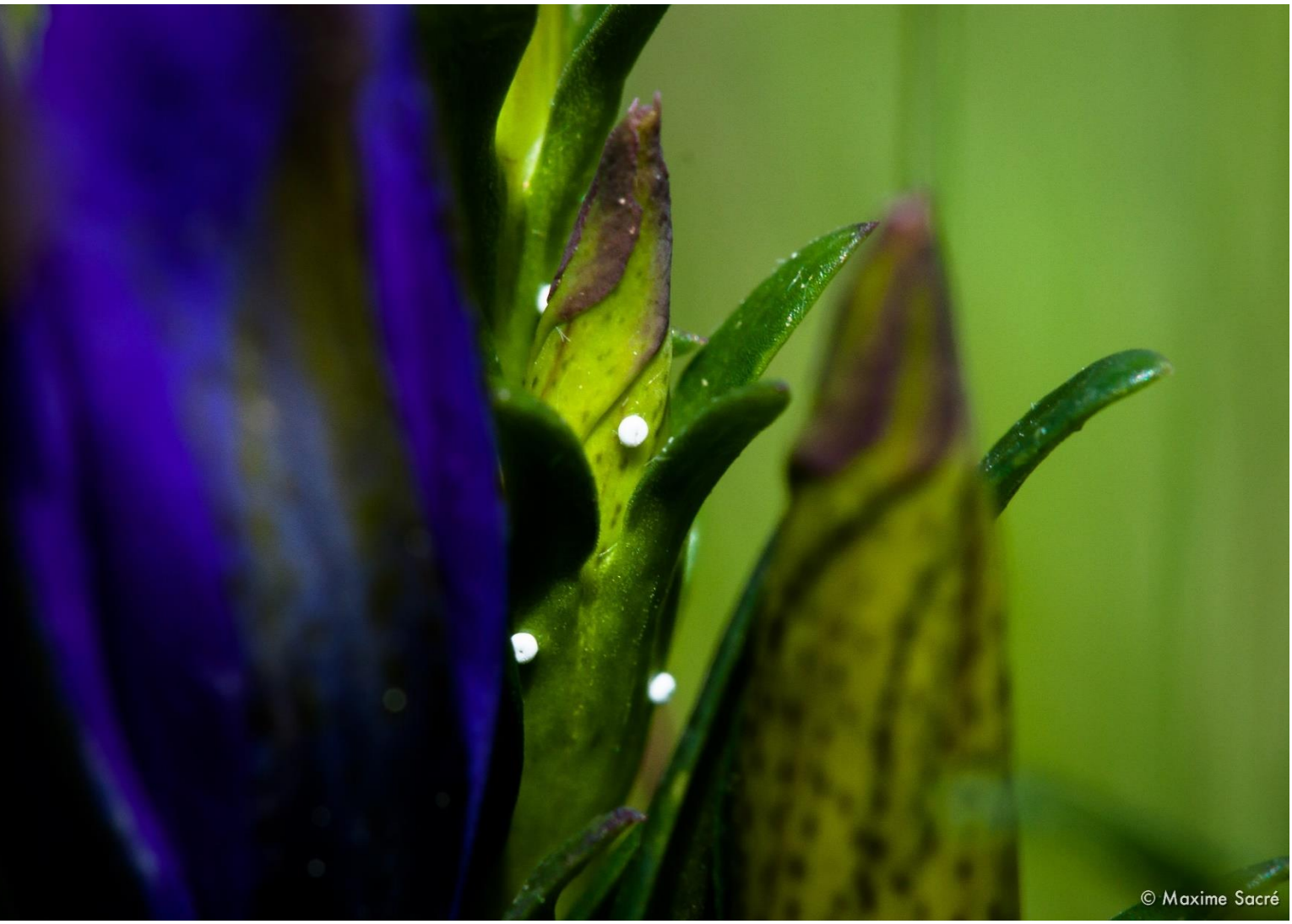
Evaluation de l'état de conservation des stations de l'Azuré des mouillères (*Maculinea alcon alcon*)

VOLUME 2 : AMELIORATION DES CONNAISSANCES SUR L'AZURE DES MOUILLERES ET SES HOTES, TEST ET VALIDATION DES INDICATEURS



Maître d'ouvrage

Syndicat Mixte du Parc Naturel Régional des Volcans d'Auvergne (SM PNRVA)

Contributions

Inventaires terrain 2015 : Vincent LOMBARD et Mathilde POUSSIN

Inventaires terrain 2016 : Luc BELENGUIER, Marine KREDER, Thomas PELERIN, Lionel PONT et Maxime SACRE

Aide au terrain: Philippe BACHELARD, Gautier BERT, Manon DEVAUD, Marie NOCUS, Cédric SEGUIN

Analyse statistique : Maxime SACRÉ et Marine KREDER

Détermination des fourmis : Christophe GALKOWSKY

Cartographie : Luc BELENGUIER, Marine KREDER, Mathilde POUSSIN et Olivier ROQUETANIERE

Rédaction / Coordination : Luc BELENGUIER, Marine KREDER et Lionel PONT

Relecture : Philippe BACHELARD et Aurélie SOISSONS

Citation recommandée

BELENGUIER L. KREDER M. PONT L. 2017. Évaluation de l'état de conservation des stations de l'Azuré des mouillères (*Maculinea alcon alcon*). Volume 2 : Amélioration des connaissances sur l'azuré des mouillères et ses hôtes, test et validation des indicateurs. Rapport d'étude Syndicat mixte du parc naturel régional des Volcans d'Auvergne. 53 p.

Crédits photographiques

Syndicat Mixte du Parc naturel régional des Volcans d'Auvergne (sauf mention contraire)

Remerciements

Aurélie SOISSONS (CEN Auvergne), Bernard KAUFMANN, Christophe GALKOWSKY, les stagiaires du Parc 2015 (Cédric SEGUIN, Manon DEVAUD, Gauthier BERT, Marie NOCUS), la Commune de La Godivelle, les propriétaires de terrains, le Conservatoire Botanique National du Massif Central, le Conservatoire d'Espaces Naturels d'Auvergne, Emmanuel BOITIER, Philippe ANTONETTI (CBNMC), Laurent CHABROL (CBMNC), Thierry VERGNE (CBNMC), Vincent LEGE (CEN Auvergne) et Yann SELIER (RNN Pinail).

Financements

Agence de l'Eau Adour- Garonne, Agence de l'Eau Loire-Bretagne, Conseil Départemental du Puy de Dôme, Conseil Régional d'Auvergne-Rhône Alpes et Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement Auvergne Rhône-Alpes.

Sommaire

Introduction **6**

Etat de l'art - Biologie et Écologie des espèces **8**
1. L'Azuré des mouillères *Maculinea alcon alcon* (Denis & Schiffermüller, 1775) 8
   i. Écotypes 8
   ii. Habitats 8
   iii. Répartition 9
   iv. Menaces 10
   v. Statuts de protection 10
   vi. Cycle biologique 10
   vii. Fonctionnement en métapopulation 12
2. Fourmis-hôtes du genre *Myrmica* 13
   i. Description 13
   ii. Aire de répartition 13
   iii. Ecologie et Habitat 14
   iv. Menaces 15
   v. Statut de protection 15
3. La Gentiane pneumonanthe – *Gentiana pneumonanthe* 16
   i. Description 16
   ii. Aire de répartition 16
   iii. Ecologie et habitats 17
   iv. Menaces 18
   v. Statuts de protection 18

Amélioration des connaissances **19**
1. Affiner les indicateurs concernant les Myrmica 19
   i. Objectifs 19
   ii. La tourbière de Jouvion (63 – Saint Donat) 19
   iii. Méthodes 19
   iv. Résultats 20
   v. Sur les indicateurs Myrmica 27
2. Affiner l'indicateur de surface d'habitat approprié 29
   i. Objectifs 29
   ii. Les tourbières de la Godivelle 29
   iii. Méthode 30
   iv. Résultats 31

Validation de la méthode **39**
1. Analyse et présentation des indicateurs retenus 39
   i. Analyses et limites de chaque indicateur 39
2. Indicateurs non retenus 45
3. Discussion des protocoles proposés pour renseigner les indicateurs 47

Bilan **48**

Bibliographie **49**

Table des figures

Figure 1.*Maculinea alcon alcon.* © Mathilde Poussin 6
Figure 2. Schéma récapitulatif de la démarche du projet..... 7
Figure 3. Azuré des mouillères femelle posé sur une Gentiane pneumonanthe. © Maxime Sacré 8
Figure 4. Répartition de l'Azuré des mouillères du territoire national au territoire d'étude 9
Figure 5. Œufs de *M. a. alcon* pondus sur une *Gentiana pneumonanthe*. © Maxime Sacré..... 10
Figure 6. Hyménoptère parasitoïde cherchant à pondre dans un œuf de *M. a. alcon*. © Maxime Sacré 11
Figure 7. Cycle de développement de l'Azuré des mouillères (OPIE, 2011) 11
Figure 8. Fourmis-hôtes potentiels pour *M. alcon* en France. (À gauche : *Myrmica rubra* ; au centre : *Myrmica scabrinodis* ; à droite : *Myrmica ruginodis*) INPN 2015 © Claude Lebas 13
Figure 9. Gentiane pneumonanthe en fleur. © Maxime Sacré..... 16
Figure 10. Aire de répartition française de *Gentiana pneumonanthe* (FCBN, 2013)..... 17
Figure 11. Exigences et valence écologiques de *Gentiana pneumonanthe* (Tela Botanica, 2015) 18
Figure 12. Localisation des mailles pour la recherche des *Myrmica* sur la tourbière de Jouvion..... 20
Figure 13. Comparaison des résultats des protocoles *Myrmica* sur la tourbière de Jouvion 23
Figure 14. Comparaison des résultats protocoles *Myrmica* sur la tourbière de Jouvion pour *M.scabrinodis*..... 24
Figure 15. Comparaison des résultats protocoles *Myrmica* sur la tourbière de Jouvion pour *M.ruginodis* 24
Figure 16. Comparaison des résultats protocoles *Myrmica* sur la tourbière de Jouvion pour *M.rubra*. 25
Figure 17. Zone de coexistence entre *Myrmica* et gentiane sur Jouvion..... 26
Figure 18. Localisation des tourbières de La Godivelle 29
Figure 19. Exemple de mailles 4x4 m sélectionnées (en vert) au sein du maillage total (en bleu) après avoir supprimé les mailles à cheval sur différents habitats. 30
Figure 20. Récolte de fourmis à l'aide d'un aspirateur à bouche 30
Figure 21. Représentation graphique des habitats favorables à la présence de *Myrmica scabrinodis*.32
Figure 22. Représentation graphique des habitats favorables à la présence de *Myrmica ruginodis*. .. 32
Figure 23. Boites à moustaches de présence des *Myrmica* en fonction du barycentre de végétation. 33
Figure 24. Représentation graphique des habitats favorables à la gentiane. 34
Figure 25. Boite à moustache de présence de la gentiane en fonction du barycentre de végétation .. 35
Figure 26. Représentation graphique des habitats favorables à la ponte d'Azuré des mouillères. 36
Figure 27. Boite à moustache de présence de ponte en fonction du barycentre de végétation..... 37
Figure 28. Histogrammes des fréquences des effectifs de présence en fonction du barycentre 38
Figure 29. Le comptage et le pointage des œufs..... 39
Figure 30. Résultat sur les sites tests de La Godivelle, relation entre nombre d'œufs et nombre de fleurs sur les placettes d'étude..... 40
Figure 31. Relation entre nombre d'œufs et surface de gentiane sur tous les secteurs d'études 40
Figure 32. Surface et périmètre (bordure) des patchs de gentiane 41
Figure 33. Indicateur de connectivité pour les secteurs étudiés 43

Table des tableaux

Tableau 1. Statuts de *Maculinea alcon alcon* 10
Tableau 2. Structure des déplacements pour *Maculinea alcon alcon* selon l'échelle concernée (Dupont, 2010) 12
Tableau 3. Biologie et écologie des trois espèces de *Myrmica* (modifié de Forgeot, 2007) 14
Tableau 4. Résultats du protocole Myrmica « présence/absence » sur Jouvion 20
Tableau 5. Résultats du protocole Myrmica « présence/absence » sur Jouvion par espèce 21
Tableau 6. Résultats du protocole *Myrmica* « densité » sur Jouvion 21
Tableau 7. Résultats du protocole Myrmica « densité » sur Jouvion par espèces 21
Tableau 8. Comparaison entre protocole « présence / absence » et « densité » pour la détection des *Myrmica* sur Jouvion 22
Tableau 9. Répartition des placettes étudiées sur les tourbières de La Godivelle par type d'habitat .. 31
Tableau 10. Résultats de l'analyse statistiques pour la présence de *M.scabrinodis* en fonction du barycentre 33
Tableau 11. Résultats statistiques pour la présence de gentiane en fonction du barycentre 35
Tableau 12. Résultats statistiques pour la présence de ponte en fonction du barycentre 37

INTRODUCTION

L'Auvergne possède une responsabilité forte quant à la préservation de *M. a. alcon* (Denis & Schiffermüller, 1775), espèce myrmécophile stricte, typique des milieux humides dont la plante hôte est la gentiane pneumonanthe.

Le Parc naturel régional des Volcans d'Auvergne (PNRVA) accueille sur son territoire un grand nombre des stations Auvergnates pour cette espèce.

Le Syndicat mixte du Parc naturel régional des Volcans d'Auvergne (PNRVA) s'est engagé à développer une politique active en faveur de la conservation des espèces remarquables de son territoire. C'est dans ce contexte qu'a été lancé un programme d'étude 2015 - 2016 sur *Maculinea alcon alcon*, espèce à traiter en priorité dans la déclinaison régionale du Plan National d'Action en faveur des *Maculinea* (Dupont, 2010).

Figure 1.*Maculinea alcon alcon.* © Mathilde Poussin

Le choix a été fait de porter un projet permettant d'élaborer une méthodologie d'évaluation de l'état de conservation des stations à *Maculinea alcon alcon* sur le territoire du PNR des Volcans d'Auvergne, en prenant en compte les exigences écologiques du papillon, de sa plante-hôte (*Gentiana pneumonanthe* L. 1753) et de sa/ses fourmis-hôtes (certaines espèces du genre *Myrmica* (Latreille, 1804)).

Outre la création d'une méthode et l'amélioration des connaissances sur l'azuré des mouillères et ses hôtes, la finalité de ce projet est d'orienter des actions efficaces de préservation de ce papillon patrimonial. En effet cette évaluation d'état de conservation permet de dresser un premier bilan de l'état des stations, de pointer les stations importantes et les secteurs fortement menacés et de développer une stratégie globale en faveur de cette espèce sur le territoire du Parc.

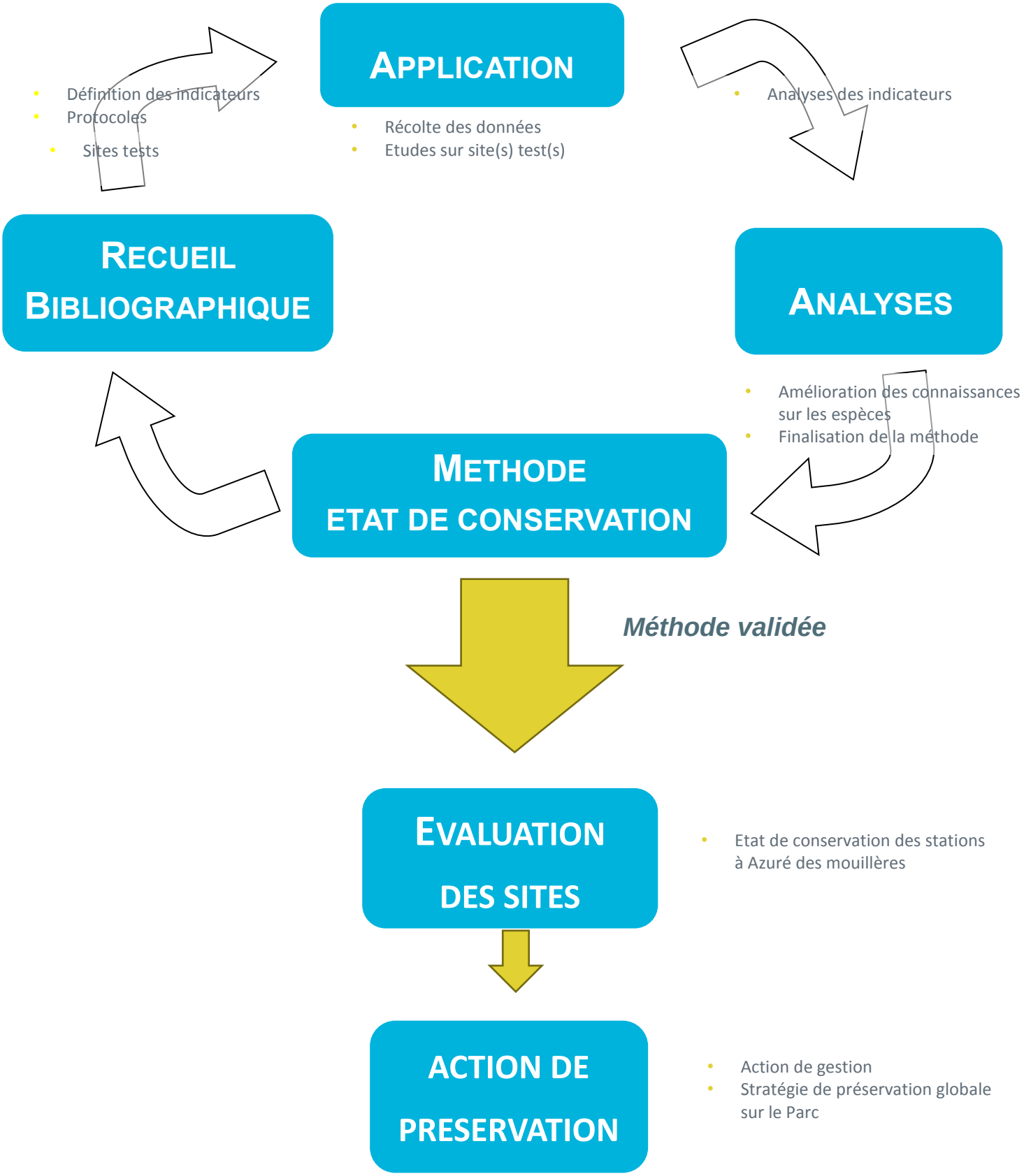
Les résultats de l'étude sont conséquents et afin de restituer au mieux les différents travaux, trois rapports distincts mais complémentaires ont été rédigés :

- une présentation de la méthodologie d'évaluation d'état de conservation – **VOLUME 1**
- un bilan de l'amélioration des connaissances sur les espèces ainsi que les différentes analyses et tests réalisés pour la validation de la méthode proposée – **VOLUME 2**
- les résultats de l'application de cette méthode sur le territoire du PNRVA et sa traduction en stratégie de préservation de l'azuré des mouillères sur ce territoire – **VOLUME 3**

Le présent document présente dans une première partie l'état de l'art sur les trois espèces ou groupes d'espèces cibles : *Maculinea a. alcon, Gentiana pneumonanthe* et *Myrmica sp*. Des études permettant d'améliorer les connaissances sur ces espèces dans le contexte du territoire du Parc des Volcans ont été mises en place sur des sites tests. Leurs résultats sont exposés dans une seconde partie et mis en perspective avec les choix d'indicateurs retenus (notamment pour les *Myrmica* et la surface d'habitat appropriée). La dernière partie de ce document présente les indicateurs retenus, leurs justifications et des discussions sur les protocoles.

DEMARCHE DU PROJET

Figure 2. Schéma récapitulatif de la démarche du projet



ETAT DE L'ART - BIOLOGIE ET ÉCOLOGIE DES ESPECES

Pour mettre en place une méthode d'évaluation d'état de conservation pertinente, la première étape indispensable est de réaliser une revue bibliographique large. Cette première partie recense des informations bibliographiques générales et plus spécifiques aux trois espèces ou groupes d'espèces concernées.

1. L'Azuré des mouillères *Maculinea alcon alcon* (Denis & Schiffermüller, 1775)

i. Écotypes

Les *Maculinea* sont des papillons appartenant à la famille des *Lycaenidae*. L'espèce *Maculinea alcon* possède deux écotypes, chacun associé à une plante hôte particulière : la Gentiane croisette (*Gentiana cruciata* L.) pour l'écotype « *rebeli* » et la Gentiane pneumonanthe (*G. pneumonanthe* L.) pour « *alcon* ». Auparavant considérées comme deux espèces différentes, des études moléculaires ont mis en évidence qu'il s'agit d'une seule et même espèce (Bereczki *& al.,* 2005 ; Pecsenye *& al.*, 2007).

Figure 3. Azuré des mouillères femelle posé sur une Gentiane pneumonanthe. © Maxime Sacré

Cependant, ces deux écotypes doivent tout de même être traités distinctement dans le cadre de mesures de conservation du fait de leur écologie relativement différente (Sielezniew *& al.*, 2012).

ii. Habitats

M. alcon alcon se retrouve principalement sur des zones humides de plaines ou de moyennes montagnes, associées à des hauts et des bas marais: prairies hygrophiles, hauts-marais, marais de transition a sphaignes, jonçaies et molinaies. L'espèce se rencontre secondairement sur les prairies mésophiles, les cariçaies et les landes à callune.

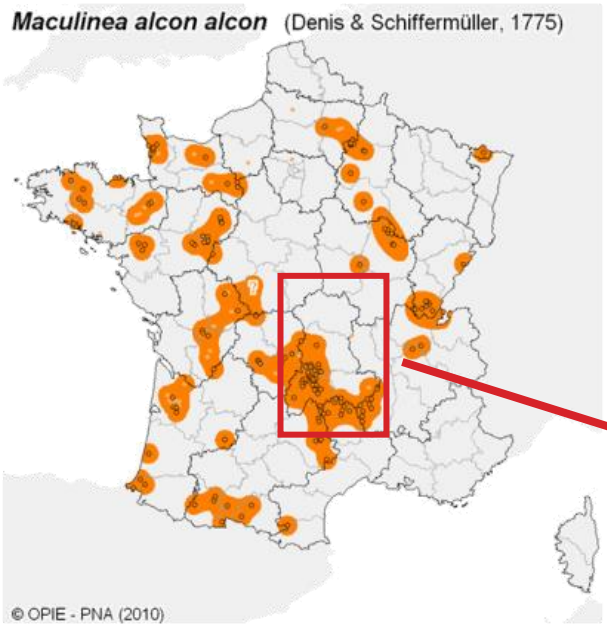
En 2002, une étude réalisée par le Conservatoire Botanique National du Massif Central (CBNMC) (Petetin & Gravelat, 2002) a permis de caractériser les milieux à *M. a. alcon* sur le territoire du Parc des Volcans :

- Prairie humide à Canche cespiteuse, Molinie et Bistorte
- Moliniaie
- Cariçaie à *Carex lasiocarpa*, sans Sphaignes
- Marais de transition (à *Carex lasiocarpa*, Ményanthe et Comaret)
- Jonçaie (acutiflore)-Cariçaie (à *C. lasiocarpa*)
- Haut-marais typique et Haut-marais dégradé à influences prairiales ou envahi par la molinie

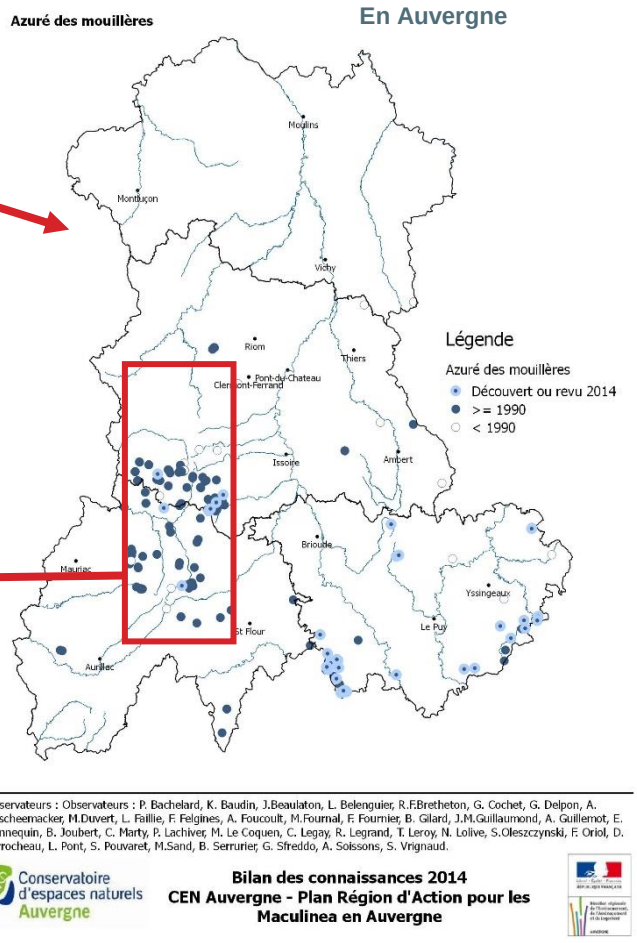
Une étude similaire dans le Limousin fait état de prairies et de landes humides (plus rarement de mégaphorbiaies et de tourbières), fortement dominées par la Molinie et souligne la forte densité de milieu de transition. Les sols sont systématiquement tourbeux ou para-tourbeux. La gentiane des marais se retrouvent aussi en nardaie mésophile notamment à altitude plus élevée (Guerbaa, 2000). Les milieux de présence peuvent donc être relativement diversifiés (Guerbaa, 2000 ; Petetin & Gravelat, 2002 ; Dupont, 2010).

iii. Répartition

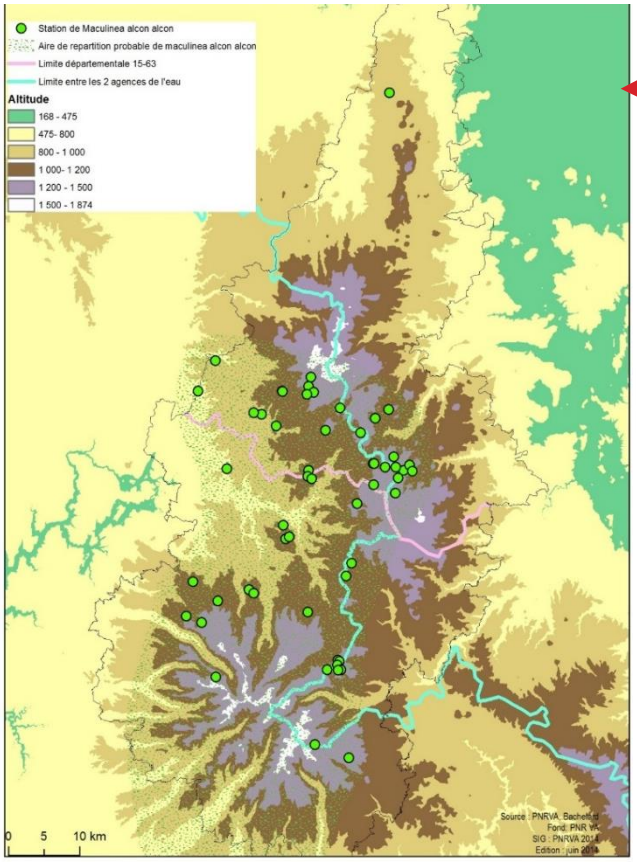
M. a. alcon est réparti de manière dispersée avec des aires disjointes comprises entre le Danemark et la Suède pour les populations les plus au nord de l'Europe ainsi que les Monts Cantabriques et les Balkans en limites sud de l'aire de répartition (Wynhoff, 1998 ; Settele *& al.*, 2008).



En France, ce taxon est potentiellement présent sur tout le territoire sauf dans le domaine méditerranéen. Il est considéré comme disparu dans plusieurs départements de la Région Centre, en Ile-de-France et dans le Bas-Rhin.



Sur le territoire du Parc des Volcans d'Auvergne



C'est une espèce avec une répartition très localisée, sauf en Auvergne où l'on observe les plus fortes populations françaises (Bachelard, 2008). Des populations *a priori* importantes se retrouvent en Artense et dans les massifs du Cézallier et du Cantal. La limite altitudinale y est de 1 400 mètres (Leroy & Bachelard, 2008).

Figure 4. Répartition de l'Azuré des mouillères du territoire national au territoire d'étude

iv. Menaces

Une majorité des populations de *Maculinea* est en fort déclin en Europe de l'ouest, principalement à cause de la fragmentation des habitats, l'intensification de l'agriculture et la déprise agricole (Munguira & Martin, 1999 ; Van Swaay & Warren, 1999 ; Van Swaay & *al.*, 2010).

En Auvergne, la principale menace pour le maintien des populations de *M. a. alcon* reste l'envahissement des habitats favorables par les ligneux ou la molinie liée à l'abandon des activités agricoles traditionnelles, telles que le pâturage extensif ou la fauche (Soissons & Bachelard, 2013). L'absence de micro-zones de sol nu est défavorable à l'installation de nouveaux pieds de Gentiane. A l'inverse, une trop forte pression de pâturage est destructrice. Les jeunes tiges de plante-hôtes sont broutées par le bétail et le sur-piétinement est néfaste aux fourmis et déstructure leur nid. D'autres menaces sont également à prendre en compte comme l'enrésinement et le drainage des zones humides (Soissons & Bachelard, 2013).

v. Statuts de protection

Maculinea alcon alcon est une espèce protégée, menacée et par conséquent inscrite sur plusieurs listes et livres rouges nationaux et internationaux. Classée sur la liste rouge mondiale de l'UICN (comme « LC » (préoccupation mineur), « NT » (quasi-menacé) sur la liste rouge des Rhopalocères de France métropolitaine et classé « E » (en danger) sur le livre rouge des insectes de France métropolitaine. Il est également inscrit sur la liste des insectes protégés sur l'ensemble du territoire et les modalités de leur protection : Article 3 (Arrêté du 23 avril 2007. Liste des insectes protégés sur l'ensemble du territoire).

Europe	Convention de Berne	-
	Directive Habitat Faune Flore	-
	Liste rouge	-
France	Protection nationale	Article 3
	Liste rouge	-
	Evaluation MNHN	-
Auvergne	Liste rouge	Vulnérable
	Espèce TVB	X
	Espèce déterminante ZNIEFF	X
	Plan Biodiversité	X

Tableau 1. Statuts de *Maculinea alcon alcon*

vi. Cycle biologique

L'Azuré des mouillères *Maculinea alcon alcon* (*M. a. alcon*) a, comme tous les autres papillons du genre, un cycle de vie bien particulier dépendant de deux hôtes spécifiques (Fig. 7).

La femelle pond ses œufs (en moyenne 120 ; Mouquet & *al.*, 2005) sur la Gentiane pneumonanthe (Thomas & *al.*, 1989 ; WallisDeVries 2004 ; Maes & Van Dyck, 2005). La jeune chenille va par la suite sortir de son œuf par la base de l'enveloppe et émerger de l'autre côté de la feuille ou dans la fleur, du fait de l'épaisseur importante de la surface du chorion sur le reste de l'œuf. Cette stratégie n'est présente que chez les deux écotypes de *Maculinea alcon* et provient de la structure de la gentiane obligeant le papillon à pondre sur une surface exposée, la dureté de l'enveloppe permettant ainsi de limiter la vulnérabilité de la descendance face aux parasitoïdes (Thomas & *al.,* 1991 ; Fig. 6).

Figure 5. Œufs de *M. a. alcon* pondus sur une *Gentiana pneumonanthe*. © Maxime Sacré

Après éclosion, les chenilles se nourrissent des fleurs et graines de la gentiane, réalisant rapidement 3 mues mais ne gagnant pourtant qu'une faible masse (Thomas & *al.,* 1989). Lorsqu'elles atteignent le 4ème stade larvaire, 3 semaines après l'éclosion, elles pèsent environ 1 à 2% de leur poids final, les chenilles se laissent tomber au sol et attendent d'être adoptées par une fourmi du genre *Myrmica.* Cette adoption est favorisée par des procédés chimiques et acoustiques (Thomas & Elmes, 1998 ; Akino & *al.*, 1999 ; Sala & *al.*, 2014).

Les papillons du genre *Maculinea* continuent leur développement à l'intérieur de la fourmilière jusqu'à la nymphose soit l'été suivant, soit une année supplémentaire représentant près de 22 mois de développement larvaire dans le nid (Thomas & *al.*, 1998). Cette stratégie de développement, se retrouvant chez d'autres insectes myrmécophiles, peut s'expliquer par le concept de « minimisation des risques » consistant à limiter les risques liés à des variations environnementales imprévisibles, en produisant une descendance émergeant après une ou deux années passées dans la fourmilière (Schönrogge & *al.*, 2000 ; Witek & *al.*, 2006).

Figure 6. Hyménoptère parasitoïde cherchant à pondre dans un œuf de *M. a. alcon*. © Maxime Sacré

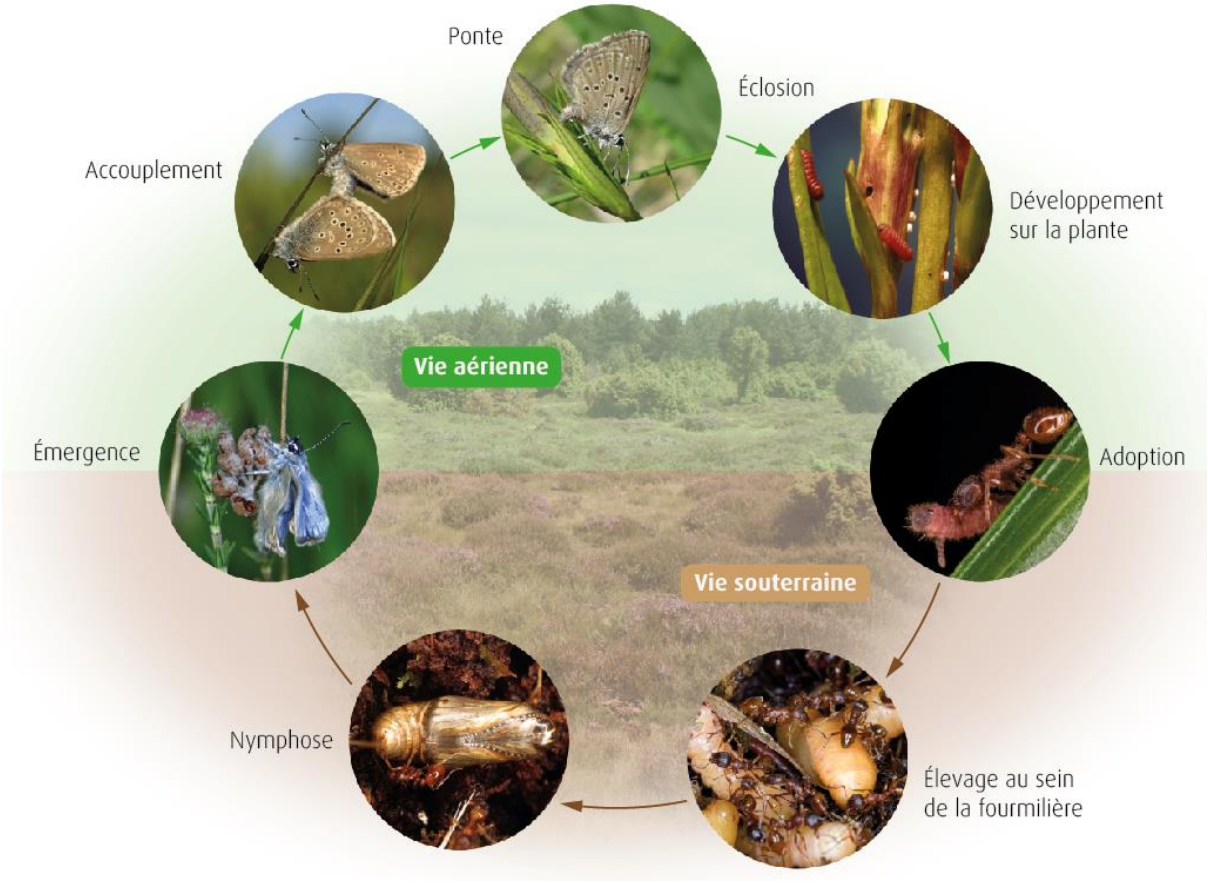


Figure 7. Cycle de développement de l'Azuré des mouillères (OPIE, 2011)

Pour s'alimenter, les chenilles de *Maculinea* vont soit se nourrir du couvain de la fourmilière, les espèces sont alors dites « prédatrices » (cas de *Maculinea arion*, *M. nausithous* et *M. teleius* (Thomas & Wardlaw, 1992)), soit adopter une stratégie dite « coucou » (cas de *M. alcon*) où la chenille est nourrie par trophallaxie par les ouvrières de la colonie parasitée (Thomas & Elmes, 1998). Cette stratégie adoptée par *M. alcon* est plus efficace puisqu'elle entraîne une compétition intra-spécifique moins importante, un taux de mortalité plus faible lié à une meilleure protection de la part de la colonie de fourmis (Thomas & Wardlaw, 1992 ; Thomas & Elmes, 1998) et favorise le développement bisannuel de cette espèce (Thomas & *al.*, 1998).

La nymphose se déroule dans une cellule supérieure de la fourmilière en début d'été et dure environ 2-3 semaines (Thomas, 1995). Le papillon sera ensuite vu en vol pendant plusieurs mois (Elmes & Thomas, 1992), la période de vol s'étalant généralement de début juillet à fin août. En Auvergne, le maximum d'observations des imagos se situe entre la dernière décade de juillet et la première décade d'août, 75% des observations étant réalisées entre le 23 juillet et le 15 août (Soissons & Bachelard, 2013). La durée de vie moyenne des adultes d'Azuré des mouillères est relativement courte, de 2 à 2,7 jours (Nowicki & *al.*, 2009).

vii. Fonctionnement en métapopulation

Les populations de *Maculinea* suivent une dynamique de type métapopulationnelle (Nowicki & *al.,* 2007). Ainsi plusieurs populations locales, dispersées au sein d'un réseau d'habitats interconnectés, forment des sous-populations, elles-mêmes inclues à une échelle plus vaste dans une population. Les limites théoriques de ces différentes entités sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Délimitation	Distances	Echelle concernée
Entre les zones de micro-habitat favorable	≤ 300 m	Station/population locale
Entre les stations	≤ 1000 m	Site/sous-population
Entre les sites	≤ 2000 m	Ecocomplexe-Paysage/population

Tableau 2. Structure des déplacements pour *Maculinea alcon alcon* selon l'échelle concernée (Dupont, 2010)

Ces populations locales (sources ou puits) se caractérisent par des échanges réguliers entre différentes stations, irréguliers entre sites et donc par des processus d'expansion, via la recolonisation d'habitats favorables, et de régression, via l'extinction locale de certaines populations principalement due à la stochasticité environnementale (New, 2009).

Des études par capture-marquage-recapture aux Pays-Bas ont montré que la plupart des individus parcourent moins de 50 m et que seule une petite proportion dépasse les 150 m (Habel & *al*., 2007 ; Maes *et al.,* 2004). Ainsi le maintien d'une population viable passe par un réseau constitué de patchs favorables (zones humides pour *Maculinea alcon alcon)*.

2. Fourmis-hôtes du genre *Myrmica*

i. Description

Les fourmis du genre *Myrmica*, sont des hyménoptères appartenant à la famille des *Formicidae*, et plus particulièrement à la sous-famille des *Myrmicinae*. Ces fourmis sont très importantes dans les écosystèmes, car beaucoup d'entre elles entretiennent des relations interspécifiques avec des champignons, des plantes, ou des animaux (Schultz & McGlynn, 2000). A l'échelle européenne, 100 espèces sont dénombrées dont 12 en Europe occidentale qui sont des hôtes potentiels des espèces de *Maculinea* (Elmes & *al.,* 1998 ; Wardlaw & *al.,* 1998).

Maculinea alcon alcon posséde plusieurs hôtes potentiels (Lhonoré, 1998) :

- *Myrmica rubra* (Linnaeus 1758)
- *Myrmica ruginodis* (Nylander 1846)
- *Myrmica scabrinodis* (Nylander 1846)

Figure 8. Fourmis-hôtes potentiels pour *M. alcon* en France. (À gauche : *Myrmica rubra* ; au centre : *Myrmica scabrinodis* ; à droite : *Myrmica ruginodis*) INPN 2015 © Claude Lebas

Néanmoins, si plusieurs de ces espèces peuvent cohabiter sur un même site, une seule en général, appelée hôte primaire, intervient particulièrement dans le cycle du papillon. Quelques chenilles sont parfois hébergées par l'hôte secondaire mais leur probabilité de survie au sein de la fourmilière demeure souvent plus faible (Lhonoré, 1998).

En France, l'hôte principal est *M. scabrinodis,* tout comme en Espagne. *M. rubra est l'hôte principal* en Europe du nord, et *M. ruginodis* remplit ce rôle dans la zone intermédiaire (Elmes & *al.*, 1994 ; Rozier, 1999 ; Van Dyck & *al.*, 2000 ; Als & *al.*, 2001 ; Stoeckel & Mercier, 2001 ; Sielezniew & Stankiewicz, 2004 ; Witek & *al.*, 2008).

ii. Aire de répartition

Largement réparties sur le territoire européen, les trois principales espèces de fourmis-hôtes occupent la quasi-totalité du territoire français métropolitain (Blatrix & *al*., 2013). Les trois espèces se retrouvent en Auvergne et sur le territoire du Parc des Volcans d'Auvergne.

iii. Ecologie et Habitat

Des données plus précises concernant la biologie et l'écologie des trois espèces de *Myrmica* sont regroupées dans le tableau 5.

	M.rubra	*M.ruginodis*	*M.scabrinodis*
Habitat et niche écologique (Vepsalainen & Savolainen, 1990, Rozier, 1999)	Ouverture du milieu : +	Ouverture du milieu : ++	Ouverture du milieu : +++
	Température du sol : +	Température du sol : ++	Température du sol : ++
	Humidité : +++	Humidité : ++	Humidité : +
	Forte tolérance aux sols humides. Espèces euryèce, possède la plus grande niche écologique des *Myrmica* d'Europe centrale.	Est remplacée par *M.rubra* dans les prairies et tourbières au-dessus de 1000 m d'altitude	Forte tolérance aux sols humides; Peut se développer dans des habitats xérophiles, tout en évitant les parties les plus sèches.
Densité de nids (.m²) (Rozier, 1999; Wynhoff, 1998)	0,04 (vallée du Haut-Rhône) 0,25 (vallée du Rhône) Jusqu'à 1,05 (sur sol alluvial, si c'est la seule espèce de fourmi)	0,05 à 0,15 (Europe centrale)	0,34 (vallée du Haut-Rhône) 0,56 (vallée du Rhône) 0,2 (sud l'Angleterre); 0,8 (Pays-Bas)
Distance d'affouragement (Elmes, 1974; McGlynn, 1994 dans Elmes & al., 1998)	2 mètres / admise supérieure à 8 mètres.	2 mètres / admise supérieure à 8 mètres	2 mètres

Tableau 3. Biologie et écologie des trois espèces de *Myrmica* (modifié de Forgeot, 2007)

+ = faible ; ++ = moyen ; +++ = important

Les vols nuptiaux des *Myrmica* se déroulent en été, généralement à une dizaine de mètres du nid (plus rarement à une centaine de mètres). Ces vols s'effectuent la plupart du temps au-dessus d'éléments remarquables du paysage comme un arbre, une butée, ou encore un rocher proéminent (Elmes & *al.* 1998). Le développement larvaire arrive à terme au bout de 8 semaines et une structure épigée (le solarium), de petite taille chez ce genre de fourmis, est parfois édifiée pour qu'elles puissent se développer à la chaleur.

Les *Myrmica* forment des petites colonies de 200 à 500 ouvrières, pouvant être polygynes comme *M. scabrinodis* (Elmes & Wardlaw, 1982; Elmes & *al.*, 1998). La distribution en agrégats des nids semble indiquer que des secteurs sont plus propices que d'autres pour la nidification (Elmes, 1974). Cette dernière dépend de facteurs biotiques et abiotiques, tels que la température, l'humidité du sol, l'ombrage (éléments liés à la structure végétale), la profondeur du sol disponible, les ressources alimentaires, et la position des nids voisins (Braschler & Baur, 2003).

Les *Myrmica* ont une plus grande faculté à se développer dans les zones partiellement inondées que les *Formicinae* du fait qu'elles construisent des nids de plus petites tailles. De ce fait, elles peuvent s'installer sur des sites propices de surface réduite. La structure du nid peut perdurer plus ou moins longtemps selon l'emplacement sur lequel il est situé (touradon ou dépression par exemple).

Un nid construit dans une dépression sera davantage sujet aux inondations et aura certainement une plus courte durée de vie. La colonisation de nouveaux habitats peut être rapide au printemps, et se raréfie à l'automne (Léonard & Herbers, 1986).

D'après Elmes & *al*. (1998), la colonie reste la meilleure unité pour décrire la population de *Myrmica*, que ce soit pour l'étude de ces fourmis ou pour la conservation des *Maculinea*. Elle prend en compte les préférences écologiques des ouvrières et de la reine, notamment via le choix du site de nidification (Johnson, 1992).

Les ouvrières effectuent une recherche de nourriture en affourageant (prospectant) de manière aléatoire aux alentours du nid. Cette tâche est fonction de la date, de l'heure, et du climat, généralement sous un ciel nuageux (Wardlaw & *al.,* 1998). Si une source de nourriture est trouvée, l'ouvrière rentre au nid en traçant sur son passage un chemin phéromonal. Les ouvrières de la plupart des *Myrmica*, dont *M. scabrinodis*, ont une distance d'affouragement ne dépassant pas les 2 mètres, ce qui a son importance pour l'adoption des chenilles de *Maculinea* (Elmes & al., 1998).

iv. Menaces

Les *Myrmica* sont directement sensibles aux microclimats (humidité, température), aux modifications de la structure de végétation (fermeture du milieu) et à la topographie (Elmes & al., 1998).

v. Statut de protection

Les fourmis-hôtes de l'Azuré des mouillères ne sont pas protégées mais sont indispensables à la survie du papillon.

3. La Gentiane pneumonanthe – *Gentiana pneumonanthe*

i. Description

La Gentiane pneumonanthe ou Gentiane des marais (*Gentiana pneumonanthe*) est une plante herbacée vivace appartenant à la famille des *Gentianacae*.

C'est une plante de taille très variable en fonction des conditions locales du site sur lequel elle est implantée (5-10 cm jusqu'à 50-60 cm), à tige feuillée dressée. Les feuilles inférieures sont réduites à des écailles, alors que les feuilles supérieures sont ovales-allongées, étroites, à une seule nervure visible, et sessiles, voire même soudées-embrassantes à leur base. Les fleurs sont de couleur bleu-vif, isolées à l'aisselle des feuilles supérieures, nettement pédonculées, et de grande taille (3 à 6 cm de longueur). Elles forment des corolles bleues, en cloches allongées, à 5 lobes ovales-aigus, étalés ou dressés. Sa période de floraison s'étend de juillet à septembre selon la localisation (Bajon, 2000).

Chaque pied peut avoir une à plusieurs hampes ainsi que de très nombreuses fleurs. La production de graine peut être relativement importante, allant de 300 à 700 graines par capsule (Salisbury, 1942 ; Simmonds, 1946 ; Petanidou & *al.*, 1990).

Figure 9. Gentiane pneumonanthe en fleur. © Maxime Sacré

ii. Aire de répartition

Son aire de répartition s'étend du sud de la Scandinavie au nord de l'Espagne et du Portugal ainsi que de la Grande-Bretagne à la Sibérie (Oostermeijer & *al.*, 1996).

En France métropolitaine, l'espèce se retrouve aussi bien en plaine qu'en montagne, jusqu'à 1500 m d'altitude, mais reste assez rare et disséminée sur le territoire. Elle est quasi-absente du Nord, de Lorraine et de la région méditerranéenne. Sa présence se fait rare dans l'Ouest et le Centre, ainsi que dans les Pyrénées et les montagnes de l'Est.

Elle semble plus commune en région Auvergne (Bajon, 2000) où elle est présente aux étages montagnard et subalpin dans tous les massifs auvergnats. Elle est beaucoup plus dispersée à l'étage collinéen. Elle semble assez commune sur une grande partie du territoire du Parc des Volcans d'Auvergne.

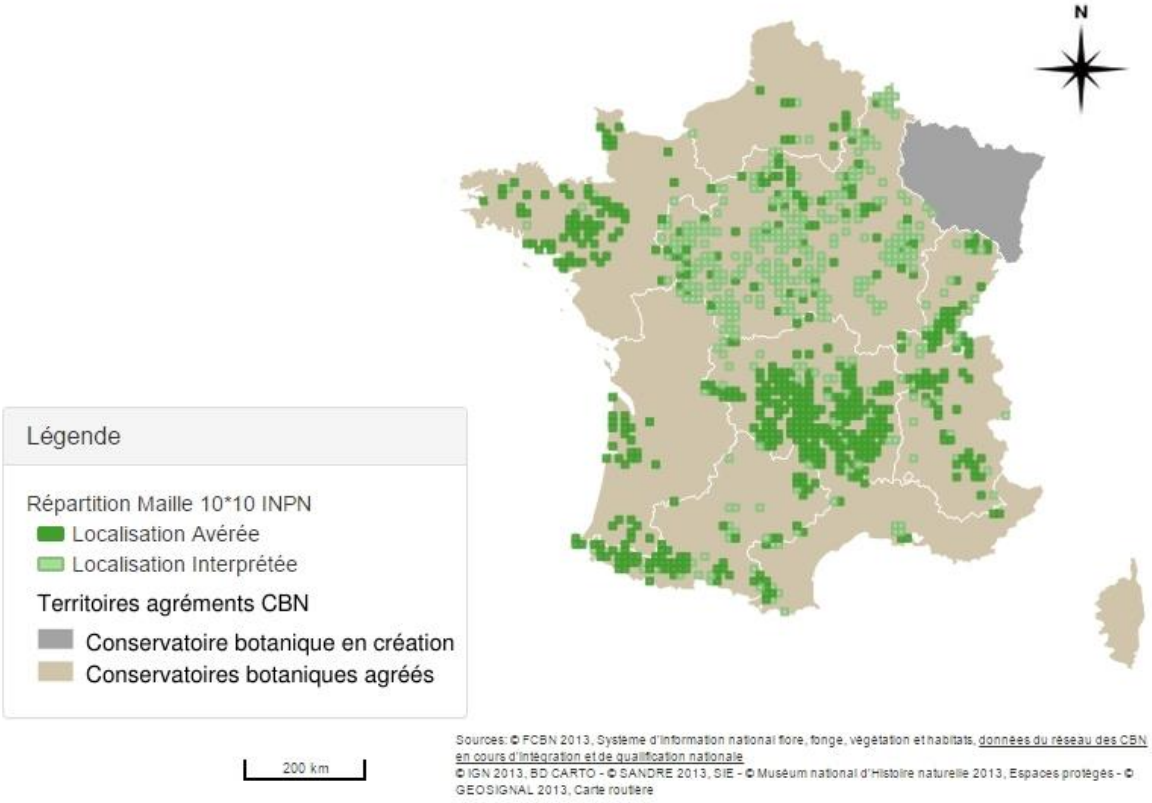


Figure 10. Aire de répartition française de *Gentiana pneumonanthe* (FCBN, 2013)

iii. Ecologie et habitats

La Gentiane pneumonanthe est une espèce héliophile, supportant mal l'ombrage et la fermeture du milieu. Le processus de colonisation par germination des graines est optimal en présence de surface de sol nu (Oostermeijer & *al*., 1994). Cette gentiane est généralement retrouvée dans les prairies et les landes tourbeuses ou du moins très humides, sur des sols argileux ou limoneux, avec un pH légèrement acide à neutre (Figure 11). Elle peut être présente également dans les coupes forestières humides dominées par la Molinie. Ses habitats sont donc les groupements de prairies humides du *Molinion*, de landes tourbeuses ou para-tourbeuses de l'*Ericion tetralicis*, mais aussi les aulnaies claires de l'*Alnion glutinosae*, ou encore les tourbières plus ou moins en voie de comblement des *Caricetalia davallianae* ou des *Caricetalia fuscae* (Bajon, 2000).

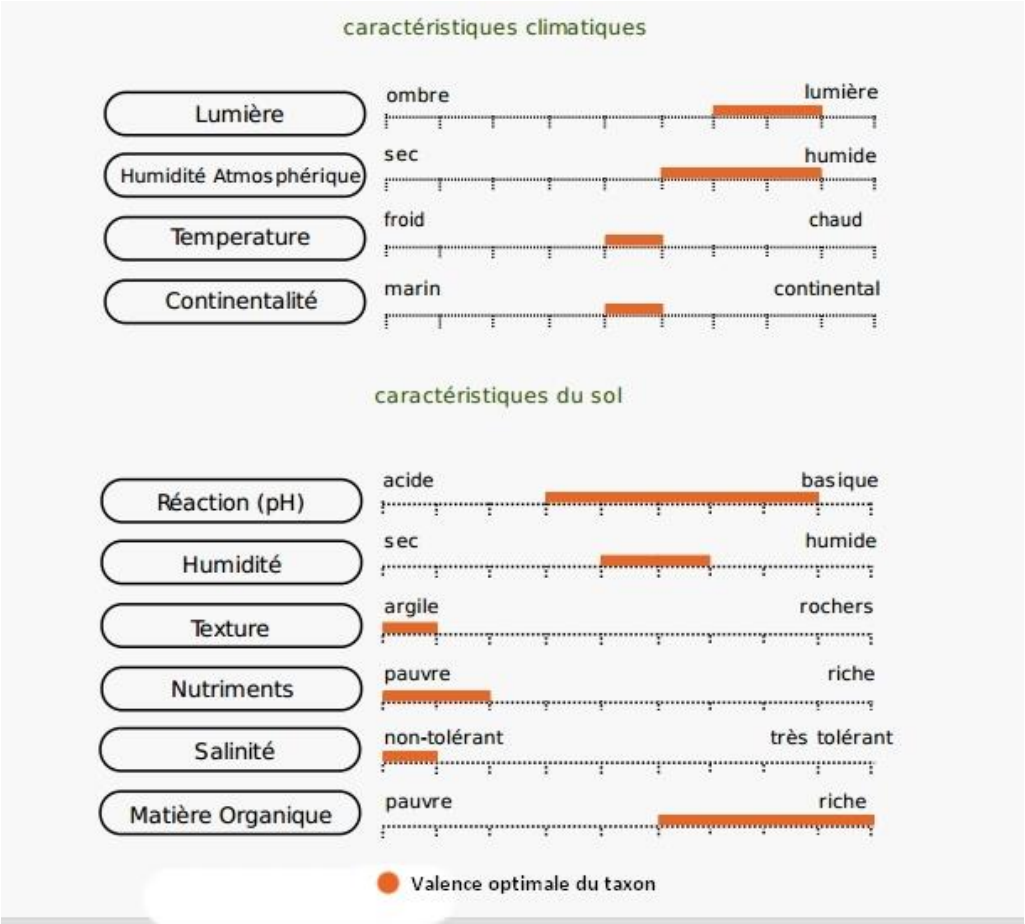


Figure 11. Exigences et valence écologiques de *Gentiana pneumonanthe* (Tela Botanica, 2015)

La Gentiane pneumonanthe, selon l'état de vieillissement de ses populations possède deux façons de se reproduire. Pour le stade jeunes-adultes, la reproduction sexuée est privilégiée avec un important nombre d'hampes florales, alors que pour le stade adultes-sénescents, la reproduction végétative prend le dessus, diminuant considérablement le nombre de fleurs (Sarlandie, 2003).

iv. Menaces

De par sa morphologie et ses couleurs attirantes, la Gentiane pneumonanthe est une espèce qui peut subir une pression de cueillette importante. Cependant, les principales menaces qui la concernent sont directement liées à celles qui pèsent sur ses habitats. Le drainage des zones humides, l'abandon des pratiques de gestion anciennes (fermeture du milieu), ou encore une gestion inadaptée (surpâturage, mauvaises périodes de fauche, *etc*.) entraîne généralement le déclin des populations de gentianes (Bajon 2000). Elle est également broutée par le bétail, notamment les jeunes bovins (Soissons & Bachelard, 2013).

v. Statuts de protection

La Gentiane pneumonanthe n'est pas protégée en Auvergne mais dans plusieurs régions comme les Pays de la Loire, la région Centre, ou encore la région Bourgogne par exemple (INPN, 2015).

AMELIORATION DES CONNAISSANCES

Afin de consolider les données disponibles et affiner les indicateurs d'évaluation de l'état de conservation proposés dans la méthode (**VOLUME 1**) des études ont été mises en place en 2015 et 2016 sur les espèces cibles dans le contexte du parc des Volcans d'Auvergne. Les objectifs :

- consolider les données et les références utilisées
- tester et affiner certains indicateurs (*Myrmica* et surface d'habitat appropriée)
- valider les seuils proposés pour l'indicateur de surface d'habitat approprié

1. Affiner les indicateurs concernant les Myrmica

i. Objectifs

En 2015, un travail spécifique a été mené sur la tourbière de Jouvion, avec pour objectif de :

- **mettre en œuvre deux protocoles pour les *Myrmica* : un évaluant la présence/absence** (permettant de renseigner des indicateurs « présence/absence M*yrmica* » et « % appâts positifs ») **et l'autre la densité** (permettant de renseigner des indicateurs **«** densité de fourmilières » et « coexistence gentiane / fourmis »**.**
- **Comparer les résultats obtenus avec ces deux protocoles**. Ce travail permet de mieux cibler les informations apportées par chacun des protocoles, savoir s'ils sont redondants (pour ainsi optimiser les prospections) et apporter des données chiffrées de référence pour le territoire du Parc des Volcans sur les aspects « densité » et « coexistence gentiane/fourmis ».

ii. La tourbière de Jouvion (63 – Saint Donat)

Le site de la tourbière de Jouvion est un Espace Naturel Sensible départemental du Puy-de-Dôme dont le SM PNRVA est gestionnaire. L'azuré des mouillères est connu sur ce site et abrite cinq zones de gentiane pneumonanthe sur environ 2 ha, sur lesquelles ont été dénombrés en 2008 et 2009 plus de 1500 œufs. Le site a longtemps était considéré comme d'une importance locale pour l'espèce, toutefois une baisse significative de la population est à noter (puisqu'à peine une centaine d'œufs a été comptée en 2015 et 43 en 2016). Le plan de gestion de l'ENS vise à mettre en place des actions de gestion et de connaissance en faveur de *M.a. alcon.* Il était donc intéressant de travailler sur ce site en particulier, afin d'obtenir des données précises pour cibler au mieux les actions potentielles à mettre en place (**VOLUME 3**).

iii. Méthodes

L'étude a été mise en place sur trois zones à gentiane connues (Fig. 12). Un carroyage de placettes (ou mailles) de 4x4 mètres de côté a été matérialisé sur le terrain pour chaque zone, soit une totalité de 249 placettes. La dimension des placettes a été choisie en fonction de la distance d'affouragement des *Myrmica*-hôtes, soit un rayon de 2 mètres autour du nid (Elmes & *al*. 1998).

Pour réaliser la totalité du terrain, 6 à 8 observateurs se sont relayés sur 3 jours.

Les prospections ont été réalisées en deux temps :

1. Mise en place du **protocole présence/absence** sur la totalité des mailles *(cf. protocole n°3 Myrmica,* **VOLUME 1***)*, un appât étant déposé au centre de chaque placette.

2. **Recherche des nids** sur chaque placette positive (c'est-à-dire avec présence de *Myrmica sp*.). La recherche est manuelle au sein de la végétation. Lorsque la végétation est haute ou

structurée en touradons, il est nécessaire de bien soulever et écarter cette dernière pour éviter de manquer un ou plusieurs nids. Lorsqu'un nid est repéré, il est localisé à l'aide d'un GPS et une dizaine d'ouvrières est récoltée pour détermination. Une prospection de **5 touffes de végétation par mètre carré** permet une bonne estimation de la densité de nids présents sur une zone (Kauffman com. pers.). 80 touffes ont donc été prospectées sur chaque maille de 16 m².

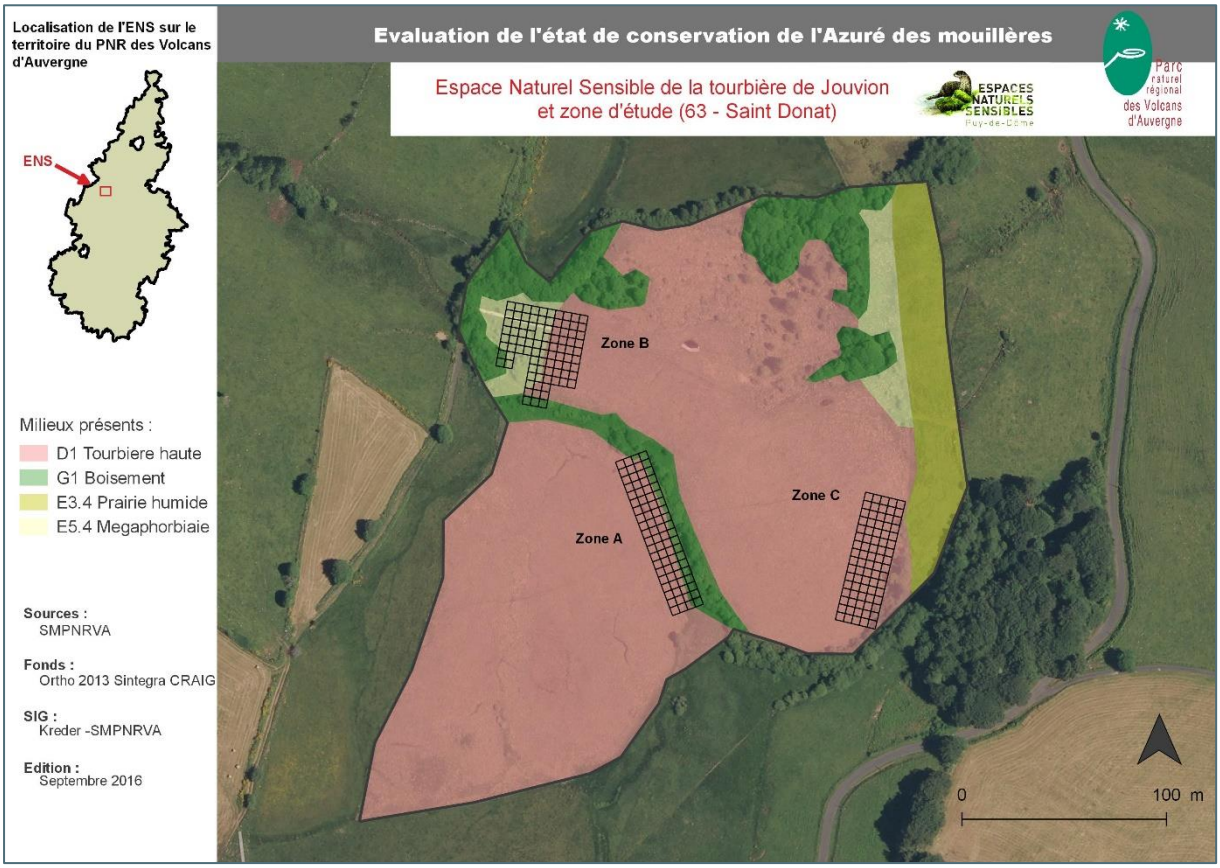


Figure 12. Localisation des mailles pour la recherche des *Myrmica* sur la tourbière de Jouvion

iv. Résultats

Protocole Présence/Absence

Toutes espèces confondues :

Sur les 249 appâts posés, 109 ont été positifs à la présence de *Myrmica sp*:

Zone	Nombre total de placettes	Nombre de placettes positives (présence de *Myrmica*)	% de placettes positives
A	80	36	45,0
B	89	50	56,2
C	80	23	28,8

Tableau 4. Résultats du protocole Myrmica « présence/absence » sur Jouvion

Une différence importante est à noter entre les zones, notamment la C, avec moins d'un tiers de placettes positives.

Par espèce de *Myrmica sp.*

Myrmica scabrinodis est l'espèce la plus fréquente (69 appâts sur 109 soit 63.3 % d'appât positif). Elle est présente sur les 3 zones. *Myrmica rubra* a été récolté assez fréquemment mais uniquement sur la zone B (26 appâts sur 89). *Myrmica ruginodis* a été trouvé en faible proportion.

Tableau 5. Résultats du protocole Myrmica « présence/absence » sur Jouvion par espèce

Zone	Nombre total de placettes	Nombre de placettes positives (présence de *myrmica*)	% de placettes positives à Myrmica sp.	Nombre de placettes avec *myrmica scabrinodis*	% de placettes avec *myrmica scabrinodis*	Nombre de placettes avec *myrmica ruginodis*	% de placettes avec *myrmica ruginodis*	Nombre de placettes avec *myrmica rubra*	% de placettes avec *myrmica rubra*
A	80	36	45	32	40,00	0	0,00	4	5,00
B	89	50	56,2	18	20,22	26	29,21	3	3,37
C	80	23	28,8	19	23,75	0	0,00	4	5,00

Dans un seul cas sur une même placette, plusieurs espèces de *Myrmica* ont été trouvées. Aucune autre espèce de *Myrmica* n'a été inventoriée. Par contre *Formica picea*, *Formica sanguinea* et *Lasius platythorax* ont aussi été récoltées sur les appâts.

Recherche de nids

Toutes espèces confondues :

Sur les 3 zones, sur les 109 placettes positives à la présence de *Myrmica*, 194 nids ont été trouvés.

Zone	Surface totale (m²)	Nombre de placettes positives	Surface Prospectée (m²)	Nombre de nids	Nombre de nids/100m²
A	1280	36	576	63	10,9
B	1424	50	800	117	14,6
C	1280	23	384	14	3,6
TOTAL	**3984**	**109**	**1760**	**194**	**11,0**

Tableau 6. Résultats du protocole *Myrmica* « densité » sur Jouvion

La zone B est celle où les densités sont les plus importantes. Sur la zone C, la densité de nids est faible.

Par espèces de *Myrmica :*

Zone	*Myrmica scabrinodis*		*Myrmica ruginodis*		*Myrmica rubra*		**TOTAL NIDS**
	Nombre de nids	Nombre de nids/100m²	Nombre de nids	Nombre de nids/100m²	Nombre de nids	Nombre de nids/100m²	
A	53	9,2	9	1,6	1	0,2	**63**
B	19	2,4	14	1,8	84	10,5	**117**
C	11	2,9	3	0,8	0	0,0	**14**
TOTAL	**83**	**4,7**	**26**	**1,5**	**85**	**4,8**	**194**

Tableau 7. Résultats du protocole Myrmica « densité » sur Jouvion par espèces

Myrmica scabrinodis, l'hôte principal en France, est particulièrement présente dans la zone A qui correspond à une zone de lisière entre un haut marais et une zone arborée, dont la transition se fait progressivement avec une zone de mégaphorbiaie / moliniaie. La densité y est de près de 10 nids pour 100 m². Sur la totalité de la zone où la recherche de nids a été réalisée, la densité est de l'ordre de 4.7 nids/m² de *M. scabrinodis*.

Myrmica rubra est très présente dans la zone B, elle y est même dominante. Cette zone correspond à un secteur de mégaphorbiaie, dont la hauteur de végétation est assez élevée.

Les résultats du test de la répartition du nombre de nids de chaque espèce pour chaque zone, montrent une différence significative, importante entre les zones, qui n'est probablement pas juste dû au hasard (Test du Khi² avec correction de Yates : X-squared =102,1987, df = 4, p-value = < 2.2. 10^{-16}). Ainsi le nombre de nids de chaque espèce observés est lié à la zone. L'hypothèse la plus probable est que le milieu et la végétation influe sur la répartition et la densité des espèces, les trois zones étant sensiblement différentes. En effet cette répartition semble correspondre aux niches préférentielles des espèces : *M. scabrinodis* sur les zones à faibles hauteur de végétation, *M. rubra* sur les zones à végétation haute et *M. ruginodis* entre les deux.

Comparaison Présence/ absence et Recherche de nids

Placettes positives et présence de nids :

Tableau 8. Comparaison entre protocole « présence / absence » et « densité » pour la détection des *Myrmica* sur Jouvion

	Nombre de placettes positives	
Zone	Protocole « Présence/absence »	Protocole « densité » (Recherche de nids)
A	36	28
B	50	32
C	23	10
TOTAL	**109**	**70**

En comparant le nombre de placettes positives à la présence de *Myrmica sp*. trouvé lors des deux protocoles, il apparaît que le nombre de mailles positives est plus important avec le protocole « Présence/absence » qu'avec le protocoles « densité » (l'inverse aurait bien sûr était impossible). C'est-à-dire que sur des mailles où ont été observées des *Myrmica* lors du protocole présence/absence, la recherche de nids a été infructueuse. Cela représente environ 35 % des mailles.

Une analyse par zone, fait apparaître des différences notables :

- Sur la zone A, des nids de *Myrmica* sont trouvés sur 77% des mailles positives au protocole « présence/absence »
- Sur la zone B, des nids de *Myrmica* sont trouvés sur 64% des mailles positives au protocole « présence/absence »
- Sur la zone C, des nids de *Myrmica* sont trouvés sur 43% des mailles positives au protocole « présence/absence »

Par espèces de *Myrmica sp :*

Toutes zones confondues :

- Sur 52 % des mailles positives à *Myrmica scabrinodis* lors du protocole présence/absence des nids de *M. scabrinodis* ont été retrouvés lors de la recherche de nids
- sur 64 % des mailles positives à *Myrmica ruginodis* lors du protocole présence/absence des nids de *M.ruginodis* ont été retrouvés lors de la recherche de nids
- sur 73 % des mailles positives à *Myrmica rubra* lors du protocole présence/absence des nids de *M.rubra* ont été retrouvés lors de la recherche de nids

La carte suivante illustre les résultats toutes espèces confondues. Elle souligne de manière plus visuelle les différences observées entre les deux protocoles, des disparités importantes entre les zones et démontre des densités concentrés sur certains secteurs seulement.

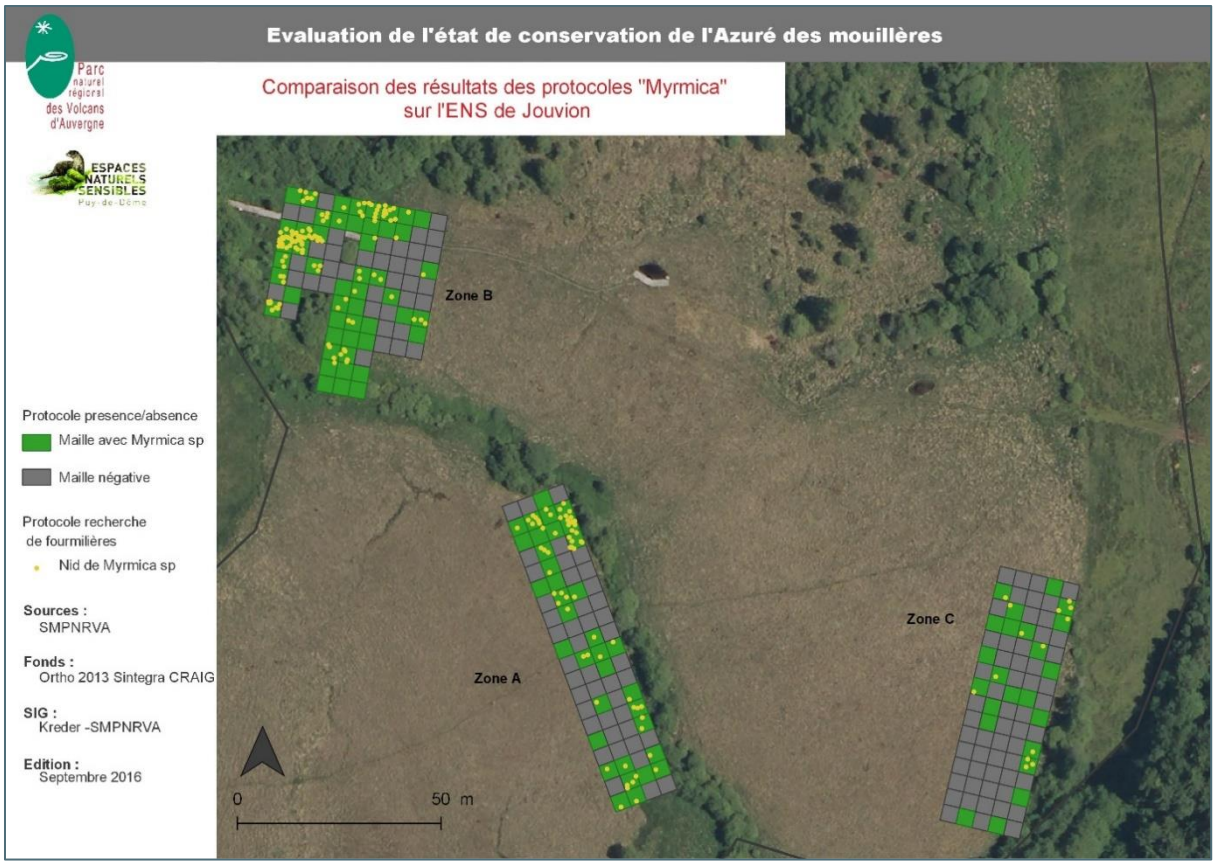


Figure 13. Comparaison des résultats des protocoles *Myrmica* sur la tourbière de Jouvion

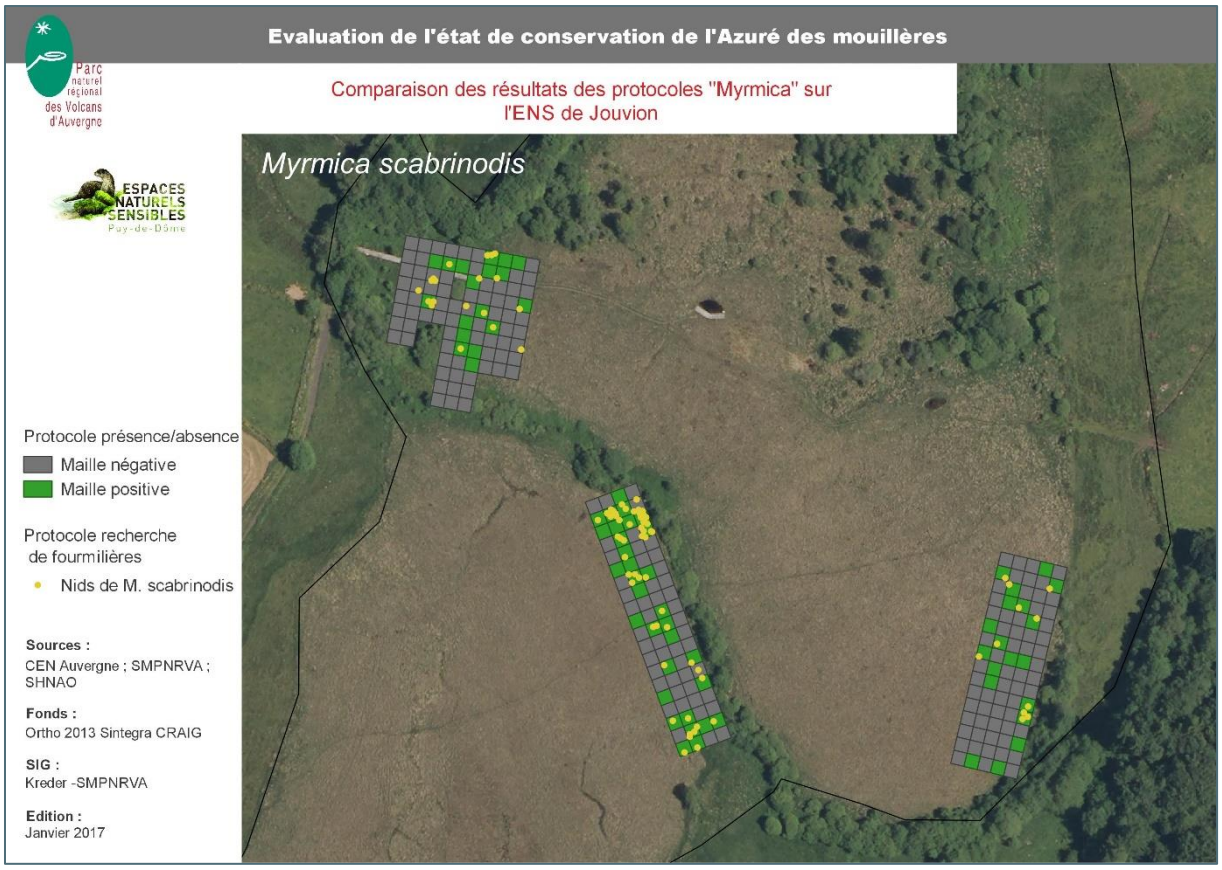


Figure 14. Comparaison des résultats protocoles *Myrmica* sur la tourbière de Jouvion pour *M.scabrinodis*

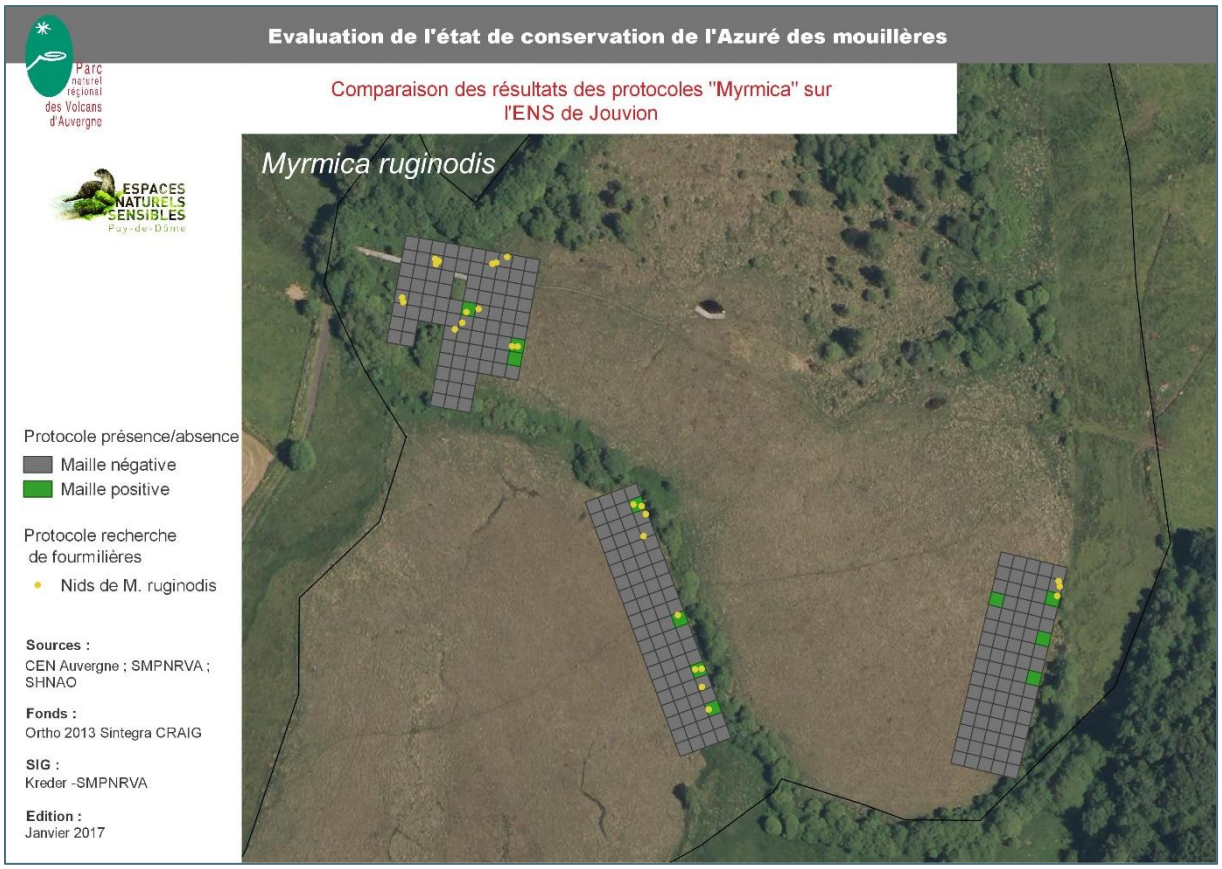


Figure 15. Comparaison des résultats protocoles *Myrmica* sur la tourbière de Jouvion pour *M.ruginodis*

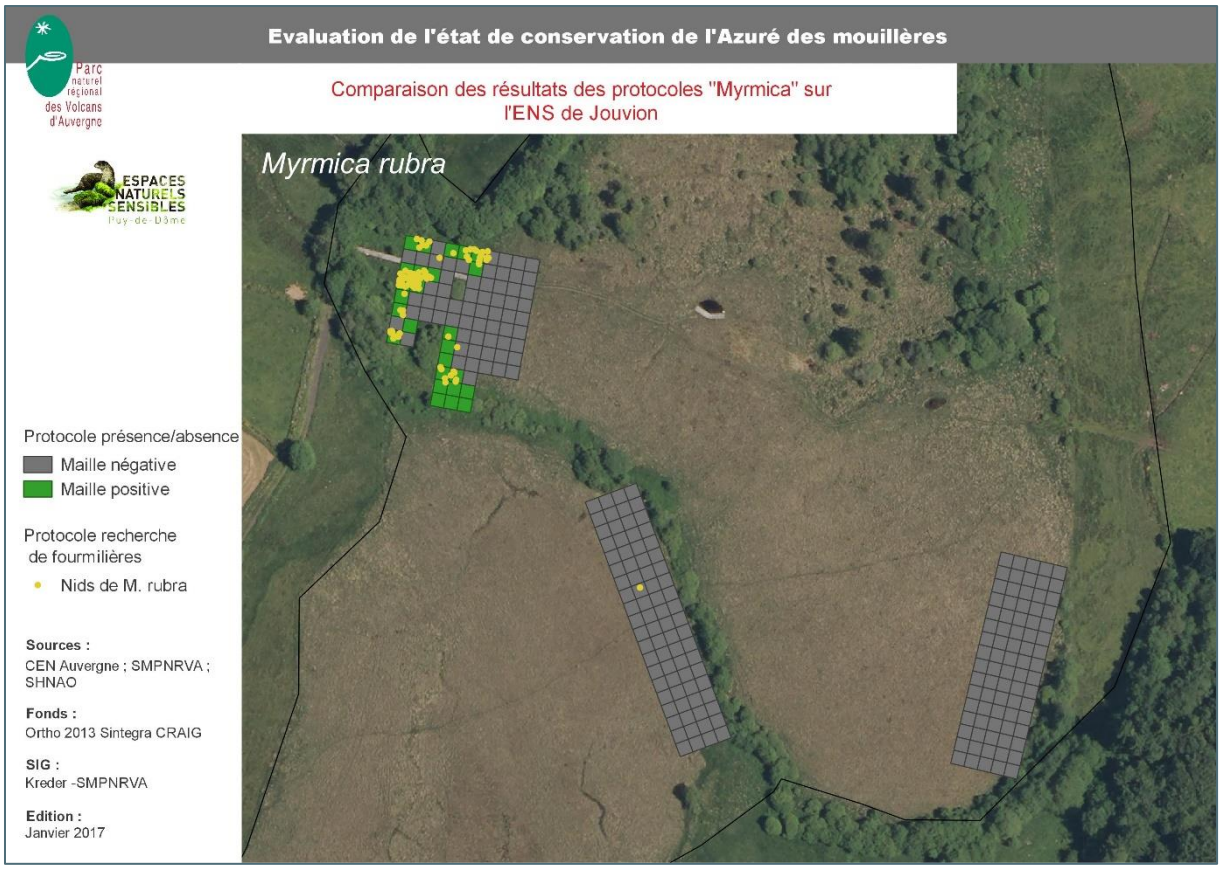


Figure 16. Comparaison des résultats protocoles *Myrmica* sur la tourbière de Jouvion pour *M.rubra*

Pourquoi cette variation entre zones ?

Le biais observateur ou le dérangement (entrainant un déplacement du nid, faussant alors les prospections réalisées sur plusieurs heures ou jours selon les zones) lors de la mise en œuvre des différents protocoles sont des explications possibles aux différences observées entre zones. La physionomie des zones est également un facteur important. Par exemple, la zone B, présentant une végétation plus haute, est plus difficile à prospecter pour la recherche des nids que la zone A. La zone C présente a priori moins de micro topographies que la zone A par exemple. L'exposition, l'ombrage, la microtopographie… sont autant de paramètres pouvant également expliquer les différences observées. Pour autant, les résultats mis en lumière semblent converger sur le fait que la zone C est la moins favorable aux *Myrmica* sur les trois zones étudiées. La zone A semble être la plus propice à *M.scabrinodis*.

Pourquoi cette différence entre les protocoles ?

Deux hypothèses majeures peuvent être mises en avant :

- le taux de détection des nids dans le protocole densité est inférieur au taux de détection dans le cadre du protocole « présence/absence »
- la distance d'affouragement des espèces est supérieure à 2 m. Ainsi, des fourmis provenant de l'extérieur de la placette peuvent être retrouvées sur un appât.

Coexistence gentiane / Myrmica

La localisation des nids de *Myrmica* permet de déterminer la surface de coexistence entre les *Myrmica sp* et les gentianes, sur les 3 zones prospectées (intersections des zones tampons de 2 m autour des nids de *Myrmica* et des points de gentiane). Cette surface est plus précise qu'une surface correspondant à la surface que représentent les placettes positives à la présence de *Myrmica sp.* dans des secteurs de gentiane.

La surface de coexistence surface est de 167 m². Sur ces 167 m², seuls 80 m² sont concernés par la présence de ponte de *Maculinea alcon alcon* en 2015. Cette surface de 80 m² représente 6,5 % de la surface de gentiane.

Notons, que ce résultat est correct si les nids de *Myrmica* ne sont pas déplacés entre juin (période de réalisation des recherches de nids) et la période où les fourmis adaptent les chenilles (aout/septembre).

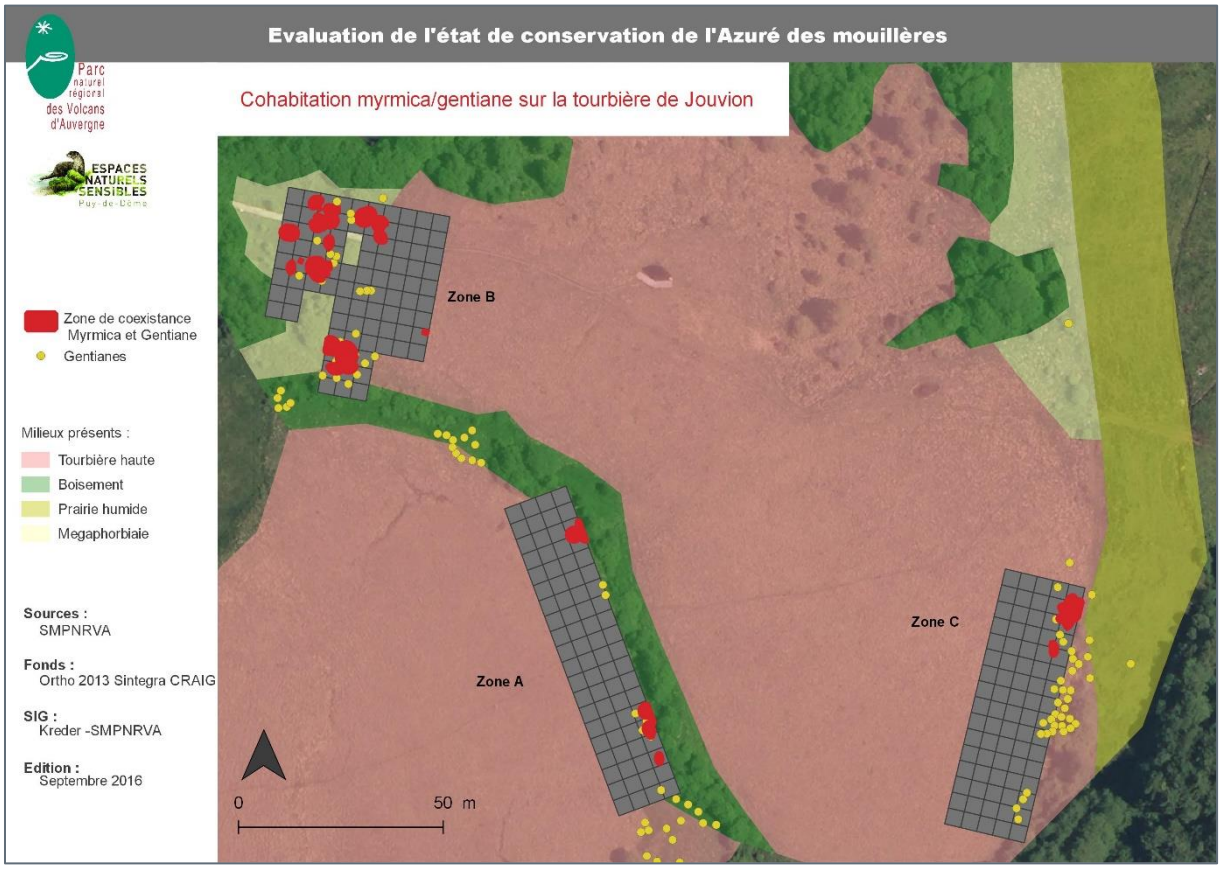


Figure 17. Zone de coexistence entre *Myrmica* et gentiane sur Jouvion

Le nombre de nids concernés par cette zone de coexistence est de 29.

v. Sur les indicateurs *Myrmica*

4 indicateurs potentiels relatifs aux fourmis hôtes ont pu être testés (présence/absence, % d'appâts positifs, densité de nids et surface de coexistence gentiane/*Myrmica*/ponte). Plusieurs enseignements peuvent en être tirés :

- l'indicateur seul de présence/absence de *M. scabrinodis* ne permet pas d'obtenir une information quantitative ni qualitative sur la favorabilité du site aux fourmis et encore moins sur la disponibilité de la fourmi hôte pour le papillon hôte. Il est nécessaire de le coupler avec un autre indicateur. Toutefois, cet indicateur est simple à renseigner, notamment avec le protocole proposé dans le cadre du PNA. De plus, lorsqu'il est défavorable (fourmi hôte non détectée) alors l'état de conservation de la station peut être considéré comme défavorable (cas de stations historiques sur lesquelles la dynamique de fermeture des milieux, par exemple, a entrainé la disparition des fourmis hôtes, et donc du papillon). Tout comme l'absence de gentiane, celle de la fourmi est un facteur rédhibitoire à la présence de *M. a. alcon*. Ainsi cet indicateur apporte des informations primordiales quand il n'est pas favorable.

- l'indicateur du pourcentage d'appâts positifs peut être un bon complément au précédent et permet d'apporter des informations supplémentaires sur la favorabilité du site aux fourmis. Mais un élément primordial est à prendre en compte : s'assurer que les zones inventoriées dans le cas du protocole présence/absence sont les zones à gentiane. Ainsi on peut émettre l'hypothèse que plus le nombre d'appâts est positif à *Mymica spp* (ou seulement à la fourmi hôte) plus la capacité d'accueil des chenilles est importante.

- les deux autres indicateurs, plus complexes et précis, semblent évidemment déterminants dans l'évaluation de l'état de conservation d'une station à *M.alcon alcon*. Mais leur mise en œuvre est chronophage et impactante pour les milieux et les fourmilières. De plus, l'analyse de ces indicateurs, et la définition des seuils reste impossible à ce stade et demanderaient à multiplier sur type d'étude. Les informations bibliographiques sont manquantes ou trop peu précises pour constituer des références.
  - Pour la densité de nids afin de comparer avec les références bibliographiques, la principale difficulté est de savoir quelle est la surface à prendre en compte ? La surface inventoriée ? La surface avec présence de nids ? Ici, la densité a été calculée par rapport à la surface inventoriée lors de la recherche de nids.
  - La question de l'espèce prise en compte est à considérer. Même si *M. scabrinodis* est l'hôte principal, les autres *Myrmica* (*rubra* et *ruginodis*) sont des hôtes potentiels. Pour exemple, si seule *Myrmica scabrinodis* est considérée sur la tourbière de Jouvion, la valeur de densité descend à 4,7 nids/100m² contre 11 nids/100m² si les trois espèces de *Myrmica* sont considérées. Plus globalement, se pose également la question de la détermination de l'hôte principal sur la zone d'étude. Une étude spécifique permettrait de confirmer que *M.scabrinodis* est bien cet hôte principal en Auvergne.
  - La valeur de la coexistence Gentiane/*Myrmica* est également difficile à analyser et à comparer avec les références bibliographiques. Quelle est en effet la surface minimale de coexistence nécessaire à la survie de la population par exemple ? ou encore la surface de coexistence optimale ? sachant que le tout est également lié au nombre de nids de fourmis en présence et du nombre de chenilles pouvant être recueillies (donc d'œufs pondus dans un premier temps, lui-même influencé par le parasitisme, le climat…). De plus, pour disposer d'éléments de comparaison et d'étude, il convient de bien préciser à chaque fois comment sont calculer ces surfaces de coexistence.

Synthèse et apports des résultats :

- Pas de corrélation possible à faire entre les deux protocoles (présence/absence et densité de *Myrmica*). Il n'est ainsi pas possible, selon les résultats obtenus dans ce contexte, de s'affranchir du protocole « densité » lorsqu'il est souhaité disposer de données sur les densités et sur la coexistence entre gentiane/*Myrmica*/ponte.

- La recherche de nids est une méthode très chronophage et impactante pour le milieu et les fourmis. Sa mise en œuvre sur plusieurs sites n'a donc pas été retenue pour la suite de l'étude (2016) même si la multiplication des résultats aurait été nécessaire pour disposer d'éléments de comparaison et d'évaluation qui manquent aujourd'hui (une zone de coexistence de 80 m² entre ponte de *Maculinea alcon alcon* et de nids de *Myrmica*, est-ce une situation favorable ou défavorable ?). Ainsi les indicateurs de densité de nids de *Myrmica* et coexistence gentiane/fourmis n'ont pas été retenus pour être renseignés pour l'ensemble des sites étudiés ni dans la proposition de méthode d'évaluation de l'état de conservation.

- Répartition des espèces de *Myrmica* assez nettes en fonction des zones, probablement sensibles à la hauteur de végétation (plus détaillées par la suite). Cela confirme l'intérêt des indicateurs relatifs à la structure de végétation et menace de fermeture des milieux globalement.

- Proposition d'utiliser l'indicateur de pourcentage d'appât positif à *Myrmica* en ciblant le protocole de recherche des fourmis sur les zones de gentianes pneumonanthes. Cela permet, avec un protocole assez léger et moins impactant, de disposer d'informations sur les surfaces de cohabitation entre la gentiane et Myrmica (même si cette surface est moins précise qu'une surface de coexistence réelle entre gentianes et nids de *Myrmica*). Les indicateurs densité de nids et coexistence entre gentiane et *Myrmica* apportent certes des données très précises mais peuvent être réservés à des études très précises de type recherche.

2. Affiner l'indicateur de surface d'habitat approprié

Pour rappel la surface d'habitat approprié est la surface occupée mais aussi disponible pour les espèces en se basant sur la surface d'habitat favorable potentielle. Il reprend la notion de niche écologique (notamment niche fondamentale et niche occupée) et est adapté de Bensettiti et al. (2012) de l'indicateur « Habitat approprié » d'évaluation d'état de conservation des populations d'espèces qui est définit comme : les surfaces d'habitats occupées ou de bonne qualité pour la survie à long terme des espèces. Ici la qualité a été traduite par la favorabilité de l'habitat en fonction de son degré de fermeture (le barycentre) couplée à la présence de gentiane.

i. Objectifs

En 2016, une étude complémentaire a été menée sur quatre tourbières situées sur la commune de la Godivelle (63) : la Coualle basse, les Chastelets, le Lac d'En-Bas et la Plaine Jacquot. Les objectifs ont été de :

- **Préciser les caractéristiques d'habitats** (type et structure) **préférentiels des fourmis et des gentianes**
- **Qualifier les seuils de l'indicateur** de surface d'habitat appropriée à partir des données récoltées

ii. Les tourbières de la Godivelle

Une partie de la Coualle Basse et du Lac d'En Bas sont classées en Réserve Naturelle Nationale depuis 1975, gérées par le SMPNRVA. *M. a. alcon* est bien connu sur ce secteur, c'est un enjeu fort de la réserve et un suivi annuel des imagos est réalisé depuis 2011. L'ensemble des quatre tourbières font partie du site Natura 2000 du Cézallier, animé par le SMPNRVA.

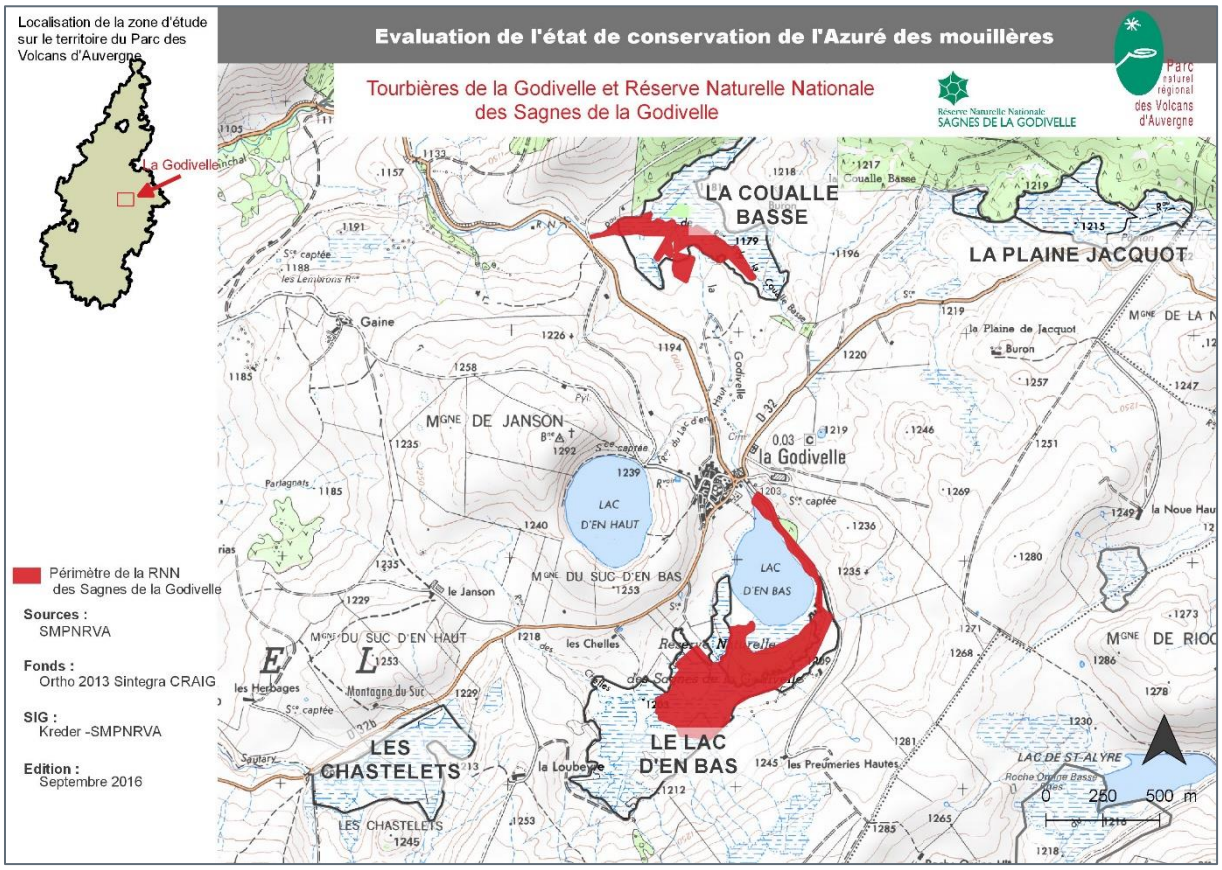


Figure 18. Localisation des tourbières de La Godivelle

iii. Méthode

Phase de préparation

Dans un premier temps, les habitats sont déterminés pour chaque site (en reprenant la méthode utilisée pour le « protocole habitat » cf protocole n° 1- **VOLUME 1**). Plusieurs étapes sont ensuite réalisées sur un logiciel SIG :

- Création d'un maillage de 4x4 m (du fait de la distance d'affouragement des fourmis) sur l'ensemble du site.
- Suppression des mailles (ou placettes) dont l'habitat n'est pas homogène (mailles à cheval sur deux habitats différents).
- Sur les habitats où de la gentiane est présente, tirage aléatoire de 50 mailles (au maximum)
- Puis sélection aléatoire des mailles restantes. Le nombre de mailles initialement prévu était de 200. Pour des raisons de temps il a été revu à la baisse en cours d'étude. Ainsi certains milieux ont pu faire l'objet de nombre de maille différents. De plus, certains habitats, n'ont également pas pu être prospectés sur le terrain (zone ennoiyée…)
- Renseigner le centroïde de chaque maille dans un GPS.

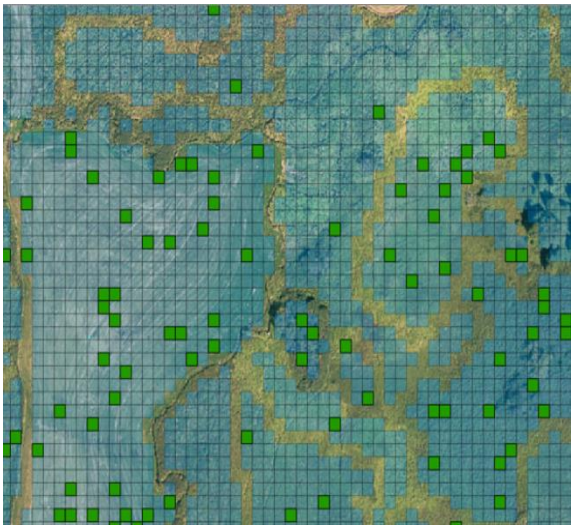


Figure 19. Exemple de mailles 4x4 m sélectionnées (en vert) au sein du maillage total (en bleu) après avoir supprimé les mailles à cheval sur différents habitats.

Phase de terrain

La phase de terrain sur les mailles sélectionnées se divise en 3 étapes :

- Protocole *Myrmica*

Un appât à fourmis est déposé au centre des mailles sélectionnées (protocole national d'échantillonnage des fourmis-hôtes, Kaufman *& al*. 2014). A noter que les centroïdes sont repérés à l'aide d'un GPS et qu'un bout de tissu de couleur vive est accroché dans la végétation afin de matérialiser et retrouver les points d'inventaire plus facilement.

- Protocole « habitat » : description du barycentre

Le protocole consiste ici à déterminer le barycentre pour chaque maille sélectionnée (voir protocole habitat pour plus de précisions sur le calcul du barycentre (**VOLUME 1**)).

- Protocole « gentiane et œufs »

La méthode utilisée pour compter les gentianes et les œufs sur une maille est la même que pour l'ensemble des autres sites (**VOLUME 1**).

Figure 20. Récolte de fourmis à l'aide d'un aspirateur à bouche

iv. Résultats

Un total de 1149 mailles a été étudié sur l'ensemble des 4 tourbières.

	Tourbière haute	Tourbières de vallées, bas-marais acides et tourbières de transition	Cariçaie	Roselières	Prairie mésophile	Prairie humide	Moliniaie	Mégaphorbiaie	Boisement	TOTAL	Nombre de Maille avec Gentiane
Chastelets	70	24	6			9	57	20		186	44
Coualle basse		2		3		13	11	90	40	159	45
Lac en bas	38	92	31	51	54	58	61	50	26	461	181
Plaine Jacquot	34	15	86		142	14	27	24	1	343	98
TOTAL	**142**	**133**	**123**	**54**	**196**	**94**	**156**	**184**	**67**	**1149**	**368**

Tableau 9. Répartition des placettes étudiées sur les tourbières de La Godivelle par type d'habitat

Caractéristiques de l'habitat en fonction des espèces de *Myrmica*

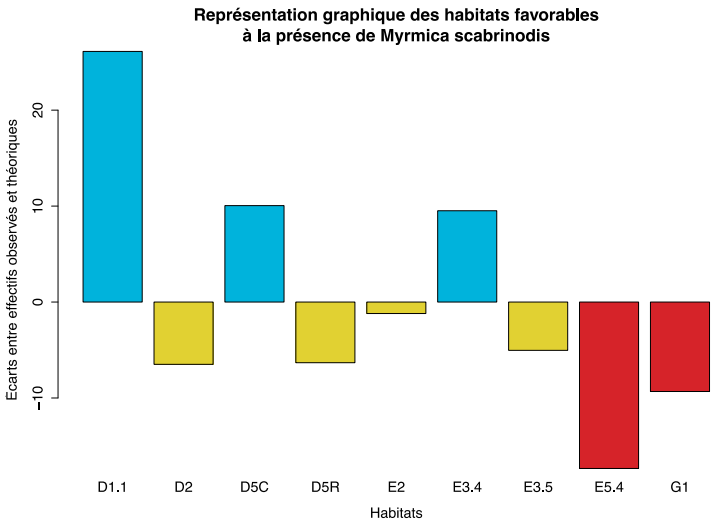
Le type d'habitat

Dans un premier temps, l'influence du type d'habitat sur la présence de *Myrmica scabrinodis* et *Myrmica ruginodis* a été testée. Les deux espèces ont été trouvées sur 177 mailles chacune, mais sur des mailles différentes pour les deux espèces. En ce qui concerne *M. rubra*, le nombre de mailles positives lors de cet inventaire est très faible (n=5) et ne permet pas d'obtenir des résultats pertinents. L'espèce semble peu commune sur les tourbières étudiées.

Il apparait que la présence de *M. scabrinodis* dépend de l'habitat décrit. Un test d'indépendance du Khi^2 conforte cette hypothèse, la distribution observée (nombre de placette positive et négative à *M. scabrinodis* en fonction du type d'habitat) n'est clairement pas une distribution aléatoire et les différences sont significatives (Test du Khi^2 avec correction de Yates : X-squared =82.486, df =8 , p-value = 1.542e-14).

Identiquement, le test montre des différences significatives pour *M. ruginodis*, même si la significativité est un peu moins prononcée que pour *M. scabrinodis* (Test du Khi^2 avec correction de Yates : X-squared = 28.46, df =8, p-value = 0.0003942).

Les différences entre le nombre de maille avec présence de *Myrmica* observée (c'est-à-dire réellement trouvé sur le terrain) et le nombre théorique (si la présence des *Myrmica* était répartie de manière aléatoire sans lien avec l'habitat) peuvent être visualisées graphiquement (Fig. 21). En bleu et en rouge, les habitats qui peuvent être respectivement considérer comme favorables (beaucoup plus de mailles trouvées que théoriquement) et défavorables (beaucoup moins). En jaune, les habitats « intermédiaires », la différence entre effectifs observés et théoriques étant faible.



Les tourbières hautes, cariçaies et prairies humides à joncs sont ainsi favorables alors que les mégaphorbiaies et boisements sont clairement défavorables à la présence de *M. scabrinodis*.

Figure 21. Représentation graphique des habitats favorables à la présence de *Myrmica scabrinodis*.

En ordonnée, la différence entre les effectifs observés et théoriques. L'effectif théorique est ici l'effectif que l'on obtiendrait si la présence de *M. scabrinodis* ne dépendait pas de l'habitat.

D1.1 : Tourbière haute D2 : Tourbière de transition D5C : Cariçaie D5R : Roselière
E2 : Prairie E3.4 : Prairie humide à joncs E3.5 : Moliniaie E5.4 Mégaphorbiaie G1 : Boisement

Pour *M. ruginodis* ce sont les moliniaies et mégaphorbiaies qui sont les plus favorables alors que les tourbières de transition, et les prairies humides à joncs lui sont plutôt défavorables.

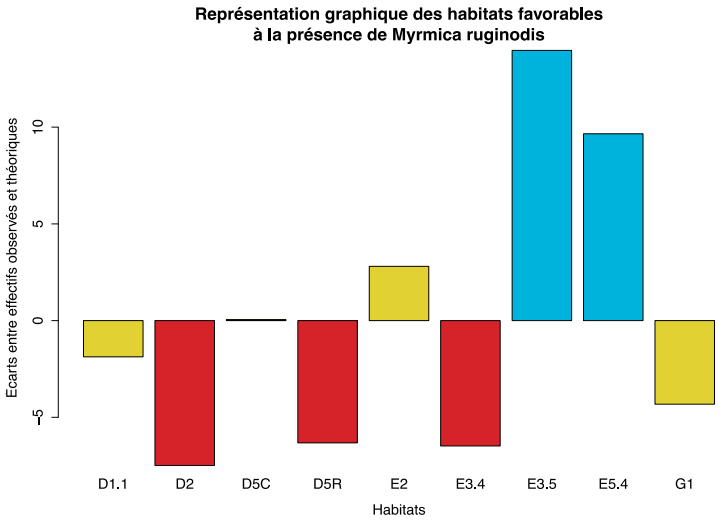


Figure 22. Représentation graphique des habitats favorables à la présence de *Myrmica ruginodis*.

En ordonnée, la différence entre les effectifs observés et théoriques. L'effectif théorique est ici l'effectif que l'on obtiendrait si la présence de *M. ruginodis* ne dépendait pas de l'habitat.

D1.1 : Tourbière haute
D2 : Tourbière de transition
D5C : Cariçaie
D5R : Roselière
E2 : Prairie
E3.4 : Prairie humide à joncs
E3.5 : Moliniaie
E5.4 Mégaphorbiaie
G1 : Boisement

STRUCTURE DE VEGETATION (BARYCENTRE)

L'analyse de la présence des différentes espèces en fonction du barycentre de végétation, paramètre représentant la structure de végétation sur les placettes (graphique ci-dessous), fait apparaître des différences surtout pour *M. scabrinodis*. La valeur de la médiane est par contre quasiment la même à chaque fois (trait foncé dans les boites).

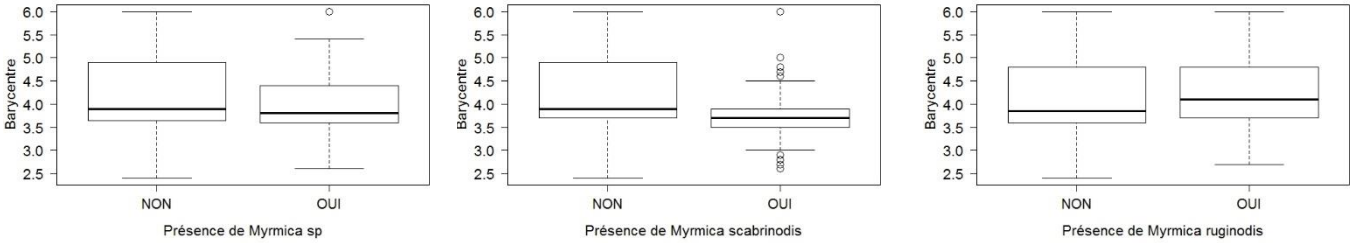


Figure 23. Boites à moustaches de présence des *Myrmica* en fonction du barycentre de végétation

Le barycentre de végétation en fonction de la présence de *M. scabrinodis* a été testé par un modèle linéaire simple. Le modèle valide une **différence très significative** entre les mailles négatives et positives à la fourmi (intervalles de confiances petits et éloignés de 0, p-value largement inférieur à 0,001, tableau 12, paramètres importants à prendre en compte en rouge).

Le barycentre moyen d'une maille négative à la présence de *Myrmica scabrinodis* est de 4,147 ± 0,0225 alors que pour les mailles positives il est plus bas, de 3,72 ± 0,057.

Seulement 4,5% de la variance de la présence de *M. scabrinodis* est expliquée par une variation du barycentre. Ce pourcentage peut paraitre relativement faible, mais reste cohérent étant donné que d'autres paramètres que la structure de végétation influencent la présence de *M.scabrinodis* (micro-topographie, humidité…). Avec un seul paramètre étudié ici (le barycentre de végétation), la variance est réduite mais la différence trouvée reste réelle.

Tableau 10. Résultats de l'analyse statistiques pour la présence de *M.scabrinodis* en fonction du barycentre

Call: lm(formula = Barycentre ~ factor(M_scabrinodis))				
Coefficients:				
	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>|t|)
(Intercept)	4.14709	0.02250	184.309	< 2e-16 ***
factor(M_scabrindos)OUI	-0.42817	0.05733	-7,469	1.6e-13 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1 Residual standard error: 0.7015 on 1147 degrees of freedom Multiple R-squared: 0.04638, Adjusted R-squared: 0.04555 F-statistic: 55.78 on 1 and 1147 DF, p-value: 1.6e-13				

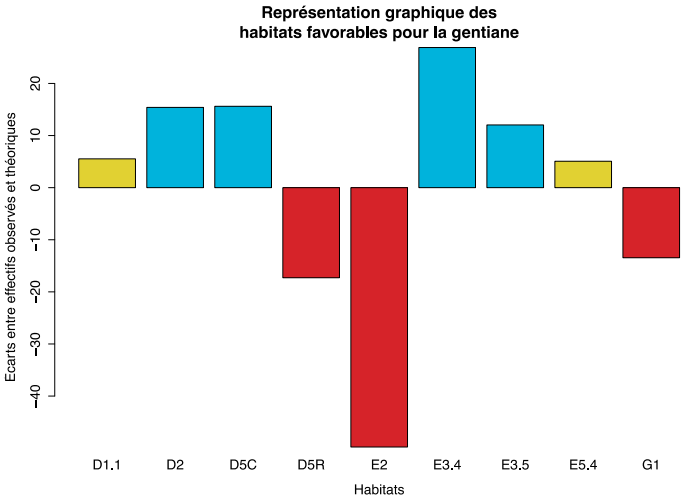
Caractéristiques de l'habitat par rapport aux gentianes

LE TYPE D'HABITAT

L'influence du type d'habitat sur la présence de la gentiane pneumonanthe a été testée. La gentiane a été trouvée sur 368 placettes.

Il apparait que la présence de la Gentiane dépend de l'habitat renseigné. Un test d'indépendance du Khi² conforte cette hypothèse. La distribution observée (nombre de maille positive et négative à la gentiane en fonction du type d'habitat) n'est clairement pas une distribution aléatoire et les différences sont significatives (Test du Khi² avec correction de Yates : X-squared =154.45, df =8, p-value < 2.2e-16).

Les différences entre le nombre de maille observé (c'est-à-dire réellement trouvé sur le terrain) et le nombre théorique (si la présence des Gentianes était répartie de manière aléatoire selon l'habitat) peuvent être visualisé graphiquement (Fig. 24). En bleu et en rouge, les habitats que l'on peut respectivement considérer comme favorables et défavorables. En jaune, les habitats « intermédiaires », la différence entre effectifs observés et théoriques étant faible.



Les habitats les plus favorables sont la prairie humide à joncs puis la moliniae, la cariçaie et la tourbière de transition.

L'habitat semblant le plus défavorable pour la gentiane est la prairie (E2), ce résultat est cependant à nuancer puisque, bien qu'il soit rare de retrouver des gentianes au milieu de prairies, elles peuvent se développer facilement en bordure. Les roselières et les boisements sont aussi considérés comme défavorables.

Figure 24. Représentation graphique des habitats favorables à la gentiane.

En ordonnée, la différence entre les effectifs observés et théoriques. L'effectif théorique est ici l'effectif que l'on obtiendrait si la présence de gentiane ne dépendait pas de l'habitat.
D1.1 : Tourbière haute D2 : Tourbière de transition D5C : Cariçaies D5R : Roselière E2 : Prairie
E3.4 : Prairie humide à joncs E3.5 : Moliniaie E5.4 Mégaphorbiaie G1 : Boisement

STRUCTURE DE VEGETATION (BARYCENTRE)

Le graphique du barycentre de végétation en fonction de la présence de la gentiane pneumonanthe sur une placette montre une variation beaucoup plus restreinte de valeur du barycentre pour les mailles positives à la gentiane par rapport aux placettes où la gentiane n'est pas présente.

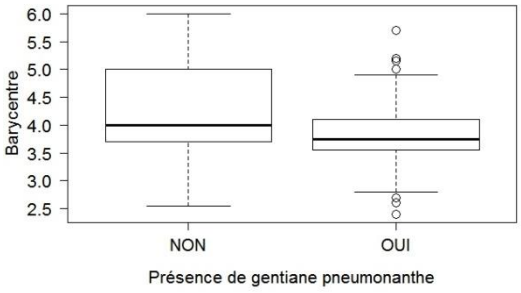


Figure 25. Boite à moustache de présence de la gentiane en fonction du barycentre de végétation

Cette relation a été testée par un modèle linéaire simple. Le modèle valide une **différence très significative** entre les mailles négatives et positives à la gentiane (intervalles de confiances petits et éloignés de 0, p-value largement inférieur à 0,001, tableau 11 - paramètres importants à prendre en compte en rouge).

Ainsi le barycentre moyen de végétation d'une placette négative à la gentiane est de 4,193 ± 0,0250 alors que pour les mailles positives il est de 3,84 ± 0,044. Seulement 5,1% de la variance de la présence de la gentiane est expliquée par une variation du barycentre (d'autres paramètres influent sur la présence de la Gentiane).

Les gentianes seront donc généralement trouvées dans une végétation avec un barycentre en dessous d'un seuil de 4.

Tableau 11. Résultats statistiques pour la présence de gentiane en fonction du barycentre

Call: lm(formula = Barycentre ~ factor(Gentiane))				
Coefficients:	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>|t|)
(Intercept)	4.19347	0.02503	167.552	< 2e-16 ***
factor(Gentiane)OUI	-0.35074	0.04422	-7.931	5.13e-15 ***
--- Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1 Residual standard error: 0.6994 on 1147 degrees of freedom Multiple R-squared: 0.05199, Adjusted R-squared: 0.05116 F-statistic: 62.9 on 1 and 1147 DF, p-value: 5.132e-15				

Caractéristiques de l'habitat par rapport aux pontes

LE TYPE D'HABITAT

L'influence du type d'habitat sur la présence de la ponte d'Azuré des mouillères a été testée. Des œufs ont été trouvés sur 165 placettes.

Il apparait que la présence d'œufs dépend de l'habitat renseigné. Un test d'indépendance du Khi² conforte cette hypothèse. La distribution observée (nombre de maille positive et négative à la gentiane en fonction du type d'habitat) n'est clairement pas une distribution aléatoire et les différences sont significatives (Test du Khi² avec correction de Yates : X-squared = 67,931, df = 8, p-value = 1.3e-11).

Les différences entre le nombre de maille observé (c'est-à-dire réellement trouvé sur le terrain) et le nombre théorique (si la présence des œufs était répartie de manière aléatoire selon l'habitat) peuvent être visualisé graphiquement (Fig. 26). En bleu et en rouge, les habitats que l'on peut respectivement considérer comme favorables et défavorables. En jaune, les habitats « intermédiaires », la différence entre effectifs observés et théoriques étant faible.

Les habitats qui semblent les plus favorables pour la ponte sont les cariçaies et les prairies humides à joncs.

A l'inverse seule la prairie (E2) semble défavorable.

Ce résultat est évidemment à mettre en perspective des résultats obtenus pour la répartition de la gentiane, car sans gentiane, pas d'œufs.

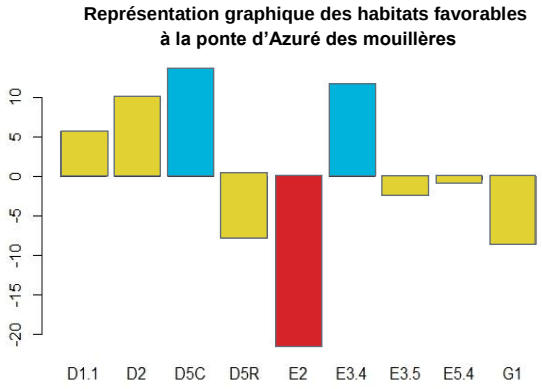


Figure 26. Représentation graphique des habitats favorables à la ponte d'Azuré des mouillères.

En ordonnée, la différence entre les effectifs observés et théoriques. L'effectif théorique est ici l'effectif que l'on obtiendrait si la présence de gentiane ne dépendait pas de l'habitat.
D1.1 : Tourbière haute D2 : Tourbière de transition D5C : Cariçaies D5R : Roselière E2 : Prairie
E3.4 : Prairie humide à joncs E3.5 : Moliniaie E5.4 Mégaphorbiaie G1 : Boisement

STRUCTURE DE VEGETATION (BARYCENTRE)

Le barycentre de végétation en fonction de la présence d'œufs sur une placette montre une variation beaucoup plus restreinte de valeur du barycentre pour les mailles positives à la ponte que pour les placettes où aucune ponte n'a été observée.

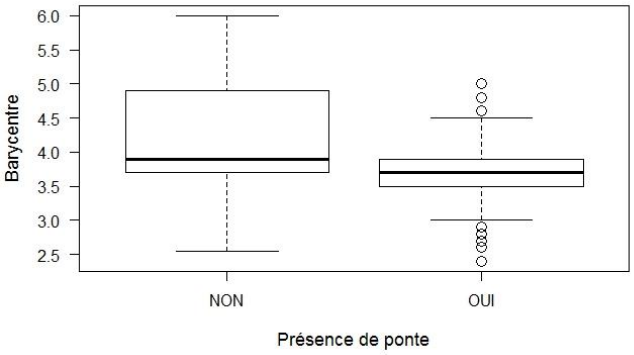


Figure 27. Boite à moustache de présence de ponte en fonction du barycentre de végétation

Cette relation a été testée par un modèle linéaire simple. Le modèle valide une **différence très significative** entre les mailles négatives et positives à la ponte (intervalles de confiances petits et éloignés de 0, p-value largement inférieur à 0,001, tableau 12 - paramètres importants à prendre en compte en rouge).

Ainsi le barycentre moyen de végétation d'une placette négative à la présence d'oeufs est de 4,140 ± 0,022 alors que pour les mailles positives il est de 3,72 ± 0,059. Seulement 4 % de la variance de la présence de ponte est expliquée par une variation du barycentre (d'autres paramètres influent sur la présence d'œufs).

Call: lm(formula = Barycentre ~ factor(Gentiane))				
Coefficients:	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>|t|)
(Intercept)	4.1400	0.02242	184.681	< 2e-16 ***
factor(Ponte)OUI	- 0.41621	0.05917	-7.034	3.44e-12 ***
--- Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1				
Residual standard error: 0.7033 on 1147 degrees of freedom Multiple R-squared: 0.04136, Adjusted R-squared: 0.04052 F-statistic: 49.48 on 1 and 1147 DF, p-value: 3.436e-12				

Tableau 12. Résultats statistiques pour la présence de ponte en fonction du barycentre

Synthèse de l'influence du barycentre de végétation sur les différents paramètres

Outre les résultats statistiques (valeur moyenne des mailles positives pour chaque paramètre testé), la représentation graphique des histogrammes de fréquence permettent de visualiser les différents résultats en fonction du barycentre de végétation. Le choix d'un seuil de 4 semble se justifier. Au-delà de ce seuil, le milieu est considéré comme non favorable à *M.alcon alcon* et ses hôtes.

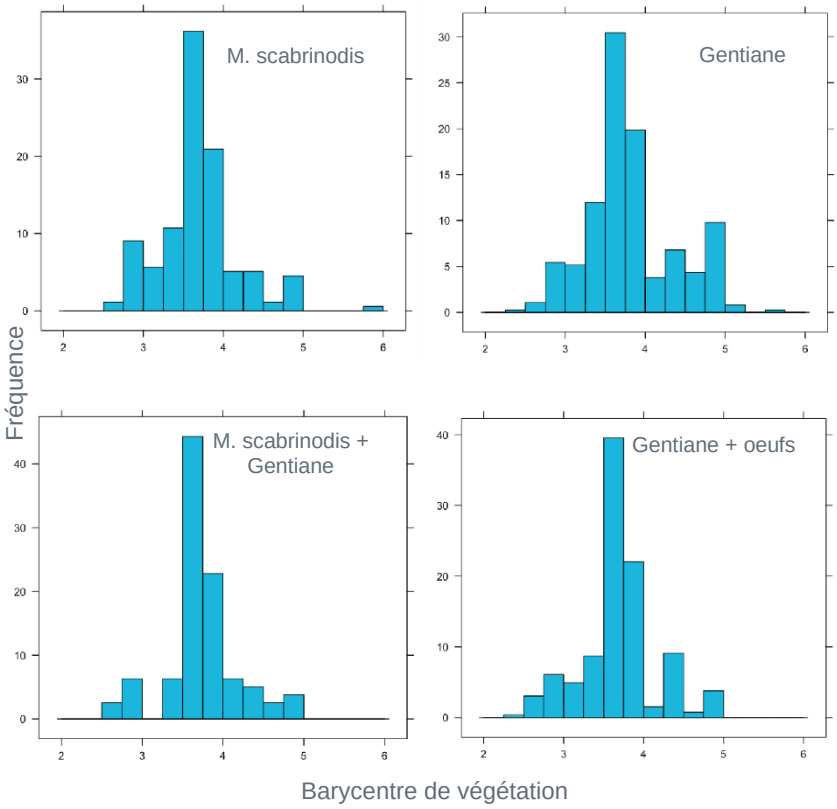


Figure 28. Histogrammes des fréquences des effectifs de présence en fonction du barycentre

Synthèse des résultats et apports :

- Les habitats favorables à *M. scabrinodis* sont les tourbières hautes, caricaies et prairie humide dont la structure de végétation est moyenne (barycentre de végétation favorable ≈ 3,7 ± 0,057)
- Les habitats favorables à *M. ruginodis* sont des habitats à structure de végétation plus haute, notamment les moliniaies et mégaphorbiaies.
- Les habitats favorables à la gentiane pneumonanthe sont les prairies humides à joncs puis la moliniae, la cariçaie et les tourbières de transition dont la structure de végétation est moyenne (barycentre favorable ≈ 3,9 ± 0,044)
- Les habitats favorables à la ponte sont les cariçaies et les prairies humides à joncs (barycentre favorable ≈ 3,7 ± 0,059)
- L'ensemble de ces résultats permet d'affiner le seuil de l'indicateur de **surface d'habitat approprié**, et plus particulièrement la surface d'habitat favorable à la ponte. La valeur seuil à partir de laquelle la hauteur de végétation était considérée comme défavorable était de 4,5 (mais ce seuil avait été fixé arbitrairement initialement). Les gentianes présentes dans une végétation dont le barycentre était inférieur à cette valeur était donc prises en compte dans le calcul de cette surface d'habitat favorable. Cet indicateur est donc mis à jour avec la nouvelle valeur **seuil de barycentre de végétation de 4**.

VALIDATION DE LA METHODE

La méthode d'évaluation de l'état de conservation des stations de *Maculinea alcon* alcon proposée (cf. **VOLUME 1**) est basée sur le renseignement et l'analyse de différents indicateurs. À partir des connaissances sur la biologie et l'écologie des espèces et leur amélioration dans le cadre de cette étude, plusieurs indicateurs ont ainsi été proposés, testés et validés afin d'aboutir à une méthode consolidée.

Les différents indicateurs retenus sont présentés et justifiés ci-après. Des indicateurs initialement proposés et finalement non retenus sont également présentés accompagnés des justifications du fait qu'ils n'aient pas intégrés la méthode finale. Enfin, les protocoles utilisés pour renseigner les indicateurs retenus sont discutés.

1. Analyse et présentation des indicateurs retenus

i. Analyses et limites de chaque indicateur

Pour chaque indicateur retenu dans la méthode d'évaluation de l'état de conservation proposée, une justification est apportée (justification pouvant être d'ordre logique ou statistique), ainsi que les questions complémentaires qui pourraient faire l'objet d'étude afin d'affiner les indicateurs et donc la méthode d'évaluation d'état de conservation.

Nombre d'œufs

Le dénombrement de la population est un indicateur incontournable. Bien que le comptage exhaustif des œufs soit parfois chronophage, il est plus précis qu'un comptage des imagos et apporte des informations supplémentaires. Pour exemple, le résultat du suivi par transect des imagos effectués sur la Réserve Naturelle Nationale des Sagnes de La Godivelle en 2015, sur 4 sorties entre 0 et 5 individus ont été observés pour un total de 9 sur la saison. Le comptage d'œuf réalisé la même année aboutit à un total de 5790 œufs. Le temps de vie des imagos étant de quelques jours, il s'avère être un mauvais indicateur pour apporter une information sur la taille de la population, trop lié aux conditions météorologiques et à l'observateur.

De plus, le comptage des œufs permet une localisation précise des zones de ponte, importante en termes de gestion et de préservation, pour agir au mieux en faveur de l'espèce.

Figure 29. Le comptage et le pointage des œufs

Questions soulevées :

Le nombre d'œufs comptabilisé sur un même site et leurs répartitions peuvent montrer des variations importantes d'une année sur l'autre. Il serait intéressant à l'avenir de quantifier et qualifier ces variations sur un même site.

La période de comptage est également importante, en effet des passages trop tôt ou trop tard en saison peuvent faire varier légèrement les résultats de comptage (mais il semble raisonnable de penser que l'indicateur final ne change pas pour autant de catégorie).

Abondance de fleurs de gentiane

Maculinea alcon alcon pond sur les gentianes pneumonanthes. Plus il y a de fleurs (ou de boutons floraux), plus la femelle a de possibilités de ponte et plus les chenilles auront de ressource alimentaire dans leurs premiers stades. Le nombre de fleurs (et boutons floraux) a été préféré au nombre de hampes comme indicateur car le nombre de hampe n'apporte par l'information aussi précisément (le nombre de fleur par hampe étant variable).

Ce choix est, de plus, justifié en vue de la forte corrélation positive entre cet indicateur et celui du nombre d'œufs.

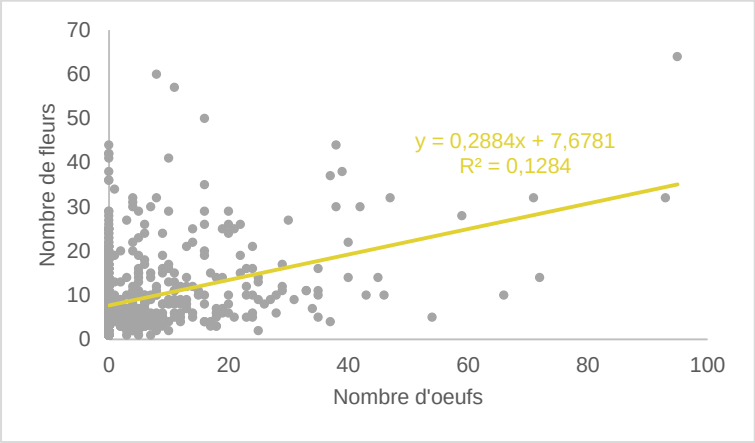


Figure 30. Résultat sur les sites tests de La Godivelle, relation entre nombre d'œufs et nombre de fleurs sur les placettes d'étude

<u>Questions soulevées :</u>

Dans une logique d'amélioration des connaissances il serait intéressant de quantifier des variations interannuelles du nombre de hampes et de fleur et de leur localisation sur différents sites.

Surface de gentiane

Cette surface apporte une information sur les surfaces exploitables par le papillon pour la ponte. Plus la surface couverte par la gentiane est importante, plus la femelle a de possibilités de ponte et plus le nombre de fourmilières potentielles pouvant accueillir des chenilles est grand.

La corrélation entre le nombre d'œufs et la surface de gentiane montre une tendance claire ce qui justifie d'autant le choix de retenir cet indicateur.

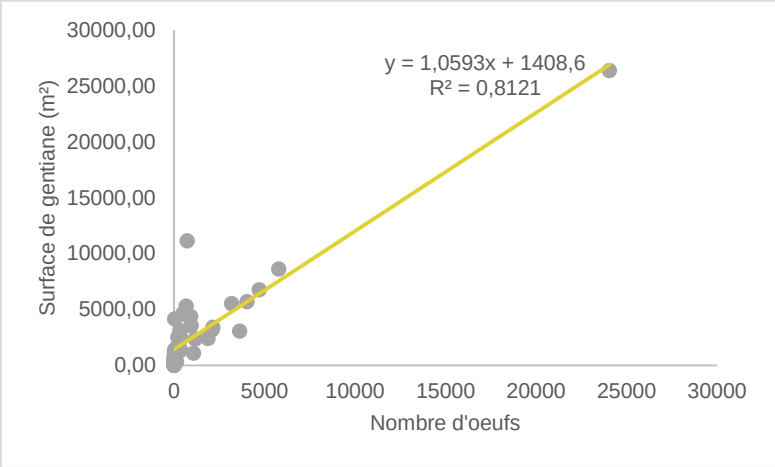


Figure 31. Relation entre nombre d'œufs et surface de gentiane sur tous les secteurs d'études

Bordure

Si la surface de gentiane est un paramètre important, la configuration des zones couvertes par la gentiane apporte également des informations pertinentes. Théoriquement, plus la surface de gentiane est fragmentée, plus le nombre de fourmilières pouvant accueillir des chenilles est élevé (et l'exploitation des fourmilières par les chenilles plus faibles, avec donc des taux de survie plus élevés). Cet aspect de « fragmentation » a été abordé par un indicateur nommé « bordure ». La bordure, ici traduite par la somme des périmètres des patchs de gentiane, informe sur leur fragmentation.

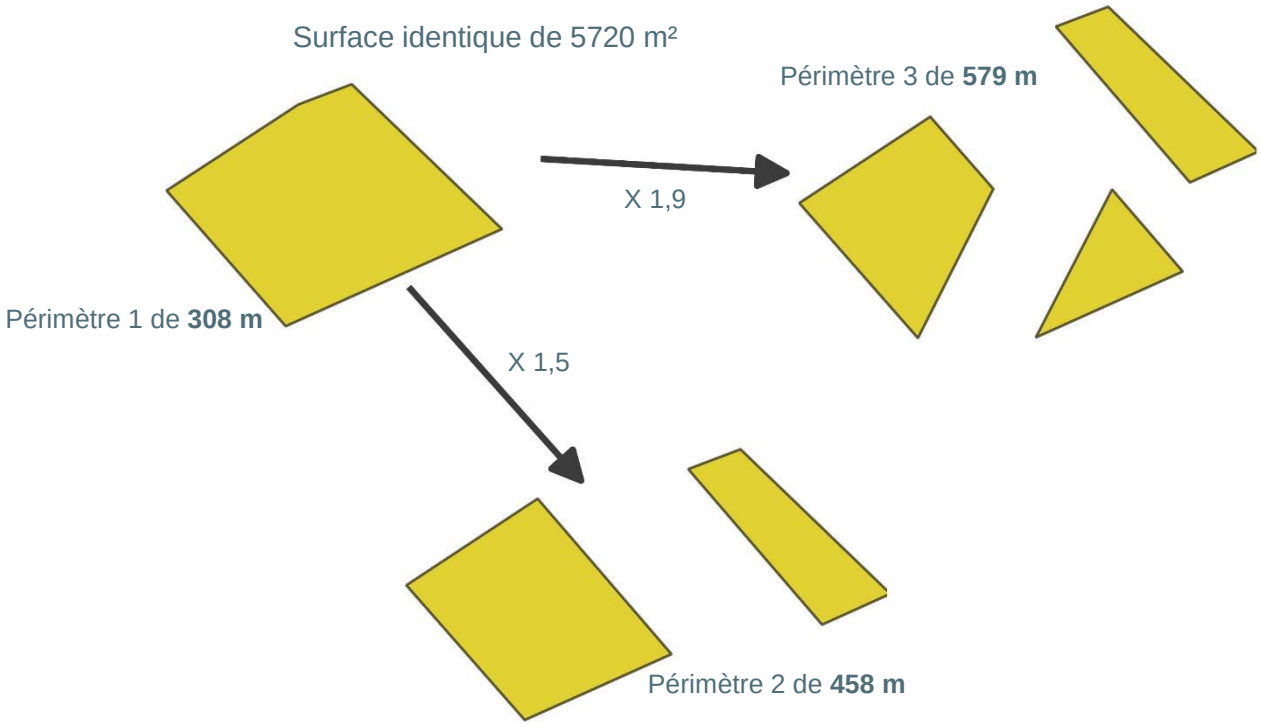


Figure 32. Surface et périmètre (bordure) des patchs de gentiane

Stade des gentianes

La dynamique de la population de gentiane est importante. Certaines stations peuvent présenter des gentianes « âgées » qui sont par exemple localisées dans des zones à végétation haute, sans pour autant que des « gentianes jeunes », traduisant le renouvellement des populations, soient présentes. La situation optimale étant d'observer que la gentiane suit une dynamique de renouvellement importante.

Questions soulevées :

L'estimation du stade des gentianes visuellement selon des classes est difficile, notamment pour les notions de mature et sénescent, la limite entre ces deux classes étant parfois complexe à identifier.

Surface d'habitat approprié

Prendre en compte chaque élément du cycle de vie du papillon séparément apporte des informations importantes mais il est intéressant de proposer un indicateur plus intégrateur.

Plus complexe que les autres indicateurs, la surface d'habitat appropriée prend en compte d'une part les surfaces de gentianes pondues mais aussi les surfaces de gentianes situées dans un habitat « favorable » du point de vue de la structure de végétation.

Le choix des gentianes occupées par des œufs de *M. a. alcon* semble évident dans la création d'un tel indicateur puisque ces gentianes ont été « sélectionnées » par la femelle. En revanche, la définition

d'un habitat « favorable » a demandé plus de réflexion. Il a ici été considéré qu'un habitat, quel qu'il soit, est favorable au papillon lorsque que des gentianes y sont présentes et que la végétation a un barycentre inférieur à un certain seuil. Ce seuil correspond à un barycentre de végétation fixé à 4 dans le cadre de notre étude.

Cet indicateur apporte une information sur la favorabilité potentielle du site, d'autant plus important que les zones de pontes peuvent varier d'une année sur l'autre.

Vitesse de colonisation des ligneux

La fermeture du milieu représentant une menace sur *M. a. alcon* et ses hôtes, il convient de la quantifier. Cet indicateur informe sur une vitesse de colonisation des ligneux à partir d'une large échelle de temps (27 ans), cohérente, pour le territoire d'étude, du point de vue de la menace identifiée (abandon des pratiques agricoles notamment).

Les milieux qui se sont boisés durant ce laps de temps sont autant d'habitats devenus inexploitables pour le papillon et ses hôtes.

Menace des jeunes ligneux

Il est possible qu'un site n'ait pas subi de colonisation historique par les ligneux mais qu'à l'heure actuelle (par exemple suite à une perturbation, à l'arrêt d'une gestion agricole…) la dynamique de ligneux se soit mise en place. Cet indicateur, ciblé ici sur les jeunes ligneux, traduit cette menace de fermeture actuelle et apporte une approche de dynamique temporelle potentielle. Il prend notamment en compte la proximité avec les gentianes pour apporter une information sur le degré de menaces pour les zones exploitables par le papillon.

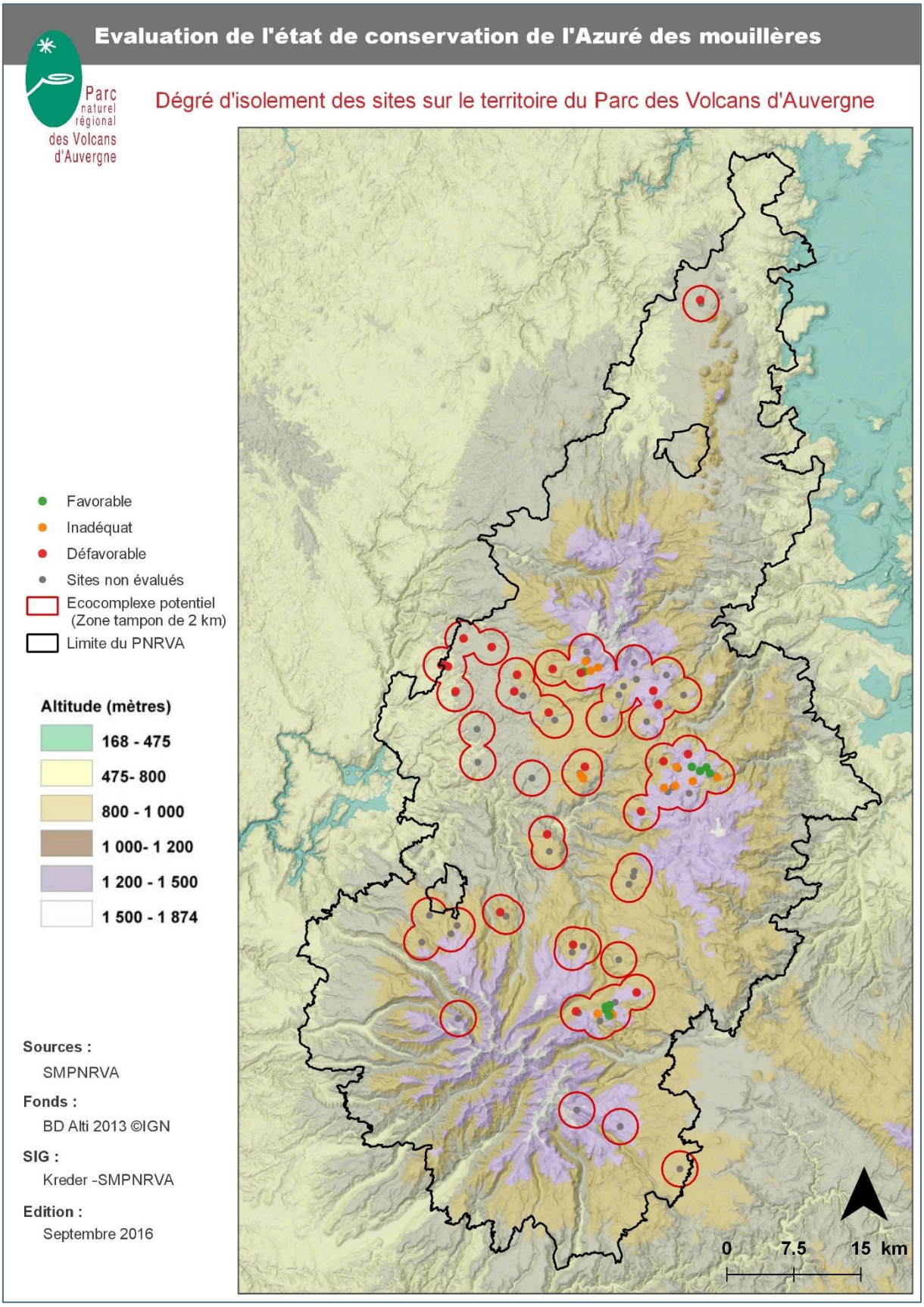
Degré de connectivité

Cet indicateur a été retenu pour estimer l'isolement de chaque secteur d'étude en prenant en compte la distance à l'ensemble des secteurs voisins connus mais aussi le fait qu'ils soient occupés par *M. a. alcon* ou non. L'indicateur traduit la nécessité de disposer d'un réseau de site favorable à l'espèce pour favoriser sa préservation.

<u>Questions soulevées :</u>

Une alternative, concernant le calcul de cet indicateur, serait de prendre en compte la surface des patchs de gentiane (ou d'habitat approprié) et non uniquement la donnée de présence/absence du papillon sur les secteurs voisins. L'information n'était cependant pas disponible pour l'ensemble des zones de présence de *Maculinea alcon alcon* sur le territoire dans le cadre de cette étude.

Figure 33. Indicateur de connectivité pour les secteurs étudiés



Présence de *Myrmica*

Tout comme la présence du papillon (via la présence de ponte) et de gentiane, la présence de la fourmi hôte est nécessaire.

Questions soulevées :

Le fait que *M.scabrinodis* soit l'hôte principal serait intéressant à confirmer sur le territoire d'étude.

Pourcentage d'appâts positifs

Lorsque la recherche des *Myrmica* se fait sur les secteurs de gentiane préalablement identifié, il est possible de calculer un pourcentage d'appâts positifs (en particulier en ciblant *M.scabrinodis*). Plus ce pourcentage est grand, plus la surface de cohabitation entre gentiane et *Myrmica* est grande et donc plus la situation est favorable pour le papillon. La surface de cohabitation gentiane / fourmi est ici rapportée à des mailles et ne représente donc pas des surfaces de coexistence « effectives » qui peuvent être calculées lorsque les nids de fourmis sont localisés précisément.

Cet indicateur n'apporte pas d'informations sur la densité de fourmilières disponibles.

Questions soulevées :

Les protocoles mis en place dans cette étude se basent sur des distances d'affouragement des *Myrmica* de deux mètres. Des études permettant de confirmer ce fait seraient intéressantes à mettre en œuvre pour consolider la méthode d'évaluation.

De plus, la compétition entre les espèces de fourmis pourrait être testée. En effet, lors de la présente étude, d'autres espèces de fourmis (par exemple *Formica picea*) ont été collectées sur les appâts.

Pour prendre l'exemple de la tourbière de Jouvion, sur 175 appâts avec des fourmis (tous genres confondues), 96 sont positifs à *Myrmica sp* et 89 à Formica sp (ici principalement *F. picea*), sur seulement 21 appâts les deux ont été trouvés. Vilbas et al. 2016 montrent une forte corrélation négative entre la densité de nids de *Myrmica sp*. et *Lasius spp.* suggérant que la compétition interspécifique entre fourmis peut avoir une influence notable sur la disponibilité de la fourmis hôtes pour les papillons du genre Maculinea. Cela permettrait de préciser les éléments défavorables à *Myrmica* et donc au papillon.

Abondance de fleurs nectarifères

Bien que cet indicateur n'ait pas été testé dans cette étude, il a été retenu dans la proposition d'une méthodologie, car l'information de ressource alimentaire pour l'azuré adulte n'est renseignée par aucun autre indicateur.

Questions soulevées :

Comment évaluer au mieux cette ressource ? Une étude spécifique permettant de cibler les espèces utilisées par *M.alcon alcon* ainsi que les distances parcourues par les femelles à la recherche de ressource nectarifère autour des zones de gentiane est nécessaire.

2. Indicateurs non retenus

D'autres indicateurs avaient été intégrés à la réflexion au début de la présente étude mais n'ont finalement pas été retenus pour différentes raisons :

> **Modalités de gestion :** les modalités de gestion n'ont pas été retenues en tant qu'indicateur propre mais relevées à titre informatif car elles sont difficiles à renseigner précisément et à analyser (à notre échelle de travail). Cela constitue tout de même un élément qualitatif important dans l'analyse des résultats pour chaque station et les propositions d'action qui peuvent en découler.

> **Hauteur des hampes florales :** la hauteur des hampes florales n'a pas été retenue car cela aurait nécessité un protocole plus chronophage encore (non réalisable dans les temps impartis), et des moyens humains plus importants lors du comptage des œufs de *M. alcon alcon* et des hampes florales des gentianes.

> **Pourcentage de surface occupée par la Gentiane** : le pourcentage de surface occupée par la gentiane sur le secteur d'étude n'a pas été retenu, du fait que la surface de gentiane brute est par ailleurs relevée, et que ce dernier indicateur apparait plus pertinent. En effet, un pourcentage de surface traduit moins précisément une capacité d'accueil qu'une surface brute et peut recouvrir des réalités très différentes puisqu'il est directement lié à la surface du secteur d'étude. Globalement, les indicateurs relatifs à des pourcentages de la surface du secteur d'étude ne sont pas retenus car ils lissent des situations très différentes et sont dépendants de la délimitation des secteurs d'étude. Pour autant, ils peuvent avoir un intérêt dans la description de la capacité d'accueil du secteur (par exemple, quand 100 % de la surface du secteur d'étude est couverte par de la gentiane, alors même si la surface brute est limitée, il n'y aura pas de possibilité d'améliorer l'indicateur). Cette phase d'analyse relative au secteur d'étude se fait au moment de l'analyse des indicateurs et du passage vers des propositions d'actions.

> **Menaces :** cet indicateur, qui aurait eu pour principe d'additionner les menaces constatées sur le secteur d'étude, n'a pas été retenu, pour des raisons de subjectivité selon le prospecteur (évaluer la pression de pâturage ou de piétinement par exemple) et de difficulté à évaluer réellement une menace (en fonction de son degré, de sa localisation sur le site, *etc.*).

> **Pourcentage de recouvrement en ligneux :** mesure l'importance des ligneux sur le secteur. Ce dernier peut recouvrir des situations très diverses et est directement lié à la surface du secteur d'étude.

> **Dynamique de population de la Gentiane :** cet indicateur permet d'avoir des informations sur la dynamique des gentianes, via le nombre de fleurs par hampe. L'hypothèse initiale étant que pour le stade jeunes-adultes, la reproduction sexuée est privilégiée avec un important nombre d'hampes florales, alors que pour le stade adultes-sénescents, la reproduction végétative prend le dessus, diminuant considérablement le nombre de fleurs (Sarlandie, 2003).
> Pour autant, les relevés de terrain ont mis en évidence que la situation est complexe. En effet, est parfois retrouvé un grand nombre de fleurs par hampe dans des habitats relativement fermés (gentianes hautes et associées à des gentianes sénescentes) alors que dans des secteurs plus ouverts (végétation rases), les gentianes ont parfois très peu de fleurs par hampe. L'analyse est ainsi difficile et potentiellement non univoque. Cela mériterait toutefois d'être creusé.

- **Pourcentage de recouvrement en sol nu :** pour qu'une station à *Maculinea alcon alcon* soit pérenne, il convient de s'assurer que la gentiane y est présente aujourd'hui et qu'elle le restera à l'avenir.
  Le sol nu informe sur la dynamique potentielle des gentianes, plus précisément sur les possibilités de germination. Il est ainsi complémentaire de l'indicateur « surface de gentiane » par exemple car il apporte une approche de dynamique temporelle potentielle.
  L'interprétation de cet indicateur est quelque peu différente des autres. En effet, la situation « favorable » est ici considérée dans l'intervalle entre les deux seuils fixés (médiane et troisième quartile). Ce choix résulte du fait qu'il apparaît certes important que du sol nu soit présent mais pas en trop grand quantité (exemple d'une station surpiétinée par exemple). Il n'a finalement pas été retenu car mesurer à l'échelle du secteur d'étude, la moyenne finale pouvait recouvrir des situations très différentes. Il pourrait être envisageable de mesurer le sol nu dans les zones de gentiane ou leurs abords pour affiner cet indicateur.

- **Humidité :** critère certainement important pour les fourmis et la gentiane mais difficile à mesurer. À étudier dans le cadre d'étude à échelle beaucoup plus fine.

- **Microtopographie : i**l est possible que la répartition des fourmis et des gentianes soient influencées par la microtopographie (touradons…). Mais une analyse dans le cadre de cette étude n'a pas été possible pour des raisons de temps et devant la difficulté pour caractériser précisément des microtopograhies. Cela serait certainement à étudier dans le cadre d'étude à échelle beaucoup plus fine.

- **Densité de nid de fourmis : c**et indicateur permet d'évaluer la capacité d'accueil du site en chenilles de *M.alcon alcon*. Il peut se décliner en nombre de fourmilières brutes sur le site ou sur les zones de gentianes ou rapportées à une surface. Plus le nombre de nids est important, plus la capacité d'accueil pour les chenilles est grande. Mais la recherche des nids est chronophage et impactante. Cet indicateur n'a donc pas été retenu.

- **Coexistence entre gentiane et *Myrmica* :** en réalisant une recherche des nids de *Myrmica* il devient possible d'évaluer la zone de coexistence effective et le nombre de fourmilières pouvant accueillir les chenilles du papillon. Pour autant, la recherche des nids peut entrainer le déplacement des fourmilières par dérangement et un impact sur le milieu. Cet indicateur n'a donc pas été retenu.

3. Discussion des protocoles proposés pour renseigner les indicateurs

Les indicateurs étant renseignés par des protocoles, certaines limites de ces protocoles doivent être mises en avant afin de préciser les précautions à prendre dans l'analyse et éventuellement poursuivre l'amélioration de la méthode d'évaluation de l'état de conservation proposée :

> Protocole Habitat : Analyse diachronique

Les orthophotographies de 1986 étant de médiocre qualité par rapport à celles de 2013, les arbustes, et parfois les arbres, peuvent parfois être moins ou non visibles et donc pas pris en compte dans la digitalisation.

Egalement, les orthophotographies de 1986 sont téléchargées depuis Géoportail et ne sont pas géoréférencées. De légers décalages ont pu être observés et provoquer une imprécision dans le géoréférencement, pouvant induire des biais dans les surfaces digitalisées.

Le protocole pourrait également être affiné en intégrant d'autres orthophotographies de dates différentes. La date de référence retenue doit être réfléchit au regard des problématiques principales identifiées sur les territoires. Dans le cas présent, une date dans les années 1980, avec un recul d'une trentaine d'année, semblait cohérente en lien avec l'abandon des pratiques agricoles entrainant la fermeture des milieux.

> Protocole Habitat : Caractérisation des habitats

Compte tenu du grand nombre de sites à prospecter à l'échelle du Parc des Volcans, et du temps imparti pour l'étude, le protocole de caractérisation des habitats n'a pas été réalisé à une échelle fine. Or, durant les sessions de terrain, il a été observé que la répartition des gentianes et des fourmilières semblait dépendre des mosaïques fines d'habitat et de la micro-topographie. Au sein d'habitat homogène, des zones de petites surfaces peuvent expliquer la présence de gentiane.

Il en va de même pour la hauteur de végétation puisqu'elle est rattachée directement aux polygones d'habitats délimités. Au sein d'un même habitat, la gentiane peut-être uniquement localisée sur une zone restreinte dont la hauteur de végétation diffère légèrement par rapport à la hauteur constatée sur la surface majoritaire de l'habitat.

Dans le cas d'étude plus précise, à l'échelle d'un site, par exemple, une caractérisation plus fine des habitats et des hauteurs de végétation peut être à envisagée.

> Protocole myrmécologique : présence-absence

Pour obtenir une information plus intéressante sur les relations *Myrmica*-papillon, le protocole est à réaliser, si possible, dans les zones de gentiane préalablement cartographiées. Dans le cadre de la présente étude, la localisation des zones de gentiane a été réalisée entre 2000 et 2004 sur les secteurs étudiés et était parfois trop imprécise. Cela n'a donc pas permis d'évaluer l'indicateur du pourcentage d'appât positif sur la plupart des secteurs.

De plus il s'est avéré, que sur la totalité des secteurs d'étude, des *Myrmica*-hôtes sont présentes (mais pas toujours *Myrmica scabrinodis* !). Dans le cas d'étude plus restreinte en termes de moyens ou de temps, il serait envisageable de partir du constat que pour tous les secteurs où la Gentiane et l'Azuré sont présents, la présence de *Myrmica* est certifiée. Ainsi, le protocole de présence-absence ne serait appliqué qu'aux secteurs où les données de pontes sont absentes. Cela permet un gain de temps sur l'application de ce protocole.

BILAN

La revue bibliographique réalisée a permis de cibler de nombreux indicateurs qui contribuent à l'évaluation de l'état de conservation des stations de *M.alcon alcon*.

Certains indicateurs ont été affinés dans le cadre d'étude sur des sites tests (indicateurs *Myrmica* et surface d'habitat appropriée) Les indicateurs retenus l'ont été pour les informations qu'ils portent. Certains sont simples, d'autres plus complexes. C'est l'ensemble de ces indicateurs qu'il convient de prendre en compte. Ils constituent la base d'une grille de lecture permettant de cibler les problématiques principales pour la préservation de l'Azuré des Mouillères sur ses sites.

D'autres indicateurs pourraient être proposés. Mais la méthode vise à une certaine simplicité et à ne pas multiplier les indicateurs.

Au final, la méthode proposée constitue une première pour évaluer l'état de conservation des stations de *M.alcon alcon*. Les deux années d'études menées, et les retours d'expérience apportés, pourraient constituer une base de discussion pour des améliorations possibles et l'adoption d'une méthode harmonisée, reproductible à l'échelle du Massif Central dans un premier temps, et au niveau national dans un second temps.

BIBLIOGRAPHIE

Akino, T., Knapp, J. J., Thomas, J. A., & Elmes, G. W. 1999. Chemical mimicry and host specificity in the butterfly Maculinea rebeli, a social parasite of *Myrmica* ant colonies. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, *266* (1427), 1419-1426.

Als, T. D., Nash, D. R., & Boomsma, J. J. 2001. Adoption of parasitic *Maculinea alcon* caterpillars (Lepidoptera: Lycaenidae) by three *Myrmica* ant species. *Animal Behaviour*, *62* (1), 99-106.

Bachelard, P. 2008. Les espèces du genre Maculinea en Auvergne, Société d'histoire naturelle Alcide d'Orbigny, DIREN Auvergne, 27 pp.

Bajon, R. 2000. Gentiana pneumonanthe L., 1753. in : Muséum national d'Histoire naturelle (Eds.), 2006, Conservatoire botanique national du Bassin parisien, site

Bensettiti F., Puissauve R., Lepareur F., Touroult J. et Maciejewski L., 2012. Evaluation de l'état de conservation des habitats et des espèces d'intérêt communautaire – Guide méthodologique – DHFF article 17, 2007-2012. Version 1 – Février 2012. Rapport SPN 2012-27, Service du patrimoine naturel, Muséum national d'histoire naturelle, Paris, 76 p. + annexes.

Bereczki, J., Pecsenye, K., Peregovits, L., & Varga, Z. 2005. Pattern of genetic differentiation in the *Maculinea alcon* species group (Lepidoptera, Lycaenidae) in Central Europe. *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research*, *43* (2), 157-165.

Blatrix, R., Galkowski, C., LEBAS, C., Wegnez, P. 2013. Fourmis de France, de Belgique, et du Luxembourg, Delachaux et niestlé, Paris. 287pp.

Braschler, B., Baur, B. 2003. Effects of experimental small-scale grassland fragmentation on spatial distribution, density, and persistence of ant nests, Ecological Entomology 28:651-658.

Dupont, P. 2010. Plan national d'actions en faveur des Maculinea, Office pour les insectes et leur environnement, Ministère de l'Ecologie, du Développement durable, des Transports et du Logement.

Elmes, G.W. 1974. The spatial distribution of a population of two ant species living in limestone grassland, Pedobiologia 14:412-418.

Elmes, G. W., & Wardlaw, J. C. 1982. A population study of the ants *Myrmica sabuleti* and *Myrmica scabrinodis*, living at two sites in the south of England. I. A comparison of colony populations. *The Journal of Animal Ecology*, 651-664.

Elmes, G. W., THOMAS, J. A. 1992. Complexity of species conservation in managed habitats: interaction between Maculinea butterflies and their host ants, Biological Conservation 1: 155-159.

Elmes, G. W., Hammersted, O., Martin, J., Thomas, J. A., & Van Der Made, J. G. 1994. Differences in host-ant specificity between Spanish, Duch and Swedish populations of the endangered butterfly, *Maculinea alcon* (DENIS at SHIFF>) (Lepidoptera). *Memorabilia zoologica*, (48), 55-68.

Elmes, G.W., THOMAS, J.A., Wardlaw, J.C., Hochberg, M.E., Clarke, R.T., Simcox, D.J. 1998. The ecology of *Myrmica* ants in relation to the conservation of Maculinea

butterflies, Journal of Insect Conservation, 2:67-78.

Forgeot, D. 2007. Densité des nids et activité des fourmis hôtes de *Maculinea alcon*, sur la Lande du Camp, influence de l'habitat et du mode de gestion, SyMEL, Rapport de Master 2 Spécialité Conservation et Restauration des Ecosystèmes, Université de Metz.

Guerbaa, K. 2000. Typologie des stations à Gentiane pneumonanthe (Gentiana pneumonanthe) en Limousin, Rapport d'étude, Espaces Naturels du Limousin.

Habel, J.C., Schmitt, T., Härdtle, W., Lütkepohl, M., Assmann, T. 2007. Dynamics in a butterfly-plant-ant system : influence of habitat characteristics on turnover rates of the endangered lycaenid *Maculinea alcon*, Ecological Entomology 32 (5) : 536-543.

Kaufmann B., Mercier J.L., Itrac-Bruneau R. & Chmargounof G. 2014. Protocole d'échantillonnage simple permettant d'évaluer la présence et l'importance des *Myrmica* au sein des communautés de fourmis. Plan National d'Actions en faveur des *Maculinea*. Université Claude Bernard Lyon I, Université François Rabelais Tours, Office pour les insectes et leur environnement. 6 pages.

Leonard, J.G., Herbers, J.M. 1986. Foraging tempo in two woodland ant species, Animal Behaviour 34:1172-1181.

Leroy, T., Bachelard, P. 2008. L'Azuré des mouillères *Maculinea alcon alcon* sur le territoire du Parc Naturel Régional des Volcans d'Auvergne : répartition, abondance et éléments d'écologie (Lepidoptera, Lycaenidae), Oreina 2 : 35-43.

Lhonoré, J. 1998. Biologie, écologie et répartition de quatre espèces de Lépidoptères Rhophalocères protégés (Lycaenidae, Satyridae) dans l'ouest de la France, Editions OPIE, Rapports d'études de l'OPIE, Vol. 2, 108 p.

Maes D. & Van Dyck H. 2005. Habitat quality and biodiversity indicator performances of a threatened butterfly versus a multispecies group for wet heathlands in Belgium. Biological Conservation 124: 177-187.

Maes, D., Vanreusel, W., Talloen, W., Van Dyck, H. 2004. Functional conservation units for the endangered Alcon blue butterfly *Maculinea alcon* in Belgium (Lepidoptera: Lycaenidae), Biological Conservation, 120: 233-245.

McGlynnK. 1994. The foraging behavior of the common ant, Myrmica rubra (L.). Unpublished PhD thesis. University of London, 339 pp.

Mouquet, N., Belrose, V., Thomas, J. A., Elmes, G. W., Clarke, R. T., & Hochberg, M. E. 2005. Conserving community modules: a case study of the endangered lycaenid butterfly *Maculinea alcon*. *Ecology*, *86*(12), 3160-3173.

Munguira, M. L., & Martin, J. 1999. *Action plan for Maculinea butterflies in Europe* (No. 18-97). Council of Europe.

New, T.R. 2009. Insect species conservation, Cambridge University Press, New York, 256 pp.

Nowicki P, Pepkowska A, Kudlek J, Sko´rka P, Witek M, Settele J, Woyciechowski M. 2007. From metapopulation theory to conservation recommendations: lessons from spatial occurrence and abundance patterns of Maculinea butterflies. Biol Conserv 140:119–129.

Nowicki, P., Bonelli, S., Barbero, F., Balleto, E. 2009. Relative importance of density-dependent regulation and environmental stochasticity for butterfly population dynamics, Oecologia, 161: 227-239.

Oostermeijer, J. G. B., VAN'T VEER, R., DEN NIJS J. C. M. 1994. Population structure of the rare, long-lived perennial Gentiana pneumonanthe in relation to vegetation and management in the Netherlands, Journal of Applied Ecology 31:428-438.

Oostermeijer, J. G. B., Brugman, M. L., De Boer, E. R., & Den Nijs, H. C. 1996. Temporal and spatial variation in the demography of Gentiana pneumonanthe, a rare perennial herb. *Journal of ecology*, 153-166.

Pecsenye, K., Bereczki, J., Tihanyi, B., Toth, A., Peregovits, L., & Varga, Z. 2007. Genetic differentiation among the Maculinea species (Lepidoptera: Lycaenidae) in eastern Central Europe. *Biological Journal of the Linnean Society*, *91*(1), 11-21.

Petanidou, T., den Nijs, H. C., & Ellis-Adam, A. C. 1990. Comparative pollination ecology of two rare Dutch Gentiana species, in relation to population size. In *VI International Symposium on Pollination 288* (pp. 308-312).

Petetin A. & Gravelat B. 2002. Éléments de caractérisation phytosociologique des stations de *Maculinea alcon* subps. *alcon* dans le PNR des Volcans d'Auvergne. Conservatoire Botanique du Massif Central, 8p. + annexes et cartes.

Rozier, Y. 1999. Contribution à l'étude de la Biologie de la Conservation de Maculinea sp. (Lepidoptera : Lycaenidae) dans les zones humides de la vallée du Haut-Rhône. UMR CNRS 5558. Laboratoire de Biométrie et Biologie évolutive, Université Claude Bernard - Lyon I: 230 pp.

Sala, M., Casacci, L. P., Balletto, E., Bonelli, S., & Barbero, F. (2014). Variation in butterfly larval acoustics as a strategy to infiltrate and exploit host ant colony resources. *PLOS one*, *9* (4): e94341. doi:10.1371/journal.pone.0094341.

Salisbury, E. J. 1942. The reproductive capacity of plants. Studies in quantitative biology. *The reproductive capacity of plants. Studies in quantitative biology.*

Sarlandie, C. 2003. Caractérisation phytosociologique de stations à *Maculinea alcon* D. & S. (Lép. Lycaenidae) du sud de la Haute-Vienne et étude comportementale, Thèse de la Faculté de Pharmacie, Université de Limoges.

Schönrogge, K., Wardlaw, J. C., Thomas, J. A., & Thomas, G. W. 2000. Polymorphic growth rates in myrmecophilous insects. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, *267* (1445), 771-777.

Schultz, T.R., Mcglynn, T.P. 2000. The interactions of ants with other organisms. in : Agosti, D., Mayer, J., Alonso, L.E., Schultz, T. (Eds.), Ants : Standards methods for measuring and monitoring biodiversity. Smithsonian Press, Washington, pp. 35-45.

Settele, J., Kudrna, O., Harpke, A., Kühn, I., Van Swaay, C., Verovnik, R. Warren M., Wiemers M., Hanspach J., Hickler T., Elisabeth Kühn E., van Halder I., Veling K., Vliegenthart A., Wynhoff I., Schweiger O. 2008. *Climatic risk atlas of European butterflies* (p. 710). Sofia-Moscow: Pensoft.

Sielezniew, M., & Stankiewicz, A. M. 2004. Simultaneous exploitation of *Myrmica*

vandeli and *M. scabrinodis* (Hymenoptera: Formicidae) colonies by the endangered myrmecophilous butterfly *Maculinea alcon* (Lepidoptera: Lycaenidae). *Eur. J. Entomol*, *101*(4), 693-696.

Sielezniew, M., Rutkowski, R., Ponikwicka-Tyszko, D., Ratkiewicz, M., Dziekanska, I., & Svitra, G. 2012. Differences in genetic variability between two ecotypes of the endangered myrmecophilous butterfly *Phengaris* (= *Maculinea*) *alcon*–the setting of conservation priorities. *Insect Conservation and Diversity*, *5*(3), 223-236.

Simmonds, N. W. 1946. Gentiana Pneumonanthe L. *Journal of Ecology*, *33*(2), 295-307.

Soissons, A., Bachelard, P. 2013. Déclinaison régionale du plan national d'action en faveur des Maculinea Auvergne, Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement, et du Logement Auvergne, Conservatoire d'Espaces Naturels Auvergne, Société d'histoire naturelle Alcide-d'Orbigny.

Thomas, J. A., Elmes, G. W., Wardlaw, J. C., & Woyciechowski, M. 1989. Host specificity among Maculinea butterflies in *Myrmica* ant nests. *Oecologia*, *79*(4), 452-457.

Thomas, J. A., Munguira, M. L., Martin, J., & Elmes, G. W. (1991). Basal hatching by Maculinea butterfly eggs: a consequence of advanced myrmecophily ?. *Biological Journal of the Linnean Society*, *44* (2), 175-184.

Thomas, J. A., Wardlaw, J. C. 1992. The capacity of a *Myrmica* ant nest to support a predacious species of Maculinea butterfly, Oecologia 91: 101-109.

Thomas, J. A. 1995. The ecology and conservation of Maculinea arion and other European species of large blue butterfly. In *Ecology and conservation of butterflies* (pp. 180-197). Springer Netherlands.

Thomas, J. A., & Elmes, G. W. 1998. Higher productivity at the cost of increased host-specificity when Maculinea butterfly larvae exploit ant colonies through trophallaxis rather than by predation. *Ecological Entomology*, *23*(4), 457-464.

Thomas, J. A., Elmes, G. W., & Wardlaw, J. C. 1998. Polymorphic growth in larvae of the butterfly Maculinea rebeli, a social parasite of *Myrmica* ant colonies. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, *265* (1408), 1895-1901.

Van Dyck, H., Oostermeijer, J. G. B., Talloen, W., Feenstra, V., van der Hidde, A., & Wynhoff, I. 2000. Does the presence of ant nests matter for oviposition to a specialized myrmecophilous Maculinea butterfly?. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, *267*(1446), 861-866.

Van Swaay, C., & Warren, M. 1999. *Red data book of European butterflies (Rhopalocera)* (Vol. 99). Council of Europe.

Van Swaay, C., Cuttelod, A., Collins, S., Maes, D., Munguira, M. L., Šašić, M., Settele J., Verovnik R., Verstrael T., Warren M., Wiemers, M. 2010. European red list of *butterflies*. Publications office of the European Union.

Vepsalainen K. & Savolainen R. 1990. The effect of interference by Formicine ants on the foraging of Myrmica. Journal oh Animal Ecology 59 : 643-654.

Wallisdevries, M.F. 2004. A quantitative conservation approach for the endangerd butterfly *Maculinea alcon*. Conservation Biology 2: 489-499.

Wardlaw, J.C., Elmes, G.W., Thomas J.A. 1998. Techniques for studying Maculinea butterflies: II. Identification guide to *Myrmica* ants found on Maculinea sites in Europe, Journal of Insect Conservation 2:119-127.

Witek, M., Sliwinska, E. B., Skórka, P., Nowicki, P., Settele, J., & Woyciechowski, M. 2006. Polymorphic growth in larvae of Maculinea butterflies, as an example of biennialism in myrmecophilous insects. *Oecologia*, *148* (4), 729-733.

Witek, M., Sliwinska, E. B., Skórka, P., Nowicki, P., Wantuch, M., Vrabec, Settele J., Woyciechowski, M. 2008). Host ant specificity of large blue butterflies Phengaris (Maculinea) (Lepidoptera: Lycaenidae) inhabiting humid grasslands in East-central Europe. *European Journal of Entomology*, *105* (5), 871.

Wynhoff, I. 1998. The recent distribution of the european Maculinea species, Journal of Insect Conservation 2: 15-27.