

*Site Natura 2000 : Tourbière et lac de Lourdes FR7300936*

## RAPPORT D'ETUDE

# ANALYSE SPATIALE ET TEMPORELLE DE LA PRESENCE DU FADET DES LAICHES (*COENONYMPHA OEDIPPUS*) SUR LE SITE NATURA 2000 « TOURBIERE ET LAC DE LOURDES » (65)

2023

*DORGET Oriane – Août 2023*



## TABLE DES MATIERES

Table des matières .....	2
Table des illustrations, tableaux et équations .....	4
1. Introduction.....	6
2. Matériel et méthodes.....	7
2.1 Site d'étude, la tourbière de Lourdes.....	7
2.2 Espèce étudiée, le Fadet des Laïches, <i>Coenonympha oedippus</i> (Fabricius 1787).....	9
2.3 Méthodes de suivi du Fadet des Laïches sur la tourbière de Lourdes depuis 2009 .....	11
2.4 Méthode d'analyse des suivis du Fadet des Laïches .....	12
3. Résultats.....	13
3.1. Analyse globale de la tendance de la dynamique de population .....	13
3.2. Analyse de la phénologie du Fadet des Laïches .....	15
3.3. Analyse spatio-temporelle de la population de Fadets des Laïches à la tourbière de Lourdes 18	
3.3.1. Inventaire en 2005 par Biotope.....	19
3.3.2. Suivis par transects et par placettes en 2009, 2011 et 2012 par l'AREMIP .....	19
3.3.3. Etude du comportement de ponte et de reproduction en 2014 par l'AREMIP .....	21
3.3.4. Suivi par CMR et par transects en 2016 par le CEN Midi-Pyrénées .....	22
3.3.5. Suivi par transects en 2018 par le PLVG.....	24
3.3.6. Suivi par CMR en 2020 par le CEN Occitanie.....	24
3.3.7. Suivis par transects en 2021 et 2022 par le PLVG .....	25
3.3.7. Suivi par transects en 2023 par le PLVG.....	26
3.3.8. Conclusion de l'analyse spatio-temporelle de la population de Fadets des Laïches à la tourbière de Lourdes d'après les suivis depuis 2005 .....	27
3.4. Analyse de la présence du Fadet en fonction de la météo .....	28
4. Les limites de l'étude.....	30
5. Conclusion .....	31
6. Recommandations d'actions de gestion et de suivi.....	33
6.1. Actions de gestion pour limiter la fermeture du milieu .....	34
6.2. Actions de gestion pour augmenter l'hétérogénéité du milieu .....	34

6.3.	Suivi du Fadet des Laïches .....	34
6.4.	Réintroduction du Fadet des Laïches .....	35
6.5.	Etude d'évaluation de la qualité des habitats pour la reproduction du Fadet des Laïches ..	37
	Bibliographie et webographie .....	38

## TABLE DES ILLUSTRATIONS, TABLEAUX ET EQUATIONS

Figure 1 - Localisation de la tourbière et du lac de Lourdes (Géoportail).....	7
Figure 2 - Occupation du sol (CETRA, 2019).....	7
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)) .....	8
Figure 4 - Photographie de Fadet des Laïches mâle à la tourbière de Lourdes en juillet 2023 (par Oriane Dorget) .....	9
Figure 5 - Répartition du Fadet des Laïches à l'échelle mondiale entre 2013 et 2023 (Gbif, 2013 - 2023) .....	9
Figure 6 - Présence du Fadet des Laïches en France en 2020 (Atlas de la Biodiversité Départementale et des Secteurs Marins, s. d.) .....	10
Figure 7 - Suivis du Fadet des Laïches réalisés entre 2009 et 2023 - Méthodologies et organismes ayant réalisé les suivis .....	11
Figure 8 - Cartographie des 3 tracés de transects pour le suivi Fadet des Laïches.....	11
Figure 9 – Somme des IAA par transect selon les années de suivi du Fadet des Laïches .....	13
Figure 10 - IAA selon les transects en fonction des années de suivi du Fadet des Laïches ; les localisations des différents transects sont visibles sur la Figure 8.....	14
Figure 11 - Dates d'observation des imagos du Fadet des Laïches à Lourdes selon les années de suivi .....	15
Figure 12 - 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 .....	16
Figure 13 - 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 .....	16
Figure 14 - Moyenne des décalages de phénologie par décade selon le groupe d'espèces (Root et al., 2003).....	16
Figure 15 - 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 (en heures) .....	17
Figure 16 - 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) .....	18
Figure 17 - Localisation des Fadets des Laïches et Lucanes Cerf-volant et leurs habitats potentiels (BIOTOPE, 2007).....	19

Figure 18 - Cartographie de l'inventaire du Fadet des Laïches par placettes sur la tourbière de Lourdes en 2009 (Parde, 2009) .....	19
Figure 19 - Cartographie de l'inventaire du Fadet des Laïches par placettes sur la tourbière de Lourdes en 2011 (Parde, 2011) .....	19
Figure 20 - Cartographie de l'inventaire du Fadet des Laïches par placettes sur la tourbière de Lourdes en 2012 (Parde, 2012) .....	20
Figure 21 - Cartographie du suivi par CMR du Fadet des Laïches sur la tourbière de Lourdes en 2020 (Demergès, 2016) .....	22
Figure 22 - Pluviométrie des mois d'été selon les années (Historique Météo des Pyrénées françaises, s. d.).....	23
Figure 23 - Cartographie du suivi du Fadet des Laïches par transects sur la tourbière de Lourdes en 2018 (PLVG, 2018).....	24
Figure 24 - Cartographie du suivi par CMR du Fadet des Laïches sur la tourbière en 2020 (Charlot, 2020) .....	24
Figure 25 - Cartographie des suivis par transects du Fadet des Laïches sur la tourbière de Lourdes en 2021 et en 2022.....	25
Figure 26 - Cartographie du suivi par transects du Fadet des Laïches sur la tourbière de Lourdes en 2023.....	26
Figure 27 - 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 de la BD Ortho par l'IGN et photo aérienne par le PLVG en juin 2020).....	27
Figure 28 - Pluviométrie moyenne de juillet (en mm) et somme des Indices Annuels d'Abondance du Fadet par transect en fonction des années de suivi.....	28
Figure 29 - Bilan des variables corrélées, anti-corrélées ou non corrélées au Fadet des Laïches .....	30
Figure 30 - Chenille de papillon glauque ( <i>Papilio glaucus</i> ) sous lampe à UV, 2020, East Brunswick, New Jersey (Moskowitz, 2021).....	35
Figure 31 - 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.).....	36
Figure 32 - Bilan des recommandations d'actions de gestion et de suivi .....	37
Tableau 1 - Tableau récapitulatif de l'effort de prospection appliqué chaque année.....	11
Équation 1 - Formule de l'indice d'abondance.....	12

## 1. INTRODUCTION

Le plus ancien témoignage trouvé attestant de la présence du Fadet des Laïches, *Coenonympha oedippus* (Fabricius 1787), sur la tourbière de Lourdes date de 1858, par M. Phillippe dans le cadre d'un catalogue méthodique des Lépidoptères d'Europe des Hautes-Pyrénées (Phillippe, 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'Action Recherche Environnement Midi-Pyrénées (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 Zone Spéciale de Conservation (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 Document d'Objectifs (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 une étude de 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 depuis 2009. 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 étant 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. 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).



Figure 1 - 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 ZSC FR7300936 « Tourbière et lac de Lourdes » dont le syndicat mixte Pays de Lourdes et des Vallées des Gaves (PLVG) assure l'animation du DOCOB depuis 2007.

Le climat à Lourdes bénéficie d'une influence à la fois montagnarde et océanique. Les précipitations y sont assez élevées, avec en moyenne 1776 mm/an. Les températures sont plutôt douces, la température annuelle moyenne étant de 13°C, avec comme mois le plus chaud août avec 20.3°C en moyenne et janvier comme mois le plus froid avec 6.5°C en moyenne (moyennes sur les années 1991 – 2020 à Ayros Arbouix) (*Historique Météo des Pyrénées françaises*, s. d.).

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 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.

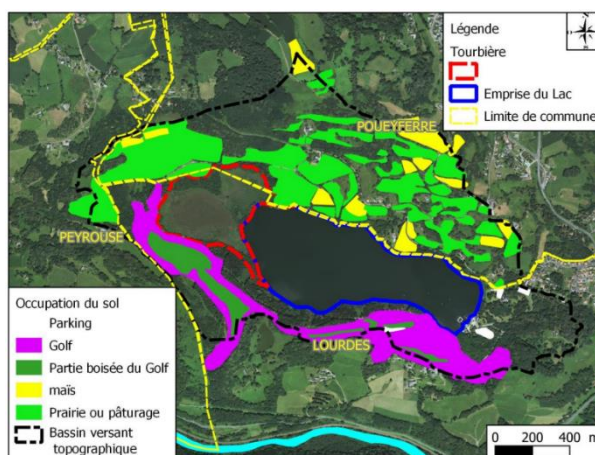


Figure 2 - Occupation du sol (CETRA, 2019)

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 *Calluna vulgaris*, entourée d'une cladiaie (milieu dominé par *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 *Frangula alnus* et *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.

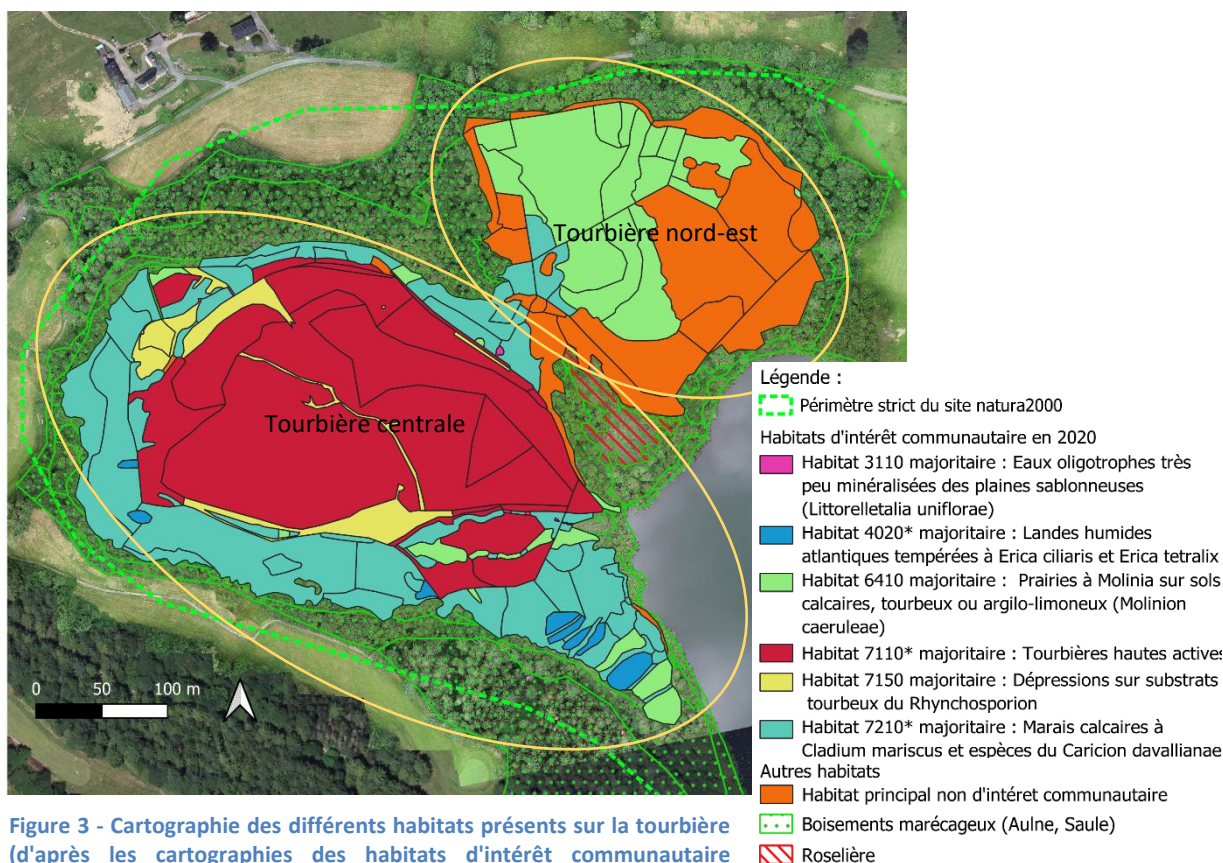


Figure 3 - Cartographie des différents habitats présents sur la tourbière (d'après les cartographies des habitats d'intérêt communautaire réalisées par BIOTOPE en 2020 (BIOTOPE, 2020) et par l'AREMIP en 2012 (AREMIP, 2012))

Un des enjeux principaux du site Natura 2000 est la protection des

habitats de la tourbière qui sont presque tous dits d'intérêt communautaire, inscrits à la Directive Habitats-Faune-Flore 92/43/CEE, car ils représentent un enjeu de conservation à l'échelle européenne. Certains 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 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, tandis que la partie nord-est l'est seulement depuis 2010. De la coupe de ligneux a été réalisée dans les années 2009 à 2013 par l'Office National des Forêts (ONF) sur le pourtour de la partie centrale et sur la tourbière nord-est. Ces actions se poursuivent depuis 2013 plus ponctuellement mais elles peinent à contenir la fermeture du milieu.

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



Figure 4 - Photographie de Fadet des Laïches mâle à la tourbière de Lourdes en juillet 2023 (par Oriane Dorget)

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 noires et blanches sur l'extérieur de l'aile postérieure avec la plus haute ocelle décalée permettent de l'identifier sans confusion possible (Figure 4). On distingue les mâles des femelles

grâce à la présence (femelle) ou absence (mâle) 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 succèsifs.

A l'échelle mondiale, l'espèce est présente en Eurasie tempérée depuis la France jusqu'au Japon (Figure 5). En Europe les noyaux principaux de population sont le Sud-Ouest de la France et le Nord de

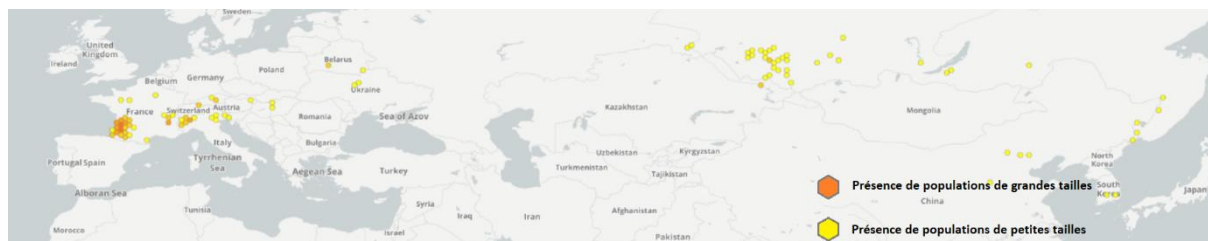


Figure 5 - Répartition du Fadet des Laïches à l'échelle mondiale entre 2013 et 2023 (Gbif, 2013 - 2023) (*Coenonympha Oedippus* Fabricius, 1787, s. d.)

l'Italie 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 plutôt présente là où les hivers 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 6), 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.

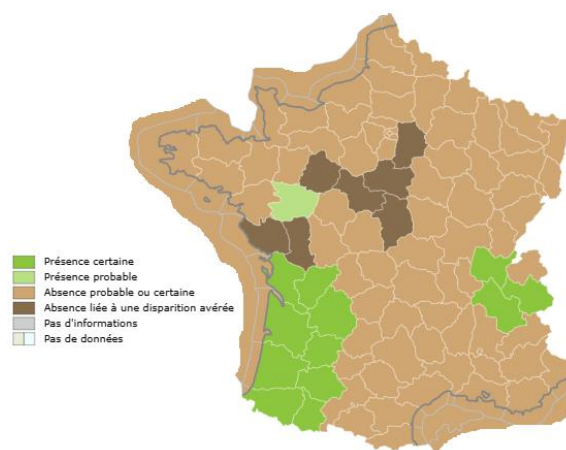


Figure 6 - Présence du Fadet des Laïches en France en 2020 (Atlas de la Biodiversité Départementale et des Secteurs Marins, s. d.)

Le papillon passe la majeure partie de l'année sous forme de chenille qui évolue en 5 stades (Bensettiti & Gaudillat, 2002). Les œufs éclosent 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 et entrent en diapause jusqu'à avril ou mai (Caubet et al., 2019). Lorsque la chenille redevient active, elle se nourrit 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 (dans le cas de la tourbière de Lourdes), 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 sont généralement observés vers la fin juin. La phénologie du papillon est très variable selon la localisation de la population, par exemple en 2023 le premier Fadet des Laïches en Nouvelle-Aquitaine a été observé le 31 mai tandis qu'à Lourdes il a été observé le 05 juillet. 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 plus immobiles et attendent les mâles. 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 toujours sur la Molinie bleue, le site de ponte est toujours à proximité de Molinie. Les imagos sont floricoles mais ils butinent peu.

Ce papillon est particulièrement menacé car les populations européennes sont en déclin : en 1999 le « Red data book of the european butterfly » (Swaay & Warren, 1999) annonçait qu'en 25 ans les populations avaient décliné de 80 à 100 %. 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 soit des prairies humides et des marais tourbeux (Bensettiti & Gaudillat, 2002) 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 protégés sur l'ensemble du territoire français (Arrêté interministériel du 23 avril 2007). Il est donc notamment interdit de détruire ses œufs, de le mutiler, le tuer ou 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).

## 2.3 METHODES DE SUIVI DU FADET DES LAÏCHES SUR LA TOURBIERE 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 7).

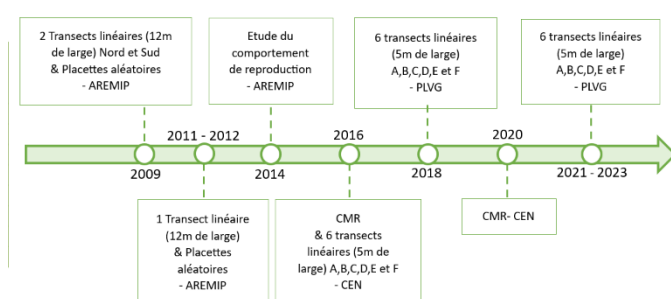


Figure 7 - Suivis du Fadet des Laïches réalisés entre 2009 et 2023 - Méthodologies et organismes ayant réalisé les suivis

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 8) ainsi que par l'effort d'échantillonnage (Tableau 1).

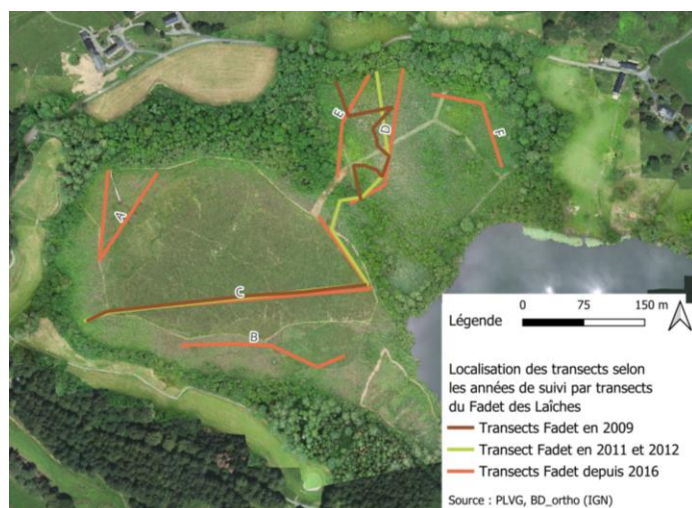


Figure 8 - Cartographie des 3 tracés de transects pour le suivi Fadet des Laïches

Les suivis par transects linéaires correspondent à un parcours d'un tracé toujours 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

Tableau 1 - Tableau récapitulatif l'effort de prospection appliqué chaque année

Année	Intervalle moyen entre 2 jours de suivi	Nombre de passages total	Nombre de passages pendant 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

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 seulement en 2009, 2011 et 2012. Ceux-ci consistaient à observer pendant 15 minutes chacune des 32 placettes de 10m par 10m 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 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 des individus permettent de connaître les historiques de déplacements des individus.

## 2.4 METHODE D'ANALYSE DES SUIVIS DU FADET DES LAICHES

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 (IAA) 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 8) 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 2022 où il passait tous les 3 jours. Pour pouvoir comparer les données, l'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.

### 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 la section donnée, 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

L'IAA a donc été calculé pour tous les suivis depuis 2009 et a permis de comparer la taille de la population au cours du temps.

Des régressions linaires 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 et la ou les prédicteurs 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 rentrées, si celle-ci est inférieure à 5% on peut dire (avec un risque de 5%) que la relation entre les variables est significative.

### 3. RESULTATS

#### 3.1. ANALYSE GLOBALE DE LA TENDANCE DE LA DYNAMIQUE DE POPULATION

L'analyse globale de la dynamique de population est réalisée en faisant la synthèse des données issues des suivis réalisés depuis 2009. Concernant les suivis par CMR, le premier en 2016 estimait la population à 300 individus et le second en 2020 l'estimait à 110 individus ( $\pm 86$ ). 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 a été ratée.

L'analyse des suivis par transects et plus précisément l'analyse des IAA calculés grâce à ces suivis permet d'estimer mieux la dynamique de population. Les graphes ci-contre et 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'existent plus, il n'est malheureusement pas possible de calculer l'IAA.

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).

La figure 9 représentant la somme des IAA de tous les transects selon les années permet de visualiser

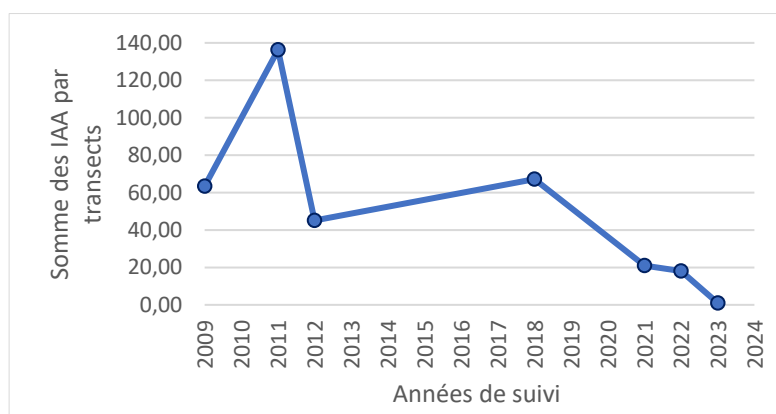


Figure 9 – Somme des IAA par transect selon les années de suivi du Fadet des Laïches

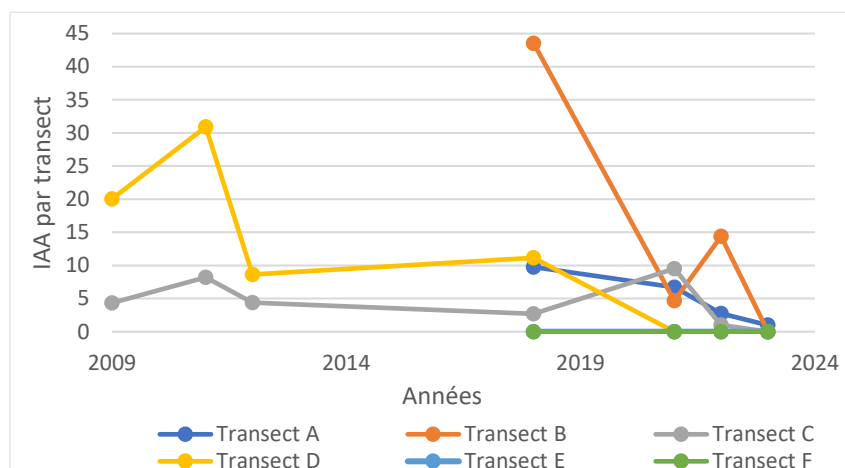
la tendance de diminution depuis 2009. Entre certaines années les valeurs de l'IAA chutent fortement, comme entre 2011 et 2012 où l'IAA a été divisé par 3. Une hypothèse expliquant ces fortes variations interannuelles est le rôle important de la météo. Par exemple, le rapport du suivi de 2012 indique que les conditions météorologiques mauvaises en fin d'été 2011 et le printemps froid en

2012 pourraient expliquer la mauvaise reproduction entre 2011 et 2012 (Parde, 2012). Même s'il existe une forte variabilité interannuelle liée au fait que les papillons soient des insectes très sensibles aux



conditions météorologiques, on observe tout de même une tendance globale à la décroissance. En réalisant une régression linéaire pour vérifier la réalité statistique derrière cette apparente diminution depuis 2009, il apparaît que la diminution est quasiment significative ( $R^2 = 0,498$ ,  $df = 6$ ,  $p\text{-value} = 0,050 \approx 5\%$ ). On peut donc affirmer statistiquement que la population est en décroissance.

En comparant les évolutions de l'IAA par transects depuis 2009 (Figure 10), on voit aussi que les



variations entre les années à l'échelle des transects peuvent être assez fortes. Sur le graphe est visible le fait que depuis 2021 plus aucun Fadet des Laïches n'a été observé sur la partie Nord-est de la tourbière (transect D, E et F). En effet, une régression linéaire entre l'IAA du transect D depuis 2009 et les années a permis de montrer qu'il y a une diminution

Figure 10 - IAA selon les transects en fonction des années de suivi du Fadet des Laïches ; les localisations des différents transects sont visibles sur la Figure 8

statistiquement significative ( $R^2 = 0.653$ ,  $df = 6$ ,  $p\text{-value} = 0.015 < 5\%$ ). Le transect A montre depuis 2018 lui aussi une diminution significative ( $R^2 = 0.924$ ,  $df = 2$ ,  $p\text{-value} = 0,039 < 5\%$ ). En revanche, pour les autres transects la diminution n'est pas statistiquement significative.

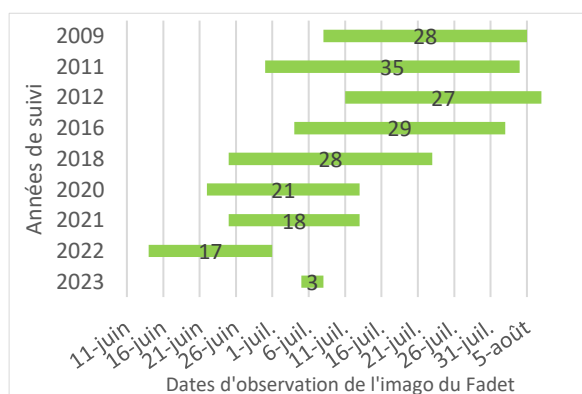
Cependant, il est important de rappeler que les valeurs de l'IAA ne sont pas forcément très représentatives de la taille de la population étant donné qu'elles se basent sur un protocole de suivi par transects qui n'est pas tout à fait fiable. En effet, la détectabilité du Fadet des Laïches lors d'un suivi par transects n'est pas de 100% car il est plus difficile à observer lorsqu'il ne vole pas. L'activité du Fadet des Laïches dépend beaucoup de la météo et de l'heure de la journée (Bertolini et al., 2013) or ces suivis par transects n'ont probablement pas été réalisés au même moment de la journée ni dans les mêmes conditions de météo donc la détectabilité du papillon n'était pas la même.

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 (*Frangula dodnei* et *Alnus glutinosa*) et les herbacées hautes (*Phragmites australis* et *Cladium mariscus*), ce qui est défavorable au papillon lorsque la fermeture du milieu devient trop élevée. Deuxièmement, une autre hypothèse au déclin de la population 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 Baratchère (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 Conservatoire d'espaces naturels (CEN) Occitanie et par l'AREMIP. Enfin, une dernière hypothèse est que le déclin soit lié au changement climatique. L'impact de 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.

### 3.2. 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 11 - 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 de sorte à ne pas rater le premier individu qui émerge) alors on peut comparer les dates d'émergence du papillon entre les années de suivi sur la tourbière de Lourdes (Figure 11). 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 pour lesquelles il a émergé plus tard (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. En effet, 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 12) puis en la prenant en compte (Figure 13). 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%).

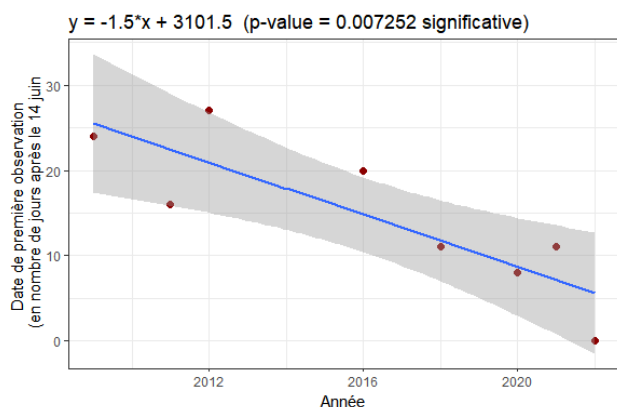


Figure 12 - Date de la première observation de Fadet des Laïches à Lourdes (en nombre de jours après le 14 juin) en fonction des années (sans l'année 2023) ; et formule de la droite de régression linéaire

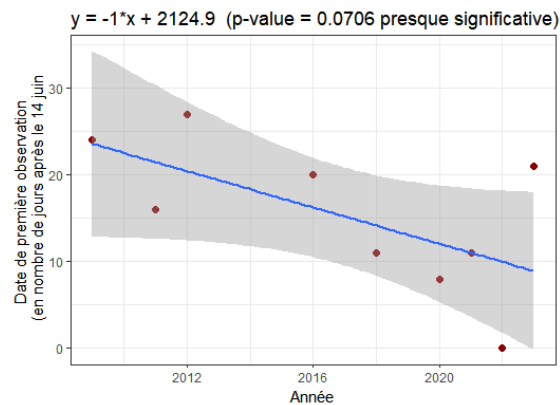


Figure 13 - Date de la première observation de Fadet des Laïches à Lourdes (en nombre de jours après le 14 juin) en fonction des années (avec l'année 2023) ; et formule de la droite de régression linéaire

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 au fait notamment que les printemps soient plus doux et donc que la reprise d'activité des organismes se fasse plus tôt. Une méta analyse réalisée en 2003 a par exemple montré que la moyenne de décalage du pic d'émergence des invertébrés qui ont subi une modification de la phénologie est de + 5.4 jours par décennie (Figure 14) (Root *et al.*, 2003).

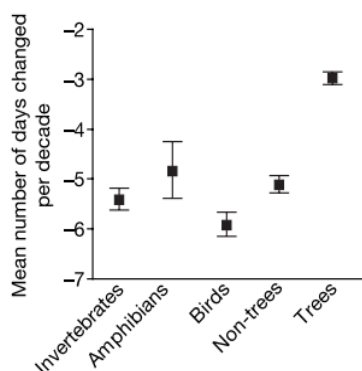


Figure 14 - Moyenne des décalages de phénologie par décennie selon le groupe d'espèces (Root *et al.*, 2003)

Une autre métaanalyse, 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 peut avoir pour conséquence un avancement de la moyenne du pic d'émergence des Lépidoptères de 2 à 10 jours.

L'analyse de la modification de la date d'émergence du Fadet des Laïches 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 leur 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 influence 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 (Tmax >= 30°C) et de très forte chaleur (Tmax >= 35°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 sauf la durée d'ensoleillement. Il existe une relation significative entre la durée d'ensoleillement du mois de juin et la date d'émergence du premier Fadet des Laïches ( $R^2 = 0.548$ ,  $DF = 6$ ,  $p\text{-value} = 0.036$ ) (Figure 15). 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.

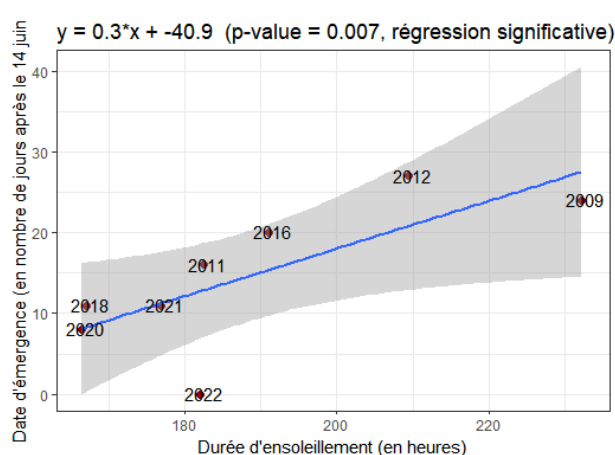


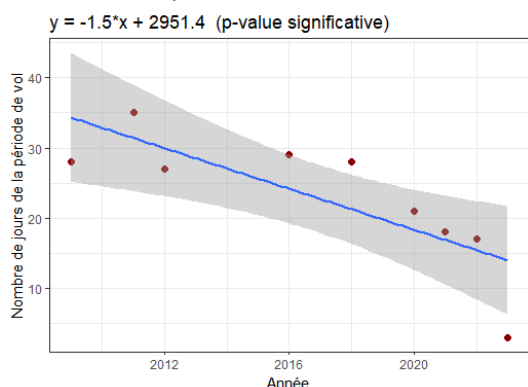
Figure 15 - Date de la première observation de Fadet des Laïches à Lourdes (en nombre de jour après le 14 juin) en fonction de la durée d'ensoleillement (en heures)

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.

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 vol 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 16). D'après la formule de la droite de régression on peut même dire que chaque année cette date recule d'environ 1,5 jour.

Figure 16 - 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 de 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 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 pourrait avoir pour conséquence qu'il soit donc moins probable d'observer des individus précoces ou tardifs.

Pour conclure, l'analyse de la dynamique 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.

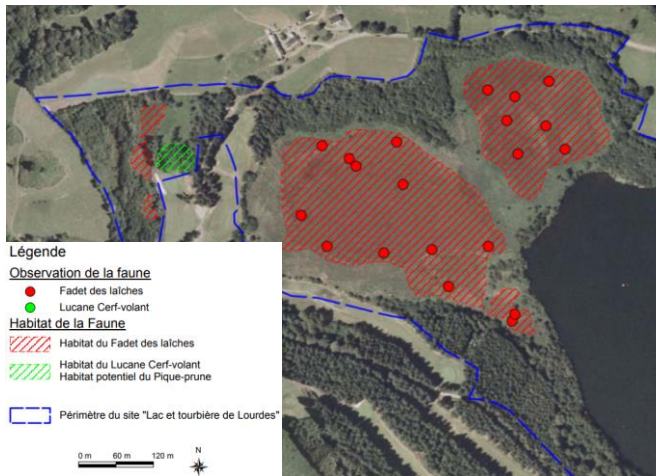
### 3.3. ANALYSE SPATIO-TEMPORELLE DE LA POPULATION DE FADETS DES LAICHES A LA TOURBIERE DE LOURDES

L'analyse des localisations des observations de Fadets des Laïches lors des suivis depuis 2005 a pour but de comprendre la variation au cours du temps de sa présence sur la tourbière et ses préférences en termes d'habitat. De plus, l'analyse a pour but d'apporter des précisions supplémentaires plus localisées par rapport à l'analyse globale de la tendance de dynamique de population (partie 3.1).



### 3.3.1. 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



Cependant, la distribution spatiale des points d'observation est tout de même intéressante puisque la cartographie (Figure 17) 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 17 - Localisation des Fadets des Laïches et Lucanes Cerf-volant et leurs habitats potentiels (BIOTOPE, 2007)

### 3.3.2. 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 18, 19, 20).

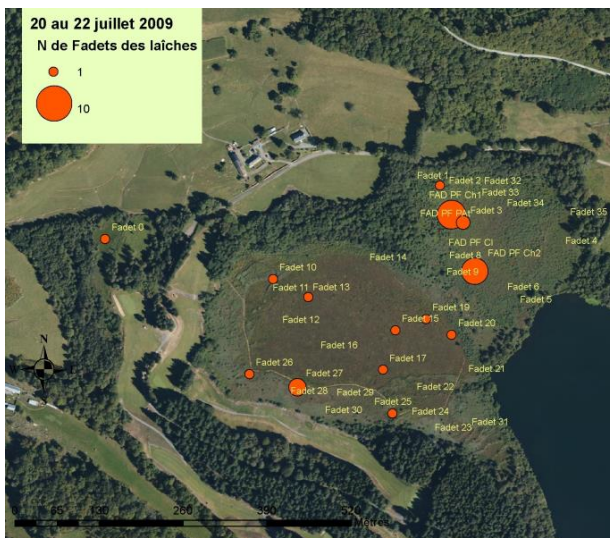


Figure 18 - Cartographie de l'inventaire du Fadet des Laïches par placettes sur la tourbière de Lourdes en 2009 (Parde, 2009)

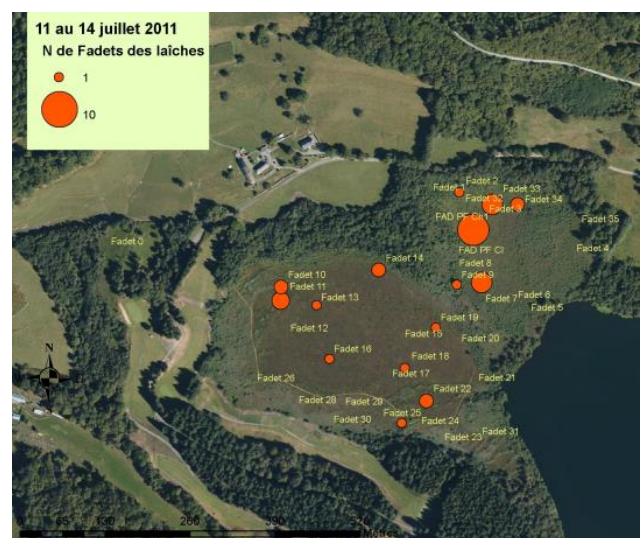


Figure 19 - Cartographie de l'inventaire du Fadet des Laïches par placettes sur la tourbière de Lourdes en 2011 (Parde, 2011)

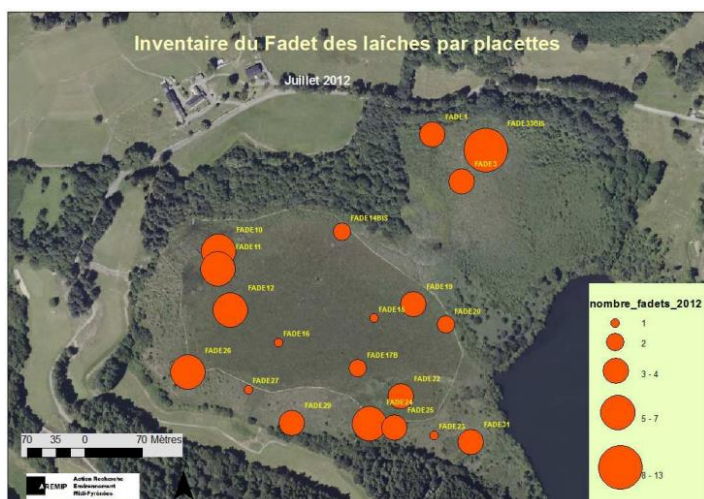


Figure 20 - Cartographie de l'inventaire du Fadet des Laïches par placettes sur la tourbière de Lourdes en 2012 (Parde, 2012)

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. Un Fadet a été observé en 2009 dans la zone tourbeuse au nord-ouest de la tourbière mais en 2011 et 2012 aucun Fadet n'y a été observé.

La périphérie de la tourbière centrale et la tourbière nord-est sont 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. Dès que la cladiaie ou la phragmitaie deviennent dominantes, l'habitat n'est plus fréquenté. 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 décapages 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 pas ou très 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 limiterait 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. En revanche, pour le suivi par placettes des différences sont à noter : le nombre de Fadets observés dans la partie centrale est passé de 22 à 50 individus entre 2011 et 2012 contre seulement 14 à 16 individus sur la partie nord-est entre 2011 et 2012. Pourtant, le temps dédié à observer les Fadets était toujours 15 minutes par placette. Cependant, il est difficile de dire si la différence entre les observations de 2011 et 2012 est réellement liée au fait qu'il n'y a pas eu de pâturage sur la partie centrale ou à un artefact lié au suivi. En effet, il est étonnant de voir une si forte discordance entre les données des suivis par transects de celles du suivi par placettes. Le nombre de Fadets observés lors du suivi par transects est quasiment deux fois plus faible en 2012 qu'en 2011 (33 en 2012 contre 57 en 2011) alors que pour le suivi par placettes il est à l'inverse deux fois plus élevé en 2012 qu'en 2011 (76 en 2012 contre 36 en 2011). Une hypothèse expliquant ceci est que les conditions météorologiques du suivi par placette de 2011 ont été mauvaises (pluie froide) sur 2 des 3 jours d'observations alors qu'en 2012 le temps était toujours plutôt beau et chaud pendant le suivi. De plus, les suivis par placettes n'ont peut-être pas été fait exactement au même moment par rapport au pic de vol. Ainsi, les données des suivis placettes seraient difficilement comparables. On ne peut donc pas vraiment conclure de l'effet de l'absence de pâturage en 2011 sur le Fadet des Laïches. Seule une expérience avec deux zones présentant un habitat similaire mais où l'une est pâturée et l'autre témoin non pâturé permettrait d'évaluer l'effet du pâturage en comparant le nombre de Fadets dans les deux zones pour une même année (avec donc des conditions météorologiques similaires).

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) a doublé donc ceci pourrait être dû à l'effet bénéfique de la réouverture de cette zone, mais encore une fois les données du suivi par placettes sont difficilement exploitables.

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. En effet, une dynamique de population différente est à noter entre la partie nord-est qui semble être stable voir diminuer (3 mailles positives lors du suivi par placette en 2012 contre 4 en 2009) et la partie centrale qui augmente (17 mailles positives en 2012 contre 9 en 2009).

### 3.3.3. 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 est réalisée par l'AREMIP (Parde, 2014). Cette étude se focalise 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 donc on ne peut pas comparer ces chiffres. Par contre, le rapport déclare 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 donc 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 du bas-marais. Des différences de conditions entre les deux parties de la tourbière (chaleur, vent, ombrage...) pourraient expliquer ce décalage phénologique.

### 3.3.4. 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

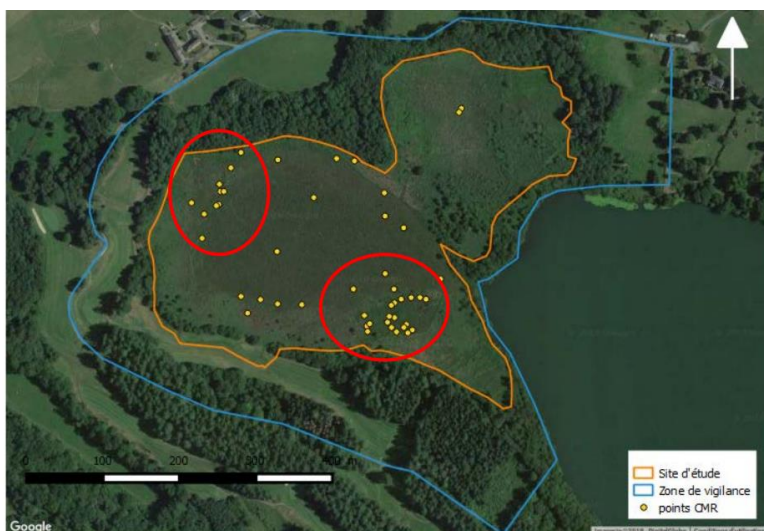


Figure 21 - Cartographie du suivi par CMR du Fadet des Laïches sur la tourbière de Lourdes en 2020 (Demergès, 2016)

transects (Figure 21). 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 sont 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 (code habitat N200 7110), de dépressions sur substrats tourbeux du Rhynchosporion (code habitat N2000 7150) et de Prairies à Molinie sur sols calcaires, tourbeux ou argilo-limoneux (code habitat N2000 6410).

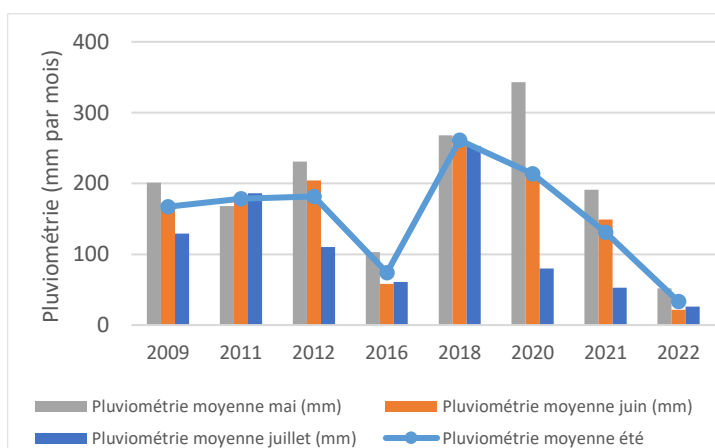
Seuls 2 papillons ont été observés dans la partie nord-est de la tourbière. Ce chiffre paraît extrêmement faible vis-à-vis des 60 Fadets observés en 2014. D'autant plus qu'aucune pratique de gestion particulière n'a eu lieu entre 2014 et 2016. Plusieurs hypothèses permettant d'expliquer la

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 Laïches 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'espace 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 jour (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 (*Historique Météo des Pyrénées françaises, s. d.*) (Figure 22) ait conduit à fortement empêcher/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.

Figure 22 - Pluviométrie des mois d'été selon les années (*Historique Météo des Pyrénées françaises, s. d.*)

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.

### 3.3.5. 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

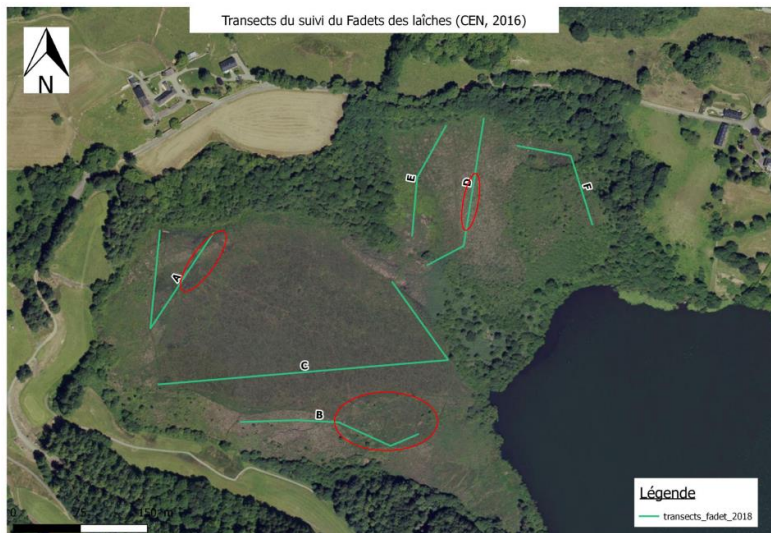


Figure 23 - Cartographie du suivi du Fadet des Laïches par transects sur la tourbière de Lourdes en 2018 (PLVG, 2018)

zone de Molinie au sud-est de la tourbière (Figure 23) (PLVG, 2018). Un autre groupe de Fadets a été observé au nord-ouest de la tourbière centrale, sur l'habitat 7110 « tourbière haute active », dans les zones à rhynchospore. 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.

Il est à noter que le printemps 2018 a été particulièrement froid et pluvieux donc ceci a pu jouer sur la survie des larves et expliquer que peu de Fadets ont été observés à l'été 2018. Puis de gros orages ont eu lieu à partir du 16 juillet jusqu'au 23 juillet, alors que les imagos étaient encore présents, limitant peut-être la reproduction des Fadets pour l'année 2019.

### 3.3.6. 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



Figure 24 - Cartographie du suivi par CMR du Fadet des Laïches sur la tourbière en 2020 (Charlot, 2020)

d'estimation de population est très élevé : la population est estimée à 110 ( $\pm$  86). Les localisations des captures (Figure 24) 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. Aucun Fadet n'a été observé dans la partie nord-est, autrefois densément peuplée mais où la végétation est en 2018 colonisée par les roseaux et les ligneux.

### 3.3.7. 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.

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 25). 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.

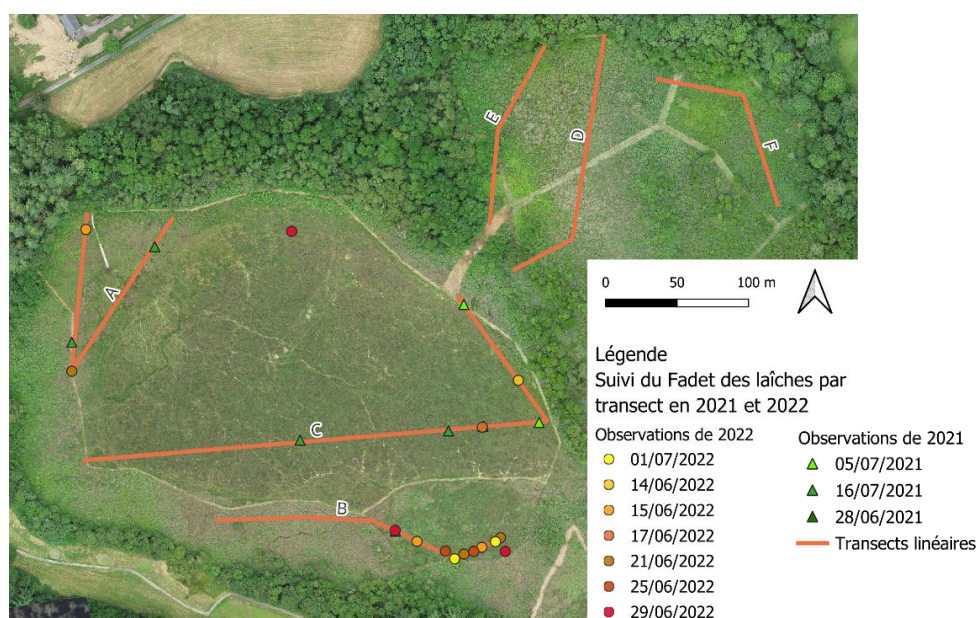


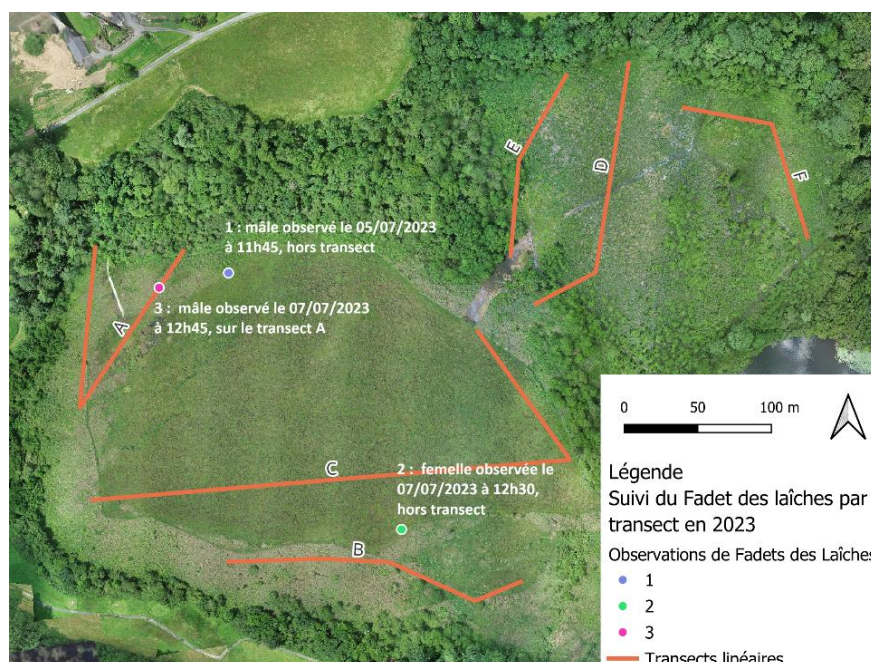
Figure 25 - Cartographie des suivis par transects du Fadet des Laïches sur la tourbière de Lourdes en 2021 et en 2022

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 le même habitat toujours pâturé 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).



### 3.3.7. 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, 2023b) (Figure 26). 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 lui être peut-être pas si défavorable.

Figure 26 - Cartographie du suivi par transects du Fadet des Laïches sur la tourbière de Lourdes en 2023

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.

### 3.3.8. Conclusion de l'analyse spatio-temporelle de la population de Fadets des Laïches à la tourbière de Lourdes d'après les suivis 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 27). Si cette séparation par une frange de végétation plus haute a rendu impossible tout passage de papillon d'une partie à l'autre, ceci peut avoir eu pour conséquence la séparation en deux populations fermées.



Figure 27 - 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 de la BD Ortho 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 en tout) 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 soit 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.

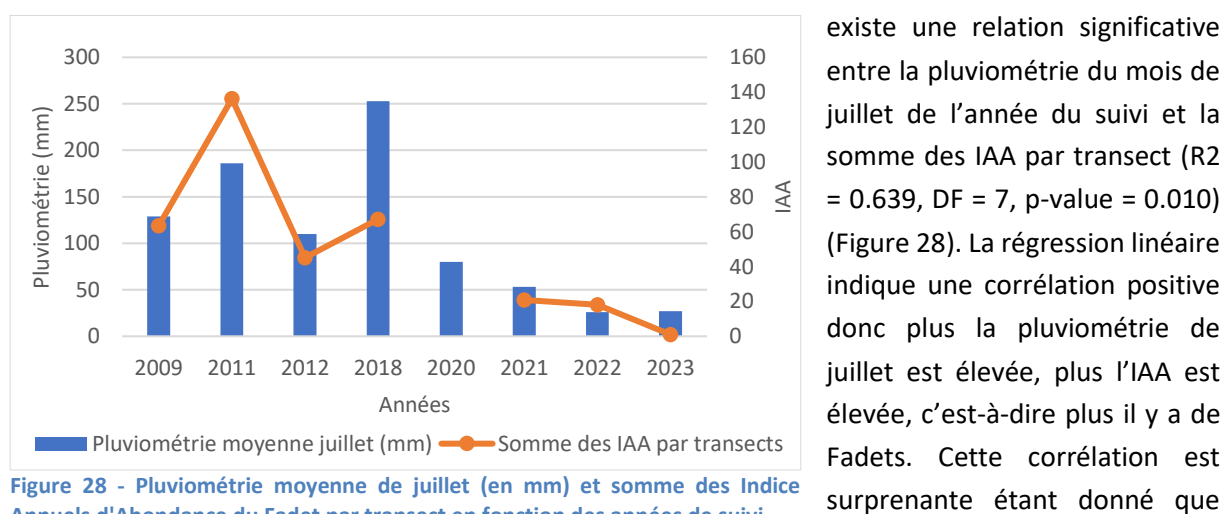
La CMR de 2016 a permis d'identifier un noyau de population important dans la zone de prairie à Molinie au sud-est de la partie centrale de la tourbière. Depuis 2016, et à l'exception de l'année 2023, la population était toujours présente dans cette zone (18 individus observés en 2020, 1 en 2021 et 10 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 du milieu qui sont favorables au Fadet des Laïches.

### 3.4. ANALYSE DE LA PRESENCE DU FADET EN FONCTION DE LA METEO

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 forte 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 juillet, juin, mai. 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 de 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





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 par les 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 papillon. 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 milieu humide (Roy et al., 2001).

Les données météorologiques de l'année précédant le suivi du Fadet des Laïches ont aussi 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 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 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 sur l'effet de l'augmentation des températures et des événements extrêmes tels que les sécheresses, montre la vulnérabilité des œufs dont le succès d'éclosion dépend fortement de la chaleur et de l'humidité (Klockmann & Fischer, 2017).

Pour conclure la partie « Résultats », la figure 29 présente le bilan des variables corrélées ou anti-corrélées au Fadet des Laïches et de celles dont la corrélation n'est pas ressortie comme significative.

<p><b>Abondance des Fadets (IAA)</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Somme des IAA par transects corrélée négativement aux années (de moins en moins de Fadets)</li><li>• IAA des transects A et D corrélées négativement aux années (de moins en moins de Fadets)</li><li>• Pas de corrélation entre les IAA des transects B,C,E et F et les années</li><li>• Somme des IAA par transect corrélé positivement à la pluviométrie de juillet (plus de Fadets les années où la pluviométrie de juillet est plus élevée)</li><li>• Pas de corrélation entre l'IAA et les autres variables météorologiques (températures des mois de mai, juin et juillet et pluviométrie des mois de mai et juin)</li></ul> <p><b>Dates d'émergence</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Date d'émergence corrélée positivement aux années (émergence de plus en plus tardive)</li><li>• Date d'émergence corrélée positivement à la durée d'ensoleillement de juin (émergence plus tardive les années où l'ensoleillement en juin est élevé)</li><li>• Pas de corrélation entre la date d'émergence de l'année N et les autres variables météorologiques de juin de l'année N et N-1 (températures, nombre de jours de chaleur et forte chaleur et pluviométrie)</li></ul> <p><b>Durée de vol</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Durée de vol corrélée négativement aux années (durée de vol de plus en plus courte)</li></ul>
--

Figure 29 - Bilan des variables corrélées, anti-corrélées ou non corrélées au Fadet des Laïches

## 4. LES LIMITES DE L'ETUDE

L'étude présentée précédemment possède plusieurs limites à prendre en compte dans l'appréciation des conclusions du rapport. Les limites permettent aussi de réfléchir à des pistes d'améliorations pour de prochaines études sur le sujet.

Premièrement, tous les résultats de cette étude proviennent de l'analyse des 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 cruciale 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 prospector 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 réalisées 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.

Cette étude porte peu sur l'effet des pratiques de gestion sur la présence du papillon car les données ne permettent pas cette analyse. Les données qui auraient pu permettre de réaliser une telle analyse auraient été des données de présence exacte du papillon, de périmètre exact des actions de gestion réalisées et des zones témoins auraient dû être définies. Ces zones témoins sont des zones où aucune gestion n'a été réalisée mais possédant le même habitat que celles où des actions ont eu lieu. 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 connaissance de l'historique de gestion de la tourbière n'est pas totale car certaines actions de gestion passées n'ont pas été complètement documentées. Même si on a la connaissance d'une action de gestion, un suivi post-action n'a pas toujours été réalisé donc il est difficile de savoir si les actions de gestion dont on a la connaissance ont réellement été efficaces. Aussi, la connaissance des actions sur le bassin versant (comme par exemple sur le golf) est faible. Or, ces actions pourraient avoir eu de fortes conséquences sur le fonctionnement de la tourbière et sur les espèces présentes.

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 serait 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 de la population.

## 5. CONCLUSION

Pour conclure, la synthèse des différents suivis du Fadet des Laïches à la tourbière de Lourdes a permis de mettre en regard tous les suivis réalisés depuis 2009 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 indices annuels d'abondance (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 fermées. 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 mélangées, de dépressions sur substrats tourbeux du Rhynchosporion mélangées ou de prairies à Molinie. Concrètement, il s'agit de zones tourbeuses ouvertes présentant

de la Molinie (en touradon ou non) et étant souvent en mélange avec d'autres habitats. 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. Pour 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.

Certaines pressions telles que le changement climatique ou l'isolement démographique et génétique ne peuvent malheureusement pas être gérées à l'échelle de la zone Natura 2000, mais d'autres pressions telles que la qualité de l'habitat peuvent être pris en compte et faire l'objet d'études et d'actions de gestion.

## 6. RECOMMANDATIONS D' ACTIONS DE GESTION ET DE SUIVI

En prenant en compte les conclusions de l'analyse spatiale et temporelle de la présence du Fadet des Laïches sur la tourbière de Lourdes, 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 l'année 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 pour que le milieu lui soit favorable car une réintroduction de l'espèce pourrait être 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 serait envisageable que si le milieu de la tourbière de Lourdes sera redevenu plus favorable au Fadet.

Ce rapport d'étude présente les lignes directrices et objectifs globaux d'une gestion en faveur du Fadet mais les recommandations d'actions de gestion précises et localisées sont présentées dans le rapport d'étude des habitats favorables à la reproduction du Fadet des Laïches (PLVG, 2023a).

### **6.1. ACTIONS DE GESTION POUR LIMITER LA FERMETURE DU MILIEU**

La présence ponctuelle d'herbacées hautes (roseaux et marisques) 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...) (Örvösy et al., 2010). En revanche, 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. Malheureusement, il n'existe pas dans la bibliographie de données chiffrées concernant le pourcentage de recouvrement optimal de la strate arbustive ou arborescente pour le Fadet des Laïches.

### **6.2. ACTIONS DE GESTION POUR AUGMENTER L'HETEROGENEITE DU MILIEU**

Cette étude 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. Ces pratiques sont par exemple la fauche en mosaïque (aussi appelée fauche en damier) et le pâturage extensif.

### **6.3. SUIVI DU FADET DES LAICHES**

Le suivi du Fadet des Laïches par transect doit continuer à être réalisé annuellement avec toujours la même méthode. Celui-ci 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.

Aucune étude sur les larves du Fadet des Laïches n'a été récemment réalisée en France, car l'identification des chenilles est très complexe étant donné leur mimétisme avec les feuilles de Molinie, le 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 30) 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.

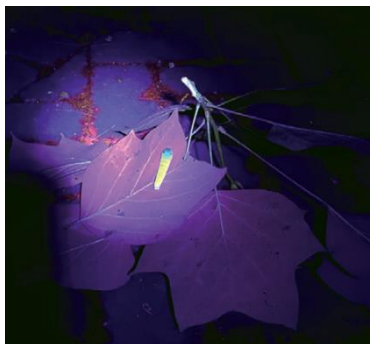


Figure 30 - Chenille de papillon glauque (*Papilio glaucus*) sous lampe à UV, 2020, East Brunswick, New Jersey (Moskowitz, 2021)

#### 6.4. 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 des individus pour augmenter la taille de la population et 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 était positifs.

Concernant le stade auquel les papillons sont réintroduits, il s'agit pour 60% des cas d'adultes, dans 26% des cas de larves, dans 5% des cas de chrysalides et pour les 9% restant la réintroduction était faite sous plusieurs stades (Wildman, 2023). 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 schiffermuelleri* 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'épicéa 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 31). 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 pour le moment pas connue et il faudra certainement plusieurs années pour connaître réellement l'effet de la réintroduction sur le moyen/long terme.



**Figure 31 - 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).

## **6.5. ETUDE D'ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DES HABITATS POUR LA REPRODUCTION DU FADET DES LAÏCHES**

Le critère de la qualité des habitats vis-à-vis du Fadet des Laïches est primordial. Il serait intéressant de comprendre pourquoi certaines zones de la tourbière de Lourdes sont favorables à la reproduction du papillon et d'autres ne le sont pas. Pour cela il faudrait étudier quels sont les critères de l'habitat qui sont corrélés à la présence du papillon afin d'affirmer statistiquement, en non seulement à dire d'expert, quels critères de l'habitat sont favorables à la reproduction du Fadet. Ces critères peuvent être par exemple la hauteur de Molinie, le pourcentage de recouvrement de Molinie, la présence de litière au sol, la hauteur d'eau... Sachant les critères concrets de l'habitat qui le rendent favorable ou non à la reproduction du Fadet, une évaluation des habitats de la tourbière de Lourdes pourra être mis en place. Cette évaluation de la favorabilité des habitats pourra être réalisée annuellement et permettra de suivre la favorabilité des habitats au cours du temps selon les actions de gestion menées. Le but étant de réaliser une gestion différenciée en intervenant sur les zones peu favorables et en conservant les zones déjà favorables. Cette étude va être réalisée en 2023 et fera l'objet d'un autre rapport d'étude (PLVG, 2023a).

La Figure 32 présente le bilan de la partie « Recommandations d'actions de gestion et de suivi » et des recommandations émises.

### **Pratiques recommandées car plutôt favorables pour le Fadet des Laïches :**

- Développer les connaissances sur la population de Fadets des Laïches et ses habitats
  - Suivi annuel de la qualité des habitats pour la reproduction du Fadet des Laïches
  - 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
  - Mise en place d'une étude d'évaluation de la qualité des habitats pour la reproduction du Fadet des Laïches
- Pratiques de gestion favorisant l'ouverture du milieu
- Pratiques de gestion favorisant l'hétérogénéité du milieu
- 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

Figure 32 - Bilan des recommandations d'actions de gestion et de suivi

## BIBLIOGRAPHIE ET WEBOGRAPHIE

- AREMIP. (2003). *Gestion de la tourbière du lac de Lourdes, bilan des 6 années de gestion en convention (1998-2003) : Mairie de Lourdes et-AREMIP.*
- AREMIP. (2012). *Cartographie des habitats d'intérêt communautaire—2012* [Carte].
- 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.*
- BIOTOPE. (2020). *Suivi des habitats d'intérêt communautaire sur le site Natura 2000 « tourbière et lac de Lourdes »—Rapport d'étude.*
- 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/>
- 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.
- Demergès, D. (2017). *Rapport d'expertise – Caractérisation de l'état de conservation du Fadet des laïches (Coenonympha oedippus) sur la Tourbière de Lourdes (65) en 2016.* Conservatoire d'espaces naturels de Midi-Pyrénées.
- Durant, J. M., Hjermann, 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.



*Historique Météo des Pyrénées françaises*. (s. d.). Historique Météo. Consulté 23 août 2023, à l'adresse <https://www.historique-meteo.net/france/midi-pyrenees/>

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., & 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>

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., ... Züst, 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](https://www.meteociel.fr/climatologie/obs_villes.php?code=7621&mois=7&annee=2023)

Moskowitz, D. (2021). *Foiling crypsis : Surveying Lepidoptera caterpillars with UV light*. <https://doi.org/10.31184/M00138908.1571.4067>

Örvössy, N., Vozár, Á., Kőrösi, Á., Batary, P., & Peregovits, L. (2010). Structure and size of a threatened population of the False Ringlet *Coenonympha oedippus* (FABRICIUS, 1787) (Lepidoptera : Nymphalidae) in Hungary. *Oedippus*, 31-37.

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- Eté 2014*. AREMIP.

Philippe, X. (1858). *Catalogue méthodique des Lépidoptères d'Europe observés dans les Hautes Pyrénées* (253–280). Bull. Soc. Acad. Des Hautes-Pyrénées.

- 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—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. (2023b). *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>
- 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/>
- 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.