fait ses preuves sur la tourbière nord-est et la repousse semble moins forte que lorsque les troncs étaient coupés à ras la tourbe. La zone à traiter étant grande, l'opération de réouverture du milieu devra probablement se faire sur plusieurs années.

Dans la partie nord-est de la tourbière, la pression de pâturage pourrait être augmentée afin de limiter d'autant plus la colonisation par les roseaux et les jeunes ligneux. Cependant, les pressions de pâturage dans les tourbières doivent rester toujours faibles pour ne pas avoir un impact trop fort sur le sol et dans le cas du Fadet des Laïches, pour limiter la mortalité des œufs ou chenilles par piétinement ou par consommation par les animaux. Certaines études sur la gestion en faveur des papillons recommandent une pression de pâturage inférieure à 0.5 UGB/ha (Bubová et al., 2015). En réalité, l'effet du pâturage n'a jamais été évalué sur le Fadet des Laïches. Ces dernières années, le pâturage sur la partie nord-est correspondait à une pression moyenne entre 0.3 et 0.6 UGB/ha/an sur le parc 1, entre 0.08 et 0.35 UGB/ha/an sur le parc 2 et entre 0.08 et 0.30 UGB/ha/an pour le parc 3 (Figure 46). Ces valeurs de pressions de pâturage sont calculées en considérant que lorsque plusieurs parcs sont ouverts en même temps, la pression de pâturage est équilibrée sur les parcs (mais ce n'est pas forcément la réalité sur le terrain).

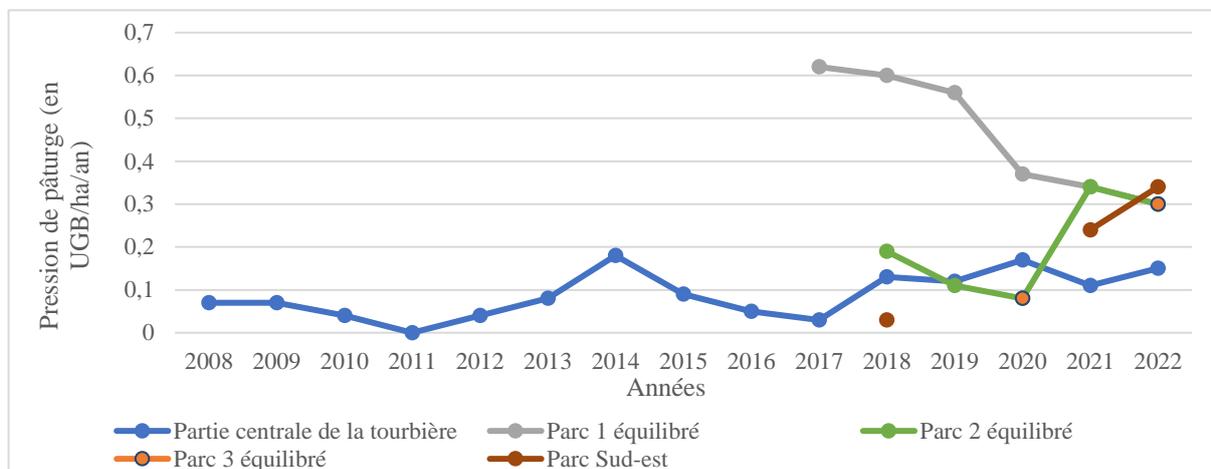


Figure 46 - Pression de pâturage (en UGB/ha/an) des différentes zones de la tourbière selon les années (localisation des parcs sur la Figure 44)

En considérant ces pressions de pâturage, on peut proposer que la pression de pâturage soit augmentée sur les 3 parcs de la tourbière nord-est de sorte à s'approcher de 0.5 UGB/ha/an. Par exemple, en 2022 si au lieu de 5 vaches et 2 jeunes vaches il y avait eu 7 vaches et 2 jeunes la pression serait montée à 0.39 UGB/ha/an, ce qui reste convenable. Il s'agit de trouver un compromis complexe entre surpâturage et gestion des ligneux et roseaux. Mais, étant donné l'incertitude sur l'effet du pâturage sur le papillon, une augmentation de la pression de pâturage n'est pour le moment pas envisagée sur la partie nord-est. De plus, afin de limiter l'impact du pâturage sur le papillon, il serait préférable que les animaux arrivent

le plus tard possible. Certaines années, le pâturage a eu lieu avant le 15 août, or les chenilles peuvent être actives jusqu'à la fin de mois de septembre ou début octobre (Caubet et al., 2019).

Comme expliqué précédemment, la fermeture du milieu par les roseaux est défavorable au Fadet des Laïches. En 1991, une cartographie des types de végétation ne faisait état de roselière qu'à la limite est du bas-marais alcalin mais en 2005 Biotope classait déjà toute la moitié est de la tourbière nord-est en phragmitaie sèche. En 2023, les roseaux ont colonisé les parcs 1 et 3 au nord-est et au sud-est du bas-marais alcalin. Pour limiter la colonisation du milieu par le roseau autrement que par le pâturage, il est recommandé de réaliser une coupe printanière ou estivale manuelle de sorte à épuiser les rhizomes (Crassous & Karas, 2007). Les coupes hivernales sont par contre à proscrire puisqu'elles stimuleraient la croissance des roseaux et augmenteraient la densité des tiges l'année suivante.

Le brûlage dirigé pourrait être utilisé pour lutter contre la reprise des roseaux et des ligneux car les chenilles de Fadets semblent survivre aux incendies superficiels réalisés au printemps (Sielezniew et al., 2010). En effet, la fermeture du milieu est si forte et rapide sur la partie nord-est qu'un brûlage dirigé pourrait permettre une action de plus grande ampleur. Cependant, l'impact d'une telle action de gestion sur les composantes du biotope d'une tourbière n'est pas totalement connu, que ce soit l'impact sur sol ou sur les cortèges floristiques et faunistiques. Comme dit précédemment, il semblerait que dans certaines conditions le feu contribue à enrichir le sol, donc son effet efficace à court terme lié à la destruction des ligneux peut entraîner un effet négatif à moyen/long terme en augmentant la fertilité du sol et donc la pousse des ligneux. Quant à l'impact sur les insectes en général, il semble être souvent négatif. Une étude de l'impact du test d'écobuage à la tourbière de Lourdes sur le cortège d'araignées a été réalisée en 2015 (Déjean, 2015), celle-ci met en avant l'effet la disparition des espèces lucifuges sur la zone brûlée un an après l'écobuage et la plus faible densité d'individus au mètre carré sur la zone brûlée par rapport à la zone témoin un an après l'écobuage.

Un couloir de fauche de 10 mètres de large et de 70 mètres de long a été réalisé en 2008, 2012, 2013, 2014, 2021, 2022 et 2023 entre les deux parties de la tourbière. Le but de ce couloir étant de rouvrir les deux parties de la tourbière afin de permettre aux papillons de franchir cette zone qui est colonisée par les ligneux et la marisque. Pour l'instant aucun Fadet n'a jamais été observé traversant cette zone donc l'efficacité de cette action de gestion est pour le moment discutable. De plus, cette action affecte négativement un habitat d'intérêt communautaire (7210 Marais calcaires à *Cladium mariscus* et espèces du Caricion davallianae) et une espèce végétale protégée, la Marisque (*Cladium mariscus*).

6.2. ACTIONS DE GESTION POUR AUGMENTER L'HÉTÉROGÉNÉITÉ DU MILIEU

Le rapport d'étude de l'analyse spatiale et temporelle de la présence du Fadet des Laïches à la tourbière de Lourdes (PLVG, 2023a) a permis de mettre en évidence que l'hétérogénéité de l'habitat est un critère primordial pour les habitats du Fadet des Laïches. Les pratiques permettant d'augmenter cette hétérogénéité sont donc à privilégier sur la tourbière.

Des tests de fauche en mosaïque de 5 placettes ont été réalisés entre 2008 et 2012 à la tourbière de Lourdes et les études par l'AREMIP du Fadet des Laïches en 2009, 2011 et 2012 ont montré que le papillon fréquente plus les zones ayant subi ce type de fauche (Parde, 2009, 2011, 2012). Concrètement, la fauche en mosaïque consistait sur la tourbière de Lourdes à faucher une placette d'environ 4m² et à exporter la matière organique. Une méta-analyse des effets des pratiques de gestion sur les papillons européens a montré que la fauche rotative en mosaïque était une des pratiques les plus efficaces pour la conservation des espèces de papillon en danger, et notamment pour le Fadet des Laïches (Bubová et al., 2015). Cette pratique implique quelques principes : l'intensité de fauche doit rester faible, c'est-à-dire

que chaque zone ne doit pas être fauchée plus d'une fois par an, et les zones doivent être fauchées à différents moments pour assurer une hétérogénéité de hauteurs des végétaux. Au marais de Montfort en Isère, une étude de la population de Fadets des Laîches a montré une préférence du papillon pour les milieux fauchés deux ans auparavant tandis que les zones fauchées annuellement présentent moins de papillons (Bellour, 2013). Une hypothèse avancée dans cette étude est qu'une fauche annuelle pourrait avoir un effet trop fort sur la mortalité directe des chenilles lors de la fauche ainsi que sur la perte en ressources alimentaires pour les chenilles. Une fauche en rotation tous les 2 ans serait donc un meilleur compromis pour le Fadet des Laîches. De plus, il a été prouvé en Hongrie que le Fadet des Laîches est plus présent dans des zones où la hauteur de litière au sol est plus importante (Örvössy et al., 2013) donc il est intéressant de laisser les végétaux fauchés au sol. Il serait impossible de réaliser une fauche en mosaïque sur toute la surface de la tourbière mais ce serait envisageable sur certaines zones de la tourbière. Une étape de repérage des zones qui pourraient bénéficier de cette action de gestion est nécessaire. Ces zones pourraient être celles qui ne bénéficient actuellement pas de pâturage et qui se situent à proximité de zones favorables au Fadet. Par exemple, la zone fortement refermée qui se situe entre la prairie à Molinie en touradons au sud-est et la flèche sud-est où pâturent les chèvres pourrait être fauchée manuellement en 2024 si les chèvres ne l'ont pas pâturé en 2023. Si elles ont pâturé la zone en 2023, le milieu pourra être entretenu par la suite grâce à de la fauche en mosaïque.

Le pâturage extensif peut aussi permettre de créer une certaine hétérogénéité du milieu, tout en limitant la fermeture du milieu. Cependant un pâturage trop intensif peut créer une végétation très homogène et rase. Par exemple, à l'entrée de la tourbière en sortie du ponton, la végétation porte les marques du surpâturage : la strate herbacée est rase et plutôt homogène et la strate arbustive est totalement absente. De plus, cette zone a été piétinée par les animaux et par les visiteurs de la tourbière. L'équilibre est complexe entre limiter la pression de pâturage pour permettre d'éviter cet effet de milieu trop homogène à cause du pâturage et augmenter la pression de pâturage pour lutter contre la fermeture du milieu. Un système de pâturage rotatif par parcs peut permettre de limiter cet effet en étalant les dates de pâturage. Cette pratique de pâturage rotatif est appliquée dans la partie nord-est de la tourbière où on voit que les 3 parcs sont 3 milieux différents, cependant la pression de pâturage ne permet pas assez de limiter la fermeture du milieu.

La fauche du couloir entre les deux parties de la tourbière est réalisée de façon très homogène, en coupant à quelques centimètres du sol toute la végétation. Cela crée une très grande zone ouverte qui rend les papillons particulièrement vulnérables à la prédation car ils ne possèdent pas de zone de refuge et beaucoup d'odonates empruntent ce couloir. De plus, cette zone étant très homogène, il est probable que les papillons ne soient pas intéressés par ce milieu. Une fauche plus hétérogène, en laissant quelques zones de refuge qui couvrent 10 à 20% de la zone, pourrait permettre une meilleure fonctionnalité de ce couloir pour les lépidoptères. Une étude réalisée en Suisse a montré que les zones refuge (qui représentaient 10 à 20% de la surface fauchée dans l'expérience) abritaient 60% d'espèces spécialistes (espèces mono- ou oligophages avec maximum deux générations par an) de plus que les zones témoins coupées entièrement (Humbert et al., 2018). Cette même étude montre aussi que les chenilles de lépidoptères étaient 2.7 fois plus nombreuses dans les prairies avec refuge que dans les autres prairies fauchées intégralement (mais pas de différence concernant la richesse spécifique) (Humbert et al., 2018). On pourrait donc imaginer pour les prochaines années un plan d'intervention sur le couloir de fauche laissant plus de zones non-fauchées ou fauchées moins rases.

6.3. CONSERVER LES ZONES ACTUELLEMENT FAVORABLES AU FADET

Depuis 2016, la prairie à Molinie au sud-est de la tourbière centrale est la zone qui accueille la plus grande population de Fadets, sauf en 2023. Il s'agit de la zone ayant reçu la note de qualité la plus haute

de la tourbière lors de l'évaluation de la qualité des habitats pour la reproduction du papillon en 2023. Cette zone doit à tout prix être conservée et protégée de toute action pouvant dégrader son état. Le fait que cette zone soit en exclos depuis 2021 est bénéfique car l'effet du pâturage sur la favorabilité des habitats vis-à-vis du Fadet n'a pas encore vraiment été évalué. Cependant, le fait que cette zone ne soit plus pâturée la rend plus vulnérable à la fermeture du milieu. Pour le moment cette zone ne montre pas de colonisation forte par les ligneux. Mais une vigilance devra être appliquée sur le développement des ligneux et herbacées hautes. Par exemple, un secteur en périphérie au sud-est de la prairie à Molinie commence progressivement à être colonisé par les roseaux donc ce secteur devra être surveillé et éventuellement subir une action de coupe estivale ou printanière.

La fréquentation de cette zone doit être la plus faible possible durant toute l'année pour éviter de déranger le papillon, même lorsqu'il n'est plus au stade d'imago. Ainsi, les animations devraient éviter de parcourir cette zone et plutôt privilégier une observation de loin.

Une autre solution afin de limiter l'impact de la venue de visiteurs sur la tourbière serait de créer un cheminement via un ponton au nord de la partie centrale. Un projet de cheminement sur pilotis avait été étudié au début de l'animation du site par le PLVG pendant plusieurs années mais n'a malheureusement pas abouti à cause de son coût trop élevé.

6.4. SUIVI DU FADET DES LAÏCHES

Le suivi du Fadet des Laïches par transect doit continuer à être réalisé annuellement avec toujours la même méthode. Lors du prochain suivi du Fadet des Laïches par transects en 2024, il serait intéressant de vérifier plusieurs fois pendant la période potentielle de vol du papillon si des individus sont présents dans la zone au sud-est de la tourbière centrale où pâturent les chèvres. Cette zone est de bonne qualité pour le Fadet, même si elle est isolée du reste de la tourbière, et il n'est pas impossible qu'une population isolée s'y soit maintenue.

Le suivi par transect permet d'étudier la population de façon moins invasive que la CMR et de moins déranger la population déjà fragilisée. En effet, l'impact de la manipulation des imagos et du marquage de leurs ailes n'est pas connu. Une méthode de CMR non invasive sur le Fadet des Laïches est en cours d'étude par Corentin Larquier et Laurent Pelozuelo. Cette méthode part du principe que chaque Fadet des Laïches possède un motif unique sur les ailes, qui permettrait grâce à une photographie d'individualiser chaque individu. L'identification des motifs des ailes sur une grosse population serait très chronophage mais sur une petite population comme celle de Lourdes cette méthode est envisageable. La difficulté de la méthode repose surtout dans le fait de réussir à prendre en photo tous les individus d'assez près pour pouvoir les différencier.

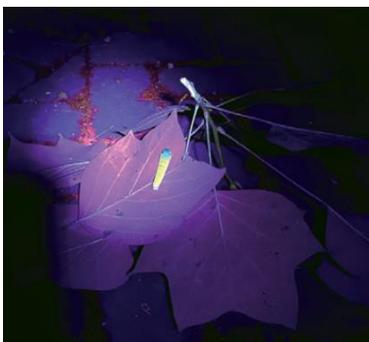


Figure 47 - Chenille de papillon glauque (*Papilio glaucus*) sous lampe à UV, 2020, East Brunswick, New Jersey (Moskowitz, 2021)

Aucune étude sur les larves du Fadet des Laïches n'a été récemment réalisée en France, car l'identification des chenilles est très complexe à cause de leur mimétisme avec les feuilles de Molinie, à cause du fait que leur activité soit plutôt nocturne et qu'elles passent beaucoup de temps enfouies dans les touradons. Cependant, l'utilisation de lampe à UV en prospections nocturnes semblerait permettre d'observer beaucoup plus facilement les chenilles. En effet, certains types de chenilles (celles qui sont plutôt glabres et colorées) ainsi que certaines chrysalides apparaissent fluorescentes sous lampes UV (Moskowitz, 2021) (Figure 47) donc il est probable que celle du Fadet des Laïches apparaissent fluorescentes. Ainsi, elles deviendraient

facilement identifiables et des études pourraient être menées pour caractériser l'habitat préférentiel des larves.

6.5. REINTRODUCTION DU FADET DES LAICHES

Seuls 3 individus ont été observés en 2023, dont 2 mâles au nord de la tourbière centrale et 1 femelle au sud de la tourbière centrale. Il est probable que plus d'individus étaient présents et n'ont pas été vus mais la taille de la population totale est sûrement très faible. Des questions se posent par rapport au succès de reproduction de l'année 2023 et il n'est pas impossible qu'aucun individu ne soit plus jamais observé. Même si la reproduction a lieu, la faible diversité génétique sera problématique. Ainsi, il paraît intéressant d'envisager une réintroduction.

Le but d'une réintroduction serait à la fois d'apporter du matériel génétique nouveau et d'apporter des individus pour augmenter la taille de la population et pour permettre des pontes plus importantes. La réintroduction de papillon est pratiquée mais peu étudiée scientifiquement. Une thèse réalisée en 2023 présente une méta-analyse sur 526 réintroductions de papillons à l'échelle mondiale dont 69 en Europe (Wildman, 2023). Parmi les 526 réintroductions, seules 348 présentaient un résultat (pour le reste le résultat était incertain) et 36.8% de ces résultats étaient positifs.

Concernant le stade auquel les papillons sont réintroduits, il s'agit dans 60% des cas d'adultes, dans 26% des cas de larves, dans 5% des cas de chrysalides (Wildman, 2023). Pour les 9% restant la réintroduction était faite sous plusieurs stades. Dans certains cas le nombre d'individus réintroduits est très grand, comme par exemple le projet LIFE Appollo2020 en Pologne où 2 529 adultes et 21 478 larves d'Apollon (*Parnassius apollo*) ont été introduites entre 2020 et 2021, ou encore aux Etats-Unis dans le South Puget Sound dans l'état de Washington où 15 000 larves et 500 adultes de *Euphydryas editha taylori* ont été introduites entre 2006 et 2012. En revanche, dans d'autres cas, seuls quelques individus sont introduits. Par exemple, en 1994 une population fondatrice de 10 femelles de *Pseudophilotes baton schiffmuelleri* a été réintroduite avec succès dans le sud de la Finlande. Concernant cette réintroduction en Finlande, la clé de leur réussite semble tenir dans la compréhension de l'espèce, la restauration efficace de l'habitat puis le maintien de cet habitat favorable en le contrôlant annuellement (Marttila et al., 1997).

Si l'on examine les cas de réintroduction ayant échoué, on peut citer les tentatives de réintroduction de l'Apollon dans les années 1900, où des individus ont été réintroduits pendant 25 ans mais n'ont jamais produit plus de 2 générations (Witkowski et al., 1997). Les hypothèses avancées pour expliquer ces échecs sont : l'infection des chenilles introduites, les changements soudains de la météo lors de l'introduction des chenilles ou lors de la présence des imagos, les plantations systématiques d'épicéas dans la région et enfin la collecte de papillons par les collectionneurs (Witkowski et al., 1997).

Un seul exemple de réintroduction du Fadet des Laïches est connu à ce jour. Cette réintroduction a été réalisée en 2019 dans le cadre du PoLJUBA project en Slovénie, dont l'objectif est la restauration et la conservation des prairies humides du Ljubljana Marsh Nature Park (*The Successful Reintroduction of the False Ringlet / RRA LUR*, s. d.) (Figure 48). Le projet mené par Dr. Tatjana Čelik, de l'institut de Biologie ZRC SAZU Jovan Hadži, a tenté de réintroduire l'espèce dans une zone où elle était éteinte depuis une dizaine d'années. En juin 2019, 6 femelles imagos ont été prélevées dans leur environnement naturel, puis elles ont été déplacées en laboratoire où elles ont pondu des œufs. Les larves ont ensuite été élevées en laboratoire jusqu'à atteindre le stade de chrysalide entre mi-mai et début juin. 154 chrysalides ont été introduites sur le site de réintroduction et 20 ont été replacées dans leur site d'origine. Il était prévu en 2021 de réintroduire à nouveau 240 chrysalides mais aucune information n'est pour le moment disponible concernant la suite de l'expérience. L'issue de la réintroduction n'est pas connue et

il faudra certainement plusieurs années pour connaître réellement l'effet de la réintroduction sur le moyen/long terme.



Figure 48 - Conférence de presse sur la réintroduction du Fadet des Laïches sur le site du marais okarček - présentation par Dr. Tatjana Čelik. (à gauche) et visite de l'insectarium (à droite) (The Successful Reintroduction of the False Ringlet | RRA LUR, s. d.)

Un projet de plan de conservation et de réintroduction du Fadet des Laïches et du Damier de la Succise sur les marais restaurés de Savoie a été développé par le CEN Savoie en partenariat avec la région Auvergne-Rhône-Alpes en 2021 (*Plan de conservation et de réintroduction du fadet des Laïches et du damier de la succise sur les marais restaurés de Savoie* | Conservatoire d'espaces naturels de Savoie, s. d.) mais celui-ci n'a pas encore été mis en œuvre et reste dans une phase de demande d'autorisation administrative. Il n'existe donc aucun exemple de réintroduction du Fadet des Laïches en France et l'expérience de réintroduction en Slovénie ayant été réalisée récemment, elle ne permet pas de réel retour d'expérience. Si la volonté est de réintroduire le Fadet des Laïches sur la tourbière de Lourdes, il serait tout de même intéressant de se rapprocher du CEN Savoie pour échanger sur leur méthode de réintroduction prévue et sur les démarches administratives à suivre pour réaliser un tel projet.

Il est aussi important de rappeler qu'un projet de réintroduction n'est envisageable que si les causes de déclin de la population ont été comprises et prises en compte, et que l'habitat est dans un état suffisamment favorable pour l'espèce (et en particulier pour sa reproduction).

6.6. SUIVI DE LA QUALITE DES HABITATS POUR LA REPRODUCTION DU FADET DES LAICHES

Le protocole développé dans le cadre de cette étude permet d'évaluer la qualité des habitats pour la reproduction du Fadet des Laïches. Le but de ce protocole est de pouvoir comprendre où sont les zones plus ou moins favorables, pourquoi elles sont plus ou moins favorables et comment elles évoluent au cours du temps en fonction de la gestion menée.

Ce protocole sera présenté lors de la réunion du groupe de travail sur le Fadet des Laïches qui aura lieu le 18 octobre 2023. Les variables indicatrices de la qualité de l'habitat retenues ainsi que les seuils choisis seront détaillés lors de la réunion et pourront être modifiés ultérieurement selon les remarques des experts.

Le protocole a l'avantage d'être simple car il ne nécessite pas de connaissances naturalistes poussées et le seul matériel nécessaire est un GPS ou téléphone pour retrouver les placettes et rentrer les données via l'application QField. De plus, le protocole est applicable en une journée : terrain (environ 5h), mise au propre des résultats (30 minutes) et analyse des résultats (1h30). Il est préconisé de réaliser ce protocole annuellement, fin juillet ou début août après le pic de vol du Fadet.

Aussi, il est important que dorénavant toutes les actions de gestion effectuées sur la tourbière soient enregistrées avec précision, que ce soit les dates de l'action de gestion, la localisation de l'action sur

SIG, la pression de l'intervention (nombre d'agents, heures de travail, volume coupé, nombre de bêtes...), la surface affectée ainsi que des photographies avant et après l'intervention. Ceci permettra de pouvoir réellement conclure entre les années de l'impact sur la qualité des habitats selon la pression de l'action de gestion.

La figure 49 présente le bilan de la partie « Recommandations d'actions de gestion et de suivi ».

Pratiques recommandées car plutôt favorables pour le Fadet des Laïches :

- Pratiques de gestion favorisant l'ouverture du milieu
 - Pâturage très extensif
 - Coupe printanière ou estivale des roseaux
 - Coupe en tire-sève des ligneux
 - Fauche et/ou pâturage par les chèvres de la zone au sud-est de la tourbière centrale entre la prairie à molinie en touradons et le parc de pâturage des chèvres
- Pratiques de gestion favorisant l'hétérogénéité du milieu
 - Fauche en mosaïque
 - Pâturage très extensif rotatif (avec plusieurs parcs)
 - Fauche du couloir de fauche en laissant des zones refuges (10 à 20% de la surface totale)
- Protection des zones actuellement favorables au Fadet des Laïches
 - Mise en exclos de la prairie à molinie en touradons au sud de la tourbière centrale
 - Evitement des zones actuellement favorables lors des visites par du public
 - Mise en place d'un circuit sur pilotis au nord de la tourbière pour le public
- Réintroduction du Fadet des Laïches depuis le site de la Lande de Ger
 - Amélioration de la qualité des habitats à la tourbière de Lourdes en amont de la réintroduction
 - Recherche de retours d'expérience de réintroduction de papillons
 - Recherche de renseignements sur les étapes administratives pour réaliser une réintroduction d'espèce protégée en France
- Développer les connaissances sur la population de Fadets des Laïches et ses habitats
 - Suivi annuel par transect de la population d'imagos de Fadets des Laïches
 - Possibilité d'envisager un suivi par CMR non invasive
 - Possibilité d'envisager une étude du papillon au stade larvaire ou chrysalide en utilisant une lampe UV
 - Évaluation annuelle de la qualité des habitats pour la reproduction du Fadet des Laïches

Pratiques à éviter car plutôt défavorables pour le Fadet des Laïches :

- Abandon, pas de gestion des ligneux ni des roseaux
- Pâturage intensif
- Fauche rase, sans laisser de zones refuges

Figure 49 - Bilan des recommandations de suivis et d'actions de gestion

7. CONCLUSION

La tourbière de Lourdes est un site remarquable en raison des habitats d'intérêt communautaire présents mais également en raison de la population de Fadets des Laïches qu'elle abrite. Cette espèce de lépidoptères est protégée à l'échelle nationale car elle est rare et quasi-menacée en France. Depuis plusieurs années, un déclin de la population sur la tourbière de Lourdes semblait s'opérer, mais seuls les dires d'experts permettaient d'avancer cette hypothèse. Une étude était donc nécessaire afin de comparer tous les inventaires et suivis réalisés depuis 2005 et de statuer de façon statistique sur cette décroissance de population. L'étude de la dynamique spatiale et temporelle de la population montre en effet une décroissance significative de la population de Fadets des Laïches ainsi qu'une disparition de l'espèce sur la partie nord-est de la tourbière depuis 2018. Cette étude a également permis de montrer que certains habitats de la tourbière attirent plus particulièrement le papillon et de poser des premières hypothèses sur les caractéristiques des habitats qu'affectionne particulièrement le papillon, tel que l'hétérogénéité du milieu et le faible recouvrement par les ligneux. L'étude des habitats favorables entreprise par la suite a consisté à lister puis à tester différentes caractéristiques de l'habitat du papillon afin de déterminer lesquelles sont favorables à la reproduction du Fadet des Laïches. Grâce à l'étude des habitats favorables, un protocole d'évaluation de la qualité des habitats a été développé afin d'être appliqué à la tourbière de Lourdes. Ce protocole représente un outil qui sera utilisé par la chargée de mission Natura 2000 du site afin d'évaluer quelles zones de la tourbière de Lourdes sont défavorables au papillon et nécessitent donc des interventions de restauration et quelles zones sont actuellement favorables et nécessitent plutôt des actions de conservation. De plus, ce protocole permettra d'évaluer entre les années les modifications de la favorabilité du milieu suite aux actions de gestion. Grâce aux conclusions des deux études, des préconisations d'action de gestion et de suivi ont été rédigées pour le site de la tourbière de Lourdes. Cependant, l'impact sur le Fadet des Laïches de certaines actions de gestion, telles que le pâturage, reste encore incertain et des études spécifiques seraient nécessaires afin de déterminer l'impact réel sur l'état de conservation du Fadet des Laïches en fonction de l'intensité de l'action de gestion.

Références bibliographiques

- Atlas de la Biodiversité Départementale et des Secteurs Marins. (s. d.). *Carte de répartition du Fadet des Laïches à l'échelle de la France métropolitaine* [Carte]. <https://inpn.mnhn.fr/programme/inventaire-abdsm>
- Bensettiti, F., & Gaudillat, V. (2002). « Cahiers d'habitats » Natura 2000. *Connaissance et gestion des habitats et des espèces d'intérêt communautaire: Vol. Tome 7-Espèces animales*. (Éd. La Documentation française). MEDD/MAAPAR/MNHN.
- Bertolini, A., Leclère, M., Le Moal, T., Robinet, C., & Soulet, D. (2013). *Programme régional « Amélioration des connaissances et conservation de 5 espèces de papillons diurnes menacés des zones humides en Aquitaine »*. Bilan de la phase initiale du programme (octobre 2010—Mars 2013). Conservatoire d'Espaces Naturels d'Aquitaine (CEN Aquitaine).
- Besnard, A., & Salles, J.-M. (2010). *Suivi scientifique d'espèces animales—Aspects méthodologiques essentiels pour l'élaboration de protocoles de suivis—Note méthodologique à l'usage des gestionnaires de sites Natura 2000*. DREAL PACA – Pôle Natura 2000.
- BIOTOPE. (2007). *Document d'Objectifs Natura 2000 du site. FR 7300936 « Tourbière et Lac de Lourdes »—Document de synthèse*.
- Bonelli, S., Canterino, S., & Balletto, E. (2010). Ecology of *Coenonympha oedippus* (FABRICIUS, 1787) (Lepidoptera : Nymphalidae) in Italy. *Oedippus*, 26.
- Bräu, M., Dolek, M., & Stettmer, C. (2010). Habitat requirements, larval development and food preferences of the German population of the False Ringlet *Coenonympha oedippus* (FABRICIUS, 1787) (Lepidoptera : Nymphalidae) – Research on the ecological needs to develop management tools. *Oedippus*, 26, 41-51.
- Caubet, S., Gourvil, P.-Y., & Soulet, D. (2019). *Coenonympha oedippus* (Fabricius, 1787) – *Fadet des Laïches, Oedippe. Référentiel technique du Plan Régional d'Actions en faveur des Lépidoptères d'Aquitaine*. <https://pral.cen-aquitaine.org/>
- Čelik, T., Bräu, M., Bonelli, S., Cerrato, C., Vreš, B., Balletto, E., Stettmer, C., & Dolek, M. (2014). Winter-green host-plants, litter quantity and vegetation structure are key determinants of habitat quality for *Coenonympha oedippus* in Europe. *Journal of Insect Conservation*. <https://doi.org/10.1007/s10841-014-9736-3>
- Čelik, T., & Verovnik, R. (2010). Distribution, habitat preferences and population ecology of the False Ringlet *Coenonympha oedippus* (Fabricius, 1787) (Lepidoptera : Nymphalidae) in Slovenia. *Oedippus*, 26, 7-15.
- Čelik, T., Vreš, B., & Seliškar, A. (2009). Determinants of Within-Patch Microdistribution and Movements of Endangered Butterfly *Coenonympha Oedippus* (Fabricius, 1787) (Nymphalidae : Satyrinae). *Hacquetia*, 8(2), 115-128. <https://doi.org/10.2478/v10028-009-0007-x>
- CETRA. (2019). *Etude du fonctionnement hydrogéologique et de la qualité des eaux du site Natura 2000 « Tourbière et lac de Lourdes »*.
- Charlot, B. (2020). *Rapport d'étude—Site Natura 2000 « Tourbière et lac de Lourdes »—Etude de la population de Fadet des Laïches—Année 2020*. CEN Occitanie.

- Coenonympha oedippus Fabricius, 1787.* (s. d.). Consulté 10 septembre 2023, à l'adresse <https://www.gbif.org/species/1911093>
- Définition de Touradon.* (s. d.). Actu-Environnement; Actu-environnement. Consulté 28 août 2023, à l'adresse https://www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/touradon.php4
- Déjean, S. (2014). *Rapport d'étude – Plan de gestion du Camp de Ger – Février 2014.* Conservatoire d'espaces naturels de Midi-Pyrénées.
- Demergès, D. (2017). *Rapport d'expertise – Caractérisation de l'état de conservation du Fadet des laiches (Coenonympha oedippus) sur la Tourbière de Lourdes (65) en 2016.* Conservatoire d'espaces naturels de Midi-Pyrénées.
- Durant, J. M., Hjermmann, D., Ottersen, G., & Stenseth, N. C. (2007). Climate and the match or mismatch between predator requirements and resource availability. *Climate Research*, 33(3), Article 3. <https://doi.org/10.3354/cr033271>
- Dusej, G., Wermeille, E., Carron, G., & Ziegler, H. (2010). Concerning the situation of the False Ringlet *Coenonympha oedippus* (FABRICIUS, 1787) (Lepidoptera : Nymphalidae) in Switzerland. *Oedippus* 26, 26.
- Epicoco, C., & Viry, D. (2015). État de conservation des habitats tourbeux d'intérêt communautaire, Méthode d'évaluation à l'échelle du site. Rapport d'étude. Version 1 – Mars 2015. *Rapport SPN 2015-57, Service du patrimoine naturel, Muséum National d'Histoire Naturelle / Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques.*
- Historique Météo des Pyrénées françaises.* (s. d.). Historique Météo. Consulté 23 août 2023, à l'adresse <https://www.historique-meteo.net/france/midi-pyrenees/>
- IPBES. (2019). *Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services.* Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6417333>
- Kemp, R., Peters, H., Allcock, A., Carpenter, K., Obura, D., Polidoro, B., & Dewhurst-Richman, N. (2012). Marine Invertebrate Life in Spineless : Status and Trends of the World's Invertebrates; Eds. Collen, B., Bohm, M., Kemp, R., & Baillie, J.E.M. *Zoological Society of London, UK.*
- Klockmann, M., & Fischer, K. (2017). Effects of temperature and drought on early life stages in three species of butterflies : Mortality of early life stages as a key determinant of vulnerability to climate change? *Ecology and Evolution*, 7(24), 10871-10879. <https://doi.org/10.1002/ece3.3588>
- Langlois, D., & Gilg, O. (2007). *Méthode de suivi des milieux ouverts par les Rhopalocères dans les Réserves Naturelles de France—Révision de la proposition de protocole 2002 de David DEMERGES et de Philippe BACHELARD.* Réserves naturelles de France.
- LHONORÉ, J. (1998). *Biologie, écologie et répartition des 4 espèces de Lépidoptères Rhopalocères protégés (Lycaenidae, Satyridae) dans l'Ouest de la France (Vol. 2).*
- Lhonoré, J., & Lagarde, M. (1999). Biogéographie, écologie et protection de *Coenonympha oedippus* (Fab., 1787) (Lepidoptera : Nymphalidae : Satyrinae). *Annales De La Societe Entomologique De France.* <https://www.semanticscholar.org/paper/Biog%C3%A9ographie%2C-%C3%A9cologie-et-protection-de-oedippus-%3A-Lhonor%C3%A9-Lagarde/51fd16f55c464e0c169af2b114db93594e80de95>

- Maciejewski, L., Seytre, L., Van Es, J., Dupont, P., & Ben-Mimoun, K. (2013). *Etat de conservation des habitats agropastoraux d'intérêt communautaire, Méthode d'évaluation à l'échelle du site. Guide d'application. Version 2. Rapport SPN 2013-16*. Service du patrimoine naturel, Muséum national d'Histoire naturelle.
- Marttila, O., Saarinen, K., & Jantunen, J. (1997). Habitat restoration and a successful reintroduction of the endangered Baton Blue butterfly (*Pseudophilotes baton schiffermuelleri*) in SE Finland. *Annales Zoologici Fennici*, 34(3), 177-185.
- Menzel, A., Sparks, T. H., Estrella, N., Koch, E., Aasa, A., Ahas, R., Alm-Kübler, K., Bissolli, P., Braslavská, O., Briede, A., Chmielewski, F. M., Crepinsek, Z., Curnel, Y., Dahl, Å., Defila, C., Donnelly, A., Filella, Y., Jatczak, K., Måge, F., ... Zust, A. (2006). European phenological response to climate change matches the warming pattern. *Global Change Biology*, 12(10), 1969-1976. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01193.x>
- Meteociel—Climatologie mensuelle de Tarbes (65)*. (s. d.). Consulté 22 août 2023, à l'adresse https://www.meteociel.fr/climatologie/obs_villes.php?code=7621&mois=7&annee=2023
- Méthodologies d'évaluation de l'état de conservation des habitats | PatriNat, centre d'expertise et de données sur le patrimoine naturel*. (s. d.). Consulté 28 août 2023, à l'adresse <http://www.patrinat.fr/fr/methodologies-devaluation-de-letat-de-conservation-des-habitats-6072>
- Moskowitz, D. (2021). *Foiling crypsis: Surveying Lepidoptera caterpillars with UV light*. <https://doi.org/10.31184/M00138908.1571.4067>
- Örvössy, N., Kőrösi, Á., Batary, P., Vozár, Á., & Peregovits, L. (2013). Potential metapopulation structure and the effects of habitat quality on population size of the endangered False Ringlet butterfly. *Journal of Insect Conservation*, 17, 537-547. <https://doi.org/10.1007/s10841-012-9538-4>
- Parde, J.-M. (2009). *Suivi du Fadet des Laïches Coenonympha oedippus sur la tourbière de Lourdes : Année 2009—AREMIP/Ville de Lourdes*. AREMIP.
- Parde, J.-M. (2011). *Suivi du Fadet des Laïches Coenonympha oedippus sur la tourbière de Lourdes : Année 2011—AREMIP/Ville de Lourdes*. AREMIP.
- Parde, J.-M. (2012). *Suivi du Fadet des Laïches Coenonympha oedippus sur la tourbière de Lourdes : Année 2012—AREMIP/Ville de Lourdes*. AREMIP.
- Parde, J.-M. (2014). *Etude du comportement de ponte et de la reproduction du Fadet des Laïches (Coenonympha oedippus) sur la tourbière de Lourdes- Été 2014*. AREMIP.
- Plan de conservation et de réintroduction du fadet des Laïches et du damier de la succise sur les marais restaurés de Savoie | Conservatoire d'espaces naturels de Savoie*. (s. d.). Consulté 30 août 2023, à l'adresse <https://www.cen-savoie.org/node/464>
- PLVG. (2018). *Résultat du suivi par transects du Fadet des Laïches—Année 2018*.
- PLVG. (2021). *Résultat du suivi par transects du Fadet des Laïches—Année 2021*.
- PLVG. (2022). *Résultat du suivi par transects du Fadet des Laïches—Année 2022*.
- PLVG. (2023a). *Rapport d'étude—Analyse spatiale et temporelle de la présence du Fadet des Laïches (Coenonympha oedippus) sur le site Natura 2000 « Tourbière et lac de Lourdes » (65)—2023*.

- PLVG. (2023b). *Rapport d'étude—Etude des habitats favorables à la reproduction du Fadet des Laïches afin de développer un protocole d'évaluation de la qualité des habitats pour la reproduction du Fadet des Laïches sur le site Natura 2000 « Tourbière et lac de Lourdes » (65)—2023.*
- PLVG. (2023c). *Résultat du suivi par transects du Fadet des Laïches—Année 2023.*
- Poitou, L. (2021). *Modélisation de la phénologie d'une espèce emblématique du changement climatique : La processionnaire du pin* [Phdthesis, Université d'Orléans]. <https://theses.hal.science/tel-03893426>
- Root, T., Price, J., Hall, K., Schneider, S., Rosenzweig, C., & Pounds, A. (2003). Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature*, *421*, 57-60. <https://doi.org/10.1038/nature01333>
- Roy, D. B., Oliver, T., Botham, M., Beckmann, B. C., Brereton, T., Dennis, R., Harrower, C., Phillimore, A., & Thomas, J. (2015). Similarities in butterfly emergence dates among populations suggest local adaptation to climate. *Global Change Biology*. <https://doi.org/10.1111/gcb.12920>
- Roy, D. B., Rothery, P., Moss, D., Pollard, E., & Thomas, J. A. (2001). Butterfly numbers and weather : Predicting historical trends in abundance and the future effects of climate change. *Journal of Animal Ecology*, *70*(2), 201-217. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2001.00480.x>
- Slovenia, B., Čelik, T., oedippus, C., dinamika, populacijska, popu, velikost, lacije, razmerje, spolno, preživetja, stopnja, & barje, L. (2004). *Population dynamics of endangered species Coenonympha oedippus Fabricius, 1787 (Lepidoptera : Satyridae) on the Ljubljansko*. <https://www.semanticscholar.org/paper/POPULATION-DYNAMICS-OF-ENDANGERED-SPECIES-OEDIPPUS-Slovenia-%C4%8Celik/6aa17ba33cb76f5860e39fb4fa16438189c01fb3>
- Swaay, C., & Warren, M. (1999). Red Data Book of European Butterflies (Rhopalocera). In *Nature and Environment* (Vol. 99).
- The successful reintroduction of the false ringlet | RRA LUR.* (s. d.). Consulté 22 août 2023, à l'adresse <https://rralur.si/en/news/a-remarkable-achievement-for-science-and-nature-conservation-the-successful-reintroduction-of-the-false-ringlet-one-of-the-most-endangered-species-of-butterfly-in-europe/>
- Van Swaay, C., Dennis, E., Schmucki, R., Balalaikins, M., Botham, M., Bourn, N., Brereton, T., Cancela, J. P., Carlisle, B., Chambers, P., Collins, S., C., D., Jiménez, R., Feldmann, R., Fernández-García, J., Fontaine, B., A., G., Harrower, C., Harpke, A., & Roy, D. B. (2019). *The EU Butterfly Indicator for Grassland species : 1990-2017*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.34330.98240>
- Wildman, J. (2023). *The History, Ecology, and Reintroduction of the Chequered Skipper Butterfly Carterocephalus palaemon in England*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.11611.54566>
- Witkowski, Z., Adamski, P., Kosior, A., & PŁonka, P. (1997). Extinction and reintroduction of Parnassius apollo in the Pieniny National Park (Polish Carpathians). *Biologia*, *52*, 199-208.

Liste des contacts

Camille Chiray, chargée de mission Natura 2000 au Syndicat mixte Pays de Lourdes et des Vallées des Gaves, 4 rue Michelet - 65100 Lourdes, natura2000@plvg.fr, 05 62 42 64 98

David Soulet, chef de projets entomologie et référent Hautes-Pyrénées au Conservatoire d'espaces naturels Occitanie, david.soulet@cen-occitanie.org

Laurent Pelozuelo, co-responsable du parcours de master Gestion de la Biodiversité, Maître de conférences en Entomologie - Biologie de la conservation à l'université Paul Sabatier - Toulouse 3, laurent.pelozuelo@univ-tlse3.fr, 05 61 55 67 25

Robert Peyregne, habitant retraité riverain de la tourbière de Lourdes, 10 chemin d'Artigau - 65100 Poueyferre

Coraline Fillet, chargée de mission à l'AREMIP, 20 place Valentin Abeille - 31210 Montréjeau, aremip2@gmail.com, 05 61 95 49 60

Jean-Michel Parde, chargé de mission à l'AREMIP, 20 place Valentin Abeille - 31210 Montréjeau, aremip2@gmail.com, 05 61 95 49 60

Mélanie Courteille, Archiviste au pôle patrimoine culturel de la ville de Lourdes, 25 rue du Fort - 65100 Lourdes, 05 62 42 37 35

Association Nature en Occitanie, 14 rue de Tivoli - 31000 Toulouse

Table des annexes

Annexes.....	69
Annexe 1 : Tableau des indicateurs listés dans la bibliographie comme importants pour la qualité de l’habitat pour la reproduction du Fadet des Laïches et justifications des choix de sélection des critères pour l’évaluation de la qualité des habitats	69
Annexe 2 : Cartes présentant le résultat du terrain de cartographie des zones potentiellement favorables en 2023.....	71
Annexe 3 : Tableaux des données brutes et des calculs des notes issues de l’application du protocole d’évaluation de la qualité des habitats pour la reproduction du Fadet des Laïches en 2023	72
Résumé.....	73

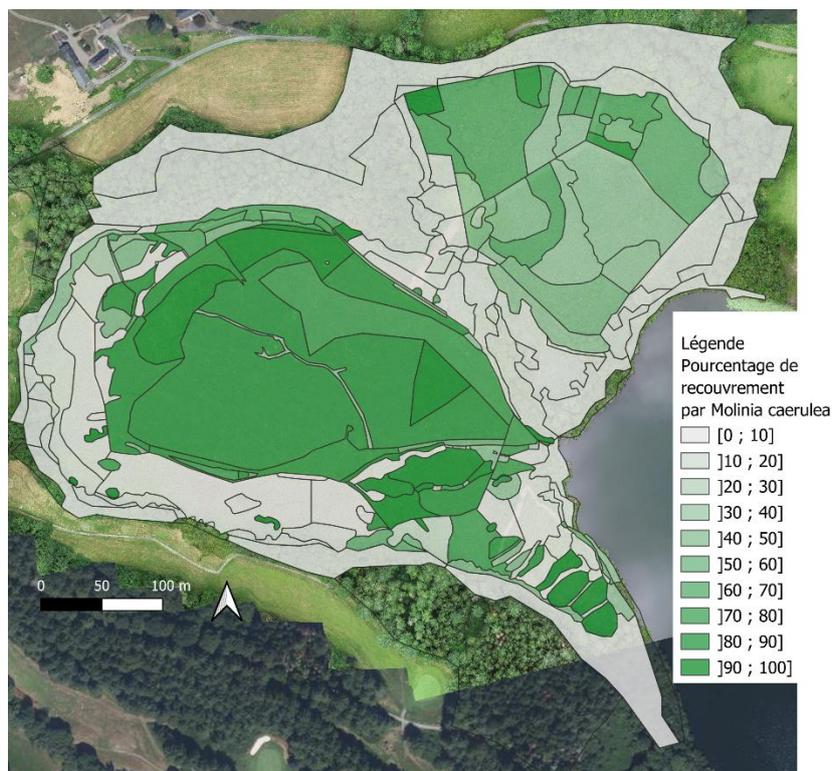
Annexes

Annexe 1 : Tableau des indicateurs listés dans la bibliographie comme importants pour la qualité de l'habitat pour la reproduction du Fadet des Laïches et justifications des choix de sélection des critères pour l'évaluation de la qualité des habitats

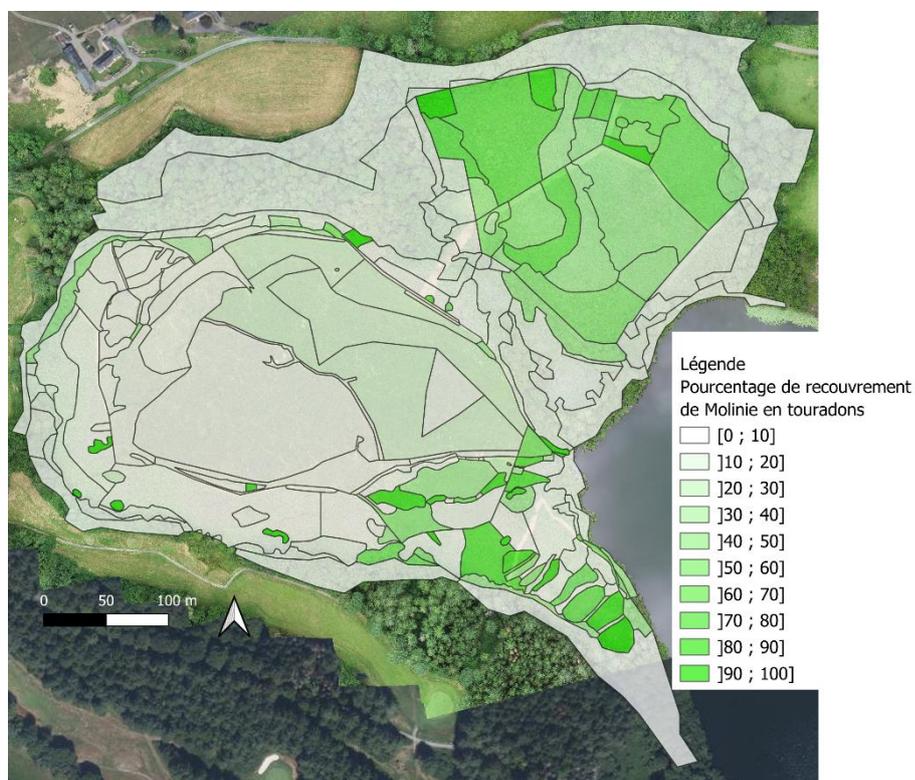
Paramètre	Indicateur	Corrélation et significativité	Critère sélectionné ou non
Surface du patch	Surface du patch de végétation homogène	Corrélation positive significative (Slovenia et al., 2004)	non sélectionné car en contradiction avec les études qui montrent que l'hétérogénéité est favorable au Fadet et critère complexe à mesurer sur le terrain
Structure de la végétation	Homogénéité de la structure	Corrélation négative mais pas de test de significativité (Bräu et al., 2010; Čelik et al., 2014)	non sélectionné car les études parlant de ce critère n'ont pas fait de test de significativité statistique et ne détaillent pas concrètement comment est calculée l'homogénéité de la structure
Structure de la végétation herbacée	Hauteur moyenne de la végétation herbacée	Corrélation négative significative pour les femelles (Čelik et al., 2009) et corrélation positive significative pour les lieux de ponte (Čelik et al., 2014)	non sélectionné car les résultats se contredisent entre l'étude de Čelik de 2009 et celle de 2014
	Ombrage du sol (ou hauteur de la partie la plus basse de la strate herbacée)	Pas de corrélation, doit approcher un optimum mais pas de test de significativité (Čelik & Verovnik, 2010).	non sélectionné car l'étude citant ce critère n'a pas fait de test de significativité
Structure de la végétation arbustive	Pourcentage de recouvrement de la strate arbustive	Corrélation négative mais pas de test de significativité (Čelik & Verovnik, 2010). « Faible recouvrement de buissons est favorable au Fadet » mais pas de test de significativité (Örvössy et al., 2013). Corrélation négative significative pour les lieux de ponte (Čelik et al., 2014)	oui car corrélation positive lors de la pré-étude sur la Lande de Ger
	Hauteur de la strate arbustive	Aucune étude n'a étudié cet indicateur	oui car corrélation positive lors de la pré-étude sur la Lande de Ger
Présence de litière	Pourcentage de recouvrement de la litière	Pas de corrélation, doit approcher un optimum, mais pas de test de significativité (Bräu et al., 2010). Corrélation positive significative pour les larves et pour les lieux de ponte (Čelik et al., 2014)	oui
	Hauteur de litière	Corrélation positive significative (Örvössy et al., 2013)	non sélectionné car il n'y a pas d'assez grosses différences de hauteur de litière sur la tourbière de Lourdes. La litière sera prise en compte par l'indicateur pourcentage de recouvrement de la litière.
	Pourcentage de recouvrement de <i>Calluna vulgaris</i> + litière	Corrélation positive significative pour les larves (Čelik et al., 2014)	non sélectionné, la litière sera prise en compte seule
Composition de la végétation herbacée	Homogénéité de la composition en plantes hôtes	Corrélation positive mais pas de test de significativité (Čelik & Verovnik, 2010)	non sélectionné car ce critère fait doublon avec le critère pourcentage de Molinie

	Pourcentage de recouvrement des plantes nectarifères	Corrélation positive significative (Slovenia et al., 2004) puis corrélation non significative (Čelik et al., 2009) et non significative (Örvössy et al., 2013)	non sélectionné car critère décrit comme non significatif par plusieurs études
	Pourcentage de recouvrement des dicotylédones (sauf les plantes nectarifères)	Corrélation négative significative (Čelik et al., 2009; Slovenia et al., 2004)	non sélectionné car pas applicable à la tourbière de Lourdes puisqu'il n'y a pas de dicotylédones autres que les plantes nectarifères
	Pourcentage de recouvrement des plantes hôtes	Corrélation non significative (Slovenia et al., 2004) car la composition en plante hôtes était très homogène. Corrélation positive mais pas de test de significativité (Čelik et al., 2009)	non sélectionné car fait doublon avec le pourcentage de recouvrement en Molinie
	Largeur des touradons de Molinie	Paramètre mesuré mais pas de test de significativité (Bertolini et al., 2013)	non sélectionné car l'étude parlant de ce critère n'a pas réalisé de test de corrélation ni de significativité
	Pourcentage de recouvrement par <i>Carex panicea</i>	Corrélation positive significative en Allemagne pour les larves (Čelik et al., 2014)	non sélectionné car l'espèce <i>Carex panicea</i> n'est pas présente à la tourbière de Lourdes
	Pourcentage de recouvrement par <i>Schoenus nigricans</i>	Aucune étude n'a étudié cet indicateur	non sélectionné car aucune étude n'a testé ce critère
	Pourcentage de recouvrement par <i>Molinia caerulea</i>	Corrélation négative significative en Allemagne pour les larves (Čelik et al., 2014). Corrélation positive significative en Italie pour les lieux de ponte (Čelik et al., 2014). Corrélation positive significative pour les imagos (Bertolini et al., 2013)	oui
	Pourcentage de recouvrement par des touradons	Corrélation positive significative (Örvössy et al., 2013)	oui
Conditions hydrologiques	Hauteur du niveau des eaux souterraines	Corrélation négative significative (Örvössy et al., 2013)	non sélectionné car le fait que les Fadets soient plus nombreux quand la nappe est plus profonde est en contradiction avec les études qui montrent que les zones plus humides sont plus favorables (Caubet et al., 2019)
	Humidité du sol (calculée via indice Ellenberg)	Corrélation positive significative (Bertolini et al., 2013)	non sélectionné car compliqué à mesurer sur le terrain car nécessite un inventaire de la flore puis un calcul avec les indices d'Ellenberg
Altérations de l'habitat	Sol nu ou perturbé (à cause d'altérations non naturelles)	(Maciejewski et al., 2013)	oui

Annexe 2 : Cartes présentant le résultat du terrain de cartographie des zones potentiellement favorables en 2023



Cartographie du pourcentage de recouvrement de *Molinia caerulea* sur les différents polygones d'habitats homogène de la tourbière de Lourdes en 2023



Cartographie du pourcentage de recouvrement de touradons de Molinie sur les différents polygones d'habitats homogène de la tourbière de Lourdes en 2023

Annexe 3 : Tableaux des données brutes et des calculs des notes issues de l'application du protocole d'évaluation de la qualité des habitats pour la reproduction du Fadet des Laïches en 2023

nouv_id	Zone	%_molinie	Note	%_touradon	Note	%_esp_arbu	Note	H_esp_arbu	Note	%_litier	Note	%_sol_degr	Note	Somme	Zone
1	9	80	2	0	0	0	2	0	2	1	0	0	2	8	9
2	9	75	2	0	0	0	2	0	2	10	0	5	2	8	9
3	9	70	2	10	1	15	1	50	2	10	0	0	2	8	9
4	7	75	2	10	1	50	0	110	1	15	0	0	2	6	7
5	7	70	2	30	1	70	0	200	1	15	0	10	0	4	7
6	6	95	2	90	1	30	0	60	2	51	2	0	2	9	6
7	6	80	2	20	1	35	0	80	2	10	0	5	2	7	6
8	6	95	2	5	1	30	0	60	2	70	2	0	2	9	6
9	4	95	2	80	1	5	2	80	2	75	2	5	2	11	4
10	4	95	2	5	1	7	2	50	2	100	2	0	2	11	4
11	4	95	2	5	1	60	0	90	2	100	2	0	2	9	4
12	8	95	2	95	1	70	0	200	1	98	2	0	2	8	8
13	8	60	2	60	1	65	0	280	1	90	2	0	2	8	8
14	5	55	2	20	1	10	2	120	1	80	2	0	2	10	5
15	5	95	2	95	1	5	2	200	1	95	2	0	2	10	5
16	2	95	2	90	1	35	0	300	0	5	0	5	2	5	2
17	2	95	2	50	1	50	0	170	1	20	0	10	0	4	2
18	10	25	0	25	1	40	0	200	1	100	2	5	2	6	10
19	10	50	2	50	1	40	0	120	1	100	2	6	2	8	10
20	3	20	0	15	1	99	0	200	1	60	2	0	2	6	3
21	3	50	2	45	1	90	0	300	0	80	2	0	2	7	3
22	1	95	2	90	1	35	0	300	0	5	0	5	2	5	1
23	1	70	2	55	1	70	0	120	1	60	2	2	2	8	1
Somme			2		1		2		2		2		2	11	

Zone	Nom de la zone	Note finale d'évaluation, moyenne par zone
1	Bas-marais alcalin, pâturé parc 1	6,5
2	Bas-marais alcalin pâturé parc 2	4,5
3	Bas-marais alcalin, pâturé parc 3	6,5
4	Prairie à Molinie en touradons, en exclos	10,3
5	Prairie à Molinie encadrée de marisque, pâturée	10
6	Tourbière haute active pâturée, colonisée par la Callune	8,3
7	Cladiaie peu dense, pas/peu pâturée	5
8	Végétation arbustive dominante (ligneux et roseaux) et Molinie, non pâturée	8
9	Végétation herbacée basse composée de Molinie et rhynchosporé, pâturée	8
10	Bas-marais alcalin colonisé par la bourdaine et l'aulne, pâturé parc 3	7

Résumé

Le Fadet des Laïches, *Coenonympha oedippus* (Fabricius, 1787), est un lépidoptère inféodé aux prairies humides et semi-ouvertes. L'espèce est protégée à l'échelle nationale car particulièrement rare et quasi-menacée à l'échelle de la France. Une population de Fadets des Laïches est présente sur le site Natura 2000 « Tourbière et lac de Lourdes » dans les Hautes-Pyrénées (65) et est suivie régulièrement depuis 2009. Afin de mieux gérer le site en la faveur de l'espèce, il était nécessaire de créer de la connaissance sur la population de ce site, que ce soit sur l'écologie de l'espèce, la dynamique de la population ou ses préférences en termes d'habitat. Une première étude sur la dynamique spatiale et temporelle de la population de Fadets des Laïches a été réalisée et a permis de montrer une décroissance significative de la population de la tourbière de Lourdes depuis 2009 ainsi qu'une disparition de l'espèce sur la partie nord-est de la tourbière depuis 2018. Cette même étude a également montré les préférences du papillon pour certains habitats et notamment ceux qui sont particulièrement hétérogènes et qui présentent un faible recouvrement par les ligneux. Ensuite, une seconde étude a été dédiée à caractériser plus en détail quels sont les critères concrets de l'habitat qui le rendent favorable pour la reproduction du Fadet des Laïches. Les caractéristiques de l'habitat importantes pour le papillon ont été utilisées comme indicateurs afin de développer un protocole d'évaluation de la qualité des habitats pour la reproduction du papillon applicable au site de la tourbière de Lourdes. Enfin, le rapport s'est conclu par des préconisations de pratiques de gestion adaptées et localisées pour mieux gérer le site de la tourbière de Lourdes en la faveur du Fadet des Laïches.